

Ewa MAŁYSA*

Stanisława SANAK-RYDLEWSKA*

Stanisław SIEKIERKA**

FLOTACJA MUŁÓW WĘGLOWYCH Z KOPALNI HALEMBA

Przedstawiono wyniki badań flotowalności mułów węglowych będących nadawą na zagęszczacz Dorra z kopalni "Halemba". Muły te zalicza się do łatwo wzbogacalnych i wprowadzenie procesu flotacji w skali przemysłowej pozwoli uzyskać koncentrat wysokiej jakości. Badania flotacyjne wykonywano stosując olej napędowy jako zbieracz i różne odczynniki pianotwórcze: olej sosnowy, alkohole ciężkie, flotanol i oktanol. Spośród przebadanych spieniaczy najgorsze wyniki flotacji uzyskano dla oleju sosnowego, natomiast dla pozostałych spieniaczy efekty wzbogacania są zbliżone. Zbadano także wpływ gęstości zawiesiny mułu węglowego na wyniki flotacji. Z badań tych wynika, że można stosować szeroki przedział zagęszczania zawiesiny flotacyjnej od 60 do 150 kg/m.

WPROWADZENIE

W przemyśle rośnie liczba zakładów przeróbczych, które wprowadzają wzbogacanie flotacyjne mułu węglowego [Sablik, 1989]. Chodzi tu głównie o wzbogacanie mułu węgla koksowych, jak również coraz częściej mułu węgla energetycznych. Za wprowadzeniem flotacji do wzbogacania mułu węgla energetycznych przemawia fakt zamykania obiegów wodno-mułowych zakładów przeróbczych [Laskowski, Ryncarz, 1967]. Flotacja spełnia wtedy następujące zadania: wzbogaca najdrobniejsze ziarna węglowe, utrzymuje na odpowiednim poziomie zagęszczenie części stałych i pozwala zamykać obiegi wodno-mułowe. W procesie flotacji z produktem pianowym wyprowadza się 3/4 całej ilości mułu z obiegu wodno-mułowego. Węzeł flotacji w połączeniu z węzłami odwadniania odpadów flotacyjnych umożliwia zawracanie czystej wody do obiegu.

W związku z wprowadzaniem węzła flotacji w zakładzie przeróbki węgla z kopalni "Halemba" podjęto badania nad flotowalnością ich mułów. Kopalnia "Halemba" jest jedną z największych kopalń w polskim przemyśle górniczym, której roczne wydobywanie kształtuje się na poziomie 4,2 mln Mg (netto). W eksploatowanym węglu występuje ponad 80 % węgla koksowego oraz 20 % węgla energetycznego. Kopalnia planuje ciągły wzrost wydobywania przy założeniu eksploatacji tylko węgla koksowego od roku 1996. Ze względu na ciągły wzrost wydobywania, rosnące wymagania jakościowe węgla handlowego przy równocześnie pogarszającej się charakterystyce popiołowo-ziarnowej urobku zachodziła konieczność wykonania gruntownej modernizacji zakładu przeróbczego, w tym budowy flotacji oraz

