

# Flotacja próżniowa łupka miedzionośnego

Rafał Michalczyk, Jan Drzymała

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

---

## Streszczenie

Badano flotację łupka miedzionośnego metodą próżniową. Pomiar przeprowadzono w dwóch zestawach aparaturowych: jeden wykorzystywał flotownik Hallimonda a drugi cylinder miarowy. Dla celów porównawczych flotacji próżniowej poddano również grafit i piryt. W wyniku badań stwierdzono słabą flotację w wodzie destylowanej łupka miedzionośnego oraz pirytu oraz dobrą flotację grafitu. Flotacja łupka w obecności spieniacza również była nieznaczna.

---

## Wprowadzenie

Flotacja to metoda separacji z udziałem pęcherzyków powietrza, w której wykorzystuje różnice w zwilżalności rozdrobnionych ziarn. Istnieją różne sposoby wytwarzania pęcherzyków. Jednym z nich jest uzyskiwanie pęcherzyków powietrza wskutek zmniejszenia ciśnienia w roztworze wodnym flotacji, co powoduje uwalnianie się rozpuszczonego w wodzie powietrza. Taką flotację nazywa się próżniową (Drzymała, 2009). Podobnym procesem jest flotacja ciśnieniowa, która wykorzystuje zmianę ciśnienia w celu utworzenia pęcherzyków gazu. W przeciwieństwie do metody próżniowej, flotacja ciśnieniowa zachodzi pod ciśnieniem atmosferycznym poprzez wprowadzenie nasyconej gazem mieszaniny trójfazowej do zbiornika flotacyjnego z saturatora, w którym panuje zwiększone względem atmosferycznego ciśnienie. W ten sposób również uzyskuje się zmniejszenie ciśnienia, co powoduje uwolnienie się pęcherzyków gazu. Metoda ta jest stosowana w oczyszczalniach wód (Kulesza i Ozimiński, 1997).

Celem niniejszej pracy było sprawdzenie czy słabo hydrofobowy miedzionośny łupek węglowy pochodzący z LGOM ulega flotacji próżniowej. Dla celów porównawczych do flotacji próżniowej użyto także grafit oraz piryt.

## Cześć eksperymentalna

### Materialy

Do badań użyto miedzionośny łupek węglowy o symbolu roboczym B. Zawierał on 2.95% Cu, 7.2% C<sub>org</sub>, 15,1% CO<sub>2</sub>. W świetle przybliżonej klasyfikacji łupków (Drzymała i inni, 2017) był to łupek ilasto-dolomityczny niskomiedziowy wysokowęglowy. Badany łupek miedzionośny (rys. 1), pochodził z Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego.

Łupek miedzionośny kruszono za pomocą laboratoryjnej kruszarki szczękowej LAB-01-65, po uprzednim rozbiciu większych bryłek łupka przy użyciu młotka i kowadełka. Kruszeniu poddano około 2 kg łupka. Otrzymane w procesie kruszenia frakcje łupka miedzionośnego poddano rozdrabnianiu u w dezintegratorze krzyżakowo-bijakowym i przesiewaniu przez sito 0,1 mm w celu osiągnięcia uziarnienia poniżej tego wymiaru.



Rys. 1. Badany lupek miedzionośny

Rozdrabnianie pirytu wykonano ręcznie, z użyciem młotka i kowadełka oraz moździerca ceramicznego, ze względu na niewielką ilość potrzebną do badań. Masa początkowa pirytu poddanego rozdrabnianiu wynosiła 55 g. Próbkę do badań miała wymiar ziarn poniżej 0,1 mm.

W przypadku grafitu materiał wyjściowy był już rozdrobniony. Poddano go przesiewaniu przez sito 0,1 mm. Grafit odsiewano do momentu uzyskania próbki o masie 15 g.

