

Wpływ amin krótkołańcuchowych na flotację łupka miedzionośnego

Jakub Witan, Tomasz Ratajczak

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

Streszczenie

Badano wpływ wybranych spieniaczy typu aminowego na właściwości pian bez ziarn ciała stałego oraz pian flotacyjnych z udziałem łupka miedzionośnego poprzez pomiar ich wysokości, obserwację struktury i określenie wychodów flotacji rudy łupkowej. Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki wskazują, że każdy spieniacz działa inaczej, chociaż należą do tej samej rodziny związków. Wysokość piany bez łupka dla chlorku amonu osiąga plateau, tym większe im wyższe jest stężenie soli. Dla etyloaminy obserwuje się spadek wysokości piany wraz z upływem czasu barbotażu. W przypadku propyloaminy nie zachodzi spadek wysokości piany z czasem, która jest dodatkowo taka sama dla różnych stężeń. Aminowe piany flotacyjne zawierające lupek są inne niż bez łupka. Obecność łupka znacząco podnosi wysokość piany, która po wyflotowaniu większej ilości łupka wraca do takiej samej wysokości jak bez łupka. Nie zachodzi więc znaczące usuwanie aminy wraz z koncentratem flotacyjnym. Zwiększanie wysokości piany dzięki obecności łupka wynika ze stabilizacyjnego działania ziarn łupka na pianę. Wysokość piany w obecności łupka silnie zależy od rodzaju spieniacza i rośnie wraz z liczbą węgli w rodniku węglowodorowym aminy. Wychody maksymalne produktu pianowego flotacji w obecności propyloaminy są wyższe niż dla salmiaku i etyloaminy, co świadczy o jej podwyższonych zdolnościach zbierających. Stwierdzono, że napięcie powierzchniowe badanych roztworów wpływa na wysokość piany i wychód flotacji łupka miedzionośnego. W przypadku chlorku amonu, gdzie obserwuje się wzrost napięcia powierzchniowego wraz ze wzrostem stężenia roztworu, wykazano spadek flotacji oraz nieznaczny wzrost wysokości piany flotacyjnej w stosunku do wysokości piany w czasie barbotażu. Natomiast dla etyloaminy oraz propyloaminy, dla których napięcie powierzchniowe spada wraz ze wzrostem stężenia obserwuje się nieznaczny wzrost flotacji oraz znaczny wzrost wysokości piany flotacyjnej łupka miedzionośnego w stosunku do wysokości piany w czasie barbotażu.

Wprowadzenie

W procesie flotacji piana jest tą częścią układu, w której następuje koncentrowanie się ziarn minerału użytecznego. Piana jest układem dwufazowym składającym się z cieczy oraz zdyspergowanego gazu lub trójfazowym (gaz–ciecz–ciało stałe). Do utworzenia się piany konieczne jest powstanie cienkiej błony wokół pęcherzyka gazowego, co zapobiega wypływowi z niej wody i tym samym zmniejszaniu się warstwy między poszczególnymi pęcherzykami. Sprzyjają temu substancje, które sorbuja się na granicy międzyfazowej pęcherzyk gazowy-ciecz (Kowalczuk i Drzymała, 2017; Castro i inni, 2013; Drzymała, 2009; Gupta i inni, 2007; Melo i Laskowski, 2006; Laskowski, 2004; Laskowski i inni, 2003; Cho i Laskowski, 2002; Laskowski i Woodburn, 1998; Małysa i inni, 1987).

Stabilność piany flotacyjnej jest sumą wielu czynników, do których zalicza się rodzaj spieniacza i jego stężenie, rozmiar pęcherzyków gazowych i ziarn mineralnych, hydrofobowość ziarn, pH roztworu, napięcie powierzchniowe, przepływ powietrza i inne (Laskowski i inni, 2013; Gupta i inni, 2007; Melo i Laskowski, 2006; Laskowski i inni, 2003; Cho i Laskowski, 2002; Laskowski i Woodburn, 1998). Jednak, jak podaje Cho (2001), piana

nie może być zbyt stabilna, gdyż zachodzą wtedy problemy z selektywną flotacją i dostawaniem się ziarn płonnych do piany flotacyjnej, co skutkuje obniżeniem jakości koncentratu.