* Instytut Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych AGH, Kraków

** Państwowa Agencja Węgla Kamiennego, Katowice

stacji odwadniania. W 1991 roku ukończono modernizację zakładu przerobczego w zakresie wzbogacania klasy ziarnowej powyżej 0,5 mm oraz przystąpiono do uruchamiania flotacji węgla. Obecnie zakład przerobczy jest przystosowany do przyjęcia całego urobku węglowego w ilości 2300 Mg/h brutto przy docelowym pełnym zakresie wzbogacania węgla. Pełne wzbogacanie urobku węglowego w osadzarkach gruboziarnistych i mialowych w zakładzie przerobczym spowoduje tworzenie się bardzo dużej ilości mułu, który dotychczas odwadniany był na filtrach tarczowych. Uruchomienie oddziału flotacji pozwoli na usprawnienie gospodarki wodno-mułowej, utrzymanie zamkniętego obiegu wodno-mułowego, co ma duże znaczenie dla ochrony środowiska, a także na uzyskanie koncentratów flotacyjnych o wysokiej jakości w planowanej ilości 250 tys. Mg/rok. Kopalnia z tego tytułu uzyska wzrost średniej ceny zbytu węgla, co w pełni uzasadnia celowość stosowania flotacji tych mułów.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań był muł węgla z KWK "Halemba", pobrany z nadawy na zagęszczacz Dorra. Skład ziarnowy mułu kierowanego do flotacji, zawartość popiołu i siarki w poszczególnych klasach oraz wyliczone średnie zawartości popiołu dla dowolnie szerokiej klasy ziarnowej przedstawiono w tabeli 1. Średnie zawartości popiołu i siarki w nadawie wynosiły odpowiednio 17% i 0,64%.

Tabela 1

Analiza sitowa i chemiczna mułu węglowego z KWK "Halemba"

Sieve and chemical analyses of the coal slimes from Halemba Mine

klasa ziarnowa [mm]	wychód γ [%]	popiół A^a [%]	wychód kum. $\sum \gamma$ [%]	siarka, % S_t^a	popiół, % A_{sr}^a
+0,5	12,88	6,27	12,88	0,55	6,27
0,5-0,315	11,86	5,46	24,74	0,58	5,88
0,315-0,2	12,42	6,50	37,16	0,60	6,08
0,2-0,1	14,02	11,73	51,18	0,59	7,62
0,1-0,063	8,48	16,67	59,66	0,97	8,91
0,063-0,04	4,74	19,27	64,40	0,81	9,67
0,04-0,00	35,60	30,49	100,0	0,62	17,08
NADAWA	100,0	17,08		0,64	

Doświadczenia flotacyjne wykonywano w mechanicznej maszynie laboratoryjnej o pojemności komory 1,5 dm³. Prowadzono flotację frakcjonowaną. Każde doświadczenie flotacyjne powtarzano dwukrotnie. We wszystkich doświadczeniach flotacyjnych jako

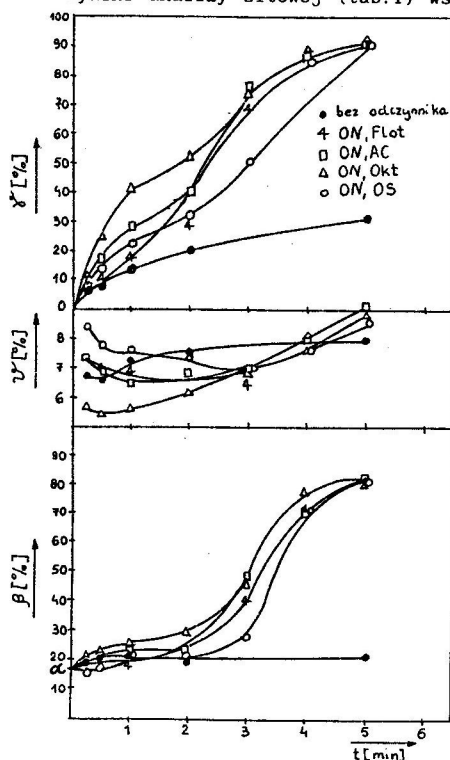
zbieracza użyto oleju napędowego (ON), dodawanego w ilości 375g/Mg nadawy. Zastosowano natomiast różne odczynniki pianotwórcze, takie jak: olej sosnowy (OS), oktanol (Okt), alkohole ciężkie (AC) i flotanol (Flot) w ilościach do 150g/Mg nadawy. Odczynniki dozowano przed flotacją w ilości 150g/Mg ON i 50g/Mg spieniacza, następnie po drugiej i trzeciej minucie flotacji w ilościach odpowiednio 150g/Mg ON, 50g/Mg spieniacza i 75g/Mg ON, 50g/Mg spieniacza.

