

Wpływ wielkości komory flotacyjnej na efektywność wzbogacania łupka miedzionośnego

Jakub Szpyra, Tomasz Ratajczak

Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: tomasz.ratajczak@pwr.edu.pl

Streszczenie

W pracy zbadano wpływ skali objętości zawiesiny flotacyjnej o stałym zagęszczeniu łupkiem miedzionośnym na wyniki jego flotacji. Przeprowadzone badania pozwoliły opisać kinetykę wychodów produktów oraz scharakteryzować powstającą pianę w procesach prowadzonych w komorach flotacyjnych 0,5, 1,0 oraz 2,5 dm³ w czasie 30 minut najpierw z samym spieniaczem (α -terpineol), a następnie również w obecności kolektora (ksantogenian etylowy potasu). Wykazano, że zwiększanie zastosowanej skali poprzez zmianę ilości nadawy flotacyjnej, powoduje spadek wychodów maksymalnych koncentratów oraz wzrost wysokości piany w zakresie $V = 0,5\text{--}1,0\text{ dm}^3$ i jej spadek dla zakresu $V = 1,0\text{--}2,5\text{ dm}^3$.

Wprowadzenie

Zadaniem każdego procesu przeróbczego surowców mineralnych jest pozyskiwanie z dostarczanego materiału jak największej ilości składników użytecznych. Rozwój górnictwa miedzi, a zatem wzrost wydobywania rud i zapotrzebowania światowych rynków na produkty miedziowe wymusza sukcesywne zwiększanie możliwości przerobowych zakładów wzbogacania. W tym zakresie głównym problemem jest poszukiwanie rozwiązań pozwalających na utrzymanie wysokiej jakości koncentratów oraz obniżenie strat metali obecnych w odpadach procesu wzbogacania przy jednoczesnym uniknięciu znaczącego zwiększania kosztów wykorzystania wydobytej rudy. Takie efekty uzyskuje się w dużej mierze dzięki modernizacji wyposażenia technicznego (Łuszczkiewicz, Wieniewski, 2006). Nowe rozwiązania obejmują m. in. wprowadzanie maszyn flotacyjnych o coraz większej pojemności komór dla przetwarzania odpowiednio większej ilości materiału. Wzrost skali objętości tych zbiorników stawia jednak nowe wyzwania w zakresie ich obsługi i przystosowania do wymogów produkcyjnych (Mesa, Brito-Parada, 2019).

Wzbogacanie rudy pozwala otrzymywać koncentrat o optymalnej na potrzeb hutnictwa zawartości miedzi, która powinna stanowić ok. 1/4 wsadu. Pominięcie tego procesu jest niemożliwe, gdyż złoża polskich rud miedzi zawierają średnio około 1,52% miedzi. Stosowana w KGHM O/ZWR technologia pozwala na radzenie sobie z problemami trudno wzbogacalnego charakteru przetwarzanej rudy. Wciąż modernizowane układy technologiczne umożliwiają efektywny, sięgający nawet do 90 proc., odzysk miedzi oraz srebra i innych pierwiastków z wydobytego urobku. Pozwala to również na utrzymywanie wysokiej zdolności przerobowej, która w trzech rejonach wynosi łącznie ok. 33 mln ton rudy rocznie, z czego powstają 2 mln ton 23-procentowego koncentratu (KGHM, 2019).

Flotacja pianowa jest jedną z najważniejszych i powszechnie stosowanych metod separacji drobnych minerałów od skały płonnej odbywająca się w specjalnych do niej komorach. Głównymi parametrami opisującymi skuteczność jej prowadzenia jest oczywiście zawartość skład-

ników użytecznych w koncentracji i odpadzie. Zwiększenie w ciągu ostatniego stulecia pojemności stosowanych zbiorników maszyn flotacyjnych skłania do badań dotyczących procesu prowadzonego dla odpowiednio coraz większych objętości zawiesin. Jak się okazuje wymuszona potrzebą wzrostu wydajności układów technologicznych budowa dużych flotowników może mieć wpływ na kinetykę przebiegu flotacji (Mesa, Brito-Parada, 2019).

Zmiana skali flotacji poprzez zwiększanie pojemności komór maszyn flotacyjnych, które zdolne są mieścić coraz większe ilości nadawy, powoduje różne zmiany w kinetyce pozyskiwania koncentratów i ilością odpadów. Wzrost objętości zawiesin, w których zachodzi proces, skłania branżę przeróbki miedzi do szczególnej obserwacji zachowania się całego układu w nowych warunkach. Problemy pojawiają się szczególnie w obszarze transportu ziarn mineralnych do poszczególnych produktów, co może mieć wpływ na wielkość ich wychodów. Dzieje się to przede wszystkim za sprawą wydłużenia drogi, którą muszą przebyć miedzionośne agregaty oraz zmiany charakteru zachodzących reakcji fizykochemicznych (Mesa, Brito-Parada 2019).

