

# Flotacja łupka miedzionośnego w obecności kwasu cytrynowego

Jarosław Stremecki, 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 kwasu cytrynowego na flotację łupka miedzionośnego. Flotacje były prowadzone w obecności samego spieniacza ( $\alpha$ -terpineolu) oraz w mieszaninie spieniacza i kwasu cytrynowego. Dodatkowo, badano wysokość piany flotacyjnej dla przyjętych układów flotacji łupka. W wyniku przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono, że kwas cytrynowy działa depresująco na flotację łupka miedzionośnego.

---

## Wprowadzenie

Łupek miedzionośny, będący mieszaniną minerałów miedzionośnych, ilastych, węglanowych i innych (Konopacka i Zagożdżon, 2014), flotuje w obecności samych spieniaczy (Cichański, Drzymała, 2014; Drzymała, 2014; Więcewicz, Drzymała, 2016; Nowak i Drzymała, 2017; Ratajczak, 2017), natomiast w obecności depresorów zauważono spadek ich wychodów (Nowak, Drzymała, 2017). Do tej pory, kwas cytrynowy nie był stosowany do flotacji łupka miedzionośnego. Jako odczynnik depresujący był wykorzystywany przy flotacji rudy barytu (Pradel, 1999).

Celem pracy było zbadanie flotacji łupka miedzionośnego B w obecności kwasu cytrynowego oraz spieniacza.

## Metodyka badań

Przedmiotem badań był łupek miedzionośny B (Drzymała i inni, 2017), pozyskany z zasobów Laboratorium Przeróbki Kopaliny WGGG PWR, pochodzący z Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego, o zawartości miedzi 2,95% oraz węgla organicznego 7,25% (Chociaj, Ratajczak, 2018).

Flotację łupka prowadzono w maszynie flotacyjnej „Mechanobr”, w celce flotacyjnej o pojemności 0,3 dm<sup>3</sup>. Nadawę stanowił łupek o uziarnieniu poniżej 0,1 mm i masie 30 g. Przed flotacją, przy zamkniętym przepływie powietrza, zawiesinę łupka z wodą destylowaną mieszało mechanicznie w celce flotacyjnej, przez 3 minuty. Następnie, do zawiesiny podano odpowiednią ilość kwasu cytrynowego C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>·H<sub>2</sub>O (0,5; 1; 3; 5 g) i mieszało przez kolejne 3 minuty (jeżeli w badaniu nie stosowano kwasu cytrynowego, pomijano tę część przygotowania). Następnie, dodawano roztwór 1% spieniacza ( $\alpha$ -terpineolu) w ilości odpowiednio 150 i 300 g/Mg i mieszało przygotowaną mieszaninę o dodatkową minutę.

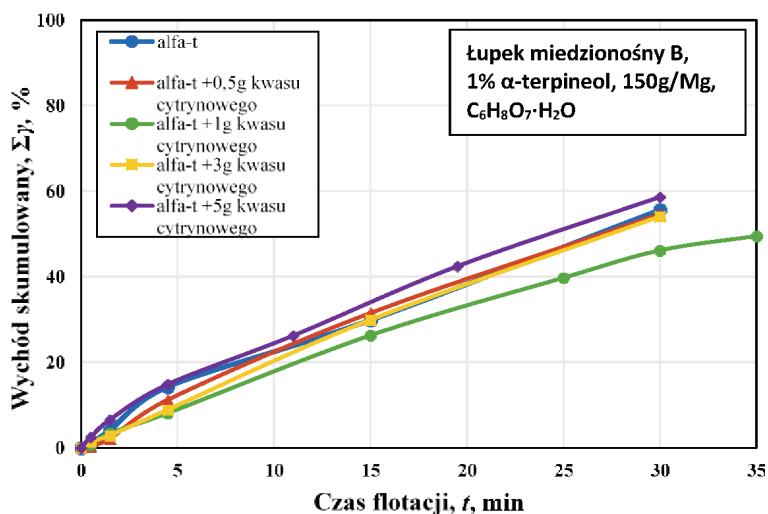
Badania flotacyjne prowadzono w czasie 35 minut, przy kontrolowanym przepływie powietrza, na poziomie 4,5–5,0 dm<sup>3</sup>/h. Przy zmianie naczyń odbierających produkty, przeprowadzano pomiar wysokości piany. W czasie flotacji, zawiesinę uzupełniano roztworem spieniacza. Otrzymane produkty flotacji, przepłukano wodą destylowaną na lejku Büchnera, suszono

przez 24 h w temperaturze 105°C, a następnie je zważono, w celu określenia ich wychodów. Prace przygotowawcze łupka do badań oraz dokładniejszą metodykę flotacji zawarto w pracy Stremieckiego (2020).