Zbadano także wpływ gęstości zawiesiny na jakość koncentratów i odpadów dla stałych dawek oleju napędowego (375g/Mg) i oktanolu (150g/Mg). Stosowano gęstości zawiesiny: 40, 60, 80, 100 i 150 kg/m³.

Wyniki zilustrowano graficznie na rysunkach 1-5. Przedstawiają one zależności wychodu (γ), zawartości popiołu w koncentraty (θ), zawartości popiołu w odpadach (β) od czasu flotacji (t) lub od gęstości zawiesiny (g).

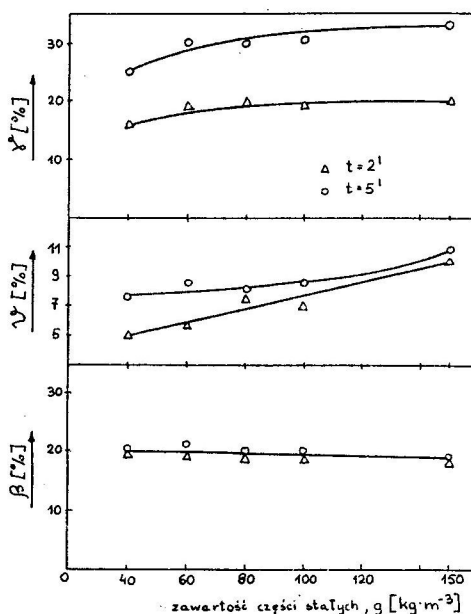
OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki analizy sitowej (tab.1) wskazują na stosunkowo duży udział klasy powyżej



Rys.1. Kinetyka flotacji mulu węglowego o gęstości 80kg/m³ przy użyciu ON i badanych odczynników pianotwórczych

Fig.1 Flotation kinetics of the coal slime of density 80kg/m³ in a presence of ON and the frothers studied

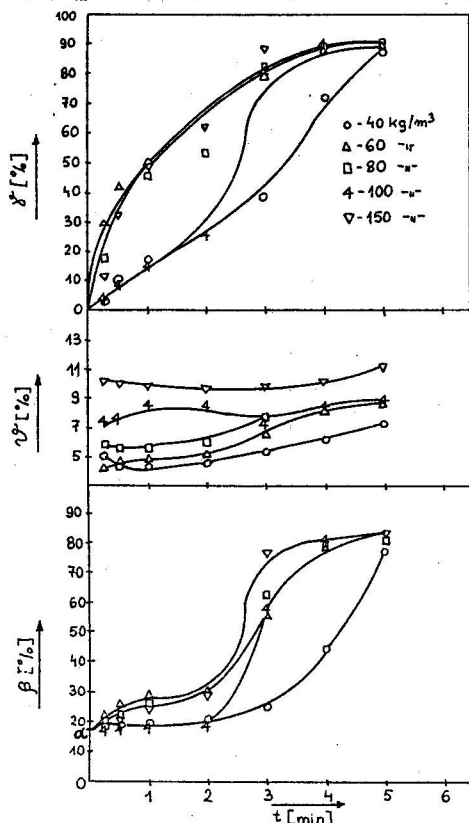


Rys.2. Zależność wychodu koncentratu (γ), zawartości popiołu w koncentracie (θ) i w odpadach (β) od gęstości zawiesiny, dla dwóch czasów flotacji. Flotacja mulu bez użycia odczynników flotacyjnych.

