

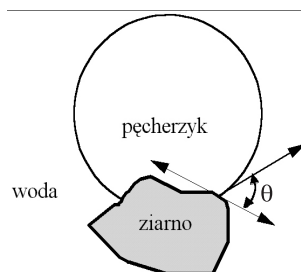
Danuta Szyszka\*

## WYNIESIENIE MECHANICZNE ZIAREN PODDANYCH FLOTACJI WYŁĄCZNIE SPIENIACZEM

---

### 1. Wstęp

Flotacja to metoda separacji zaliczana w przeróbce kopalin do metod fizykochemicznych. Zachodzi ona w wyniku wielu zjawisk międzyfazowych z udziałem ciała stałego, wody i gazu, powodując powstanie tzw. kąta zwilżania  $\Theta$ . Jest to kąt powstały pomiędzy pęcherzykiem powietrza a powierzchnią ziarna mineralnego zanurzonego w wodzie (rys. 1), mierzony w punkcie kontaktu trzech faz [13].



Rys. 1. Kąt zwilżania [3]

Jeżeli powierzchnia ziarna jest zwilżalna, to  $\Theta = 0$ , ziarno takie w mineralurgii nazywamy hydrofilnym. Gdy kąt zwilżania wynosi  $\Theta > 0$ , to takie ziarno jest hydrofobowe. Wyniesienie mechaniczne zawsze towarzyszy flotacji ziaren hydrofobowych [1, 6, 8, 9, 14, 15, 18–20]. Jest to proces niepożądany, ponieważ obniża jakość oraz wartość koncentratów flotacyjnych. Jest on także zwany flotacją mechaniczną [2, 11]. Flotacja mechaniczna po-

---

\* Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska, Wrocław

lega na wynoszeniu, oprócz ziarn hydrofilowych także niektórych ziarn hydrofobowych do warstwy pianowej. Zjawisko to nie polega, jak w przypadku flotacji, na łączeniu się z pęcherzykami powietrza, lecz na uwięzieniu ziarn mineralnych pomiędzy pęcherzykami powietrza.

Flotacja mechaniczna może przebiegać według kilku mechanizmów, które polegają na wynoszeniu, okluzji, unoszeniu, porywaniu, koagulacji, i pokryciu mułowym [7, 9, 10, 16, 17].

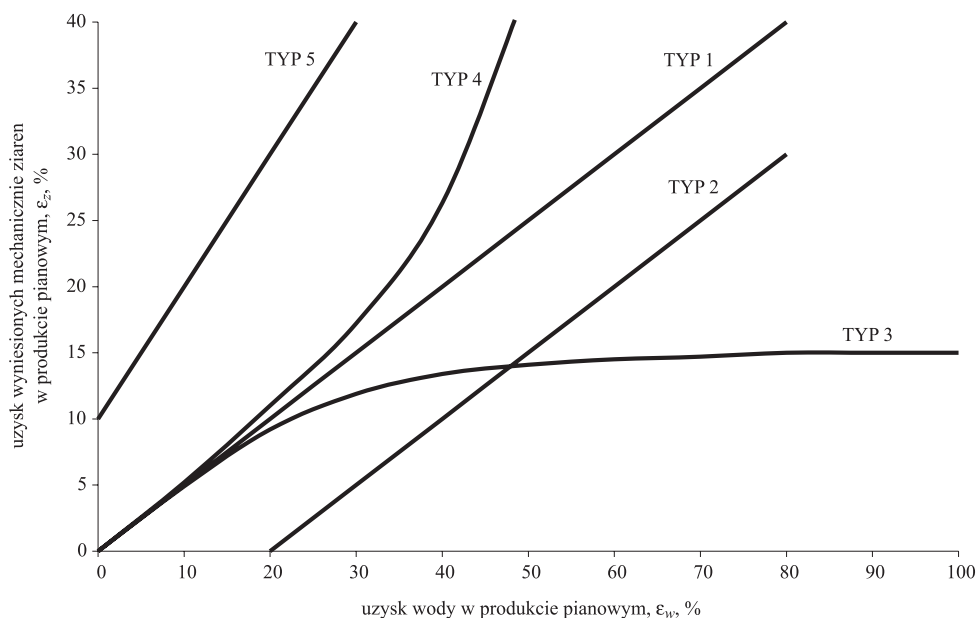
Wynoszenie dotyczy najczęściej ziarn drobnych, ze względu na ich małą prędkość opadania w pianie. Drobne cząstki skały płonnej dostają się do warstwy pianowej wraz z wodą zwaną międzypęcherzykową, ponieważ ich prędkość opadania (wynikająca z niewielkiej masy) jest mniejsza niż prędkość unoszenia się pęcherzyków powietrza. Porywanie [17] powoduje, że za wznoszącym się pęcherzykiem gazu znajduje się więcej ziarn hydrofilowych niż w innych obszarach. Okluzja zachodzi, gdy mamy do czynienia z silną mineralizacją piany ziarnami hydrofobowymi. Ziarna hydrofilowe zostają uwięzione w przestrzeniach między pęcherzykami powietrza. Z unoszeniem mamy do czynienia wtedy, gdy agregaty pęcherzyków powietrza i ziarn hydrofobowych układają się w rodzaj półki (rys. 4) i unosząc się popychają ku górze ziarna hydrofilowe za Konopacką [9, 10]. Na wyniesienie mechaniczne składają się także inne zjawiska jak koagulacja ziarn polegająca na adhezji w wyniku działania sił dyspersyjnych i elektrycznych [16]. Z kolei pokrycie mułowe to adhezja drobnych ziarn do powierzchni ziarn grubych [7].