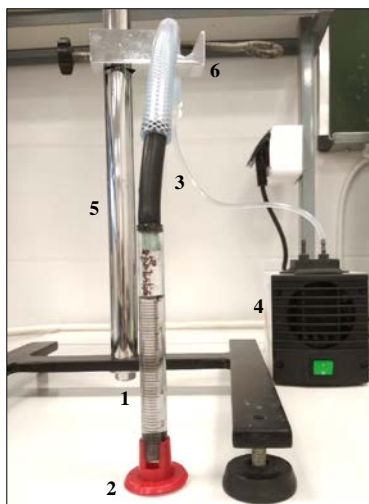
### Metodyka badań

Badania przeprowadzono w dwóch różnych zestawach pomiarowych własnej konstrukcji. Pierwsza z nich to modyfikacja flotownika Hallimonda, co pokazano na rys.1. Zestaw składał się z uszczelnionego flotownika Hallimonda, spełniającego rolę izolowanego zbiornika flotacyjnego, który był podłączony do pompki próżniowej. Uszczelnienie zrealizowano poprzez zatkanie korkami otworu, który służy do doprowadzania powietrza do zbiornika flotownika oraz otworu zbiornika. Główny otwór flotownika został zabezpieczony korkiem, przez który, za pomocą węża połączonego z pompką, wysysane było powietrze. Dodatkowo nałożono na flotownik gumową nakładkę zabezpieczającą go przed uszkodzeniem wskutek rozpierania przez klinujący się korek. Flotownik umieszczono w chwytaku, który zamontowano na stojaku.



Rys. 2. Aparatura do flotacji próżniowej wykorzystująca flotownik Hallimonda

Zestaw drugi wykorzystywał jako zbiornik flotacji cylinder miarowy z podziałką o objętości  $10 \text{ cm}^3$ . Został on uszczelniony za pomocy węża gumowego szczelnie wsuniętego do otworu cylindra. Podciśnienie było wytwarzane przy użyciu pompki próżniowej. Podziałka umożliwiła pomiar objętości flotowanej próbki w czasie i określenie jej ubytku. Aparatura została przedstawiona na rysunku 3.



Rys. 3. Aparatura wykorzystująca jako zbiornik flotacji cylinder miarowy, 1 – cylinder miarowy, 2 – podstawa cylindra, 3 – wąż łączący pompkę próżniową z cylindrem, 4 – pompka próżniowa, 5 – stojak, 6 – chwytak podtrzymujący wąż

Metoda z użyciem cylindra miarowego nie pozwoliła na dokładne badania ze względu na pomiar objętości mieszaniny trójfazowej jaką była pulpa flotacyjna na dnie cylindra. Dodatkowo brak odbioru piany powodował zawracanie pewnej części ziarn i ponowną ich flotację. Sama podziałka również nie pozwalała na precyzyjny odczyt, gdyż jej dokładność wynosiła  $\pm 0,1 \text{ cm}^3$ . Ta metoda odczytu pozwala jednak na przybliżone określenie wychodów w czasie i porównanie ze sobą przeprowadzonych doświadczeń. Masę próbki dobierano tak, aby jej objętość po wymieszaniu i osadzeniu na dnie cylindra wynosiła ponad  $1,4 \text{ cm}^3$ , ale nie przekraczała  $3 \text{ cm}^3$ . W przypadku łupka miedzionośnego, wykorzystywano próbki o masie około 1 g na flotację, grafitu 0,5 g, natomiast pirytu 3,0 g. Flotację prowadzono przez 16 minut, rejestrując wychody objętościowe w czasie 1, 2, 4, 8 i 16 minut oraz dodatkowo maksymalną objętość osiąganą przez próbkę i czasu jej osiągnięcia. Pomiar maksymalnej objętości potraktowany został jako objętość wyjściowa do późniejszych obliczeń, ponieważ pierwszą fazą flotacji był wzrost objętości mieszaniny, a następnie wynoszenie jej ziarn.

