

Flotacja łupka miedzionośnego w obecności spieniacza, zbieracza oraz depresora w postaci dekstryny

Jakub Nowak, Jan Drzymała

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

Streszczenie

W pracy badano wzajemny wpływ stężenia zbieracza, spieniacza i depresora, oraz ich kombinacji, na flotację łupka miedzionośnego. Jako zbieracza użyto ksantogenianu potasowo-etylowego, eter monobutylo-etylenoglikolowy pełnił rolę spieniacza, a dekstryna ziemniaczana, pod nazwą handlową maltodektryna, służyła jako depresor. Badano zależność wychodu koncentratu od czasu flotacji, a także mierzono wysokość piany flotacyjnej. Otrzymane wyniki pozwoliły na określenie kinetyki flotacji w postaci wychodów koncentratu od czasu flotacji, a następnie wyznaczenie globalnej efektywności procesu jako specyficznej 1-rzędu prędkości procesu oraz limitu procesu w formie maksymalnego wychodu flotacji. Dane te stały się podstawą do wykreślenia krzywych limitów flotacji oraz wyznaczenia specjalnej stałej wskazującej specyficzną prędkość procesu przy maksymalnym wychodzie wynoszącym 50% wynikającym z normalizacji krzywej limitów procesu świadczącej prawdopodobnie o trwałości bariery energetycznej procesu. Sporządzono również wykres trójwymiarowy w układzie zbieracz-spieniacz-depresor, obrazujący wpływ stężenia tych trzech stosowanych reagentów flotacyjnych na wysokość piany flotacyjnej. Sporządzono też zależności wychodu maksymalnego od wysokości piany i stwierdzono ich wzajemną korelację. Wykazano, że wzrost wysokości piany prowadzi do wzrostu wychodu maksymalnego procesu, ale zależności te są różne dla poszczególnych zestawów reagentów flotacyjnych. Ponieważ wychód maksymalny jest proporcjonalnie związany z prędkością specyficzną procesu, podobna rodzinna zależność wystąpi pomiędzy specyficzną stałą prędkości a wysokością piany.

Wprowadzenie

Polskie rudy miedzi wzbogacane są metodą flotacji w obecności zbieraczy tiolowych (Laskowski i Łuszczkiewicz, 1989; Drzymała, 2009). Produkowane flotacyjnie koncentraty miedziane nie są zbyt bogate, gdyż razem z siarczkami metali flotacji podlegają substancje organiczne i towarzyszące im minerały ilaste (Spalińska i inni, 2007). Flotacja substancji organicznych wynika z ich naturalnej hydrofobowości (Bednarek i Kowalczuk, 2014).

Problem zbyt dużej zawartości węgla organicznego w końcowych przemysłowych koncentraty flotacyjnych stał się ważny z chwilą wprowadzenia do technologii wytopu miedzi z koncentratów miedzianych w piecach zawieszinowych (Hutnictwo, 2016). Okazuje się, że wydajność pieców zawieszinowych znacznie spada w miarę wzrostu zawartości węgla organicznego w koncentracie (Skorupska i inni, 2011). Dodatkowo, analiza zawartości węgla organicznego w latach 1990 – 2009 w rejonie ZWR Rudna wskazuje, że jego ilość w nadawie na przestrzeni tych 20 lat wzrosła prawie dwukrotnie, co sugeruje, że w miarę postępu eksploatacji zawartość substancji organicznej w rudzie może się dalej zwiększać (Skorupska i inni, 2011).

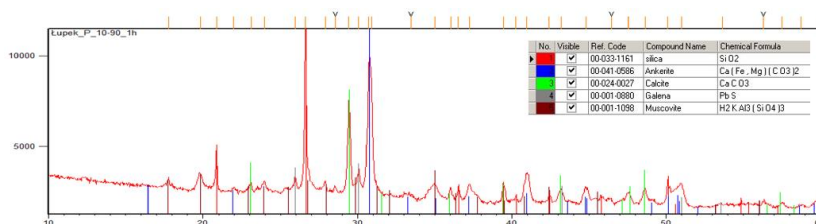
Jednym ze sposobów na zmniejszenie zawartości węgla organicznego w końcowym koncentracie miedzianym mogłoby być zastosowanie selektywnych depresorów, czyli takich modyfikatorów flotacji, które zapobiegłyby wynoszeniu do produktu pianowego części lub

wszystkich hydrofobowych ziarn mineralnych, zwłaszcza tych wchodzących w skład łupka miedzionośnego (Foszcz i Drzymała, 2011, Drzymała, 2011). Dlatego celem pracy stało się scharakteryzowanie właściwości flotacyjnych jednego z łupków miedzionośnego w układach: spieniacz, spieniacz + depresor, spieniacz + kolektor oraz spieniacz + zbieracz + depresor. Jako spieniacza użyto eteru monobutylowy glikolu dietylenowego, kolektorem był etyloksantogenian potasu, a depresorem dekstryna.