W pracy badano zachowanie się piany flotacyjnej powstałej podczas flotacji solnej (Ratajczak i Drzymała, 2003) łupka miedzionośnego z Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (Konopacka i Zagożdżon, 2014) przy użyciu wybranych amin krótkołańcuchowych oraz salmiaku (NH_4Cl), jako prekursora szeregu homologicznego amin. W tym celu, część badawczą podzielono na dwa etapy. W etapie pierwszym mierzono zmienność wysokości piany w czasie oraz obserwowano wielkość poszczególnych pęcherzyków tworzących pianę w obecności wodnych roztworów stosowanych spieniaczy o różnych stężeniach. W części drugiej, znając już zachowanie się pian dla poszczególnych stężeń, przeprowadzono flotacje w celu sprawdzenia jak wpływa wysokość piany na wychód flotacji łupka miedzionośnego. Rozważono także rolę napięcia powierzchniowego w badanych procesach.

Materiały i metodyka badań

Użyty do badań łupek miedzionośny P_D , także nazywany łupkiem P (Drzymała i inni, 2017), pochodził z rejonu LGOM i charakteryzował się zawartością 0,831% Cu oraz 5,34% C_{org} (Drzymała i inni, 2017). Badania wykonane przez Kubiaka i Drzymałę (2017) wskazują, że średni kąt zwilżania tego łupka w obecności wody destylowanej wynosi 25°.

Do badań jako spieniaczy wykorzystano chlorek amonu oraz aminy, których podstawową charakterystykę przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowa charakterystyka stosowanych odczynników spieniających o ogólnym wzorze $C_nH_{2n+1}-NH_2$ (HCl), gdzie $n = 0, 2, 3$

Nazwa odczynnika	Wzór sumaryczny	Czystość substancji, %	Gęstość, g/cm ³	Masa molowa g/mol
Chlorek amonu	NH_4Cl ($\text{H}-\text{NH}_2 \cdot \text{HCl}$)	99,5	1,53	53,49
Etyloamina	$\text{C}_2\text{H}_7\text{N}$ ($\text{C}_2\text{H}_5 \cdot \text{NH}_2$)	66–72	0,81	45,08
Propyloamina	$\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$ ($\text{C}_3\text{H}_7 \cdot \text{NH}_2$)	99	0,72	59,11

Badania składały się z dwóch etapów. Etap pierwszy polegał na badaniu stabilności piany, powstałej z wodnych roztworów niżej wymienionych odczynników przy różnych stężeniach, poprzez obserwację zmian jej wysokości w czasie. W drugim etapie dla wybranych stężeń odczynników przeprowadzono flotacje, w których określono wychody produktów. (Witan, 2017).

Badania wysokości i struktury piany dla układu woda-powietrze-spieniacz

Badania przeprowadzono w maszynie flotacyjnej typu mechanicznego Mechanobr, wyposażonej w celkę flotacyjną o pojemności 0,25 dm³, którą zapełniano badanym roztworem odczynnika (tabela 1). Po każdorazowej zmianie badanego związku, celkę i wirnik dokładnie przepłukiwano wodą destylowaną. Badania prowadzono przy stałych obrotach wirnika równych 5940 obrotów/min oraz przy przepływie powietrza wynoszącym 4 dm³/min. Do celki podpięto linijkę, co dało możliwość odczytywania wysokości piany z dokładnością do jednego

milimetra. Po początkowej stabilizacji wodnego roztworu soli co 5 minut odnotowywano wysokość piany. Obserwacje prowadzono każdorazowo do zauważenia tendencji czy to wzrostowej, czy spadkowej, a czas badania wynosił od 30 do 60 minut. Dodatkowo wykonywano dokumentujące zmiany zdjęcia przy użyciu aparatu fotograficznego Canon EOS D550.