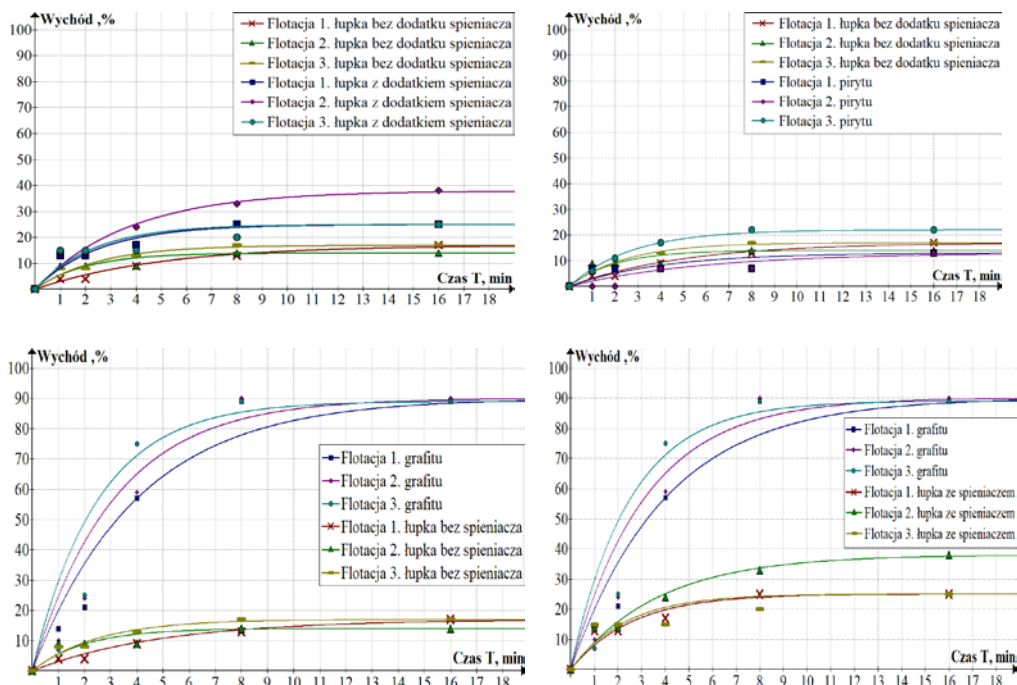
## Wyniki badań i ich dyskusja

Flotacje próżniowe aparaturą wykorzystującą flotownik Hallimonda zostały wykonane dla próbek łupka miedzionośnego i pirytu oraz grafitu w obecności samej wody, a także dla próbek łupka z dodatkiem speniacza. Jako speniacz użyto  $\alpha$ -terpineol w ilości 150 g/Mg (dodawano

roztwór  $\alpha$ -terpineolu z wodą destylowaną o stężeniu 0,1% w ilości 0,15 cm<sup>3</sup> na flotację). Dla każdej próbki wykonano po jednej flotacji zgodnie z metodyką.

Aparaturą z cylindrem miarowym wykonano po trzy flotacje dla próbek łupka miedzionośnego, grafitu i pirytu w samej wodzie destylowanej oraz trzy flotacje łupka w obecności spiniacza. Również użyto  $\alpha$ -terpineolu jako spiniacza, w takiej samej ilości jak w przypadku aparatury z flotownikiem Hallimonda, czyli 0,15 cm<sup>3</sup> roztworu o stężeniu 0,1%.

Wychody ziarn badanych substancji od czasu flotacji zostały zamieszczone na rys. 4.