Celem każdej flotacji jest uzyskanie jak największej ilości koncentratu o wymaganej zawartości składników użytecznych przy jednoczesnym intensywnym zubożeniu odpadu. Rozwój w kierunku zwiększania zdolności przerobczych wymaga modernizowania układów roboczych urządzeń flotacyjnych, wprowadzania zmian w technologii oraz wyregulowania poszczególnych parametrów (Łuszczkiewicz, Wieniewski, 2006).

Badania pozwalające przyglądać się zmianom kinetyki wychodów produktów flotacji zależnie od zwiększenia objętości poddanej jej zawiesiny, można przeprowadzić w skali laboratoryjnej, przy zastosowaniu różnej wielkości celek, co zostało opisane w części eksperymentalnej tej pracy.

Celem pracy było zbadanie wpływu zwiększania w skali laboratoryjnej objętości zawiesiny flotacyjnej o stałym zagęszczeniu łupkiem miedzionośnym (B) na wyniki kinetyczne jego flotacji.

Metodyka badań

Badaniom poddano łupkę miedzionośną typu „B” z LGOM o zawartości 2,95% miedzi, i 7,2% węgla organicznego (Michalczyk, Drzymała, 2018). Korzystając z *Klasyfikacji łupków cechsztyńskich* (Drzymała i inni, 2017), stwierdzono, że jest to łupkę ilasto-dolomityczny, wysokowęglowy, niskomiedziowy. Zagęszczenie sporządzanych zawiesin flotacyjnych rudą łupkową przyjęto na poziomie 300 g rudy/dm³ mieszaniny.

Flotację łupka o uziarnieniu poniżej 0,1mm prowadzono w wodnym roztworze spieniacza (0,2% α -terpineolu) w ilości 100 g/Mg rudy oraz dodatkowo w obecności zbieracza (0,3% ksantogianu etylo-potasowego) o dawce 150 g/Mg rudy. Zagęszczenia mieszaniny flotacyjnej wynosiło 300 g/dm³. Flotacje prowadzono w czasie 30 minut, przy stałym przepływie powietrza (50 dm³/h) oraz stałej prędkości obrotów wirnika (2000 obr/min). Do badań zastosowano maszynki flotacyjne typu Mechanobr, z celkami o objętości odpowiednio 0,5, 1,0 dm³ oraz flotownik typu Denver z komorą flotacyjną 2,5 dm³.

Do przygotowania każdego roztworu wykorzystywano wodę destylowaną. Po wstępnym ręcznym zwilżeniu rudy w celce, załączano napęd wirnika i mieszano ją jeszcze mechanicznie przez 3 min bez odczynnika i kolejne 3 minuty po jego dodaniu. Następnie otwierano zawór powietrza i od tego momentu zaczęto zbieranie pierwszego produktu. Poziom nadawy w komorze utrzymywano poprzez dolewanie wcześniej przygotowanego wodnego roztworu spieniacza, tak by utrzymywać przez cały przebieg procesu jego stałe stężenie w mieszaninie. Pro-

dukt pianowy zbierany był do szklanych naczyń za każdym razem ręcznie za pomocą małego zgarniaka. Obserwowano wpływ upływającego czasu na hydrodynamikę układu oraz jakość, kolor i stabilność powstającej piany. Na koniec każdego interwału czasowego dokonywano za pomocą linijki pomiaru jej wysokości.

Pozyskane produkty każdej flotacji, w skład których wchodziło niezmiennie 5 koncentratów oraz odpad przepłukiwano wodą destylowaną za pomocą lejka Büchnera. Przepłukane koncentraty i odpady umieszczono w suszarce, w temperaturze 110°C na 24 h. Po tym czasie, wysuszone produkty zważono i określono ich wychody, których znajomość pozwalała ocenić ich zmiany w stosunku do zwiększania objętości zawiesiny flotacyjnej.