Fig.2 Dependences of the concentrate yield (γ), ash contents in concentrate (θ) and in tailings (β) on suspension density. Flotation of the slimes without the flotation reagents added

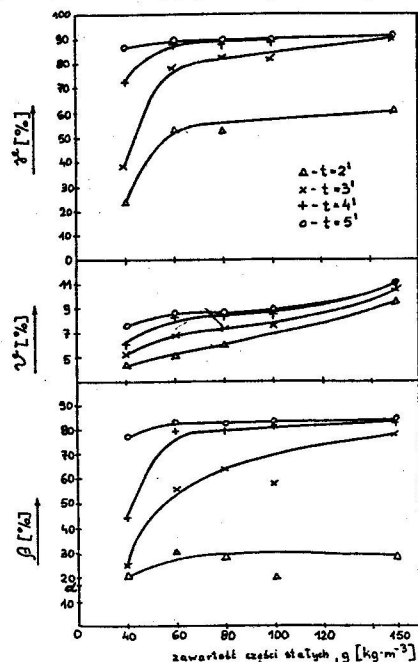
0,5mm, o wychodzie 13%, zawartości popiołu 6,3% i zawartości siarki całkowitej 0,55%. Natomiast wychód klasy poniżej 0,04mm wynosił 36% o zawartości popiołu 30%. Z otrzymanych wyników widać, że klasę powyżej 0,2mm o wychodzie 37% i zawartości popiołu 6% można by odsiać przed skierowaniem mułu do flotacji.

Węgiel kamienny z kopalni "Halemba" zalicza się do średniowęglonych i łatwo wzbogacalnych flotacyjnie [Małysa 1981]. Biorąc pod uwagę tę jego właściwość wykonano flotacje frakcjonowane bez użycia odczynników flotacyjnych (rys.1). Wychód



Rys.3. Kinetyka flotacji mułu przy użyciu oleju napędowego i oktanolu dla różnych gęstości zawiesiny

Fig.3. Flotation kinetics of the slime in a presence of diesel oil and octanol at various densities of the suspension



Rys.4. Zależność wychodu koncentratu (γ), zawartości popiołu w koncentracie (θ) i w odpadach (β) od gęstości zawiesiny dla czterech czasów flotacji. Flotacja mułu przy użyciu oleju napędowego i oktanolu.

Fig.4. Dependences of the concentrate yield (γ), ash contents in concentrate (θ) and in tailings (β) on suspension density for four flotation times. Flotation of the slimes in a presence of diesel oil and octanol.

koncentratu w tym przypadku, po 5 minutach flotacji wynosił około 30%, przy jego zapopieleniu około 8%. Na rysunku 1 porównano także kinetyki flotacji mułu węglowego dla różnych odczynników pianotwórczych, przy stałej dawce zbieracza ON. Po 5 minutach flotacji otrzymano koncentraty o parametrach bardzo zbliżonych do siebie niezależnie od rodzaju użytego spieniacza. Wychody koncentratów wynosiły 89%. Zawartości popiołu w

odpadach także były podobne (od 81% do 83%). Jak z tego widać, po tym czasie flotacji rodzaj odczynnika spieniającego nie ma wpływu na wyniki wzbogacania. Natomiast dla niższych czasów flotacji (poniżej 5 minut) wyniki wzbogacania są różne dla różnych spieniaczy. Najlepsze ilościowo-jakościowe koncentraty otrzymuje się dla oktanolu (koncentraty o najwyższych wychodach i najniższych zawartościach popiołu), a najgorsze dla oleju sosnowego. Przykładowo po 1 minucie flotacji wychody i zawartości popiołu w koncentratkach wynoszą odpowiednio dla oktanolu 42% i 5,5%, dla oleju sosnowego 32% i 7,4%. Od trzeciej minuty flotacji nie obserwuje się różnic w działaniu oktanolu, flotanolu i alkoholi ciężkich. Natomiast dla oleju sosnowego wyniki nadal są gorsze po tym czasie flotacji. Olej sosnowy posiada głównie właściwości pianotwórcze, natomiast pozostałe spieniacze (oktanol, flotanol i alkohole ciężkie) wykazują także właściwości zbierające i stąd obserwowane różnice w efektach flotacji [Małysa, 1981; Kotowski i in., 1979; Małysa i in., 1987].

