

## **Wpływ temperatury na flotację łupka w obecności wybranych speniaczy**

**Paulina Kaczmarska, Alicja Bakalarz**

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

---

### **STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono wpływ temperatury na flotację łupka miedzionośnego. Badania przeprowadzono przy trzech różnych temperaturach (15, 25, 35 °C) w obecności sześciu odczynników z grupy związków alkilopoliglikolowych. W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono jednoznacznego wpływu temperatury na flotację łupka w obecności badanych speniaczy.

---

### **WSTĘP**

Z wielu badań wynika, że temperatura ma wpływ na proces flotacji. Może ona wpływać na adsorpcję kolektorów, co bezpośrednio wpływa na szybkość flotacji (Rao, 2004). Wyższa temperatura skraca czas potrzebny na przytwierdzenie się pęcherzyka powietrza do ziarna mineralnego. W badaniach dotyczących flotacji chalkopiryty i sfalerytu zauważono, że wzrost temperatury powoduje skrócenie czasu flotacji, ale może mieć to wpływ na niższą selektywność (O'Connor i in., 1984). W niektórych przypadkach zauważono, że wraz ze wzrostem temperatury zawiesiny flotacyjnej wzrasta uzysk składnika użytecznego w koncentracie. W pracy Cooka (1950) we flotacji fluorytu z kwasem oleinowym wykazano, że poniżej temperatury 40 °C uzysk fluorytu jest bardzo niski, natomiast przy wroście temperatury do 70 °C lub wyższej, uzysk gwałtownie rośnie. Wy tłumaczono to faktem, że kwas oleinowy w temperaturze pokojowej adsorbuje się fizycznie, a gdy temperatura wzrasta adsorbuje się chemicznie. W badaniach dotyczących wpływu temperatury na flotację ilmenitu (Parkins, 1976) wykazano, że uzysk ilmenitu wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, ale nie jest to jednoznaczne z wychodem koncentratu, który jest wyższy przy niższych temperaturach (Rao, 2004). Rosnący uzysk przy wyższej temperaturze zaobserwowano również przy flotacji celestynu (Galvez i Castro, 1995). Inaczej jest przy flotacji węgla. W badaniach z użyciem alkoholi alifatycznych (Gyle, 1961) wykazano, że im wyższa temperatura tym niższy uzysk węgla. Natomiast we flotacji węgla z użyciem nafty i jej mieszanin nie zaobserwowano wpływu temperatury na uzyski węgla. Temperatura ma również wpływ na pH i lepkość zawiesiny flotacyjnej, a także na tworzenie się pęcherzyków powietrza. Im niższa temperatura, tym piana wykazuje większą stabilność (O'Connor i in., 1984).

Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu temperatury na bezkolektorową flotację łupka miedzionośnego z Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego w obecności sześciu wybranych speniaczy z grupy eterów alkilopoliglikolowych.

## MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Próbki łupka miedzionośnego pochodzące z obszaru Zakładów Górniczych Rudna (KGHM Polska Miedz) poddano badaniom bezkolektorowej flotacji w trzech różnych temperaturach: 15, 25 i 35 °C. Jako spieniaczy w eksperymentach użyto wodnych roztworów:

- eteru monometyloвого glikolu dietylenowego ( $C_2E_2$ )
- eteru monobutyloвого glikolu dietylenowego ( $C_4E_2$ )
- eteru monoheksyloвого glikolu dietylenowego ( $C_6E_2$ )
- eteru monometyloвого glikolu tripropylenowego ( $C_1P_3$ )
- eteru dimetyloвого glikolu dipropylenowego ( $C_{1,1}P_2$ )
- eteru monopropyloвого glikolu tripropylenowego ( $C_3P_3$ ).

