

## **Ocena możliwości wydzielania łupka miedzionośnego z odpadów flotacyjnych z bieżącej produkcji KGHM**

**Krystian Stadnicki, Magdalena Duchnowska**

Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, magdalena.duchnowska@pwr.edu.pl

---

### **STRESZCZENIE**

W pracy analizowano możliwości zmniejszenia strat składników użytecznych w odpadach poflotacyjnych wzbogacania rudy miedzi. Przeprowadzono szereg flotacji z różnymi odczynnikami w określonych klasach ziarnowych. Na podstawie bilansów i krzywych wzbogacania stwierdzono, że możliwe jest wydzielenie z odpadów przemysłowych koncentratów łupkowych zawierających ponad 1,5% miedzi z zaznaczeniem, że flotacji zostanie poddana wydzielona z odpadów klasa ziarnowa powyżej 0,071 mm. W tej klasie ziarnowej miedź koncentruje się głównie w nieomielonej frakcji łupkowej.

---

### **WPROWADZENIE**

Ruda wydobywana przez KGHM zawiera zbyt niskie zawartości miedzi aby mogła być poddana bezpośredniej przeróbce metalurgicznej. Średnia zawartość miedzi w nadawie do wzbogacania wynosi poniżej 2%, dlatego rudy muszą być wzbogacane, aby mogły spełnić wymogi hutnictwa. Proces wzbogacania polega na poddaniu rudy miedzi przeróbce mechanicznej oraz procesowi flotacji w wyniku, którego otrzymuje się koncentrat o zawartości miedzi pozwalającej na jego dalszą przeróbkę w hucie. Oprócz koncentratu powstają też odpady, które kierowane są na składowiska. Odpady stanowią około 95% masy wyeksploatowanego urobku (Konieczny i in., 2006). Obecnie, celem postawionym przez technologów wzbogacających rudę miedzi jest podwyższenie uzysków miedzi w koncentratkach końcowych, przy maksymalizacji w nich zawartości miedzi, a co za tym idzie obniżenie strat miedzi w odpadach wzbogacania (Łuszczkiewicz i Wieniewski, 2006).

Na podstawie składu litologicznego geolodzy podzielili rudę miedzi wydobytą ze złoża na trzy odmiany litologiczne: frakcję łupkową o zawartości miedzi dochodzącej do 15%, frakcję węglanową o zawartości miedzi nie przekraczającej 3% oraz frakcję piaskowcową o zawartości miedzi poniżej 1% (Konstantynowicz-Zielińska, 1990). W zależności od rejonu eksploatacji wyeksploatowany ze złoża urobek różni się procentową zawartością poszczególnych odmian litologicznych. W rejonie kopalni Lubin urobek tworzy mieszanina odmian piaskowcowo-węglanowo-łupkowych rud miedzi (Piestrzyński, 1996). Odmienne udziały poszczególnych rud w nadawie do procesu determinują różnice w sposobie ich przeróbki. W Rejonie ZWR Lubin, z uwagi na skład litologiczny wzbogacanie odbywa się w dwóch ciągach produkcyjnych łupkowo-węglanowym (ruda wymagająca wyższego stopnia rozdrobnienia) oraz piaskowcowym–ruda o właściwościach sprzyjających procesom rozdrabniania (Grotowski i in., 1996).

Odpady poflotacyjne powstałe w wyniku przeróbki rudy zawierają około 0,15-0,30% miedzi (Speczik i in., 2003). Główną masę odpadów stanowi kwarc, węglany (dolomit, kalcyt)

i minerały ilaste. Minerale węglanowe zawarte w odpadach utrzymują ich odczyn pH w stanie niemalże obojętnym (lekko alkaliczny) (Piestrzyński, 1996). Odczyn ten zabezpiecza wody gruntowe przed przenikaniem do nich metali ciężkich, które śladowo występują w odpadach. Ich zawartości określane w składowiskach poza miedzią i ołowiem są równe średniemu rozproszeniu w skorupie ziemskiej. Oznacza to, że nagromadzenie tych metali w składowiskach nie stanowi znacznego zagrożenia ekologicznego (Łuszczkiewicz, 2000).

Celem pracy było określenie możliwości zmniejszenia strat łupka miedzionośnego i miedzi w odpadach poflotacyjnych ze wzbogacania lubińskiej rudy miedzi.

## MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Materiałem do badań była próbka odpadów poflotacyjnych pobrana z bieżącej produkcji z Rejonu ZWR Lubin z ciągu I (ciąg łupkowo-węglanowy). Próbkę pobrano na początku listopada 2015, w postaci zawiesiny o objętości wynoszącej około 50 dm<sup>3</sup>.

W pierwszym etapie badań wykonano analizę składu ziarnowego pobranego materiału (tabela 4). Ustalono, że odpady ze wzbogacania lubińskiej rudy miedzi zawierają ponad 50% ziarn poniżej 0,071 mm. Na tej podstawie ustalono, że dalsze badania nad tym materiałem będą prowadzone w dwóch klasach ziarnowych: poniżej 0,071 mm oraz powyżej 0,071 mm.

Tabela 1.  
Skład ziarnowy odpadów z Rejonu ZWR Lubin

Klasa ziarnowa, mm	Wychód, %, %	Wychód kumulowany, Σγ, %
0,315 < powyżej	0,06	0,06
0,2 < 0,315	1,11	1,16
0,1 < 0,2	32,91	34,07
0,071 < 0,1	11,60	45,67
0,040 < 0,071	14,18	59,84
poniżej < 0,040	40,16	100,00
Nadawa	100,00	-

W kolejnym etapie odpady flotacyjne, rozdzielone na dwie klasy ziarnowe i wzbogacano flotacyjnie, w celu wydzielenia z nich frakcji łupkowej i miedzi. Flotacje prowadzono w 1,5 dm<sup>3</sup> komórce flotacyjnej maszynki mechanicznej typu Denver. Ustalono, że zagęszczenie części stałych w komórce będzie zbliżone do zagęszczenia nadawy na flotacje czyszczące w zakładzie przemysłowym Rejonu ZWR Lubin i będzie wynosiło około 230 g/dm<sup>3</sup>. Podczas flotacji regulowano obroty wirnika maszynki (900-1000 obr/min) oraz ilość zasysanego powietrza (40-60 dm<sup>3</sup>/godz.).

W sumie wykonano trzy serie eksperymentów. Pierwszą serię przeprowadzono wyłącznie z dodatkiem spieniacza, oraz dwóch kolejnych oprócz spieniacza użyto również zbieracza w postaci emulsji wodnej oleju napędowego. Zarówno w przypadku produktu dolnego przesiewania, jak i górnego, metodyka flotacji była zbliżona i polegała na kinetycznym rozflotowaniu odpadu ze zbieraniem koncentratów w określonych odstępach czasu.

Podczas flotacji jako spieniacza użyto przemysłowej mieszaniny Corflotu z Nasfrothem będących mieszaniną związków z grupy eterów alkilopoliglikoloetylenowych, natomiast jako zbieracz stosowano wodną emulsję oleju napędowego. Podczas flotacji spieniacz podawany był na czoło flotacji, natomiast zbieracz dawkowy był w dwóch porcjach: na czoło flotacji oraz po zakończeniu zbierania pierwszego koncentratu. Dawki odczynników użytych do flotacji zamieszczono w tabeli 2.

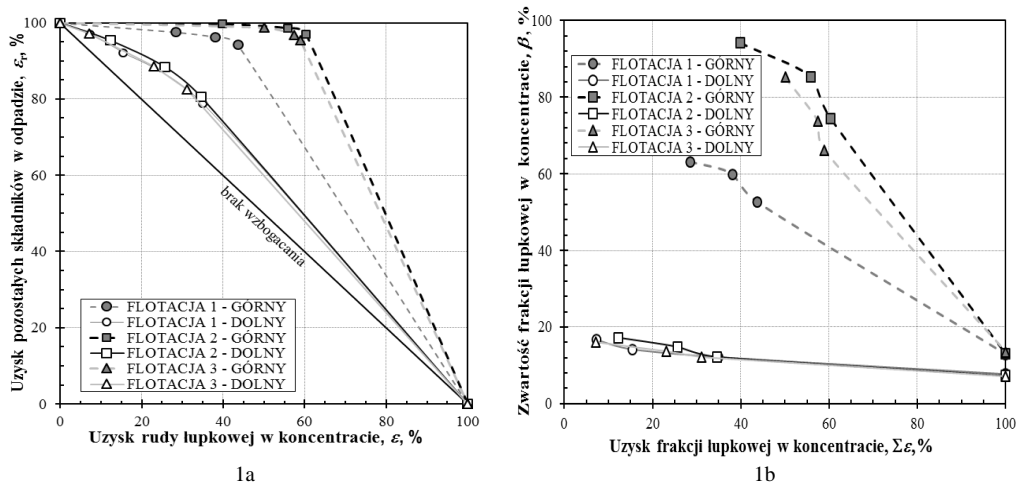
Tabela 2.  
Dawki odczynników dla poszczególnych eksperymentów flotacyjnych