## Wyniki i dyskusja badań

### a) Wpływ kwasu cytrynowego i spieniacza na wychody flotacji łupka B

Na rysunku 1 pokazano wyniki flotacji łupka miedzionośnego B w obecności 1%  $\alpha$ -terpineolu o dawce 150 g/Mg. Krzywa przedstawiająca flotację łupka z dodatkiem 1 g kwasu cytrynowego, zawiera jeden produkt więcej, dla 35 min badania. Pobrano go dla lepszego zobrazowania końcowego etapu flotacji. Kolejne flotacje wykonano już według tego schematu. Z rysunku 1 wynika, że kwas cytrynowy w większości dawek przyjmował rolę depresatora, pogarszając wyniki poszczególnych wychodów produktów, w porównaniu do prowadzonej flotacji w samym spieniaczu. Wyjątkiem jest flotacja łupka w obecności 5 g kwasu cytrynowego i spieniacza, dla której obserwuje się nieznaczny wzrost wychodów flotacji.

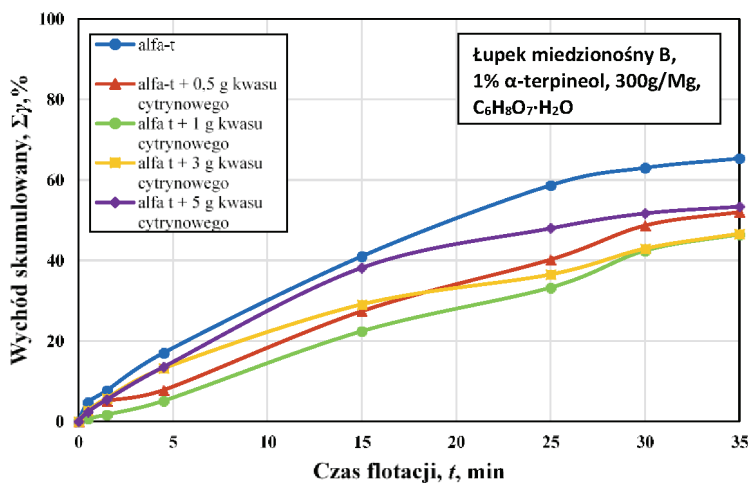


Rys. 1. Flotacja łupka miedzionośnego typ B w obecności spieniacza 150 g/Mg i kwasu cytrynowego

Z rysunku 2, będącym porównaniem wszystkich flotacji łupka przeprowadzonych w obecności spieniacza o dawce 300 g/Mg wynika, że po dodaniu większej ilości  $\alpha$ -terpineolu, wzrosły wychody poszczególnych produktów w przypadku samego spieniacza, natomiast zmniejszyły się po dodaniu kwasu cytrynowego, w stosunku do jego mniejszej dawki. Zauważono, że w przypadku tej dawki spieniacza, kwas cytrynowy ma większy wpływ na flotację. Widać to szczególnie po wychodach, w przypadku dodania do spieniacza 5 g kwasu.

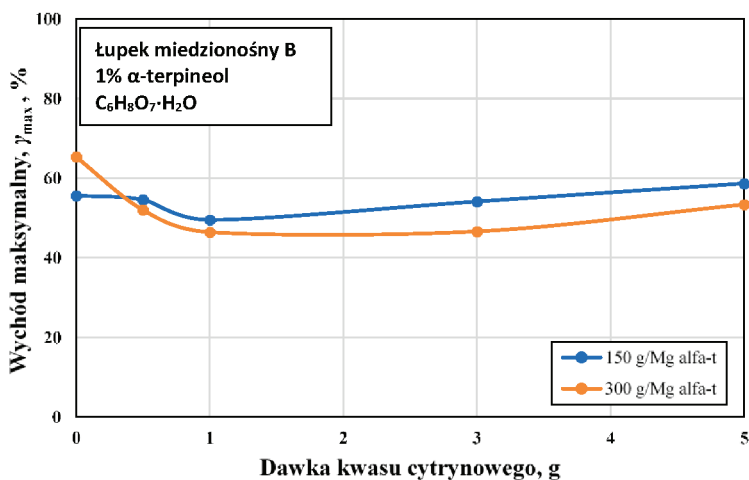
Na podstawie rys. 1 i 2 sporządzono wykres zależności maksymalnych wychodów skumulowanych poszczególnych produktów, od dawki kwasu cytrynowego (rys. 3). Z rysunku 3 wynika, że większa dawka roztworu spieniacza we flotacji bez kwasu cytrynowego powoduje wzrost wychodu maksymalnego. Po dodaniu pierwszej dawki (0,5 g) kwasu cytrynowego, w obydwu przypadkach, zauważono spadek wychodów maksymalnych produktów. Największe