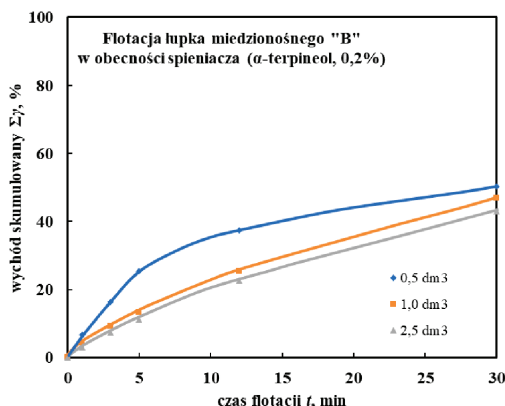
Analogicznie do poprzednich doświadczeń przebiegała druga część flotacyjnych badań – w obecności kolektora i spieniacza. Jego odpowiednia ilość dla każdej celki była dodawana po mechanicznym mieszaniu rudy z wodą destylowaną, a czas rozprzodzenia po mieszaninie podobnie jak odczynnika pianotwórczego wynosił 3 minuty.

Dokładniejszy opis prac przygotowawczych dla badanych próbek łupka miedzionośnego oraz metodyki badawczej można znaleźć w pracy dyplomowej Szpyry (2019).

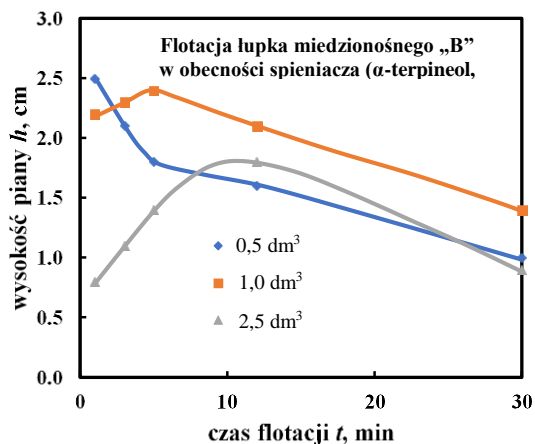
Wyniki i dyskusja badań

a) Wyniki flotacji rudy łupka miedzionośnego w obecności roztworu spieniacza

Na rysunku 1 przedstawiono kinetykę flotacji łupka miedzionośnego w obecności spieniacza. Najlepszym wynikiem w stosunku do objętości wzbogacanej nadawy charakteryzuje się proces, który przeprowadzony został w najmniejszej skali, czyli w celce o pojemności 0,5 dm³, gdzie łączny wychód koncentratu wynosił 50,20%. Najbardziej dynamiczny wzrost wychodów nastąpił w pierwszych 5 minutach flotowania osiągając pułap 25,47%, czyli prawie połowę całej uzyskanej ilości koncentratu. W większych celkach (1,0 dm³, 2,5 dm³) wzrost jego wychodu wykazywał bardziej liniowy charakter w stosunku do czasu. Oznacza to, że wartości procentowe wychodu skumulowanego dopiero w połowie czasu flotacji były bliższe połowy wychodu łącznego. Najmniejszą ilość koncentratu w stosunku do ilości nadawy łupka „B” uzyskano z największej celki (2,5 dm³), gdzie prawie 57% materiału pozostało w odpadzie.



Rys. 1. Kinetyka flotacji łupka B w obecności spieniacza

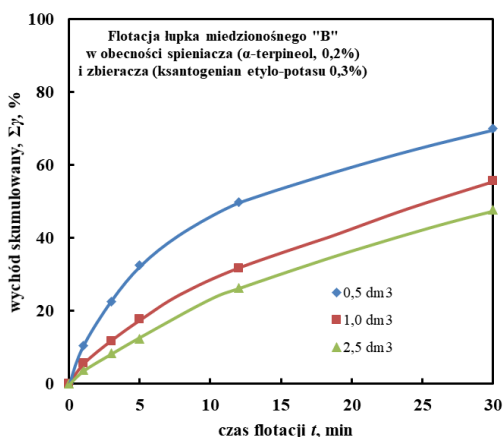


Rys. 2. Zależność wysokości piany od czasu flotacji łupka B w obecności spieniacza

Wysokość piany w każdym interwale czasu zbierania koncentratów z poszczególnych celek podczas flotacji bezkolektorowej charakteryzowała zdolność wynoszenia ziarn mineralnych do produktu górnego i jego utrzymywanie na powierzchni pulpy w danym momencie procesu. W celce najmniejszej najbardziej obfita piana tworzyła się w pierwszych minutach flotacji i ubożała wraz z upływem czasu. Na powierzchni zawiesiny wzbogacanej w komorze 1,0 dm³ najwyższy poziom piany zmierzono po 5 minutach badania, natomiast w największej skali najlepsza piana wytworzyła się dopiero po 12 minutach osiągając niższy pułap od tej powstałej w mniejszych celkach (rys. 2).