Część eksperymentalna

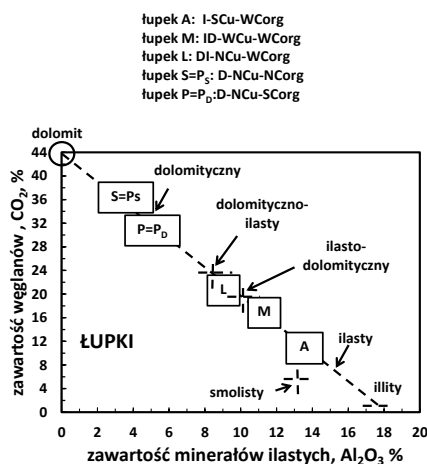
Materiały i odczynniki

Badaniom poddano łupkę miedzionośną oznaczoną w Laboratorium Przeróbki Kopalni WGGG PWr symbolem P. Pochodził on z ZG Polkowice–Sierszowice. Analiza rentgenowska łupka wykonana aparatem PANalytical X'pert Pro w Instytucie Niskich Temperatur PAN w Wrocławiu wykazała obecność dolomitu, kalcytu, muskowitu oraz pewnej ilości kwarcu, ankerytu oraz galeny (rys. 1).



Rys. 1. Skład łupka P określony za pomocą dyfraktometru rtg

Według analiz wykonanych w Laboratorium Przeróbki Kopalni zawartość węgla organicznego w badanym łupku wynosiła 5,34%, miedzi 0,831%, a węglanów, w przeliczeniu na CO₂, było 31%. Ta ilość węglanów wskazuje, że jest to łupkę dolomityczno-ilasty średniowęglowy i niskomiedziowy (Drzymała i inni, 2017a) (rys.2).



Rys. 2. Badany łupek P jest typu dolomitycznego niskomiedziowego średniowęglowego. Reprodukacja z pracy Drzymała i współpracowników (2017a)

Analizy chemiczne oraz czarno-szary kolor ziarn łupka (rys. 3) potwierdzają jego węglowo-łupkowy charakter.

Spiniaczem użytym do wszystkich flotacji był eter monobutyłowy glikolu dietylenowego, w skrócie nazywany C_4E_2 . Jego masa molowa wynosi 162,23 g/mol, zaś gęstość 0,952 g/cm³ (Kaczmarek i inni, 2016). Na potrzeby flotacji korzystano z roztworu spiniacza, uprzednio przygotowanego w kolbie o pojemności 1 dm³. Kolbę wypełniono wodą i rozpuszczono w niej 5,12 g C_4E_2 .

Jako depresor wykorzystano maltodekstrynę. Był to biały proszek będący produktem rozkładu skrobi. Maltodekstryna łatwo rozpuszcza się w wodzie (Zdrowie, 2016).

Kolektorem użytym we flotacji był etyloksantogenian potasu zakupiony w firmie Fluka.



Rys. 3. Łupek miedzionośny rozdrobniony do wymiaru ziarn < 0,1 mm.
Widoczny jest czarno-szary kolor łupka

Metodyka badań

Przygotowanie nadawy polegało na odpowiednim rozdrobnieniu i jej przesianiu przez sito o rozmiarze oczek 0,1 mm, w celu uzyskania frakcji ziarn o wymiarze poniżej 0,1 mm. Do wstępnego rozdrobnienia materiału użyto kruszarki szczękowej. Drugie stadium rozdrobnienia polegało na przepuszczeniu próbki przez dezintegrator palcowy, bądź przez młyn krzyżakowo – bijakowy. Dezintegrator użyto do przygotowania nadawy do serii flotacji ze spiniaczem oraz ze spiniaczem i depresorem, zaś młyn wykorzystano do przygotowania świeżej próbki do serii flotacji z kolektorem i spiniaczem, a także z kolektorem, spiniaczem i depresorem. Rozdrobnione ziarna przechodzące przez sito 0,1 mm stanowiły nadawę do flotacji.