właściwości depresyjne można zauważyć w pierwszych dwóch dawkach kwasu cytrynowego (0,5 g; 1 g).



Rys. 2. Flotacja łupka miedzionośnego typu B w obecności spieniacza 300 g/Mg i kwasu cytrynowego

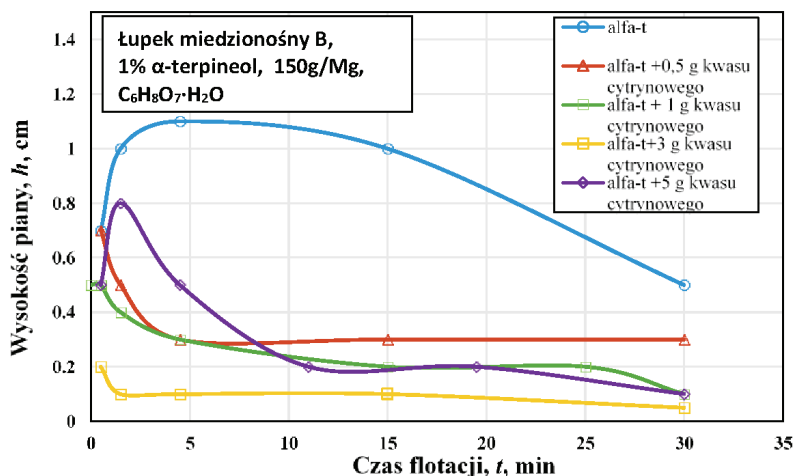
W momencie, gdy dodawano go co raz więcej właściwości depresyjne w wychodach flotacji łupka zmniejszały się, a poszczególne produkty osiągały wychody maksymalne zbliżone do wychodów łupka, podczas flotacji w samym spieniaczu. Wykres ukazuje również różnicę pomiędzy działaniem kwasu cytrynowego podczas flotacji w różnych dawkach spieniacza. Wyższe właściwości depresyjne uzyskane zostały, podczas flotacji w jego większym stężeniu.



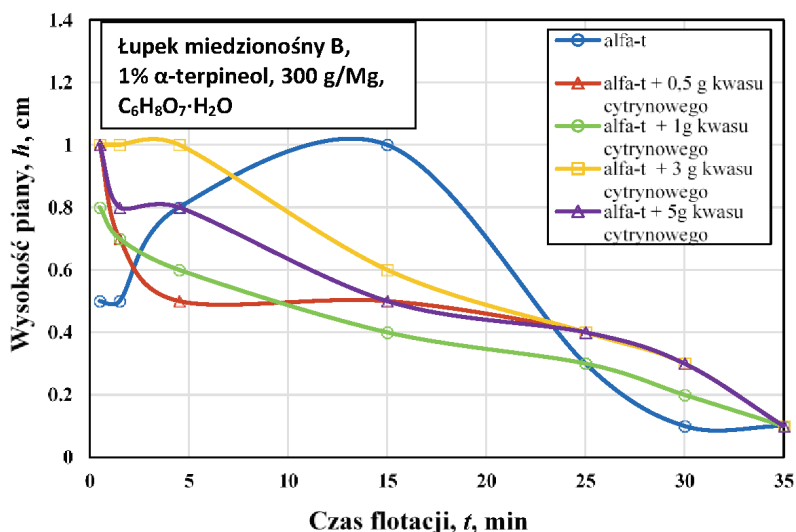
Rys. 3. Zależności wychodu maksymalnego flotacji łupka miedzionośnego łupka B od dawki spieniacza i kwasu cytrynowego