## 2. Opis procesu flotacji mechanicznej

Intensywność procesu flotacji mechanicznej zależy od rodzaju stosowanego urządzenia oraz odczynników, gdyż zaobserwowano duże różnice w intensywności flotacji mechanicznej zauważono we flotacji pianowej w stosunku do flotacji bezpianowej. Podczas flotacji pianowej na wyniesienie mechaniczne wpływają takie czynniki jak gęstość ziaren, wielkość tych ziaren, geometria komory flotacyjnej, właściwości piany flotacyjnej oraz sposób prowadzenia flotacji [4, 5, 12, 20, 21].

W celu określenia wielkości wyniesienia mechanicznego ziaren hydrofilowych zwykle zbiera się produkt pianowy i określa w nim ich zawartość, a także uzysk wody i ciał stałych. Następnie sporządza krzywą wzbogacania. Najbardziej przejrzyste jest przedstawianie przeprowadzonych testów jako zależności uzysku wyniesionych mechanicznie ziaren  $\epsilon_z$  od uzysku wody  $\epsilon_w$  [9] w postaci krzywej Fuerstenaua [3]. W zależności od sposobu prowadzenia flotacji różnych układów poddanych flotacji mechanicznej krzywe Fuerstenaua mogą przybierać różne kształty pokazane za Konopacką [9] na rysunku 2.

Analiza rysunku 2 wskazuje, że typ 3 krzywej wyniesienia mechanicznego, ze względu na obecność tzw. plateau może stać się dobrym miernikiem wyniesienia mechanicznego, gdyż da się sprowadzić do jednej wartości pomiarowej. Dla wypracowania metody oceny spieniaczy pod kątem ich zdolności do wyniesienia mechanicznego przeprowadzono testy flotacji mechanicznej, które opisano w następnym rozdziale.



**Rys. 2.** Kształty krzywych zależności uzysku ziaren wyniesionych mechanicznie  $\epsilon_z$  od uzysku wody  $\epsilon_w$  [9]