Wykonano łącznie 14 flotacji, podzielonych na 4 serie. Każdą z flotacji przeprowadzano w wodzie destylowanej, w maszynie flotacyjnej typu Mechanobr, w celce o objętości nominalnej 250 cm³. Do każdej flotacji użyto 30 g nadawy. Przed rozpoczęciem zbierania piany, po dodaniu nadawy, odczynników chemicznych i dokładnym wymieszaniu wszystkich składników mieszaniny, otwierano zawór wlotu powietrza i czekali aż do momentu, w którym wytworzy się maksymalna ilość piany. Wtedy mierzono wysokość piany. Następnie zawór wlotu powietrza był otwierany do połowy, by zabezpieczyć się na wypadek powstawania zbyt dużej piany. Każda flotacja trwała 30 minut. Produkty pianowe zbierano ręcznie, za pomocą zbieraka, do oddzielnych naczyń, które wymieniało kolejno po upływie 2, 5, 9, 15 i 30 minut. Dodatkowe naczynie było przeznaczone na produkt komorowy, czyli odpad. Po zakończeniu każdej z flotacji otrzymane produkty odwadniano i umieszczano w suszarce laboratoryjnej oraz suszono w temperaturze 105 °C. Po całkowitym wysuszeniu próbek były one ważone na wadze laboratoryjnej z dokładnością do 0,1 g. Otrzymane wychody masowe poszczególnych

produktów posłużyły do wykonania niezbędnych obliczeń, mających na celu stworzenie wykresu zależności wychodu skumulowanego od czasu opisującego kinetykę flotacji.

Pierwsza seria testów obejmowała 4 flotacje w obecności spieniacza C_4E_2 o różnych stężeniach: 50, 100, 125 oraz 150 g/Mg. Na potrzeby flotacji korzystano z uprzednio przygotowanego roztworu tego spieniacza. Na 1 dm³ wody w kolbie przypadało 5,12 g C_4E_2 . Do każdej kolejnej flotacji dodano odpowiednio: 0,29, 0,59, 0,73 i 0,89 cm³. Ilości te odmierzone w pipecie o pojemności 1 cm³. Najpierw do celki wsypywano nadawę, następnie zalewano ją wodą destylowaną do określonego poziomu i mieszano całość bagietą, aż do całkowitego zwilżenia materiału. Potem mocowano celkę do maszyny flotacyjnej, uruchamiano maszynkę, dodawano odmierzoną ilość spieniacza i otwierano zawór wlotu powietrza do połowy. Po zmierzeniu maksymalnej wysokości piany włączano stoper i przystępowano do zbierania piany.

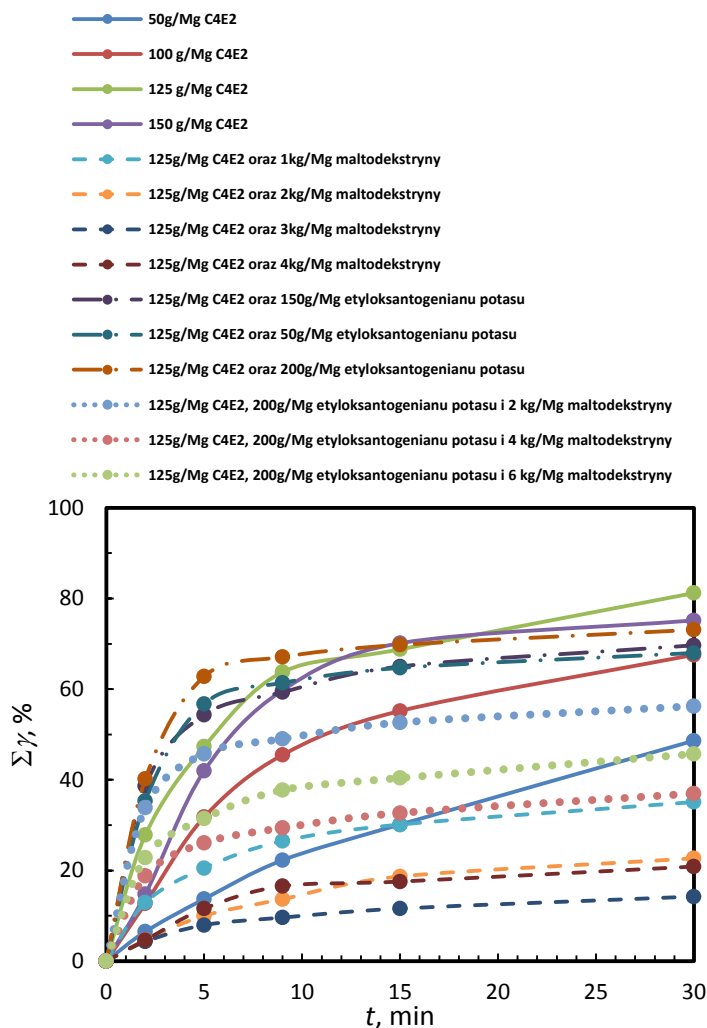
W skład kolejnych testów wchodziły 4 flotacje w obecności spieniacza C_4E_2 o stężeniu 125 g/Mg oraz w obecności maltodekstryny o różnych stężeniach: 1, 2, 3 i 4 kg/Mg. Przed każdą flotacją obliczono jaka ilość maltodekstryny o oczekiwanym stężeniu przypada na 30 g rudy, a następnie odważono ją na wadze laboratoryjnej o dokładności 0,0001 g. Do każdej z czterech flotacji dodawano kolejno: 0,03, 0,06, 0,09 i 0,12 g maltodekstryny. Metodyka flotacji była zbliżona do tej stosowanej w pierwszej serii flotacji. Maltodekstrynę dodawano po całkowitym zwilżeniu materiału, przed dodaniem spieniacza.

