

# Flotacja łupka miedzionośnego za pomocą spieniaczy i ich mieszanin

Jakub Lasia, Monika Łakota, Jan Drzymala

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

---

## STRESZCZENIE

Metyloizobutylokarbinol (MIBC), eter monoetylowo-dietylenoglikolowy ( $C_2E_2$ ) i eter monobutylowo-dietylenoglikolowy ( $C_4E_2$ ), oraz ich 1:1 mieszaniny, powodują flotację łupka miedzionośnego pochodzącego z LGOM. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że użycie 1:1 mieszaniny MIBC oraz  $C_2E_2$  dostarcza mniejszych wychodów maksymalnych łupka, czyli wychodów otrzymanych po 30 minutach flotacji, niż wynika to z wartości teoretycznych, gdyby nie było efektów synergicznych ani antagonistycznych działania mieszaniny spieniaczy. Zatem mieszanie obu spieniaczy w proporcji jak 1:1 prowadzi do antagonistycznego efektu we flotacji łupka miedzionośnego. Przeciwny efekty, bo synergiczny, obserwowano w przypadku użycia mieszaniny MIBC oraz  $C_4E_2$ .

---

## WPROWADZENIE

Flotacja stosowana jest do rozdzielania substancji różniących się między sobą hydrofobowością, czyli zdolnością do powierzchniowego zwilżania wodą. Flotację prowadzi się za pomocą pęcherzyków gazowych, zwykle powietrza (Laskowski i Łuszczkiewicz, 1989; Drzymala, 2009). Pierwszym etapem badań flotacyjnych jest często poznanie właściwości składników mineralnych tworzących rudę. W przypadku polskich rud miedzi, jednym ze składników jest miedzionośny łupek bogaty w substancje organiczne (Konopacka i Zagózdźon, 2014). Jego hydrofobowość (Bednarek i Kowalczuk, 2014; Drzymala, 2014) oraz flotowalność, zwłaszcza wyłącznie za pomocą spieniaczy (Witecki et al., 2014; Szyszka et al., 2014), są w dużym stopniu poznane, ale zagadnienie użycia mieszanych spieniaczy (Khoshdast, 2015; Finch i Elmahdy, 2013) do flotacji łupka oczekuje na głębsze rozważenie. Użycie mieszaniny spieniaczy, zamiast jednego, stwarza możliwość znalezienia pary spieniaczy, które będą wywoływać lepszą flotację niż każdy z nich osobno. Dlatego celem tej pracy jest określenie flotacji łupka miedzionośnego w obecności dwóch spieniaczy użytych osobno oraz w postaci mieszaniny. Użyte spieniacze to metyloizobutylokarbinol (MIBC) oraz etery etylenowe w postaci monoetylowoglikolodietylenowy ( $C_2E_2$ ).

## MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Do badań użyto łupek miedzionośny będący mieszaniną łupka dolomitycznego i tak zwanego smolącego, pobranych z kopalni Polkowice-Sieroszowice w dniu 18.07.2014 (Lasia, 2014). Próbkę 930 gramów łupka, będącą w postaci bryłek, skruszono wielokrotnie w kruszarce szczękowej i dezintegratorze palcowym, a otrzymany materiał przesiano przez sito o rozmiarze oczek wynoszącym 125  $\mu\text{m}$ . W ten sposób otrzymano 630 g ziarn o rozmiarze ziarn mniejszym niż 125  $\mu\text{m}$ . W badaniach, jako spieniaczy, użyto metyloizobutylokarbinol (MIBC),

eter monoetylowo-dietylenoglikolowy ( $C_2E_2$ ) oraz eteru monobutyloowo-dietylenoglikolowy ( $C_4E_2$ ). Przy wyborze tych spieniaczy flotacyjnych kierowano się ich podobną masą molową. Metyloizobutylokarbinol (MIBC,  $C_6H_{14}O$ ) jest jednym z częściej stosowanych odczynników we flotacji. Masa molowa tej bezbarwnej cieczy wynosi 102 g/mol, a gęstość w temperaturze 20 °C 0,802 g/cm<sup>3</sup>. Sporządzenie 100 cm<sup>3</sup> 0,1% (wagowo) roztworu wymagało dodanie 0,125 cm<sup>3</sup> MIBC i 99,875 cm<sup>3</sup> wody destylowanej. Drugim użytym speniaczem był eter monometylowy glikolu dietylenowego ( $C_2E_2$ ,  $C_2H_5O(C_2H_4O)_2H$ ). Jego masa molowa jest równa 134 g/mol, natomiast jego gęstość w temperaturze 20 °C wynosiła 0,99 g/cm<sup>3</sup>. Do sporządzenia 100 cm<sup>3</sup> 0,1% (wagowo) roztworu użyto 0,1 cm<sup>3</sup>  $C_2E_2$  i 99,9 cm<sup>3</sup> wody destylowanej, gdyż gęstość MIBC w zaokrągleniu wynosi 1 g/cm<sup>3</sup>. Podobnie postępowano z eterem butyloowo-dwuetylenoglikolowy,  $C_4E_2$ ,  $C_8H_{18}O_3$ , którego masa molowa wynosi 162,23 g/mol. Metyloizobutylokarbinol, MIBC,  $C_6H_{14}O$ , masa molowa 102,18 g/mol. Pobrano 0,130 cm<sup>3</sup> speniacza, a następnie dodano 99,87 cm<sup>3</sup> wody destylowanej i uzyskano 0,1% roztwór potrzebny do przeprowadzenia flotacji.