Eksperyment	Zbieracz g/Mg olej napędowy	Spieniacz, g/Mg Corflot+Nasfroth
Flotacja 1 – produkt górny	-	30
Flotacja 1 – produkt dolny	-	40
Flotacja 2 – produkt górny	200	10
Flotacja 2 – produkt dolny	200	30
Flotacja 3 – produkt górny	400	30
Flotacja 3 – produkt dolny	400	30

Zawartości frakcji łupkowej w produktach flotacji odpadów z Rejonu ZWR Lubin oraz nadawie na te flotacje określono na podstawie analizy mikroskopowej przy użyciu mikroskopu Motic Images Plus 2.0. W pracy zamieszczono również wyniki analizy zawartości miedzi w otrzymanych produktach.

## WYNIKI BADAŃ

Na podstawie analizy krzywej wzbogacania Fuerstenau stwierdzono, że istnieją istotne różnice podczas wzbogacania łupka z odpadów poflotacyjnych w dwóch klasach ziarnowych. Łupek miedzionośny o uziarnieniu poniżej 0,071 mm charakteryzował się niską selektywnością wzbogacania, bez względu na to czy odpady były flotowane z dodatkiem odczynnika zbierającego czy bez. Krzywe wzbogacania na wykresie Fuerstenau są położone blisko linii braku wzbogacania (rys.1a).



Rysunek 1.  
Krzywe wzbogacania Fuerstenau i Halbicha dla frakcji łupkowej

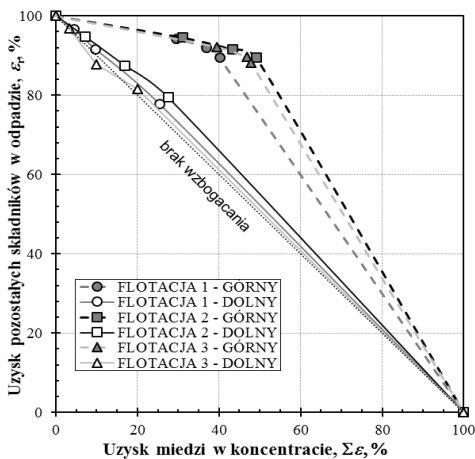
Inaczej przedstawia się sytuacja w przypadku produktu górnego przesiewania – klasy ziarnowej powyżej 0,071 mm. Flotacja łupka charakteryzowała się wysoką selektywnością. Na podstawie wykresu uzysk-uzysk ustalono, że dodatek zbieracza powodował polepszenie selektywności flotacji. Ustalono również, że przy niższej dawce zbieracza flotacja przebiegała lepiej, co może się wiązać z tym, że przy za wysokich dawkach oleju napędowego może

zachodzić wyniesienie mechaniczne ziarn kwarcu, a co za tym idzie obniżenie efektywności wzbogacania łupka.

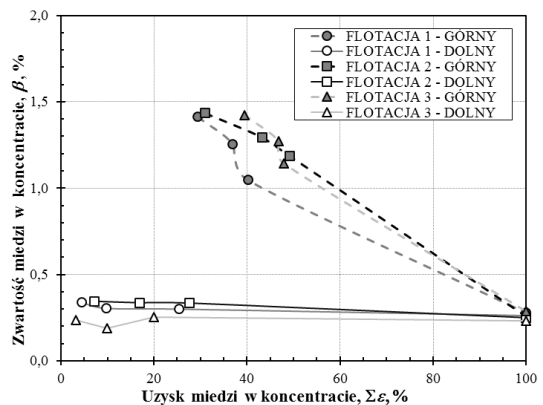
Koncentraty otrzymywane podczas flotacji produktu górnego przesiewania zawierały powyżej 60% łupka, przy jego uzysku w tych koncentraty wynoszącym około 60%. W przypadku flotacji produktu dolnego przesiewania stopień wzbogacenia był nieznaczny, koncentraty charakteryzowały się zawartościami łupka na poziomie nieznacznie wyższym od jego zawartości w nadawie.