Trzecią serię testów stanowiły 3 flotacje w obecności spieniacza C_4E_2 o stężeniu 125 g/Mg oraz etyloksantogenianu potasu o trzech różnych stężeniach: kolejno 50, 150 oraz 200 g/Mg. Wyliczono, że ilości ksantogenianu potrzebne do flotacji to odpowiednio 0,0015, 0,0045 i 0,006 g. Obliczone ilości odważono na wadze laboratoryjnej o dokładności 0,0001 g. Kolejne czynności wykonywane były tak samo jak w poprzednich flotacjach. Ksantogenian dodawano po całkowitym zwilżeniu nadawy w celce z wodą destylowaną, przed dodaniem spieniacza.

Ostatnia seria eksperymentów obejmowała 3 flotacje w obecności spieniacza C_4E_2 o stężeniu 125 g/Mg, etyloksantogenianu potasu o stężeniu 200 g/Mg oraz maltodekstryny o różnych stężeniach: kolejno 2, 4 oraz 6 kg/Mg. Wyliczono potrzebne ilości maltodekstryny do kolejnych flotacji, które wynosiły odpowiednio 0,06, 0,12 i 0,18 g. Po całkowitym zwilżeniu nadawy w celce z wodą destylowaną do mieszaniny dodawano kolejno maltodekstrynę oraz etyloksantogenian.

Wyniki badań

Wyniki flotacji badanego łupka miedzionośnego w obecności różnej kombinacji stosowanych reagentów flotacyjnych zamieszczono na rys. 4. Z rysunku tego wynika, że kinetyki flotacji w badanych układach są zróżnicowane. Z kolei z tabeli 2. wynika, że ksantogenian nie zmienia właściwości pniących spieniacza oraz że maltodekstryna obniża wysokość piany flotacyjnej zarówno w obecności samego spieniacza jak i w obecności spieniacza i zbieracza.



Rys. 4. Kinetyka przeprowadzonych w pracy testów flotacyjnych

Dyskusja wyników

Otrzymane kinetyki flotacji, czyli zależności wychodu od czasu flotacji, poddano obliczeniom w celu wyznaczenia dla każdej flotacji specyficznej prędkości pierwszego rzędu v . W tym celu poszczególne kinetyki flotacji opisywano równaniem

$$\gamma = \gamma_{\max} [1 - \exp(-kt)]. \quad (1)$$

Aproksymacja ta, przeprowadzona przy użyciu Solvera Microsoft Excel, pozwala na wyznaczenie metodą statystyczną jednocześnie stałej kinetycznej pierwszego rzędu k (Drzymala i inni, 2017b) oraz wychodu maksymalnego γ_{\max} . Kryterium doboru tych wielkości