Do celki flotacyjnej o pojemności 250 cm<sup>3</sup> wsypano 70 g łupka. Następnie zawieszoną mieszaną w laboratoryjnej maszynie flotacyjnej typu Mechanobr, dolewając roztwory wodne spieniaczy w ilości, w zależności od flotacji, odpowiednio 50 g/Mg, 100 g/Mg lub 200 g/Mg. Całość mieszano przez 1 minutę, po czym, w celu wytworzenia piany, otwierano zawór doprowadzający powietrze do komory. Produkty flotacji były zbierane przez 30 minut specjalnym zgarniakiem do szklanych naczyń, zmieniając naczynia kolejno po upływie 2, 5, 8, 15 oraz 30 minutach flotacji. Przeprowadzono łącznie dziewięć flotacji, to jest po trzy z MIBC i  $C_2E_2$  przy kolejnych stężeniach (50 g/Mg, 100 g/Mg i 200 g/Mg) oraz trzy z mieszaniną spieniaczy zmieszanych w stosunku 50:50, czyli 1:1, stosując ich całkowite stężenie również 50 g/Mg, 100 g/Mg i 200 g/Mg. Po zakończeniu flotacji wszystkie koncentraty i odpady zostały wysuszone w suszarce. Badania zakończono na określeniu mas, czyli wychodów poszczególnych produktów flotacji poprzez ich ważenie.

## WYNIKI I Dyskusja badań

Otrzymane w postaci wychodów poszczególnych produktów flotacji wyniki badań dla MIBC zamieszczono w tabeli 1, dla  $C_2E_2$  w tabeli 2, a dla mieszanin 1:1 MIBC oraz  $C_2E_2$  w tabeli 3.

Na podstawie otrzymanych wyników badań laboratoryjnych można stwierdzić, że łupek flotował inaczej z każdym z użytych spieniaczy bądź ich mieszaniną. Dla MIBC o stężeniu 50 g/Mg mamy do czynienia ze słabą flotacją. Przy wzroście stężenia MIBC do 100 g/Mg i 200 g/Mg uzyskane wychody maksymalne, czyli po 30 minutach flotacji, składnika użytecznego mają wyższe wartości, sięgające prawie 75%. W przypadku flotacji łupka za pomocą odczynnika pianotwórczego  $C_2E_2$ , przy każdym użytym stężeniu wartości wychodów maksymalnych oscylują w okolicach 90%. Przy zastosowaniu mieszaniny MIBC z  $C_2E_2$  o stężeniu 50 g/Mg i zmieszanych w stosunku 50:50, wychód skumulowany wynosił 42%. Przy wzroście stężenia do 100 g/Mg, przy takim samym stosunku 50:50, wartość wychodu wynosiła 62%. Ostatnia flotacja łupka o najwyższym stężeniu mieszaniny, czyli 200 g/Mg, osiągała wychód wynoszący 74%.

Uzyskane wyniki flotacji przy użyciu MIBC i  $C_2E_2$  porównano na rys. 1 w oparciu o ich wychody maksymalne, czyli po 30 minutach flotacji. Rysunek 1 jest pomocny do stwierdzenia, czy użycie mieszaniny spieniaczy polepsza czy też pogarsza flotację, niż gdyby stosowano wyłącznie jeden speniacz. Polepszenie flotacji można nazwać efektem synergicznym a pogorszenie efektem antagonicznym stosowania mieszaniny spieniaczy we flotacji.