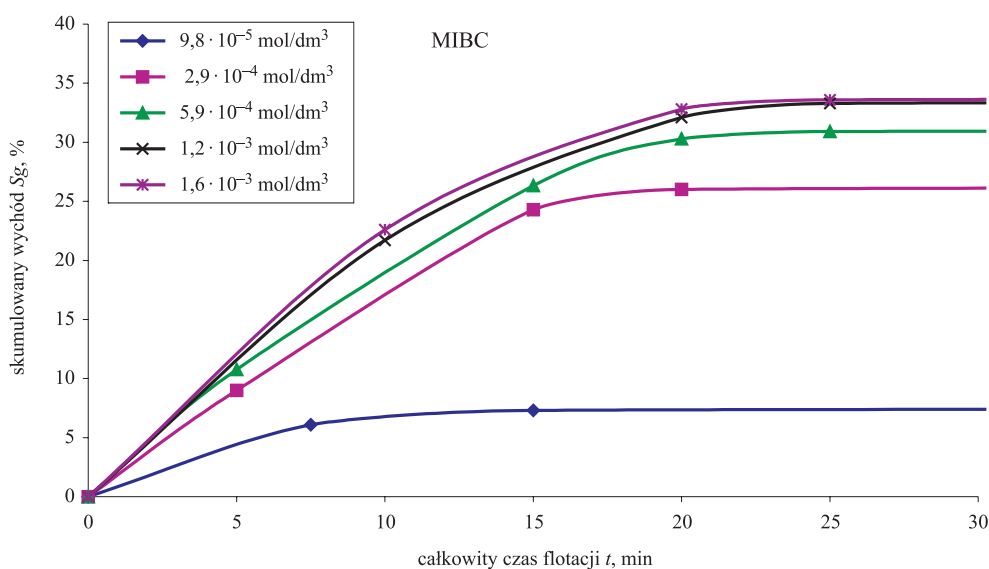
Do badań użyto materiał o drobnym uziarnieniu (mączka kwarcowa) oraz nieco ziarna w postaci odmytego piasku kwarcowego. Jako speniacz stosowano metyloizobutylocarbinol  $(CH_3)_2CHCH_2CH(OH)CH_3$  (MIBC) o stężeniach  $9,8 \cdot 10^{-5}$ ;  $2,9 \cdot 10^{-4}$ ;  $5,9 \cdot 10^{-4}$ ;  $1,2 \cdot 10^{-3}$ . Odważoną ilość kwarcu (30 g mączki kwarcowej o uziarnieniu  $< 56 \mu m$  pochodzącej z Strzeblowa lub 30 g mączki kwarcowej ( $< 56 \mu m$ ), +15 g odmytego piasku kwarcowego z Osiecznicy = 45 g) wsypywano do komory o pojemności  $250 \text{ cm}^3$  maszyny flotacyjnej typu Mechanobr zalewano  $250 \text{ cm}^3$  cieczy (woda destylowana + speniacz). Po zwilżeniu próby odkręcano zawór doprowadzający powietrze do komory maszyny flotacyjnej. Powstała na powierzchni piana była zbierana ręcznie do naczynia.

We wszystkich zastosowanych stężeniach MIBC tworzyła się na powierzchni cieczy piana flotacyjna i zachodził proces flotacji mechanicznej badanego kwarcu. Flotację kwarcu prowadzono do zaniku zjawiska flotacji mechanicznej używanego kwarcu.

Na podstawie bilansów sporządzano wykresy kinetyczne flotacji, przy zastosowaniu różnych stężeń testowanych speniaczy. Każda z flotacji była prowadzona do momentu zaniku zjawiska wyniesienia mechanicznego. Po długim czasie flotacji, zauważono, że wartość skumulowanego wychodu nie wzrasta i wyniesienie mechaniczne osiąga plateau dla różnych stężeń co obrazuje rysunek 3.

Testy przeprowadzone przy różnych stężeniach pozwoliły na uzyskanie charakterystycznych wartości plateau dla różnych stężeń. Z badań można także wysnuć wniosek, że coraz

wyższe stężenie speniacza doprowadza do plateau w zależności od stężenia speniacza, zatem każdy speniacz można scharakteryzować jedną liczbą dla danego stężenia speniacza (tab. 1).