była minimalna wartość wyrażenia $\Sigma(\gamma_{\text{obliczone}} - \gamma_{\text{pomiarowe}})^2/n$, gdzie n to liczba punktów pomiarowych. W celu wyznaczenia prędkości flotacji, czyli $d\gamma/dt$, równanie 1 należy różniczkować, co prowadzi do równania:

$$d\gamma/dt = (\gamma_{\text{max}} - \gamma) \cdot v, \quad (2)$$

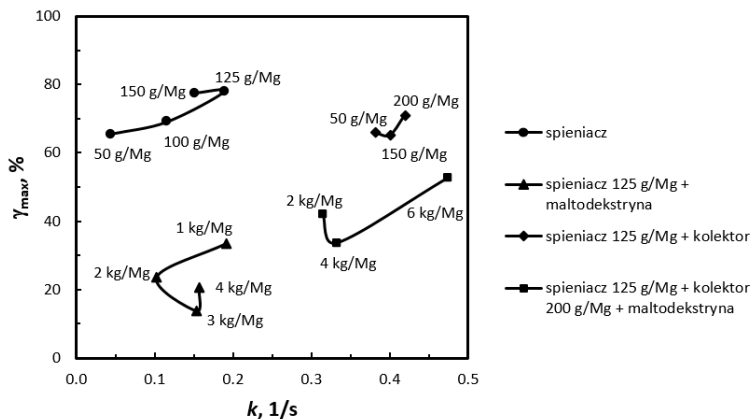
w którym $d\gamma/dt$ jest jednocześnie lokalną, bo zmienną w czasie, efektywnością procesu. Z kolei $d\gamma/dt / (\gamma_{\text{max}} - \gamma)$ jest specyficzną prędkością 1-rzędu procesu. Zgodnie z pracą Drzymały i innych (2017b) należy zauważyć, że stała kinetyczna 1-rzędu k oraz prędkość specyficzną 1. rzędu v są liczbowo identyczne, podczas gdy wymiar k to odwrotność jednostki czasu (tutaj 1/min), a wymiar v to procent wychodu koncentratu γ przez jednostkę czasu przez procent wychodu odpadu $(\gamma_{\text{max}} - \gamma)$, czyli $\% / (\% \cdot \text{min})$. W pracy Drzymały i innych (2017b) fakt ten matematycznie zapisano jako $\text{num } v = \text{num } k$. Prędkość specyficzną 1. rzędu v dla rozpatrywanych flotacji jest efektywnością globalną, bo jej wartość jest niezmienna w czasie całego procesu.

Tabela 2. Wysokość piany flotacyjnej na początku procesu powodowana stosowanymi w pracy reagentami flotacyjnymi

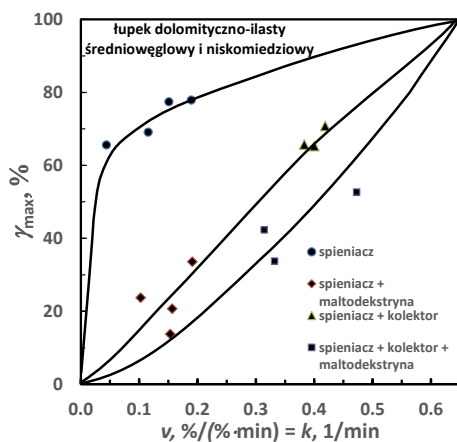
Speniacz (eter monobutylowo-dietylenoglikolowy, C ₄ E ₂)	
Dawka, g/Mg	Wysokość piany flotacyjnej, mm
50	4
100	27
125	34
150	45
Etyloksantogenianu potasu przy stężeniu C ₄ E ₂ 125 g/Mg	
50	50
150	50
200	50
Maltodekstryna przy stężeniu C ₄ E ₂ 125 g/Mg	
1	25
2	20
3	18
4	18
Maltodekstryna przy stężeniu C ₄ E ₂ 125 g/Mg oraz kolektora 200 g/Mg	
2	20
4	13
6	13

Znajomość obu parametrów, czyli $v=k$ oraz γ_{max} stwarza możliwość tworzenia bardzo użytecznych wykresów zwanych krzywymi limitów flotacji, co pokazano na rys. 5. Z rysunku 5. wynika, że każdy z badanych układów flotacyjnych miał inną charakterystykę, a dane pomiarowe są obarczone pewnym błędem, gdy są one rozrzucone. Dla uściślenia charakterystyk flotacyjnych badanych układów, te same dane pomiarowe z rys. 5, narysowano

ponownie, łącząc punktu pomiarowe dla utworzenia krzywych limitów flotacji, co pokazano na rys. 6.