Rys. 4. Zależności wychodu od czasu we flotacji próznicowej w cylindrze miarowym łupka, pirytu i grafitu w czystej wodzie. Dla łupka dodatkowo prowadzono flotacje w obecności  $\alpha$ -terpineolu

Dla obu metod stwierdzono, że flotacja łupka miedzionośnego bez dodatku  $\alpha$ -terpineolu jako spiniacza przebiegała słabo. Przeprowadzone doświadczenia w aparaturze z cylindrem miarowym pokazały, że po 16 minutach wychody procentowe wynosiły 14-17 %. Dodatek spiniacza w ilości 0,15 cm<sup>3</sup> roztworu o stężeniu 0,1% poprawił flotację. Wychody procentowe produktu wzrosły do 25-38 % po 16 minutach flotacji. Wciąż jednak proces ten przebiegał słabo. Obserwacje te potwierdziły badania w aparaturze wykorzystującej flotownik Hallimonda. Flotacja bez obecności spiniacza również przebiegała słabo, a ilość tworzących się pęcherzyków powietrza była duża i były one zauważalnie różnej wielkości. W przypadku większych pęcherzyków, tworzyły one agregaty powietrze-ziarno, jednak ich ilość była stosunkowo mała. Dodatek spiniacza pozwolił na bardziej jednorodnie uwalnianych się pęcherzyków, co pozytywnie wpłynęło na proces, jednak nie polepszyło go w dużym stopniu. Zauważalny był wzrost udziału agregatów ziarno-pęcherzyk w procesie flotacji. Sam proces przebiegł szybciej i bardziej burzliwie. Z upływem czasu flotacji drastycznie malała liczba

uwalnianych pęcherzyków. Po około 16 minutach flotacji ich uwalnianie prawie zanikło. Spowodowane to było brakiem gazu, który mógł się jeszcze uwolnić z mieszaniny flotacyjnej przy wytworzonym podciśnieniu.

Obie metody pokazały, że łupek miedzionośnego nie flotuje metodą próżniową. W przypadku obu zestawów pomiarowych, procesy flotacji były słabe, dodatek speniacza pozytywnie wpłynął na proces, aczkolwiek w małym stopniu. Również flotacja pirytu była słaba.

Flotację grafitu przeprowadzono bez dodawania speniacza, w celu porównania wychodów flotacji z wychodami flotacji próżniowej łupka oraz pirytu. Grafit potraktowano jako minerał wzorcowy, który flotuje bardzo dobrze. Jak można zobaczyć na wykresach, grafit, jako minerał silnie hydrofobowy, flotował bardzo dobrze, nawet bez obecności speniacza. Wychód flotacji po czasie 16 minut wynosił blisko 90%. Wyniki flotacji próżniowej grafitu świadczą więc o poprawności użytej metody badań.

## Wnioski

W porównaniu do flotacji próżniowej w wodzie grafitu, flotacja łupka miedzionośnego oraz pirytu przebiegały słabo. Flotacja łupka ze speniaczem również była słaba w stosunku do grafitu. Wychody różniły się o ponad 50 punktów procentowych, co jest bardzo dużą różnicą. Oznacza to, że flotacja próżniowa niezbyt nadaje się flotacji łupka z rudy.

## Podziękowania

Niniejszy artykuł oparty jest na pracy inżynierskiej Rafała Michalczuka *Flotacja próżniowa łupka miedzionośnego* (opiekun Jan Drzymała) wykonanej w roku 2017 na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej. Przygotowanie tego artykułu sfinansowane zostało z grantu statutowego 0401/0129/17.

## Literatura

- DRZYMAŁA J., 2009, *Podstawy mineralurgii*, Oficyna Wydawcza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
- DRZYMAŁA, J., KARWOWSKI, P., BOROWSKI, K., PĄZIK, P.M, KOWALCZUK, P.B., 2017. *Próba klasyfikacji łupków Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego na podstawie zawartości węglanów, minerałów ilastych, węgla organicznego oraz miedzi*, w: Lupek miedzionośny III, Kowalczyk P.B., Drzymała J. (eds), WGGG PWr, Wrocław, 52-58
- KULESZA M., OZIMIŃSKI, K., 1997, *Uzdatnianie wody w procesie flotacji ciśnieniowej na stacji pilotowej Wodociągu Północnego*. W: Ochrona Środowiska, nr 4/1997, Wrocław;