## b) Zależność wysokości piany flotacyjnej łupka B od dawki kwasu cytrynowego i speniacza

Z badań wysokości piany flotacyjnej, w czasie flotacji łupka B w wodnych roztworach  $\alpha$ -terpineolu (rys. 4 i 5), wynika, że we flotacjach z mniejszą dawką speniacza, zaobserwowano większą ilość piany, wytworzonej na samym początku flotacji, która osiąga swoje maksimum po 5 min trwania doświadczenia (ok. 1 cm), następnie łagodnie opadając do poziomu około 0,3 cm. Po dodaniu kwasu cytrynowego piana osiąga najwyższe wartości, podczas



Rys. 4. Wysokość piany flotacji łupka miedzionośnego typu B w obecności  $\alpha$ -terpineolu (150 g/Mg) oraz kwasu cytrynowego

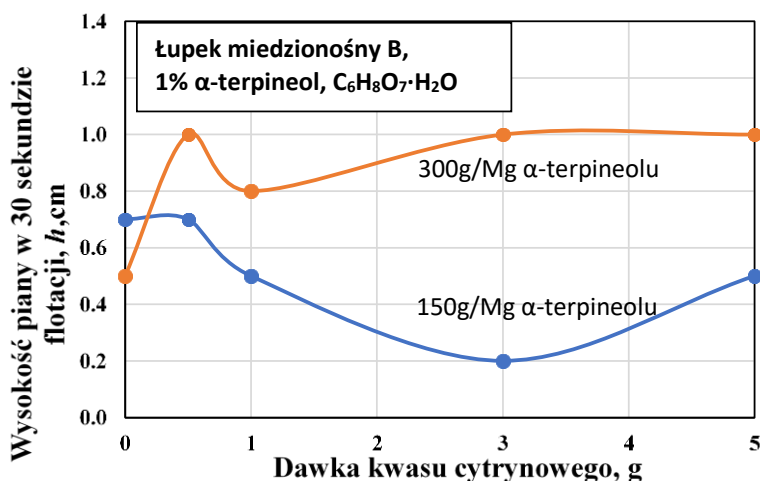


Rys. 5. Wysokość piany flotacji łupka miedzionośnego typu B w obecności  $\alpha$ -terpineolu (300 g/Mg) oraz kwasu cytrynowego

pierwszego lub drugiego pomiaru, opadając równie szybko do poziomu 0,3–0,2 cm, który utrzymywał się do samego końca trwania doświadczenia. Odwrotnie jak w przypadku pomiaru poszczególnych wychodów, kwas cytrynowy wpływa bardziej negatywnie na ilość piany, wraz ze wzrostem jego dawki.

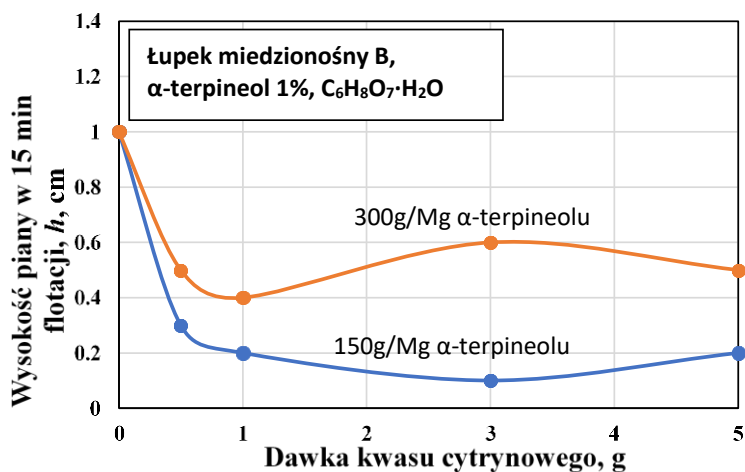
Podobnie jak w przypadku mniejszej dawki roztworu wodnego  $\alpha$ -terpineolu przeprowadzono pomiar wysokości piany dla flotacji łupka B w obecności spieniacza (300 g/Mg) oraz kwasu cytrynowego. W przypadku samego spieniacza wartość piany rośnie osiągając swoją maksymalną wartość (1,1 cm) pomiędzy 10 a 15 minutą flotacji, a następnie gwałtownie opadając i utrzymując się na poziomie około 0,2 cm od 25 minuty do końca flotacji. Po dodaniu kwasu cytrynowego, można zauważyć, że piana osiąga podobnie jak w przypadku mniejszego stężenia spieniacza, maksymalną wartość już podczas pierwszego lub drugiego pomiaru, opadając miarowo do wartości 0,1 cm. W tym przypadku kwas cytrynowy zmniejsza wysokość piany, praktycznie od samego początku flotacji.