Nadawę do flotacji stanowiła próbka łupka miedzionośnego o masie 300 g, którą bezpośrednio przed każdym testem flotacji poddawano procesowi mielenia na mokro w młynku kulowym. W wyniku mielenia blisko 84% ziarn łupka znajdowało się w klasie ziarnowej poniżej 0,040 mm. Badania flotacji prowadzono w maszynie typu mechanicznego Mechanobr. Komora flotacyjna wykonana ze szkła akrylowego (pleksiglas) miała pojemność 1 dm<sup>3</sup>. Na czoło każdej flotacji podawano stałą dawkę spieniacza równą 50 g/Mg. Piana była zbierana za pomocą ręcznego zgarniaka. Podczas procesu flotacji stężenie odczynnika spieniającego utrzymywane było na stałym poziomie. Testy flotacji trwały 45 min, podczas których zbierano 6 koncentratów. Temperaturę zawiesiny w komorze flotacyjnej mierzono za pomocą termometru laboratoryjnego. Po każdej flotacji produkty suszono w laboratoryjnej suszarce w temperaturze 105 °C. Po wykonaniu wszystkich testów flotacji oraz wysuszeniu próbek i określeniu ich wychodów, przygotowywano próbki do analizy na określenie zawartości miedzi.

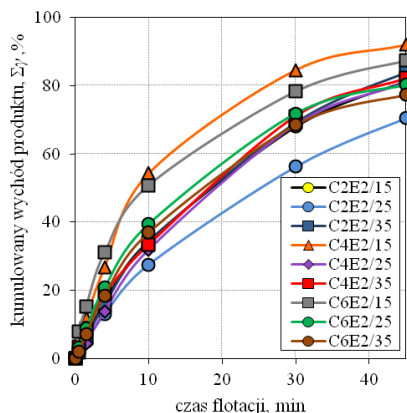
## WYNIKI I Dyskusja BADAŃ

Na podstawie otrzymanych wyników badań przygotowano bilanse wzbogacania oraz sporządzono krzywe kinetyki flotacji. Wyniki badań podzielono na dwie grupy testów z użyciem eterów glikoli etylenowych ( $C_nE_2$ ) i propylenowych ( $C_nP_m$ ). Wykresy kinetyki dla testów z użyciem eterów glikoli etylenowych ( $C_nE_2$ ) zestawiono na rysunkach 1 i 2.

Spośród spieniaczy z grupy eterów glikoli etylenowych najszybszy proces flotacji, a tym samym najwyższą wartość końcowego uzysku miedzi w koncentracie oraz wychodu produktu, zanotowano dla odczynnika  $C_4E_2$  w temperaturze 15 °C. Najwolniej flotacja zaszła w obecności spieniacza  $C_2E_2$  w temperaturze 25 °C, dając ostatecznie wyraźnie najmniejszy wychód łupka oraz końcowy uzysk miedzi w koncentracie spośród wszystkich testów. Wartości końcowych wychodów łupka po czasie flotacji 40 minut zawierają się w przedziale około 70–90%, natomiast uzysków maksymalnych miedzi w koncentracie od 50 do 85%. Można zauważyć korelację pomiędzy wartościami wychodu łupka a uzyskiem miedzi w koncentracie.

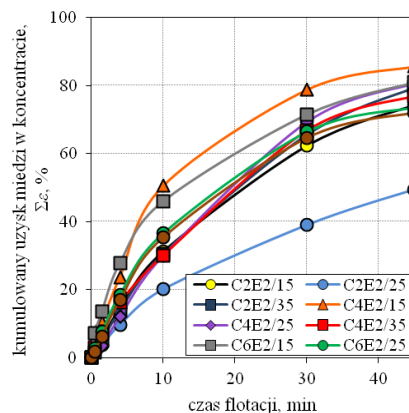
Rysunki 3 i 4 przedstawiają krzywe kinetyki dla testów z użyciem eterów glikoli propylenowych ( $C_nP_m$ ). Dla tych spieniaczy najszybszy proces flotacji, a tym samym najwyższą wartość końcowego uzysku miedzi w koncentracie oraz wychodu produktu, zaobserwowano dla odczynnika  $C_1P_3$  w temperaturze 15 °C. Najwolniej flotacja zaszła w obecności spieniacza  $C_3P_3$  w temperaturze 25 °C, dając ostatecznie najmniejszy wychód łupka oraz końcowy uzysk miedzi w koncentracie spośród wszystkich testów. Wartości końcowych wychodów łupka po czasie flotacji 40 minut zawierają się w przedziale około 75–98%, natomiast uzysków maksymalnych miedzi w koncentracie od 70 do 90%. Dla tej grupy

odczynników zanotowano natomiast wyższe końcowe wartości wskaźników w porównaniu z odczynnikami z grupy eterów glikoli etylenowych. Podobnie jak w przypadku spieniaczy z grupy  $C_nE_2$ , także dla opisywanych spieniaczy można zauważyć korelację pomiędzy wartościami wychodu łupka a uzyskiem miedzi w koncentracie.