Rys. 5. Wykres limitów flotacji w postaci zależności wychodu maksymalnego γ_{max} od stałej kinetyki 1-rzędu równie liczbowo prędkości specyficznej flotacji pierwszego rzędu, dla wszystkich czterech wykonanych serii pomiarowych

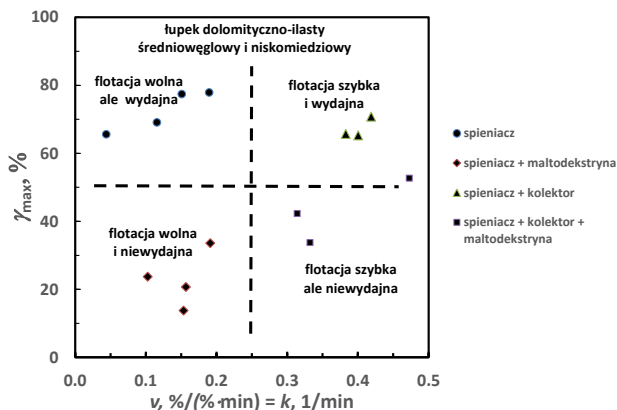


Rys. 6. Krzywe limitów flotacji dla badanych układów flotacyjnych: spiniacz, spiniacz + depresor, spiniacz + kolektor oraz spiniacz + zbieracz + depresor

Rysunek 6. pomniejsza rolę rozrzutu danych i wskazuje, że każdy badany układ, czyli spiniacz, spiniacz+depresor, spiniacz+kolektor oraz spiniacz+zbieracz+depresor, jest inny. Dodanie do krzywych limitów flotacji dodatkowych linii wzorcowych, co uczyniono na rys. 7. pozwala zróżnicować oraz nazwać i sklasyfikować badane układy flotacyjne.

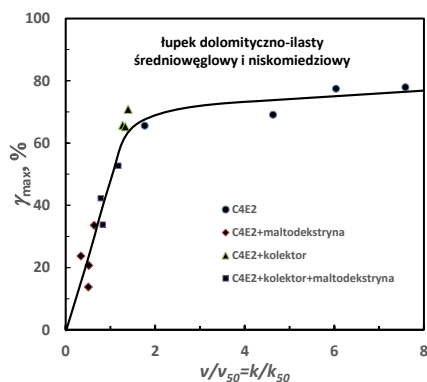
Opierając się na danych pomiarowych i liniach odniesienia zamieszczonych na rys. 7. można stwierdzić, że flotacja badanego łupka samym spiniaczem jest wolna ale wydajna, flotacja spiniaczem w obecności maltodekstryny jest wolna i niewydajna, flotacja spiniaczem i kolektorem jest szybka oraz wydajna, a flotacja łupka ze spiniaczem, zbieraczem i depresorem jest szybka, ale niewydajna. Zatem, obecność kolektora

w mieszaniu flotacyjnej znacznie przyspiesza proces flotacji, zarówno w przypadku flotacji w obecności spieniacza, jak i w obecności spieniacza i maltodekstryny. Z kolei maltodekstryna obniża wychody flotacyjne badanego łupka.



Rys. 7. Wykorzystanie wykresu limitów flotacji do klasyfikacji badanych układów flotacyjnych

Wykres limitów flotacji pozwala także na wyznaczenie jednego charakterystycznego parametru procesu dla każdego z badanych układów flotacyjnych. W tym celu wykres limitów flotacji należy znormalizować przez podzielenie każdej wartości wychodu maksymalnego przez wartość $k = v$ dla wychodu maksymalnego wynoszącego 50% (Drzymała i inni, 2017b). Dokonano tego na rys. 8.