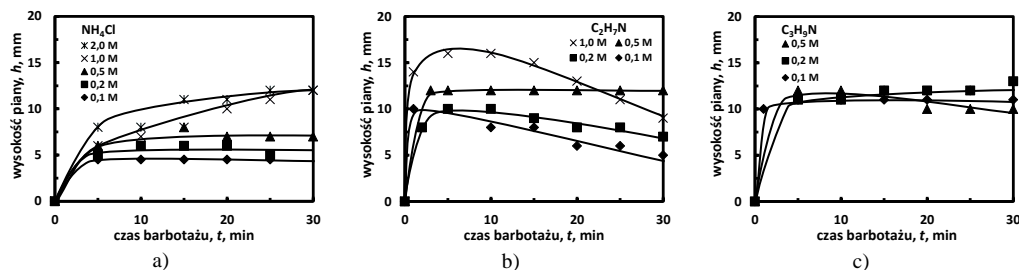
Badania wysokości i struktury piany dla układu woda–powietrze–łupek–spieniacz

Do każdej flotacji użyto 30 g rozdrobnionego łupka o frakcji $-100\ \mu\text{m}$. Materiał i przygotowany odczynnik o badanym stężeniu dodano do celki i przez 3 minuty mieszano. Następnie otworzono zawór dopływu powietrza i powstającą pianę ręcznie zgarniano do kolejno podstawianych naczyń. Czas liczono od pierwszego zgarnięcia piany. Flotację prowadzono przez 30 min, w czasie której, podobnie jak dla układu woda-powietrze-spieniacz odczytywano wysokości piany z dokładnością do jednego milimetra. Wszystkie koncentraty i odpady poddano przemywaniu wodą destylowaną ($1\ \text{dm}^3$) i przesączeniu używając do tego kolby i lejka Büchnera oraz bibuły filtracyjnej, tak aby dokładnie obmyć ziarna z używanych przy flotacjach odczynników. Naczynia z przesączonymi produktami flotacji wkładano do suszarki, w celu odparowania wody, a potem ważono i określano wychody.

Wyniki i dyskusja badań

Piana bez obecności ziarn łupka

Na rysunku 1. pokazano zależność wysokości piany dla wody i badanego spieniacza od czasu barbotażu powietrzem. W przypadku chlorku amonu (rys. 1a), piana dla roztworu o stężeniu 0,1 M okazała się najniższą, jednak jej wysokość nie zmieniała się przez cały cykl pomiarów. Przy dwukrotnie wyższym stężeniu piana była wyższa, jednak końcowo zaczęła maleć. Dla roztworu chlorku amonu o stężeniu 0,5 M piana osiągnęła swoją maksymalną wysokość w 15 minut, po czym jakby zaczęła maleć. Dla dwukrotnie wyższego stężenia piana stale rosła aż do osiągnięcia w 30 minucie maksimum, wynoszącego 12 mm i wysokość tę utrzymała do końca pomiaru. Najwyższe stężenie, to jest 2,0 M, dostarczyło pianę równie wysoką, a nawet szybciej rosnącą niż przy stężeniu 1,0 M, jednak końcowo odnotowano jej spadek o 2 mm.



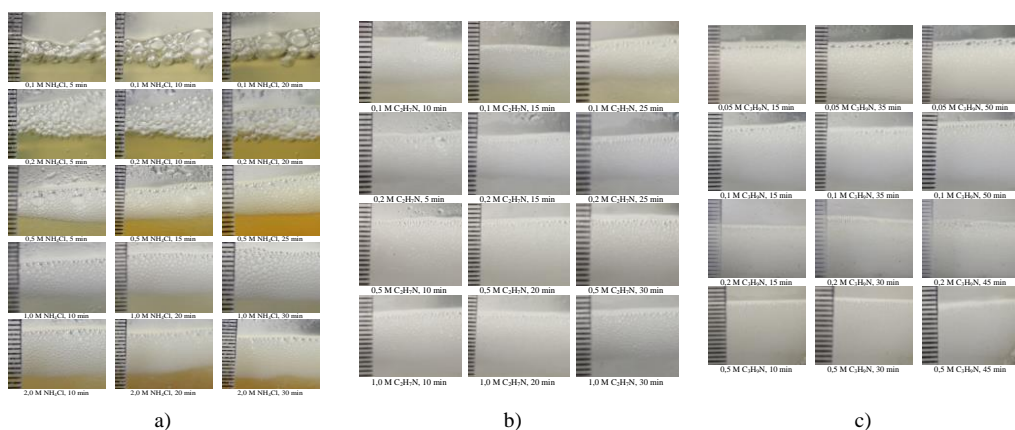
Rys. 1. Zależność wysokości piany od czasu barbotażu powietrzem w maszynie flotacyjnej dla badanych spieniaczy bez ziarn łupka. a) chlorek amonu, b) etyloamina, c) propyloamina