Krzywe wzbogacania Fuerstenaua oraz Halbicha dla miedzi mają zbliżony układ do odpowiadających im wykresów wzbogacania dla frakcji łupkowej (rys. 2a-b.). Pozwala to stwierdzić, że obecność miedzi w odpadach poflotacyjnych jest tożsama z obecnością w nich łupka miedzionośnego. Dla klasy ziarnowej poniżej 0,071 mm flotacje charakteryzowały się bardzo niską selektywnością, a koncentraty miedziowe charakteryzowały się zawartością miedzi na poziomie zawartości miedzi nadawie do procesu – odpadzie flotacyjnym.

Z analizy laboratoryjnej krzywej Halbicha wynika, że możliwe jest odzyskanie z klasy ziarnowej powyżej 0,071 mm około 50% miedzi, zakładając, że koncentrat ze wzbogacania będzie miał zawartość zbliżoną do zawartości miedzi w nadawie do flotacji w Rejonie ZWR Lubin. Produkty dodatkowego doflotowania odpadów z przeróbki miedzi mogłyby być ponownie skierowane do procesu mielenia, a następnie po połączeniu z nadawą na flotację, ponownie poddane wzbogacaniu flotacyjnemu.



2a

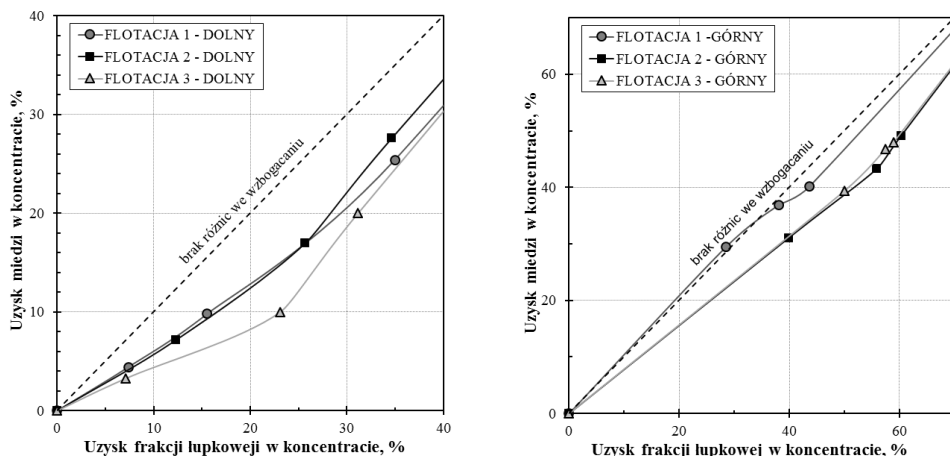


2b

Rysunek 2.  
Krzywe wzbogacania Fuerstenaua i Halbicha dla miedzi

Na rysunku 3. przedstawiono analizę porównawczą wzbogacania miedzi i frakcji łupkowej. W przypadku produktu górnego, selektywność łupka i miedzi są na zbliżonym poziomie, zwłaszcza w przypadku flotacji bezkolektorowej. Najprawdopodobniej oznacza to, że w przypadku lubińskich odpadów flotacyjnych, miedź jest związana z niedomieloną frakcją łupkową.

W przypadku klasy ziarnowej poniżej 0,071 mm występują większe różnice we wzajemnym wzbogacaniu miedzi i łupka, co można związać z lepszym uwolnieniem ziarn minerałów siarczkowych z rudy łupkowej dla tej klasy ziarnowej.



Rysunek 3.

Krzywe uzysk-uzysk dla produktu górnego i dolnego przesiewania przez sito 0,071 mm

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W pracy przeprowadzono serie eksperymentów flotacyjnych mających na celu określone możliwości odzysku części użytecznych z odpadów po wzbogacaniu lubińskiej rudy miedzi. Odpady flotowano w dwóch klasach ziarnowych, przyjmując średnice ziarna podziałowego 0,071 mm. Do flotacji jako spieniacza użyto przemysłowej mieszanki Corflotu oraz Nasfrothu, natomiast jako odczynnik zbierający użyto emulsji wodnej oleju napędowego. W produktach flotacji analizowano zawartość łupka miedzionośnego oraz zawartość miedzi.