Jak już wspomniano, węgiel z tej kopalni należy do łatwo wzbogacających się flotacyjnie, dlatego też zbadano zależność wpływu gęstości na wyniki flotacji bez użycia odczynników. Na rysunku 2 podano wyniki flotacji dla dwóch czasów: 2 i 5 minut. Jak widać z podanych zależności, dla gęstości od 60 do 150 kg/m³, wychody koncentratów są zbliżone i wynoszą odpowiednio około 20% i 30% po 2 i 5 minutach flotacji. Natomiast zawartości popiołu w koncentracie są różne w zależności od czasu flotacji i od gęstości. Po 2 minutach procesu następuje wzrost zawartości popiołu w koncentracie ze

Tabela 2

Wyniki flotacji mułu węglowego z KWK "Halemba" za pomocą oleju napędowego i różnych spieniaczy

Results of flotation of the coal slimes from Halemba Mine in a presence of diesel oil and various frothers.

Rodzaj odczynnika	Produkt	Wychód γ [%]	Zawartość popiołu	siarki	Wartość opałowa [kJ/kg]
olej napędowy +flotanol	koncentrat	85,38	7,59	0,57	30128
	odpady	14,62	71,86	0,95	
	nadawa	100,0	16,99	0,63	26604
olej napędowy +olej sosnowy	koncentrat	85,66	7,70	0,58	30110
	odpady	14,34	69,97	0,83	
	nadawa	100,0	16,63	0,62	26604
olej napędowy +oktanol	koncentrat	87,28	8,13	0,59	29.896
	odpady	12,72	77,92	0,93	
	nadawa	100,0	17,0	0,63	26604
olej napędowy + AC	koncentrat	85,34	7,94	0,61	30061
	odpady	14,66	70,62	0,92	
	nadawa	100,0	17,13	0,66	26604

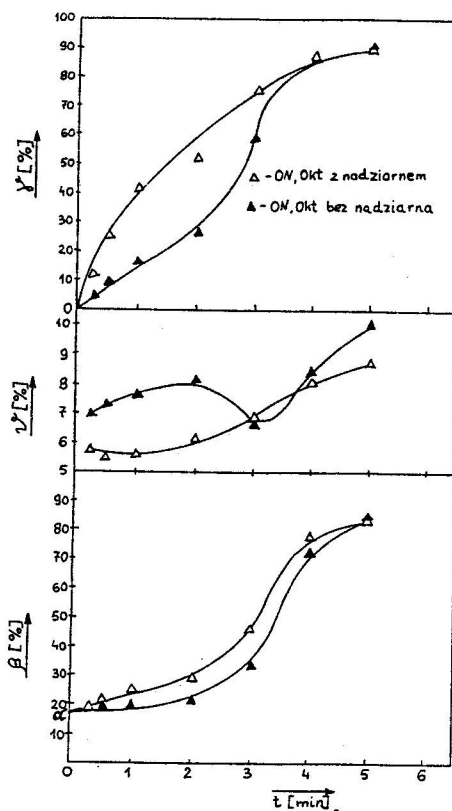
wzrostem czasu flotacji. Najniższą zawartość popiołu w koncentracie uzyskuje się dla gęstości flotowanej zawiesiny równej 40 kg/m³. Po 5 minutach flotacji zawartości popiołu

w koncentratkach są zbliżone dla gęstości: 60, 80, 100 kg/m^3 . Dla gęstości 150 kg/m^3 uzyskuje się koncentrat o najwyższej zawartości popiołu równej około 11%, przy wychodzie około 36 % (rys.2).