b) Wyniki flotacji rudy łupka miedzionośnego w obecności spieniacza i kolektora

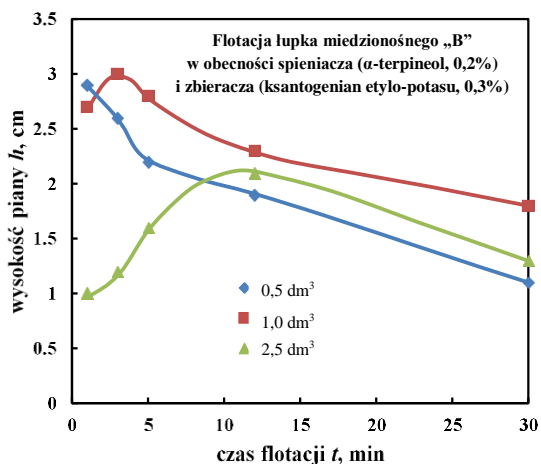
Na wykresie (rys. 3) przedstawiono zależność wychodu koncentratu flotacji w obecności spieniacza oraz kolektora od czasu. Kinetyczne linie wychodów przebiegają w bardzo zbliżony sposób jak w przypadku badań z samym odczynnikiem pianotwórczym (rys. 1). Podobnie jak



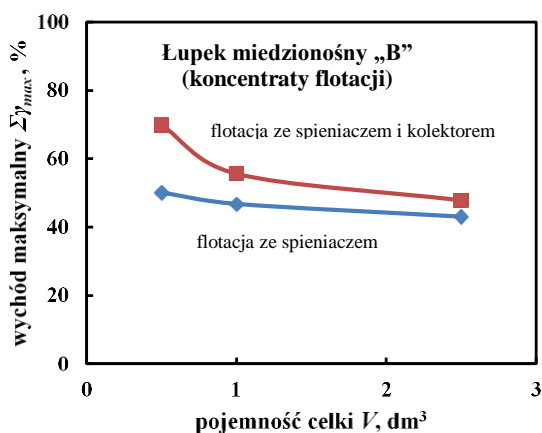
Rys. 3. Kinetyka flotacji łupka B w obecności spieniacza i kolektora

w pierwszej części doświadczeń najszybszy wzrost skumulowanego wychodu koncentratu w stosunku do czasu osiągano podczas flotacji w najmniejszej skali. Parametr ten łągodniał wraz ze wzrostem objętości flotowanej zawiesiny. Najważniejszą różnicą po dodaniu zbieracza był ogólny wzrost wartości wychodów koncentratów zarówno tych cząstkowych jak i łącznych, co zarazem wpłynęło na zmniejszenie ilości odpadów.

W przypadku badań z użyciem zbieracza trend momentu powstawania najbardziej rozbudowanej materii piany został zachowany dla flotacji w kolejnych celkach i analogicznie do badań bezkolektorowych w najmniejszej skali najwyższy poziom zgromadzonych pęcherzyków występował na początku procesu, a wraz ze zwiększaniem objętości zawiesiny moment ten przesuwał się w czasie. Odnotowano natomiast wzrost wartości praktycznie wszystkich pomiarów w stosunku flotacji z samym spieniaczem (rys. 4).

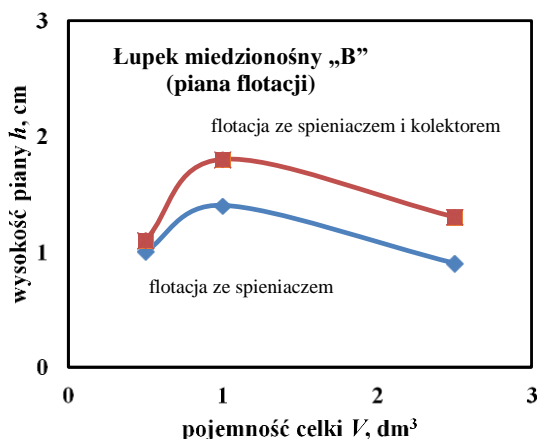


Rys. 4. Zależność wysokości piany od czasu flotacji łupka (B) w różnych pojemnościach celki ze spieniaczem i kolektorem



Rys. 5. Porównanie maksymalnych wychodów koncentratów w zależności od rodzaju flotacji łupka B i zastosowanej celki

Zestawiając badania flotacji łupka B w obecności samego spieniacza oraz w układzie ze spieniaczem i kolektorem (rys. 5) oraz pomiary wysokości piany po 30 minutach prowadzenia doświadczeń (rys. 6), można zauważyć odpowiednio, że wychody maksymalne koncentratów zebranych z każdej celki i poziom pęcherzyków na powierzchni pulpy wzrosły po dodaniu do zawiesiny zbieracza, co potwierdza spełnienie przez niego swojej funkcji.