W wyniku analizy bilansów wzbogacania i krzywych wzbogacania ustalono, że flotacje przeprowadzone dla frakcji o uziarnieniu powyżej 0,071 mm charakteryzowały się znacznie wyższą selektywnością wzbogacania niż dla odpadów o uziarnieniu poniżej 0,071 mm. Koncentraty końcowe dla flotacji produktu górnego przesiewania zawierały ponad 60% rudy łupkowej, z jej uzyskiem w tym koncentracie na poziomie wynoszącym 60%.

Koncentraty miedziowe powstałe w wyniku wzbogacania produktu dolnego przesiewania odpadów cechowały się niską zawartością miedzi na poziomie zawartości w nadawie użytej do wzbogacania.

W wyniku flotacji odpadów o uziarnieniu powyżej 0,071 mm ustalono, że możliwe jest odzyskanie około 50% miedzi w nich zawartych, z założeniem, że koncentrat końcowy osiągnie zawartość miedzi zbliżoną do zawartości miedzi w nadawach do flotacji głównej w Rejonie ZWR Lubin.

Zarówno dla miedzi jak i dla rudy łupkowej krzywe wzbogacania mają bardzo zbliżony układ, co potwierdza że zawartość rudy łupkowej w odpadach jest tożsama z zawartością w nich miedzi. Krzywe wzbogacania na wykresie Fuerstenaua dla flotacji odpadów o uziarnieniu poniżej 0,071 mm, znajdują się blisko linii braku wzbogacania, bez względu na warunki w jakich była prowadzona flotacja (dawki zastosowanego zbieracza). W przypadku flotacji górnych produktów przesiewania krzywe wzbogacania znajdują się blisko linii idealnego wzbogacania (wysoka selektywność flotacji).

Największą selektywnością cechowała się flotacja produktu górnego przesiewania, w której użyto 200 g/Mg zbieracza. Ustalono, że zwiększenie dawki emulsji oleju napędowego nie

wpływa pozytywnie na skuteczność flotacji. Użycie zbyt wysokiej ilości zbieracza powoduje wyniesienie mechaniczne kwarcu, które obniża efektywność flotacji.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że korzystne byłoby dla procesu technologicznego wprowadzenie do układu wzbogacania dodatkowej klasyfikacji odpadów z flotacji głównej, która miałaby za zadanie wydzielenie niedomielonej rudy łupkowej. Ponowna flotacja otrzymanego produktu klasyfikacji, po jego wcześniejszym domieleniu, pozwoliłaby na ograniczenie strat miedzi w odpadach ze wzbogacania rudy miedzi.

## PODZIĘKOWANIA

Praca powstała w oparciu o wyniki badań zawarte w pracy dyplomowej K. Stadnickiego pt. „Ocena możliwości wydzielania składników użytecznych z odpadów flotacyjnych z bieżącej produkcji KGHM”.

Autorzy dziękują dr A. Bakalarz za pomoc przy opracowywaniu publikacji.

## LITERATURA

- GROTOWSKI A., BANACH Z., PLUSKOTA B., 1996. *Stan i ewolucja procesów technologicznych oraz wyposażenia technicznego w zakładach wzbogacania rud*. W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Praca zbiorowa pod redakcją A. Piestrzyńskiego, KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR, Lubin, s. 649-730.
- PIESTRZYŃSKI A., 1996. *Okruszcowanie*. W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Praca zbiorowa pod redakcją A. Piestrzyńskiego, KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR, Lubin, 200-237.
- KONIECZNY A., GROTOWSKI A., ŁUSZCZKIEWICZ A., TRYBAŁSKI K., 2009. *Materiały Międzynarodowego Kongresu Górnictwa Rud Miedzi*, Lubin.
- KONSTANTYNOWICZ-ZIELIŃSKA J., 1990. *Petrografia i geneza łupków miedzionośnych monokliny przedsudeckiej*. Rudy i Metale Nieżelazne. 35, 5-6, 128-133.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 2000. *Koncepcje wykorzystania odpadów flotacyjnych z przeróbki rud miedzi w regionie legnicko-głogowskim*, Inżynieria Mineralna 1, 25-35.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., WIENIEWSKI A., 2006. *Kierunki rozwoju technologii wzbogacaniu rud w krajowym przemyśle miedzowym*. Górnictwo i Geoinżynieria, z. 3/1, 181-196.
- SPECZIK S., BACHOWSKI C., MIZERA A., GROTOWSKI A., 2003. *Stan aktualny i perspektywy gospodarki odpadami stałymi w KGHM Polska Miedź S.A.*, WARSZTATY 2003 z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”.