Analizując przebieg kinetyki flotacji mułu dla różnych gęstości zawiesiny, przy użyciu już odczynników, widać, że dla gęstości 40 kg/m^3 uzyskuje się koncentraty o najniższych zawartościach popiołu w całym zakresie czasu trwania procesu. Przy czym ich wychody są najniższe (rys.3). Natomiast koncentraty uzyskane z flotacji zawiesiny o gęstości 150 kg/m^3 charakteryzują się najwyższymi zawartościami popiołu. Prowadząc flotację w czasie do dwóch minut obserwuje się niewielki wzrost zawartości popiołu w odpadach, natomiast po dodaniu następnej dawki odczynnika następuje gwałtowny wzrost zawartości popiołu w odpadach. Po 5 minutach flotacji, niezależnie od gęstości nadawy, otrzymuje się odpady o zawartościach popiołu od 80% do 84%. Jedynie w przypadku gęstości 40 kg/m^3 uzyskuje się odpady o zawartości popiołu około 77%. Wychody koncentratów po 5 minutach flotacji dla gęstości: 60, 80, 100 i 150 kg/m^3 są także zbliżone i wynoszą od 89% do 92%, a dla gęstości 40 kg/m^3 wychód koncentratu wynosi 87% (rys.3). Dla badanych gęstości można skrócić czas flotacji poniżej 5 minut, jeśli zwiększymy dawkę odczynników flotacyjnych w początkowej fazie procesu z ilości 150g/Mg ON i 50g/Mg Okt. do ilości 375g/Mg ON i 150g/Mg Okt.

Na rysunku 4 porównano wpływ gęstości na wyniki flotacji dla czterech różnych czasów: 2, 3, 4 i 5 minut. Po czasie 4 i 5 minut flotacji wartości wychodów koncentratów i zawartości popiołu w odpadach są zbliżone dla gęstości od 60 do 150 kg/m^3 . Natomiast dla krótszych czasów flotacji (2 i 3 minut) obserwuje się dla badanego zakresu gęstości wzrost wychodów i zawartości popiołu w odpadach i w koncentracie ze wzrostem gęstości zawiesiny. Dla gęstości od 60 do 150 kg/m^3 wzrost ten jest łagodniejszy, natomiast dla gęstości od 40 do 60 kg/m^3 wzrost ten jest gwałtowny.

Dobór gęstości zawiesiny flotacyjnej będzie zależał od narzuconych parametrów jakościowych dla koncentratów i dla odpadów. W przypadku konieczności otrzymania



Rys.5. Kinetyka flotacji mułu z nadziarnem i bez nadziarna przy użyciu oleju napędowego i oktanolu

Fig.5. Flotation kinetics of the slimes with and without oversize grains present. Diesel oil and octanol added

koncentratów niskopopiołowych (poniżej 5%) należy stosować mniejszą gęstość nadawy, a mianowicie 40 lub 60 kg/m³. Gdy nie ma takich wymagań, wówczas stosowane gęstości zawiesiny mogą wynosić od 60 do 150 kg/m³ (rys.3,4).

Jak już wspomniano wcześniej, badany materiał zawierał około 13% klasy powyżej 0,5 mm, o stosunkowo niskiej zawartości popiołu wynoszącej około 6% (tab.1). W związku z tym, że ziarna te mogły trafić do odpadów, wykonano flotację materiału bez nadziarna. Stwierdzono, że jakość otrzymanych odpadów jest porównywalna z jakością odpadów otrzymanych z flotacji nadawy z nadziarnem (rys.5) tylko dla większych czasów flotacji (4, 5 minut). Dla niższych czasów flotacja z nadziarnem przebiega korzystniej, uzyskuje się wyższe wychody koncentratów o niższych zawartościach popiołu.

W tabeli 2 zestawiono zbiorcze wyniki flotacji po 4 minutach trwania procesu dla różnych spieniaczy. Jak widać z tego zestawienia wychody koncentratów są rzędu od 85% do 87%. Zawartości popiołu w koncentratkach wynoszą od 7,6% do 8,1%. W wyniku flotacji nastąpiło obniżenie zawartości siarki we wszystkich koncentratkach z około 0,64% do 0,58%. Równocześnie wartość opałowa wspomnianych produktów jest o około 4000 KJ/kg większa w porównaniu z wartością opałową dla nadawy.

