

EWA MAŁYSA

Wpływ uziarnienia na wyniki floatacji węgla kamiennego

Słowa kluczowe

Węgiel, flotacja, uziarnienie, frakcje densymetryczne, heksanol

Streszczenie

Flotacja węgla kamiennych zależy od wielu czynników, między innymi od wielkości ziarn flotowanych. Im większe ziarno, tym większe prawdopodobieństwo zajęcia zderzenia ziarna z pęcherzykiem powietrza i większe prawdopodobieństwo powstania agregatu ziarno-pęcherzyk powietrza. Trwałość tego agregatu zależy od wielkości sił dążących do rozerwania agregatu i jest funkcją rozmiaru i gęstości ziarna. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu uziarnienia na proces flotacji węgla kamiennego. Aby wyeliminować wpływ gęstości ziarn flotowano klasy ziarnowe o bardzo zbliżonych gęstościach i różnej wielkości ziarn. Zaobserwowano wyraźne różnice we flotowalności klas ziarnowych o tych samych ciężarach i różnych rozmiarach. W przypadku ziarn o gęstości poniżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ następuje wzrost flotowalności wraz ze wzrostem wielkości ziarn flotowanych. Natomiast dla ziarn o gęstości powyżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ flotowalność maleje ze wzrostem wielkości ziarn.

Wprowadzenie

Uziarnienie jest jednym z ważnych parametrów wpływających na wynik flotacji. W każdym procesie flotacji ziarna minerału użytecznego są wynoszone do warstwy piany w postaci agregatów z pęcherzykiem powietrza. Aby mógł powstać agregat bańka-ziarno musi dojść do zderzenia ziarna minerału z pęcherzykiem powietrza przepływającym przez zawieszinę flotacyjną. Według szeregu autorów (Ray, Ratcliff 1973; Weber, Paddock 1983; Bustamante, Warren 1983; Yoon, Lutrell 1989; Yoon 1991; Schimmoller i in. 1993; Nicol) prawdopodobieństwo zderzenia ziarna z pęcherzykiem zależy od wielkości ziarna i ciężaru właściwego materiału floto-

* Zakład Przeróbki Kopalini, Utylizacji Odpadów i Ochrony Środowiska, Wydział Górniczy AGH, Kraków.

wanego oraz rozmiarów pęcherzyka powietrza, a prawdopodobieństwo P_c tej kolizji można wyrazić następująco:

$$P_c = A(R_p/R_b)^n \quad (1)$$

gdzie R_p i R_b są promieniami ziarna i pęcherzyka powietrza. A oraz n są parametrami, których wartość może zmieniać się z wielkością liczby Reynoldsa charakteryzującą ruch pęcherzyka. Przyjmuje się, że $n = 2$ dla warunków typowych dla flotacji. Jak widać z równania (1) prawdopodobieństwo zajścia zderzenia ziarna z pęcherzykiem powietrza zwiększa się ze wzrostem promienia ziarna i ze zmniejszeniem promienia pęcherzyka. Należy tutaj podkreślić, że zajście zderzenia niekoniecznie musi oznaczać powstanie trwałego agregatu pęcherzyk-ziarno. Aby kolizja doprowadziła do powstania trwałego agregatu muszą być odpowiednio zmodyfikowane powierzchnie ziarna i pęcherzyka poprzez adsorbcję odpowiednio właściwego kolektora i spieniacza. Ponadto, jeżeli promień ziarna byłby zbyt duży, to może nastąpić przekroczenie górnego progu flotowalności, czyli granicznej wielkości ziarna, które może być wyniesione przez pęcherzyk o określonej wielkości.

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu wielkości ziarn wąskich frakcji densymetrycznych węgla kamiennego z KWK 1 Maja.

1. Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań były wąskie klasy ziarnowe i wąskie frakcje densymetryczne otrzymane z koncentratu z osadzarki oraz mułu surowego, pochodzące z Zakładu Przerobczego KWK 1 Maja. Całość materiału rozdrobiono w kruszarce walcowej poniżej 0,5 mm, a następnie wydzielono wąskie klasy ziarnowe: (0,5—0,4); (0,4—0,315); (0,315—0,2); (0,2—0,1) i (0,1—0,04) mm, po uprzednim odsianiu na sucho klasy poniżej 40 μm . Następnie te ziarna odsiano na mokro z poszczególnych klas. Otrzymane klasy wysuszono i skierowano do rozdziału na wąskie frakcje densymetryczne w cieczach ciężkich o gęstościach: 1,25; 1,3; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,3 Mg/m^3 . Rozdział w zakresie gęstości (1,25—1,6) Mg/m^3 przeprowadzono w roztworze czterochlorku węgla rozcieńczonego odpowiednio denaturatem. Natomiast rozdział w zakresie gęstości (1,6—2,0) Mg/m^3 wykonano w roztworze chloru cynku. Górną granicę frakcji +2,0 Mg/m^3 sprawdzono w bromoformie. Tak wydzielone wąskie klasofrakcje węgla stanowiły nadawę do flotacji. Zawartości popiołu w badanych klasach ziarnowych dla poszczególnych frakcji ciężarowych węgla przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 1.

Doświadczenia flotacyjne wykonywano w maszynie laboratoryjnej o pojemności komory 1 dm^3 . Nawazkę o masie 50 g moczoło przez 30 minut w wodzie destylowanej, a następnie mieszało przez 5 minut. Jako odczynnik zbierająco-pianotwórczy zastosowano roztwór n-heksanolu o stężeniu w komorze $1,5 \cdot 10^{-4}$ M/dm^3 . Heksanol $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$ jest odczynnikiem obojętnym, a zatem pH mętów nie wpływa na jego charakter chemiczny. Alkohol heksylovoy obniża napięcie powierzchniowe na granicy faz gaz—ciecz, dzięki czemu zwiększa dyspersję powietrza w mętach flotacyjnych, stabilizuje banieczki powietrza i przeciwdziała ich zlepianiu się. Tworzy on pianę o właściwej strukturze i czasie jej trwania. Heksanol adsorbuje się także na powierzchni

węgla spełniając rolę odczynnika zbierającego (Małysa 1981; Małysa, Stachurski 1982; Małysa i in. 1987). Prowadzono flotację frakcjonowaną. Próbkę po wysuszeniu ważono i oznaczano w nich zawartości popiołu. Wyniki zilustrowano na rysunkach 2—8. Przedstawiają one zależności wychodu koncentratów ($\Sigma\gamma$), zawartości popiołu w koncentraty (ν) i odpadach (β) od czasu flotacji.

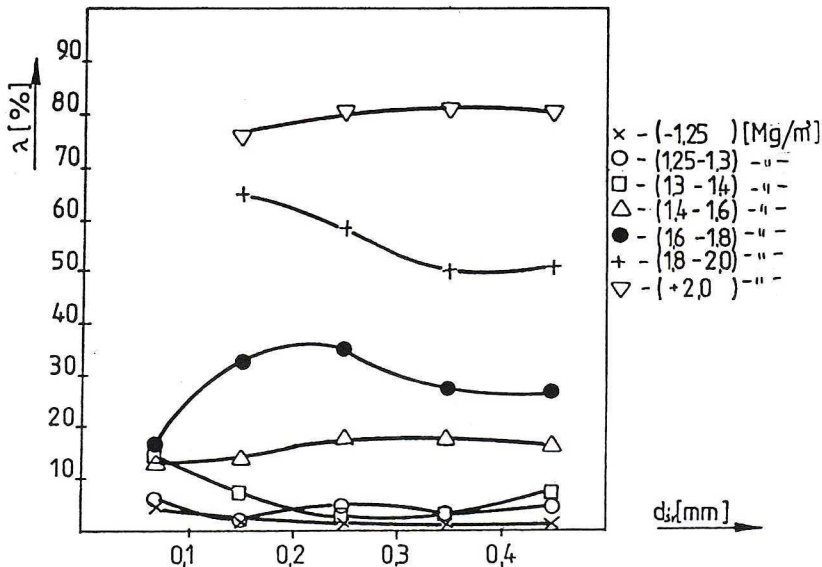
TABELA 1

Zawartość popiołu w badanych klasach ziarnowych dla poszczególnych frakcji ciężarowych węgla