Dla wszystkich jej stężeń roztworów etyloaminy (rys. 1b) maksymalne wysokości piany odnotowywano na początku pomiarów, a następnie zachodziło stopniowe zmniejszanie się jej wysokości. Dla stężenia 0,1 M i 0,2 M spadek występuje niemal ciągle z nielicznymi,

5-minutowymi okresami stagnacji; początkowo przy niskich stężeniach obserwowano wysoką pianę, jednak już po 5 minutach nastąpiło odwrócenie sytuacji i tak pozostało do końca obserwacji. Przy stężeniu 0,5 M szybko otrzymano wysoką pianę, która utrzymywała się na tym samym poziomie, to jest 12 mm, przez ponad 25 minut, po czym nastąpił spadek o 2 mm. Roztwór o stężeniu 1,0 M osiągnął swoje maksimum wynoszące 16 mm już w 5 minutach, jednak po 10 minutach rozpoczął się spadek, którego końcową wartością było 9 mm, czyli mniej niż końcowa wysokość odnotowana przy roztworze dwukrotnie mniej stężonym.

W przypadku propyloaminy (rys. 1c) do 25 minut każde stężenie wytwarzało pianę o podobnej wysokości, wahającej się od 10 do 12 mm. Dla piana w roztworze o stężeniu 0,5 M od 15 minuty notuje spadek lub stagnację końcowo osiągając 9 mm. Dla roztworu o stężeniu 0,2 M od 35 minuty odnotowano pianę o wysokości 15 mm. Piana uzyskana przy zastosowaniu roztworu o stężeniu 0,1 M utrzymywała niemalże jednakową wysokość (11-12 mm) od początku do końca pomiarów. Najniższe stężenie, to jest 0,05 M, dostarczyło końcowo największą wysokość piany wynoszącą 16 mm.

Oprócz badania wysokości piany ważnym aspektem była również obserwacja poszczególnych pęcherzyków i warstw przez nie tworzonych. Dobrym odzwierciedleniem są zdjęcia, wykonane w czasie prowadzonych badań (rys. 2.), które obrazują pianę przy boku celki, dzięki czemu widoczny jest przekrój piany.



Rys. 2. Struktura badanych pian: a) chlorek amonu, b) etyloamina, c) propyloamina

Obrazy piany (rys. 2a) przy badanych stężeniach chlorku amonu wskazują, że przy stężeniu 0,1 M widoczne są poszczególne pęcherzyki o wielkości kilku milimetrów, a piana tworzona jest przez jedną lub dwie warstwy pęcherzyków. Przy stężeniu 0,2 M pęcherzyki są już wyraźnie mniejsze, choć wciąż zdarzają się większe jednostki; piana utworzona jest średnio z 4 warstewek pęcherzyków. Przy stężeniu 0,5 M większość pęcherzyków jest mniejsza niż jeden milimetr. Widać specyficzną gradację wielkościową - największe pęcherzyki znajdują się na powierzchni, a najmniejsze przy granicy z roztworem; pianę tworzy od kilku do kilkunastu pęcherzyków powietrza. Przy stężeniu 1,0 M nie występują już pojedyncze pęcherzyki, które są wyraźnie większe niż pozostałe; ponownie występuje gradacja; pianę tworzy od kilku do kilkunastu pęcherzyków powietrza. Przy stężeniu 2,0 M piana jest najwyraźniej drobno-