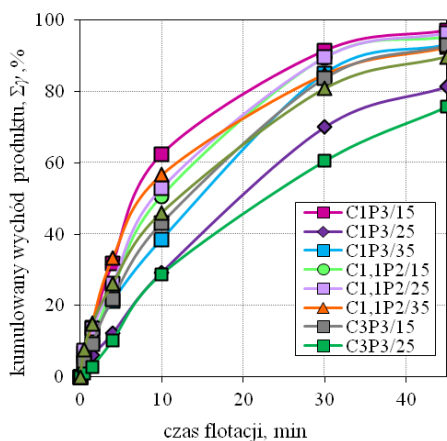
Rysunek 1.

Krzywa kinetyki flotacji łupka miedzionośnego jako zależność wychodu produktu od czasu dla testów z użyciem spieniaczy z grupy eterów glikoli etylenowych  $C_nE_2$



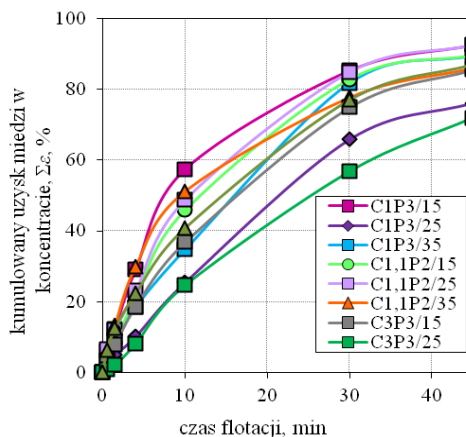
Rysunek 2.

Krzywa kinetyki flotacji łupka miedzionośnego jako zależność uzysku miedzi w koncentracie od czasu dla testów z użyciem spieniaczy z grupy eterów glikoli etylenowych  $C_nE_2$



Rysunek 3.

Krzywe kinetyki flotacji łupka miedzionośnego jako zależność wychodu produktu od czasu dla testów z użyciem spieniaczy z grupy eterów glikoli propylenowych  $C_nP_m$



Rysunek 4.

Krzywa kinetyki flotacji łupka miedzionośnego jako zależność uzysku miedzi w koncentracie od czasu dla testów z użyciem spieniaczy z grupy eterów glikoli propylenowych  $C_nP_m$

W tabeli 1. przedstawiono maksymalne wartości uzysków Cu w koncentracie oraz wychodów produktów dla wszystkich wykonanych testów flotacji.

Tabela 1.  
Maksymalne wartości uzysków Cu w koncentracji oraz wychodów produktów dla wszystkich wykonanych testów flotacji

Odczynnik	Temperatura, °C	$\gamma_{\max}$ , %	$\epsilon_{\max}$ , %
C <sub>2</sub> E <sub>2</sub>	15	81,28	74,34
	25	70,54	49,46
	35	84,03	79,49
C <sub>4</sub> E <sub>2</sub>	15	92,02	85,60
	25	80,92	80,65
	35	82,23	76,99
C <sub>6</sub> E <sub>2</sub>	15	87,39	80,96
	25	80,25	73,65
	35	77,34	72,09
C <sub>1</sub> P <sub>3</sub>	15	97,13	92,64
	25	81,44	76,21
	35	93,18	89,51
C <sub>1,1</sub> P <sub>2</sub>	15	95,43	89,76
	25	96,50	92,63
	35	92,52	86,13
C <sub>3</sub> P <sub>3</sub>	15	92,93	85,61
	25	75,81	71,94
	35	90,77	88,73

Analizując dane w tabeli 1. można zauważyć, że w testach z odczynnikami C<sub>2</sub>E<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>P<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>P<sub>3</sub> równocześnie najniższe maksymalne wychody i uzyski Cu w koncentracji otrzymano w temperaturze 25 °C. Największe wartości  $\epsilon_{\max}$  i  $\gamma_{\max}$  dla czterech badanych odczynników C<sub>4</sub>E<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>E<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>P<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>P<sub>3</sub> zanotowano przy temperaturze flotacji 15 °C.