Rys. 3. Zależność pomiędzy czasem flotacji a skumulowanym wychodem dla kwarcu wynoszonego mechanicznie

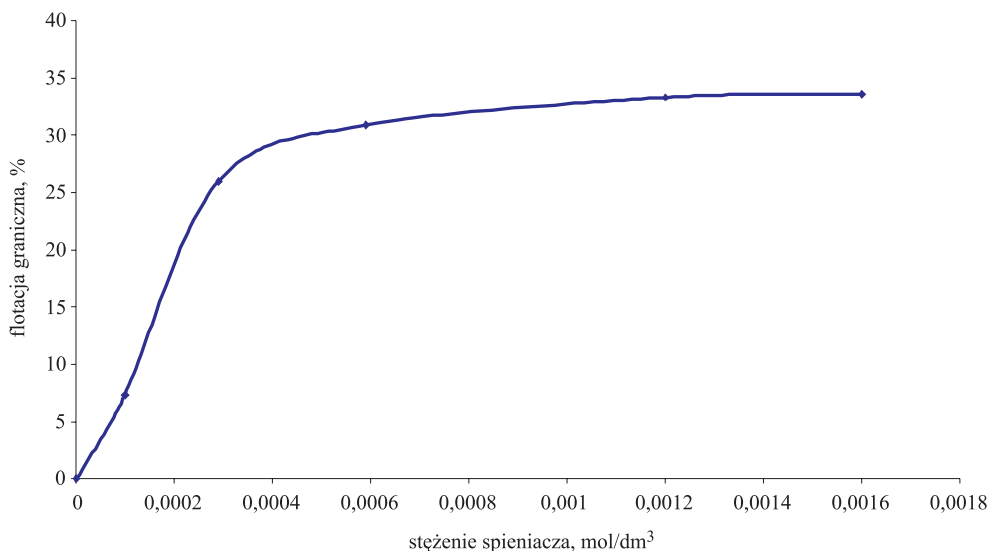
TABELA 1

Wartości graniczne wyniesienia flotacyjnego w zależności od stężenia MIBC

Numer flotacji	Stężenie speniacza, mol/dm <sup>3</sup>	Flotacji graniczna, Σγ <sub>max</sub> , %
0	0,0	0,0
26	$9,8 \cdot 10^{-5}$	7,3
24	$2,9 \cdot 10^{-4}$	26,0
25	$5,9 \cdot 10^{-4}$	30,9
27	$1,2 \cdot 10^{-3}$	33,3
29	$1,6 \cdot 10^{-3}$	33,6

Zależność pomiędzy czasem flotacji a skumulowanym wychodem dla kwarcu wynoszonego mechanicznie z użyciem MIBC przedstawia rysunek 4. Wykresy potwierdzają także fakt, że przy długim czasie flotacji wartość skumulowanego wychodu przestaje wzrastać i osiąga plateau (rys. 3).

Zależność pomiędzy stężeniem stosowanego w tej serii badań MIBC a uzyskanymi i granicznymi wychodami dla poszczególnych testów przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Zależność pomiędzy stężeniem MIBC a uzyskaną flotacją graniczną

Określenie wartości stężenia granicznego maksymalnej flotacji mechanicznej jest wysoce pożądane, gdyż może być użytecznym parametrem do opisu wyniesienia mechanicznego. Wykresy zależności pomiędzy flotacją graniczną i stężeniem speniacza wykazały, że istnieje stężenie, od którego dalszy wzrost stężenia zastosowanego odczynnika pianotwórczego nie wpływa już na wielkość wyniesienia mechanicznego. Dla MIBC wynosi on 32%. Liczba ta jest charakterystyczna tylko dla użytej w tej pracy metodyce pomiaru oraz składu ziarnowe użytego piasku kwarcowego. Zastosowana metoda badawcza znajduje się w trakcie dopracowywania.

### 3. Wnioski

Z przeglądu dotychczasowych badań oraz badań opisanych w tym artykule, wynika że wzrost stężenia speniacza powoduje nasilenie flotacji mechanicznej; ponadto istnieje pewne stężenie graniczne, przy którym krzywa zależności wychód – stężenie speniacza osiąga plateau. Każdy speniacz flotacyjny można scharakteryzować jedną liczbą charakterystyczną dla niego przy odpowiednim stężeniu tego speniacza. Określenie wartości stężenia granicznego maksymalnej flotacji mechanicznej jest bardzo pożądane, gdyż może to być bardzo użyteczny parametr do opisu wyniesienia mechanicznego.