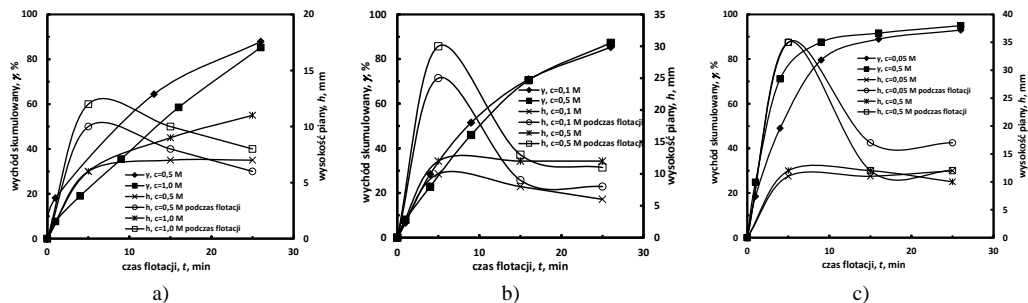
pęcherzykowa, a najmniejsze pęcherzyki są nie do wyróżnienia nieuzbrojonym okiem. Występuje gradacja. Pianę tworzy co najmniej kilkanaście pęcherzyków powietrza.

W przypadku etyloaminy czas początkowej niestabilności był krótszy niż w przypadku chlorku amonu i wynosił 1–2 minuty. Poniższe zdjęcia (rys. 2b) dobrze obrazują zmiany zachodzące przy wzroście stężenia roztworu etyloaminy, a opisać można je następująco. Przy stężeniu 0,1 M większość pęcherzyków jest mniejsza niż jeden milimetr; pianę tworzy kilkanaście pojedynczych warstwek. Przy stężeniu 0,2 M początkowo część pęcherzyków jest wyraźnie większa od pozostałych, za to później zaobserwować można gradację wielkościową; piana utworzona jest z kilkunastu warstwek. Przy stężeniu 0,5 M część pęcherzyków ze spodniej warstwy jest już nie do odróżnienia makroskopowo; pianę tworzy od kilkunastu do kilkudziesięciu warstwek. Przy stężeniu 1,0 M sytuacja jest niemalże taka sama jak przy dwukrotnie niższym stężeniu.

W przypadku propyloaminy czas początkowej niestabilności wynosił 1–2 minuty dla stężeń 0,05 M oraz 0,1 M oraz 5 minut dla dwóch wyższych stężeń. Zmiany zachodzące w strukturze piany dla propyloaminy obrazują poniższe zdjęcia (rys. 2c), a opisać można je następująco. Przy stężeniu 0,05 M występują pęcherzyki wielkości jednego milimetra. Występuje gradacja wielkościowa. Pianę tworzy kilkanaście pojedynczych warstwek. Przy stężeniu 0,1 M większość pęcherzyków jest mniejsza niż jeden milimetr; ponownie występuje gradacja. Piana utworzona jest z kilkunastu warstwek. Przy stężeniu 0,2 M początkowo wszystkie pęcherzyki są mniejsze niż jeden milimetr, jednak końcowo pojawiają się pojedyncze pęcherze wyraźnie większe od pozostałych. Pianę tworzy kilkadziesiąt warstwek. Przy stężeniu 0,5 M wszystkie pęcherzyki są mniejsze od jednego milimetra; pianę tworzy kilkadziesiąt warstwek.

Piany w obecności ziarn łupka

Wyniki flotacji łupka miedzionośnego w obecności badanych spieniaczy przedstawiono na rysunku 3.