WNIOSKI KOŃCOWE

Z otrzymanych wyników badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Muł węglowy będący nadawą na zagęszczacz Dorra z kopalni "Halemba" należy do łatwo wzbogacalnych flotacyjnie. Nadawa zawierała około 17% popiołu i 0,64% siarki. Materiał ten wzbogaca się nawet bez dodatku odczynników flotacyjnych. Niezależnie od gęstości zawiesiny (w przedziale od 60 do 150 kg/m³) uzyskano koncentraty o wychodach rzędu 30%, a zawartość popiołu w odpadach podwyższała się o około 4%.
2. Muł charakteryzował się dużą ilością klasy powyżej 0,5 mm (jej wychód wynosił 13%, a zawartość popiołu około 6%). Ziarna te są łatwo wzbogacalne i przechodzą do koncentratu.
3. Efekt końcowy wzbogacania flotacyjnego dla wszystkich badanych spieniaczy jest zbliżony dla czasu flotacji wynoszącego 5 minut. Uzyskano koncentraty o zawartościach popiołu rzędu 7,5% do 9% przy wychodach około 89% (rys.1). Odpady zawierają w każdym przypadku od 81% do 83% popiołu. Rodzaj odczynnika spieniającego nie wywiera aż tak dużego wpływu na końcowy efekt wzbogacania flotacyjnego.
4. Spośród zastosowanych odczynników pianotwórczych olej sosnowy wykazuje najsłabsze właściwości zbierające, dlatego wychody koncentratów są niższe w czasie trwania procesu niż w przypadku oktanolu, alkoholu ciężkich i flotanolu.
5. W zakresie zagęszczenia nadawy od 60 do 150 kg/m³ wyniki flotacji są zbliżone. A zatem w zakładzie przerobczym można stosować taki szeroki przedział zagęszczenia zawiesiny flotacyjnej.
6. Jeżeli zachodzi konieczność otrzymania koncentratów o niższej zawartości popiołu, proponuje się stosowanie niższych gęstości, tzn. 40 lub 60 kg/m³.

LITERATURA

Kotowski Cz., Małysa E., Bednarek A., 1978. Własności zbierające względem pirytu odczynników pianotwórczych, stosowanych we flotacji węgla. *Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, Górnictwo, Kraków*, s.153-163.

Laskowski J., Ryncarz A., 1967. Wzbogacanie flotacyjne węgla gazowych. *Przegląd Górniczy*, 23[4], s.174-182.

Małysa E., 1981. Określenie zdolności flotacyjnych węgla kamiennych o niskim stopniu uwęglenia. *Górnictwo*, 5[4], s.335-362.

Małysa E., Małysa K., Czarnecki J., 1987. A method of comparison of the frothing and collecting properties of frother. *Colloids and Surfaces* 23, p.29-39.

Sablik J., 1989. Pięćdziesiąt lat flotacji węgla w Polsce. *Przegląd Górniczy*, 45[1], s.10-15.

Małysa E., Sanak-Rydlowska S., Siekierka S., Flotation of coal slimes from the Halemba Mine, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 25 (1992) 33 - 40 (Polish text).

The paper presents results of investigations on flotation of coal slimes from Halemba Mine, which are the feed for Dorr thickener. These slimes are relatively easy-to-enrich and therefore the industrial flotation should yield high quality concentrates. Diesel oil was applied as the collector along with various frothers such as pine oil, flotanol, and a mixture of alcohols. It was found that similarly good enrichment was obtained when either flotanol or a mixture of alcohols were used as the frother. When pine oil was applied, the results were somewhat worse. The influence of the density of coal slimes suspension on flotation was also studied. The investigations showed that a wide range of densities of flotation suspension, from 60 to 150kg/m³, can be applied without decreasing the results of flotation.