Znaleziono związek pomiędzy stężeniem stosowanych odczynników pianotwórczych i wyniesieniem mechanicznym kwarcu. Potwierdzono, że przy długim czasie flotacji występuje tzw. graniczna flotacja mechaniczna, czyli największa możliwa do uzyskania w danym układzie flotacyjnym.

#### LITERATURA

- [1] *Bisshop J.P., White M.E.*: Study of particle entrainment in flotation froths. *Trans. Inst. Min. Metall.*, 85: C, 1976, 191–194
- [2] *Çilek E.C., Umucu Y.*: A statistical model for gangue entrainment into froths in flotation of sulphide ores. *Minerals Eng.*, 14(9), 2001, 1055–1066
- [3] *Drzymala J.*: Podstawy mineralurgii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2001, 230–235, 269, 271, 289–293, 311, 347, 350
- [4] *Drzymala J., Hrycina E.*: Entrainment of particles in the Mechanobr laboratory flotation machine. Wrocław, Górnictwo i Geologia VII, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., 106. *Studia i Materiały*, 30, 2004, 21–29
- [5] *Engelbrecht J.A., Woodburn E.T.*: The effects of froth height, aeration rate and gas precipitation on flotation. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, 76(3), 1975, 125–132
- [6] *Fuerstenau D.W.*: Fine particle flotation. W: *Fine Particles Processing*, Somasundaran P. (edytor). AIME, New York, 1, 1980, 669–705
- [7] *Gaudin A.M.*: Flotacja. Tłum. z II wydania oryginału: J. Olszewski, T. Piaseczny. Katowice, Wyd. Śląsk 1963
- [8] *Gülsoy Ö.Y., Ersayin S.*: A study on entrainment of hydrophilic particles in flotation. VIII Balkan Mineral Processing Conference, Belgrade, September 1999, 167–173
- [9] *Konopacka Ż.*: Flotacja mechaniczna. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2005
- [10] *Kirjavainen V.M.*: Study on entrainment mechanism in dispersed flotation suspensions. *Chemical Technology and Metallurgy Series*, 206, Helsinki 1992
- [11] *Kirjavainen V.M.*: Review and analysis of factors controlling the mechanical flotation of gangue minerals. *Int. J. Miner. Process.*, 23, 1996, 33–53
- [12] *Lynch A.J., Johnson N.W., Manlapig E.W., Thorne G.C.*: Mineral and coal flotation circuits — their simulation and control. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company 1981
- [13] *Łuszczkiewicz A., Laskowski J.*: Przeróbka kopalni. Wzbogacanie surowców mineralnych. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej 1989, 112–116, 129–131
- [14] *Maachar A., Dobby G.S.*: Measurement of feed water recovery and entrainment solids recovery in flotation columns. *Canadian Metall. Quarterly*, 31(3), 1992, 167–172
- [15] *Neethling S.J., Cilliers J.J.*: The entrainment of gangue into a flotation froth. *Int. Miner. Process.*, 64, 2002, 123–134
- [16] *Sonntag H.*: *Koloidy*. Warszawa, PWN 1982
- [17] *Smith P.G., Warren L.J.*: Entrainment of particles into flotation froths. [W:] *Frothing in Flotation*, J.S. Laskowski (edytor), Gordon and Breach Science Publishers, Glasgow, 1989, 123–145
- [18] *Subrahmanyam T.V., Forssberg E.*: Froth stability, particle entrainment and drainage in flotation — a review. *Int. J. Miner. Process.*, 23, 1988, 33–53
- [19] *Subrahmanyam T.V., Forssberg E.*: Study of particle entrainment in flotation with different frothers—the case of copper ore. XVI International Mineral Processing Congress, Elsevier Science Publishers B.V., Stockholm, 1988, 785–795
- [20] *Warren L.J.*: Determination of the contributions of true flotation and entrainment in batch flotation tests. *Int. J. Miner. Process.*, 14, 1985, 33–44
- [21] *Trahar W.J.*: A rational interpretation of the role of particle size in flotation. *Int. J. Miner. Process.*, 8, 1981, 289–327