Rys. 6. Porównanie wysokości piany w poszczególnych celkach po 30 min flotacji łupka B w obecności spieniacza oraz spieniacza i kolektora

Podsumowanie

W pracy zbadano wpływ skali objętości zawiesiny rudy łupka miedzionośnego sporządzonej z wodą destylowaną w obecności samego spieniacza oraz po dodaniu kolektora na wyniki kinetyki wychodów produktów flotacji. Wzrost tej skali wyznaczały dobrane do doświadczeń pojemności celek flotacyjnych – 0,5, 1,0 oraz 2,5 dm^3 , przy użyciu których wykonano badania na mechanicznych maszynkach flotacyjnych typu Mechanobr oraz Denver.

Zbrane i porównane wyniki pozwoliły zauważyć zmiany w kinetyce flotacji łupka miedzionośnego „B” wraz ze wzrostem wspomnianej skali (rys. 1 i 3). Zwiększanie objętości mieszaniny flotacyjnej przy utrzymywaniu pozostałych parametrów na stałym poziomie powodowało coraz trudniejsze przedostawanie się użytecznych ziarn mineralnych do koncentratu zarówno podczas flotacji bez i z kolektorem. Taki stan rzeczy tłumaczyć można zwiększaniem długości drogi transportu powstałych agregatów pęcherzyk powietrza – ziarno do produktu koncentratowego w wyniku zmiany komory flotacyjnej na większą. Dodanie zbieracza zwiększyło co prawda wychody żądanego produktu, ale nie wpłynęło znacząco na ogólny charakter działania skali (rys. 5).

O przebiegu flotacji dużo cennych informacji uzyskano z obserwacji budowy i struktury piany powstającej na powierzchni pulpy. W badaniach wykazano, że wraz ze wzrostem pojemności celek w zakresie $V = 0,5\text{--}1,0 \text{ dm}^3$ piana się rozbudowuje, a ubożeje w przedziale $V = 1,0\text{--}2,5 \text{ dm}^3$ zarówno podczas flotacji bezkolektorowej, jak i z dodatkiem zbieracza (rys. 6). Jej charakter ma związek z dynamiką pozyskiwania produktów i ich wychodami. Kiedy staje się ona najbardziej obfita, układ ma szansę zebrać największe ilości użytecznego materiału.

W przemysłowym wzbogacaniu rud miedzi, w celu unikania strat użytecznego materiału na rzecz odpadu, zwiększanie możliwości przerobowych zakładów wzbogacania rud poprzez budowę bardziej pojemnych komór flotacyjnych powinno zapewniać utrzymanie wyników procesu na dobrym poziomie. Pomagają w tym obserwacje jego kinetyki w zmieniających się warunkach, co pozwala we właściwy sposób dostosować pozostałe parametry flotacji w taki sposób, aby jak najlepiej wykorzystać cenne zasoby.

Literatura

- DRZYMAŁA J., KARWOWSKI P., BOROWSKI K., PAŹIK P., KOWALCZUK P., 2017. *Próba klasyfikacji łupków Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedzionego na podstawie zawartości węglanów, minerałów ilastych, węgla organicznego oraz miedzi*. W: *Łupek miedzionośny III*, J. Drzymała, P.B. Kowalczuk (red.), WGGG PWr, Wrocław.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., WIENIEWSKI A., 2006. *Kierunki rozwoju technologii wzbogacania rud w krajowym przemyśle miedzionym*, *Górnictwo i Geoinżynieria*, R. 30, z. 3/1.
- KGHM, <https://kghm.com/pl/biznes/procesy/wzbogacanie-rud> (data dostępu: 04.06.2019).
- MESA D., BRITO-PARADA P.R., 2019. *Scale-up in froth flotation: A state-of-the-art review*, London.
- MICHALCZUK R., DRZYMAŁA J., 2018. *Flotacja próżniowa łupka miedzionośnego*. W: *Łupek miedzionośny IV*, T. Ratajczak, J. Drzymała (red.), WGGG PWr, Wrocław.
- SZPYRA J., 2019. *Wpływ skali na wyniki flotacji łupka miedzionośnego*, praca dyplomowa, niepublikowana, WGGG PWr.