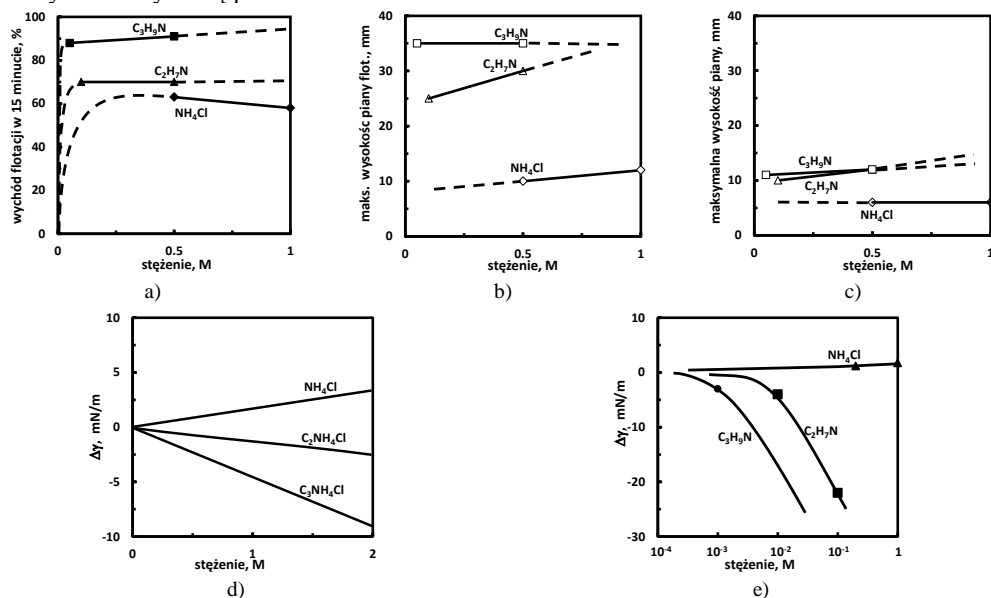
Rys. 3. Flotacja łupka miedzionośnego w obecności spieniaczy a) chlorku amonu, b) etyloaminy, c) propyloaminy. Na rysunku zaznaczono wysokości piany uzyskane bez łupka podczas barbotażu i z łupkiem podczas flotacji

Dla chlorku amonu przy stężeniu 0,5 M obserwowana piana była wysoce niestabilna, jej wysokość stale zmieniała się od 6 do 10 mm, tworzyły ją pojedyncze, bardzo duże, pęcherzyki. Przy stężeniu 1,0 M pojedyncze pęcherze osiągały wielkość 8–12 mm i początkowo to one tworzyły całą pianę. Po względnej stabilizacji piany składała się z 2–3 warstw pęcherzyków. Dla obu wodnych roztworów chlorku amonu flotację prowadzono do osiągnięcia białej piany. Jak wynika z rys. 3a, szczególnie dla stężenia 1,0 M, końcowo zauważalna jest tendencja do

wypoziomowania się krzywych, ale jednak nie osiągnięto pełnego plateau. Ostatecznie osiągnięto wysokie wychody rzędu 85–90%.

W przypadku etyloaminy flotację łupka miedzionośnego przeprowadzono przy stężeniu 0,1 M (dla pian niskich) oraz 0,5 M (dla pian wysokich). Wyniki badań zdolności flotowania przy użyciu etyloaminy zawarto na rysunku 3b. W początkowej fazie flotacji w stężeniu 0,1 M pojedyncze pęcherze osiągały nawet 25 mm, po około 10 minutach nastąpiła stabilizacja wysokości i piana utrzymywała się na wysokości 8–9 mm, składając się z kilku warstw pęcherzyków. Po otwarciu zaworu z dopływem powietrza piana przy flotacji w stężeniu 0,5 M osiągała nawet 30–40 mm. Stabilizacja i zmniejszenie się wysokości nastąpiło po około 10 minutach, wtedy to piana wahała się w granicach 11–13 mm. Jak wynika z rysunku 3b. otrzymano plateau zarówno dla niższego jak i wyższego stężenia wodnych roztworów etyloaminy, a maksymalne uzyskane wychody wynoszą ponad 85%.

Do przeprowadzenia flotacji w roztworach propyloaminy wybrano stężenie 0,05 M (dla pian wysokich) oraz stężenie 0,5 M (dla pian niskich). Wyniki zawarto na rysunku 3c. Piana flotacyjna przy stężeniu 0,05 M początkowo osiągała średnio 35 mm wysokości. Po 10 minutach można było zaobserwować względną stabilizację wysokości piany na poziomie 17 mm, a końcowo pianę tworzyło kilka warstewek pęcherzyków. Otwarcie zaworu regulującego dopływ powietrza przy stężeniu 0,5 M zaowocowało początkowo pianą o wysokości 35–40 mm. I podobnie jak w poprzednich przypadkach od 10 minuty można mówić o stabilizacji, kiedy to piana utrzymywała się na poziomie 12 mm, kiedy to była tworzona przez kilka warstw pęcherzyków. Flotacja dla wodnych roztworów propyloaminy przebiegała bardzo dobrze, co widać na rysunku 10. Dla obu stężeń uzyskano plateau, a wychody maksymalne wynoszą ponad 90%.