## WNIOSKI

W pracy zbadano wpływ temperatury na flotację łupka miedzionośnego, pochodzącego z Zakładów Górniczych Rudna (KGHM Polska Miedź). W ramach badań wykonano testy flotacji przy trzech temperaturach (15, 25 i 35 °C) z sześcioma różnymi odczynnikami z grupy związków alkilopoliglikolowych (C<sub>1</sub>P<sub>3</sub>, C<sub>1,1</sub>P<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>P<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>E<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>E<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>E<sub>2</sub>) podawanymi do zawiesiny w jednej stałej dawce 50 g/Mg.

W badaniach stwierdzono, że szybszą flotację łupka a tym samym wyższe wartości wychodów oraz uzysków miedzi w koncentracji stwierdzono dla spieniaczy z grupy eterów glikoli propylenowych. Najgorsze wskaźniki flotacji (najniższe wartości wychodów oraz uzysków miedzi w koncentracji) dla odczynników C<sub>2</sub>E<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>P<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>P<sub>3</sub> zanotowano w temperaturze prowadzenia flotacji 25 °C. Najszybciej i najefektywniej flotacja łupka zachodziła dla czterech badanych odczynników C<sub>4</sub>E<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>E<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>P<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>P<sub>3</sub> w temperaturze flotacji 15 °C.

W pracy nie wykazano istotnego wpływu temperatury na flotację łupka w obecności wybranych spieniaczy z grupy eterów glikoli etylenowych i propylenowych, w zadanych warunkach prowadzenia procesu flotacji. W odniesieniu do badań dostępnych w literaturze, nie zaobserwowano jednoznacznego polepszenia czy pogorszenia flotacji łupka wraz ze wzrostem temperatury zawiesiny. Wręcz przeciwnie, najszybszą flotację a także największe uzyski miedzi w koncentracji i wychody łupka zaobserwowano dla najniższej badanej temperatury (15 °C). Najgorsze wskaźniki zanotowano dla temperatury 25 °C. Podczas badań nie zaobserwowano także różnicy w stabilności piany w zależności od temperatury. Możliwe, że wpływ temperatury na flotację łupka miedzionośnego pochodzącego z rejonu LGOM byłby zauważalny przy użyciu innych spieniaczy bądź ich mieszanek, a także przy niższych lub

wyższych temperaturach niż tych przyjętych i zbadanych w niniejszej pracy. Z pewnością zagadnienie to wymaga dalszych i szerszych badań.

## PODZIĘKOWANIA

Praca powstała w oparciu o wyniki badań przedstawionych w pracy dyplomowej autorstwa Pauliny Kaczmarskiej pt. „Flotacja łupka miedzionośnego w zależności od temperatury”, zrealizowanej na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

Praca była częściowo realizowana w ramach zlecenia statutowego Politechniki Wrocławskiej B50182.

## LITERATURA

- COOK M. A., LAST A. W., 1950. *Fluorite Flotation II*, Bull, Utah Engineering Expt. Station, Univ. Utah Salt Lake City, 47.
- GALVEZ B.A., CASTRO F.H.B., 1996. *The influence of temperature during flotation of celestite and calcite with sodium oleate and quebracho*, International Journal of Mineral Processing, 46, 35-52.
- GYLE J.B., EDDY W.H., 1961. *Laboratory investigation of the effect of temperature on coal flotation*, United States Department of Interior.
- O'CONNOR C.T., DUNNE R.C., BOTEHLO DE SOUSA A.M.R., 1984. *The effect of temperature on the flotation of pyrite*, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 84, 12, 389-394.
- PARKINS E.J. SHERGOLD H.L., 1976. *The effect of temperature on the conditioning and flotation of ilmenite ore*, w: Flotation, vol. 1, ed. M. C. Fuerstenau, Am. Inst. Mining, Metallurgical Engineers, Littleton, 561-579.
- RAO S.R., 2004. *Surface chemistry of froth flotation*. Vol.2, Reagents and mechanisms, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York, 569-571.