W badanym w tej pracy układzie z użyciem MIBC oraz  $C_2E_2$  jako spieniaczy spodziewane wychody po 30 minutach flotacji wynoszą, zgodnie z rys. 1, odpowiednio 64, 74 i 83% dla sumarycznego zużycia spieniaczy wynoszącego 50 g/Mg, 100 g/Mg i 200 g/Mg, a rzeczywiste wychody maksymalne wynoszą 42, 62 oraz 74 %. Teoretyczne wartości wychodów maksymalnych dla mieszaniny jak 1:1 MIBC oraz  $C_2E_2$  odczytano ze środka prostej łączącej wychody maksymalne dla spieniaczy stosowanych osobno przy danym stężeniu spieniacza. Prosta ta charakteryzuje proces flotacji, w trakcie którego dla mieszaniny badanych spieniaczy nie dochodzi ani do efektu synergizmu, czyli względnego wzrostu flotacji, ani efektu antagonistycznego, czyli redukcji względnego wychodu flotacji. Jeżeli wychód maksymalny flotacji dla mieszaniny 1:1 spieniaczy dla danego stężenia znajduje się nad prostą, wtedy mamy do czynienia z synergizmem. Analogicznie, w sytuacji odwrotnej, wychód znajdujący się poniżej prostej świadczy o antagonizmie zmieszanych spieniaczy we flotacji.

Porównując otrzymane punkty, opisujące wyniki flotacji za pomocą mieszaniny, z punktami teoretycznych wychodów znajdujących się na prostej, w każdym przypadku mamy do czynienia z antagonistycznym efektem działaniem mieszaniny 1:1 spieniaczy, czyli pogorszeniem flotacji.

Wyniki badań z udziałem MIBC oraz  $C_4E_2$  przedstawiono na rys 2. Z rysunku 2 wynika, że w przypadku mieszaniny MIBC i  $C_4E_2$  mamy do czynienia z efektem synergicznym.

Tabela 1.  
Wychody łupka miedzionośnego flotowanego w obecności MIBC

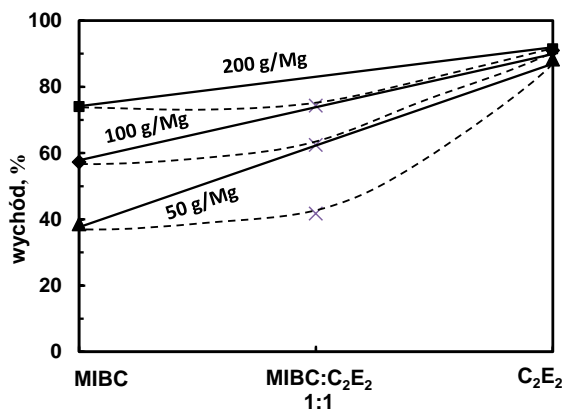
Nazwa produktu	Czas	Czas flotacji	50g/Mg	100g/Mg	200 g/Mg
	[min]	[min]	$\Sigma \gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$
Koncentrat 1	2	2	3,86	4,14	10,43
Koncentrat 2	5	7	8,00	20,00	22,14
Koncentrat 3	8	15	15,86	34,29	44,00
Koncentrat 4	15	30	38,57	57,29	74,00
Nadawa			100,00	100,00	100,00

Tabela 2.  
Wyniki flotacji łupka w obecności  $C_2E_2$

Nazwa produktu	Czas	Czas flotacji	50g/Mg	100g/Mg	200 g/Mg
	[min]	[min]	$\Sigma \gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$
Koncentrat 1	2	2	16,14	17,71	19,57
Koncentrat 2	5	7	48,14	49,85	52,00
Koncentrat 3	8	15	73,43	79,14	81,43
Koncentrat 4	15	30	88,29	91,00	91,43
Nadawa			100,00	100,00	100,00

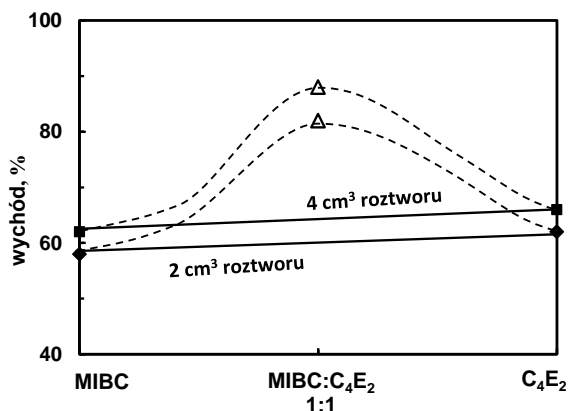
Tabela 3.  
Wyniki flotacji łupka z MIBC i  $C_2E_2$  o stężeniu 50 g/Mg

Nazwa produktu	Czas	Czas flotacji	50g/Mg	100g/Mg	200 g/Mg
	[min]	[min]	$\Sigma \gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$	$\Sigma \gamma, \%$
Koncentrat 1	2	2	5,86	8,00	9,57
Koncentrat 2	5	7	13,72	22,86	24,00
Koncentrat 3	8	15	26,58	40,72	44,71
Koncentrat 4	15	30	41,72	62,43	74,28
Nadawa			100,00	100,00	100,00



Rysunek 1.