Rys. 4. Wpływ stężenia chlorku amonu, etyloaminy oraz propyloaminy na a) flotację łupka miedzionośnego w czasie 15 minuty, b) wysokość piany z udziałem ziarn łupka (przy czasie flotacji 5 min), c) wysokość piany bez udziału ziarn łupka (przy czasie barbotażu 5 min), d, e) napięcie powierzchniowe ich roztworów (Lyklema, 2000 (rys., 4d); Lyklema, 2000 (rys. 4e dla NH_4Cl , przy 25 °C); He i inni, 2016 (rys. 4e dla C_2H_5N , przy 30°C); George i inni, 2008 (rys. 4e dla C_3H_7N , przy 25°C))

Na rysunku 4. pokazano wpływ stężenia chlorku amonu, etyloaminy oraz propyloaminy na flotację łupka miedzionośnego w 15 minucie, wysokość piany z udziałem ziarn łupka, wysokość piany bez udziału ziarn łupka. Na rys. 4d i 4e dodatkowo pokazano wpływ stężenia stosowanego spieniacza na napięcie powierzchniowe jego roztworu wodnego, ważnego parametru pian flotacyjnych. Z rys. 4a wynika, że w przypadku chlorku amonu wychód flotacji łupka nieznacznie maleje przy nieznacznym wzroście wysokości piany z (rys. 4a, 4b), przy jednoczesnym wzroście napięcia powierzchniowego (rys. 4d, e). Natomiast w przypadku etyloaminy i propyloaminy, dla których napięcie powierzchniowe maleje wraz ze wzrostem stężenia roztworu (rys. 4d, e) obserwuje się nieznaczny wzrost wychodu, przy wzroście lub stałej wysokości piany flotacyjnej z udziałem łupka (rys. 4b) oraz przy niewielkim wzroście piany bez ziaren łupka (rys. 4c). Dodatkowo, widać, że następuje znaczny wzrost wysokości piany flotacyjnej dla etyloaminy i propyloaminy (rys. 4b) w stosunku do wysokości piany bez udziału łupka miedzionośnego (rys. 4c).

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że każdy spieniacz działa inaczej, chociaż należą do tej samej rodziny związków. Wysokość piany bez łupka dla chlorku amonu osiąga plateau, tym większe im wyższe jest stężenie soli. Dla etyloaminy obserwuje się spadek wysokości piany wraz z upływem czasu barbotażu. W przypadku propyloaminy nie zachodzi spadek wysokości piany z czasem, która jest dodatkowo taka sama dla różnych stężeń.

Dodatkowo zaobserwowano, że aminowe piany flotacyjne zawierające łupek są inne niż bez łupka. Obecność łupka znacząco podnosi wysokość piany, która po wyflotowaniu większej ilości łupka wraca do takiej samej wysokości jak bez łupka. Nie zachodzi więc znaczące usuwanie aminy wraz z koncentratem flotacyjnym. Zwiększanie wysokości piany dzięki obecności łupka wynika ze stabilizacyjnego działania ziarn łupka na pianę. Wysokość piany w obecności łupka silnie zależy od rodzaju spieniacza i rośnie wraz z liczbą węgla w rodniku węglowodorowym aminy.

Stwierdzono, że napięcie powierzchniowe badanych spieniaczy wpływa na wysokość piany i wychód flotacji łupka miedzionośnego. W przypadku chlorku amonu, gdzie obserwuje się wzrost napięcia powierzchniowego wraz ze wzrostem stężenia roztworu, wykazano spadek flotacji oraz nieznaczny wzrost wysokości piany flotacyjnej w stosunku do wysokości piany w czasie barbotażu. Natomiast dla etyloaminy oraz propyloaminy, dla których napięcie powierzchniowe spada wraz ze wzrostem stężenia obserwuje się nieznaczny wzrost flotacji oraz znaczny wzrost wysokości piany flotacyjnej łupka miedzionośnego w stosunku do wysokości piany w czasie barbotażu.