Rys. 8. Znormalizowana krzywa limitów flotacji dla badanego łupka P w obecności różnych reagentów

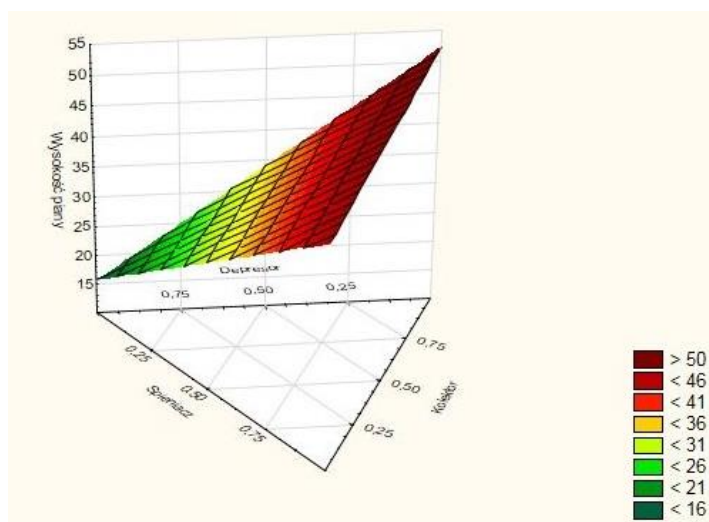
Rysunek 8. pokazuje, że normalizacja jest poprawna, gdyż doprowadza ona do pokrycia się krzywych i punktów pomiarowych. Wartości $v_{50} = k_{50}$ dla badanych układów podano w tabeli 3.

W pracy badano także wysokość piany flotacyjnej w obecności różnej kombinacji stosowanych reagentów flotacyjnych. Wyniki badań, podane już tabeli 1., można zebrać na

jednym trójwymiarowym rysunku, który w sposób przejrzysty ukazuje występujące w układzie zależności.

Tabela 3. Wartości $v_{50} = k_{50}$ dla badanych w tej pracy układów flotacyjnych

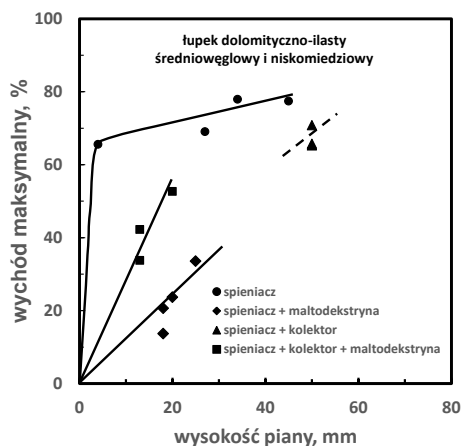
Układ flotacyjny	$v_{50}(\%/(\% \cdot \text{min})) = k_{50}(\text{l}/\text{min})$
Spiniacz	0,025
Spiniacz + maltodekstryna	0,3
Spiniacz + kolektor	0,3
Spiniacz + kolektor + maltodekstryna	0,4



Rys. 9. Zależność wysokości piany flotacyjnej (w mm) od ilości spiniacza, kolektora i dekstryny wyrażonych w formie względnego stężenia danego odczynnika we flotacji. Za stężenie maksymalne (1 na skali stężeń) przyjęto najwyższe stężenie danego odczynnika użytego w badaniach i wynosiły one: kolektor 200 g/Mg, spiniacz 150 g/Mg, dekstryna 6 kg/Mg

Z rysunku 9. wynika, że maltodekstryna ma niekorzystny wpływ na tworzenie się piany flotacyjnej, gdyż wysokość piany malała wraz ze wzrostem stężenia tego depresora. Najkorzystniejsze warunki dla tworzenia się piany flotacyjnej panują przy dużych stężeniach spiniacza i kolektora oraz gdy udział maltodekstryny spośród wszystkich odczynników użytych do flotacji jest możliwie jak najmniejszy.

We flotacji ważne są właściwości piany flotacyjnej. Określenia wpływu wysokości piany flotacyjnej obserwowanej w przeprowadzonych eksperymentach na wychód maksymalny łupka dokonano na rys. 10. Wynikają z niego dwie prawidłowości. Pierwsza to taka, że korelacje zależą od serii pomiarowej, czyli zestawu stosowanych reagentów flotacyjnych. Druga wskazuje, że wzrost wysokości piany prowadzi do wzrostu wychodu maksymalnego. Ponieważ wychód maksymalny związany jest proporcjonalnością między $v = k$ a γ_{\max} , oznacza to, że podobna zależność od zestawu odczynnikowego wystąpi dla zależności $v=k$ od wysokości piany.