Zestawienie wychodów maksymalnych (po 30 minutach flotacji) łupka przy użyciu MIBC oraz C<sub>2</sub>E<sub>2</sub> i ich mieszanin 1:1 o stężeniach speniacza wynoszących 50, 100 i 200 g/Mg. Z rysunku wynika antagonistyczny efekt mieszania użytych speniaczy zmieszanych w proporcji 1:1 dla trzech stosowanych dawek zmieszanych speniaczy



Rysunek 2.

Porównanie wyników flotacji łupka miedzionośnego speniaczami MIBC i C<sub>4</sub>E<sub>2</sub> oraz ich 1:1 mieszaninami. Linia dolna przerywana i ciągła przy użyciu 2 cm<sup>3</sup> 0,1% (30 g/Mg) speniacza, linia górna przerywana i ciągła przy użyciu 4 cm<sup>3</sup> 0,1% (60 g/Mg). Linia ciągła dla spodziewanych wartości wychodu a linia przerywana dla eksperymentalnych wartości wychodu łupka. Z rysunku wynika synergiczny efekt mieszania użytych speniaczy zmieszanych w proporcji 1:1 dla dwóch stosowanych dawek zmieszanych speniaczy

## PODSUMOWANIE

Z zaprezentowanych badań wynika, że użycie mieszaniny 1:1 MIBC oraz C<sub>2</sub>E<sub>2</sub>, które wykorzystano jako speniaczy do flotacji łupka miedzionośnego, pogorsza wychody maksymalne flotacji otrzymane po 30 minutach procesu, rozpatrywane w stosunku do teoretycznych wychodów, gdyby nie było efektów synergicznych ani antagonistycznych

działania mieszaniny speniaczy. Zatem użycie speniaczy w postaci metyloizobutylokarbinolu (MIBC) i eteru monoetylowo-dietylenoglikolowego ( $C_2E_2$ ), zmieszanych w proporcji jak 1:1, prowadzi do efektu antagonistycznego flotacji łupka miedzionośnego. Przeciwny efekty, ponieważ synergiczny obserwowano w przypadku użycia mieszaniny MIBC oraz  $C_4E_2$ .

## PODZIĘKOWANIA

Praca powstała w oparciu o inżynierskie prace dyplomowe M. Łakoty i J. Lasia oraz częściowo w ramach zlecenia statutowego Politechniki Wrocławskiej S 50167.

## LITERATURA

- DRZYMAŁA J., 2014. *Flotometryczna hydrofobowość łupka miedzionośnego*. W: Łupek miedzionośny, Drzymała J., Kowalczyk P.B. (red.), WGGG PWr, Wrocław, 2014, 77-82.
- DRZYMAŁA J., 2009. *Podstawy mineralurgii*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki
- FINCH J.A., ELMAHDY A. M., 2013. *Effect of frother blends on hydrodynamic properties*. International Journal of Mineral Processing 123, 60–63.
- KHOSHIDAST H., MIRSHAKARI S., ZAHAB-NAZOURI A., 2015. *A model for predicting dynamic frothability index value for dual-frother blends*, Journal of Mining and Environment, Vol. 6, No.1, 2015, 119-124.
- KONOPACKA Ż., ZAGOŹDZON K.D., 2014. *Łupek miedzionośny Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego*. W: Łupek miedzionośny, Drzymała J., Kowalczyk P.B. (red.), WGGG PWr, Wrocław, 2014, 7-12.
- LASIA J., 2015, *Flotacja łupka miedzionośnego za pomocą mieszaniny speniaczy*. Praca dyplomowa inżynierska, opiekun J. Drzymała, Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii.
- LASKOWSKI J.S., ŁUSZCZKIEWICZ A., 1989. *Przeróbka kopalni. Wzbogacanie surowców mineralnych*. Wrocław, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej.
- ŁAKOTA M., 2015. *Synergizm działania speniaczy we flotacji łupka miedzionośnego*. Praca dyplomowa inżynierska, opiekun J. Drzymała, Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii.
- SZYSZKA D., PAŹIK P., ZWIERSZCHOWSKA A., 2014. *Flotacja łupka miedzionośnego w obecności eterów butylo-etylenoglikolowego i butylo-dwuetylenoglikolowego*. W: Łupek miedzionośny, Drzymała J., Kowalczyk P.B. (red.), WGGG PWr, Wrocław, 2014, 103-106
- WITECKI K., DUCHNOWSKA M., KOWALCZYK P.B., 2014. *Rozmiar i hydrofobowość flotujących ziarn łupka miedzionośnego w obecności speniaczy*. W: Łupek miedzionośny, Drzymała J., Kowalczyk P.B. (red.), WGGG PWr, Wrocław, 2014, 83-90.