Ponadto zauważono, że wychody maksymalne produktu pianowego flotacji w obecności propyloaminy są wyższe niż dla salmiaku i etyloaminy, co świadczy o jej podwyższonych zdolnościach zbierających.

Podziękowania

Praca powstała w ramach zlecenia statutowego Politechniki Wrocławskiej 0401/0121/16.

Literatura

CHO Y.S., 2001. *Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability*, The Univeristy of British Columbia, Vancouver, 1-93.

- CHO Y.S., LASKOWSKI J.S., 2002. *Effect of flotation frothers on bubble size and foam stability*, Int. J. Miner. Process. 64, 69-80.
- CASTRO S., MIRANDA C., TOLEDO P., LASKOWSKI J.S., 2013. *Effect of frothers on bubble coalescence and foaming in electrolyte solutions and seawater*, International Journal of Mineral Processing 124, 8-14.
- DRZYMAŁA J., 2009. *Podstawy mineralurgii*, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław.
- DRZYMAŁA J., KARWOWSKI P., BOROWSKI K., PAŹIK P., KOWALCZUK P.B., 2017. *Próba klasyfikacji łupków Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego na podstawie zawartości węglanów, minerałów ilastych, węgla organicznego oraz miedzi*, W: *Łupek miedzionośny III*, WGGG PWR, Wrocław.
- GEORGE B. J., PEREIRA N., MASSUM M. A., KOLEV S. D., ASHOKKUMAR M., 2008. *Sensitivity enhancement in membrane separation flow injection analysis by ultrasound*, Ultrasonics Sonochemistry 15, 151-156.
- GUPTA A. K., BANERJEE P.K., MISHRA A., 2007. *Effect of frothers on foamability, foam stability, and bubble size*, Coal Preparation, 27:1-3, 107-125, DOI: 10.1080/07349340701249794.
- HE J., LIU H., SHAN P., ZHANG K., QIN Y., LIU L., 2016. *Supported-gas-membrane process for removal and recovery of aliphatic amines from aqueous streams*, Chemical Engineering Science 141, 330-341.
- KONOPACKA Ź., ZAGOŹDŹON K.D., 2014. *Łupek miedzionośny Legnicko-Głogowskiego okręgu miedziowego*, W: *Łupek miedzionośny*, WGGG PWR, Wrocław, 7-12.
- KOWALCZUK P. B., DRZYMAŁA J., 2017. *Selectivity and power of frothers in copper ore flotation*, Physicochem. Probl. Miner. Process. 53(1), 515-523.
- KUBIAK B., DRZYMAŁA J., 2017. *Wpływ zawartości węgla organicznego na hydrofobowość łupka miedzionośnego*, W: *Łupek miedzionośny III*, WGGG PWR, Wrocław.
- LASKOWSKI J.S., 2004. *Testing flotation frother*, Physicochem. Probl. Miner. Process., 38, 13-22.
- LASKOWSKI J. S., WOODBURN E. T., 1998. *Frothing in Flotation II: Recent Advances in Coal Processing*, Volume 2, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.
- LASKOWSKI J. S., CASTRO S., RAMOS O., 2013. *Effect of seawater main components on frothability in the flotation of Cu-Mo sulfide ore*, Physicochem. Probl. Miner. Process. 50(1), 17-29.
- LASKOWSKI J. S., CHO Y. S., DING K., 2003. *Effect of frothers on bubble size and foam stability in potash ore flotation systems*, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 81, 63-69.
- LYKLEMA J., 2000. *Fundamentals of interface and colloid science. Vol. 3, Liquid-fluid interfaces*, Academic Press, London.
- MAŁYSA E., MAŁYSA K., CZARNECKI J., 1987. *A method of comparison of the frothing and collecting properties of frothers*. Colloids and Surfaces, 23, 29-39.
- MELO F., LASKOWSKI J.S., 2006. *Fundamental properties of flotation frothers and their effect on flotation*. Minerals Engineering, 19(6-8), 766-773.
- RATAJCZAK, T., DRZYMAŁA, J., 2003. *Flotacja solna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- WITAN J., 2017. *Stabilność piany flotacyjnej w obecności soli*. Praca dyplomowa, opiekun T. Ratajczak, WGGG PWR, Wrocław.