Dodatkowo, na rysunku 6 przedstawiono wysokości piany flotacyjnej łupka miedzionośnego w pierwszej fazie jego flotacji, w czasie 30 sekund. Jak można zauważyć, poziom wysokości piany w przypadku dodania wyższej dawki spieniacza, niezależnie od dawki kwasu cytrynowego lub jej braku utrzymywał się na poziomie około 1 cm. W przypadku zastosowania mniejszej dawki spieniacza, piana osiągała wyższe wartości przy minimalnej i maksymalnej dawce kwasu cytrynowego.



Rys. 6. Zależność wysokości piany od dawki kwasu cytrynowego w 30 sekundzie flotacji łupka B

Analogicznie sporządzono wykres zależności piany w 15 minucie doświadczenia (rys. 7). W czasie flotacji łupka w roztworze samego spieniacza, niezależnie od jego stężenia, piana osiągnęła wartość maksymalną (1 cm). W momencie dodania kwasu cytrynowego w ilości 0,5 g, wysokość piany znacznie zmalała. Zwiększenie dawki kwasu cytrynowego nieznacznie wpłynęło na wzrost wysokości piany, która była niższa niż w stosunku do flotacji łupka w obecności samego spieniacza.



Rys. 7. Zależność wysokości piany od dawki kwasu cytrynowego w 15 minucie flotacji łupka B

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że kwas cytrynowy posiadał właściwości depresjonujące na flotację łupka miedzionośnego. Jednocześnie zaobserwowano, że pogorszenie wychodów łupka zależy od ilości kwasu cytrynowego i speniacza. Im wyższe stężenie speniacza oraz kwasu cytrynowego, tym wyższa depresjacja wychodów łupka B (rys. 3). W przypadku zastosowania 1–3 g kwasu cytrynowego w mniejszej dawce speniacza, pogorszenie flotacji łupka było na poziomie ok. 10% w odniesieniu do flotacji łupka w samym speniaczu, a nieznaczny wzrost zaobserwowano dla 5 g kwasu cytrynowego (rys. 1). Natomiast dla przeprowadzonych flotacji łupka B w obecności 1% speniacza o dawce 300 g/Mg wykazano pogorszenie wychodów flotacji łupka o 15% dla 1–5 g kwasu cytrynowego (rys. 2).

W przypadku badania wysokości piany flotacyjnej (rys. 4–7), kwas cytrynowy zmniejsza jej wysokość w obecności zastosowanego speniacza. Zauważono jednocześnie, że przy mniejszej dawce  $\alpha$ -terpineolu piana była mniejsza. Po dodaniu kwasu cytrynowego, piana osiąga wartości maksymalne na początku flotacji łupka B, łagodnie opadając z upływem czasu. W przypadku flotacji łupka w samym speniaczu wartości maksymalne uzyskiwane są dopiero po 10 minutach flotacji.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że kwas cytrynowy w procesie flotacji łupka miedzionośnego, może być stosowany jako depresator.

## Literatura

- CHOCIAJ K., RATAJCZAK T., 2018. *Flotacja łupka miedzionośnego w obecności wybranych środków spożywczych*. W: *Łupek miedzionośny IV*, J. Drzymała, T. Ratajczak (red. nauk.), Wydział Geoinżynierii Górniczej i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- CICHAŃSKI J., DRZYMAŁA J., 2014. *Flotacja łupka miedziowego w obecności gamma-walerolaktonu jako speniacza*. W: *Łupek miedzionośny I*, J. Drzymała, P.B. Kowalczyk (red. nauk.), Wydział Geoinżynierii, Górniczej i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- DRZYMAŁA J., 2014. *Flotometryczna hydrofobowość łupka miedzionośnego*. W: *Łupek miedzionośny I*, J. Drzymała, P.B. Kowalczyk (red. nauk.), Wydział Geoinżynierii Górniczej i Geologii Politechniki Wrocławskiej.