Rys. 10. Wpływ wysokości piany flotacyjnej na wychód maksymalny koncentratu

Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdzają, że flotacja łupka miedzionośnego zawierającego węgiel organicznego zależy od zestawu i stężeń reagentów użytych w procesie. Potwierdzona została także zdolność dekstryny do depresji flotacji łupka. Jego depresja zachodzi przy zastosowaniu dekstryny, zarówno w obecności speniacza, jak i w obecności speniacza i kolektora. Dodatkowo, obecność kolektora utrudnia dekstrynie depresję łupka, ale obecność kolektora w układzie powoduje wzrost prędkości flotacji. Otrzymane wyniki badań, po zebraniu ich w postaci krzywych limitów flotacji, pozwalają na dokładne scharakteryzowanie badanych układów flotacyjnych, zwłaszcza wyznaczenie charakterystycznego parametru $v_{50}=k_{50}$ świadczącego o łatwości zaniku bariery energetycznej flotacji oraz wyznaczenie korelacji między wysokością piany a wychodem maksymalnym, które są odmienne dla różnych zestawów reagentów flotacyjnych.

Podziękowania

Niniejsza praca powstała dzięki finansowemu wsparciu zlecenia Prace Statutowe Politechniki Wrocławskiej 0401/0124/16. Autorzy pragną podziękować prof. M. Wołczyrowi i mgr P. Pązik za badania rentgenowskie próbek łupka oraz mgr. P. Karwowskiemu i K. Borowskiemu za analizy chemiczne łupka.

Literatura

- BEDNAREK, K. P., KOWALCZUK, B.P., 2014. *Kąt zwilżania łupka miedzionośnego w obecności wybranych speniaczy*. W: *Łupek miedzionośny*, Drzymała J., Kowalczuk P.B. (red.), WGGG PW, Wrocław, 2014, 51–55.
- DRZYMAŁA, J., 2009. *Podstawy mineralurgii*, wyd. 2. zm., Ofic. Wyd. PW, Wrocław.
- DRZYMAŁA, J., 2011. *Dekstryny jako reagent flotacyjny segregujący polskie przemysłowe koncentraty miedziowe na dwa produkty o zróżnicowanej zawartości węgla organicznego*. W: *Przegląd Górniczy*, 2011. Tom 67, s. 104-107.
- DRZYMAŁA, J., KARWOWSKI, P., BOROWSKI, K., PĄZIK, P., KOWALCZUK, P.B. 2017a, *Próba klasyfikacji łupków Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego na podstawie zawartości węglanów*,

- minerałów ilastych, węgla organicznego oraz miedzi*, w: *Łupek miedzionośny III*, (red. P.B. Kowalczyk i J. Drzymała), WGGG PWr, w druku.
- DRZYMAŁA, J., RATAJCZAK, T., KOWALCZUK P.B., 2017b, *Kinetic separation curves based on process rate considerations*, Physicochem. Probl. Miner. Process. 53(2), 983–995.
- FOSZCZ, D., DRZYMAŁA, J., *Differentiation of organic carbon, copper and other metals contents by segregating flotation of final Polish industrial copper concentrates in the presence of dextrin*, Physicochemical Problem of Mineral Processing, 47(2011), 17-26.
- Hutnictwo, 2016. www.hutnictwo.wnp.pl – Oficjalna strona internetowa spółki PTWP-ONLINE Sp. z o.o., dostęp: luty 2017.
- KACZMARSKA, P., CHYŁA, M., BAKALARZ, A., 2016. *Wpływ wybranych speniaczy na proces wzbogacania łupka miedzionośnego metodą flotacji*. W: *Łupek miedzionośny II* (red. Drzymała, J., Kowalczyk, P.B.), WGGG Pwr. 2016, s. 156-160.
- LASKOWSKI, J., ŁUSZCZKIEWICZ A., 1989, *Przeróbka kopalni. Wzbogacanie surowców mineralnych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- SKORUPSKA, B., WIENIEWSKI, A., KUBACZ, N., 2011. *Możliwości produkcji koncentratów miedziowych o zróżnicowanej zawartości składników organicznych*. W: *Górnictwo i Geologia*, 2011. Tom 6, zeszyt 2, 201-216.
- SPALIŃSKA B., STEC R., SZTABA K., 2007. *Miejsce i rola przeróbki rudy w kompleksie technologicznym KGHM Polska Miedź S.A.* W: *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*, Praca zbiorowa pod redakcją A. Piestrzyńskiego, KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR, Lubin, 463–472.
- Zdrowie, 2016. www.zdrowie.wp.pl – strona internetowa Grupy Wirtualna Polska S.A., dostęp: styczeń 2017.