TABLE 1

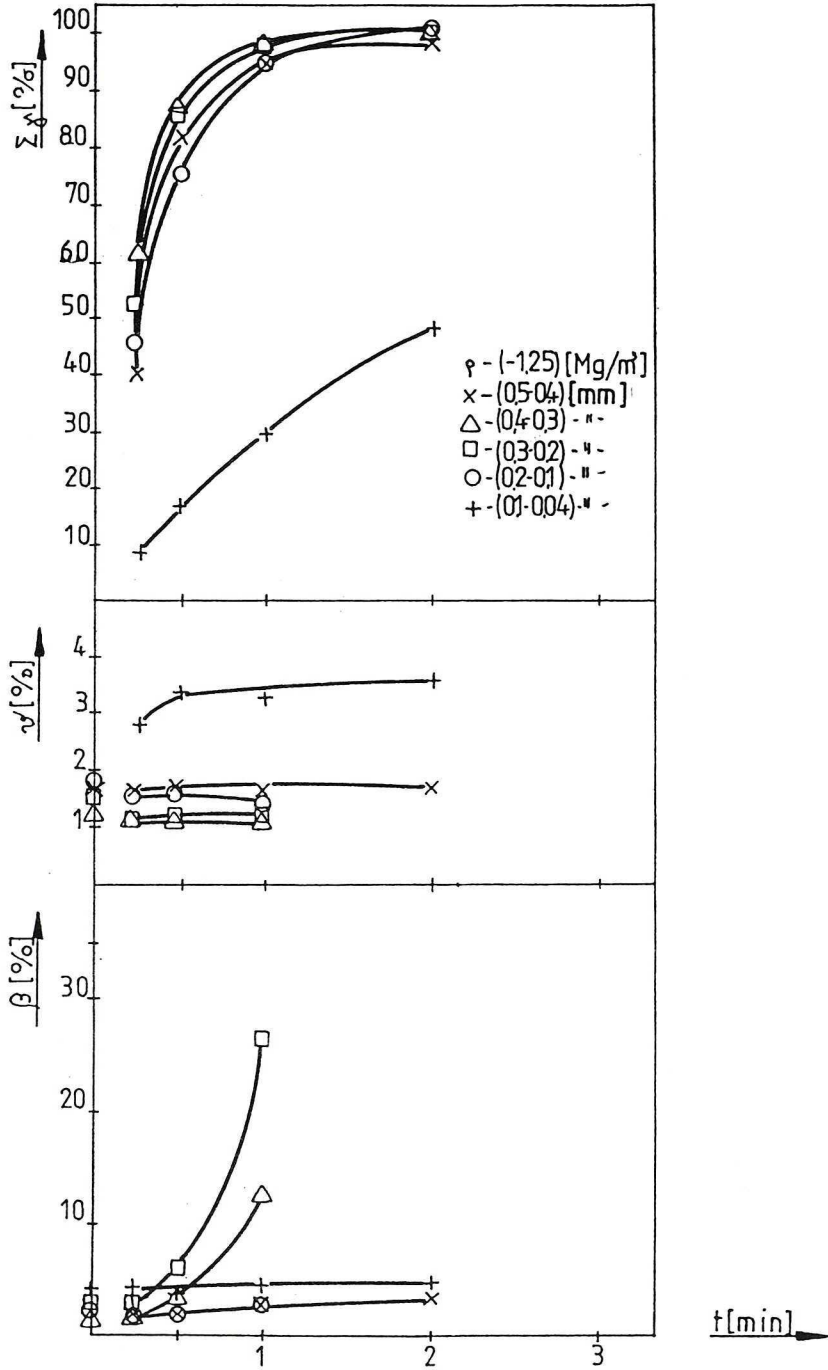
Ash contents in the studied grain classes of various coal density fractions

Frakcja ciężarowa [Mg/m ³]	Zawartość popiołu [%] w poszczególnych klasach ziarnowych [mm]				
	0,5—0,4	0,4—0,3	0,3—0,2	0,2—0,1	0,1—0,04
-1,25	1,7	1,4	1,9	1,6	4,2
1,25—1,3	4,3	2,8	4,5	1,5	6,7
1,3—1,4	7,2	3,4	3,2	7,8	13,5
1,4—1,6	15,3	17,7	17,9	13,1	13,7
1,6—1,8	26,0	27,0	34,3	32,1	16,7
1,8—2,0	50,5	49,8	58,7	64,2	—
+2,0	80,8	80,6	80,5	76,7	—

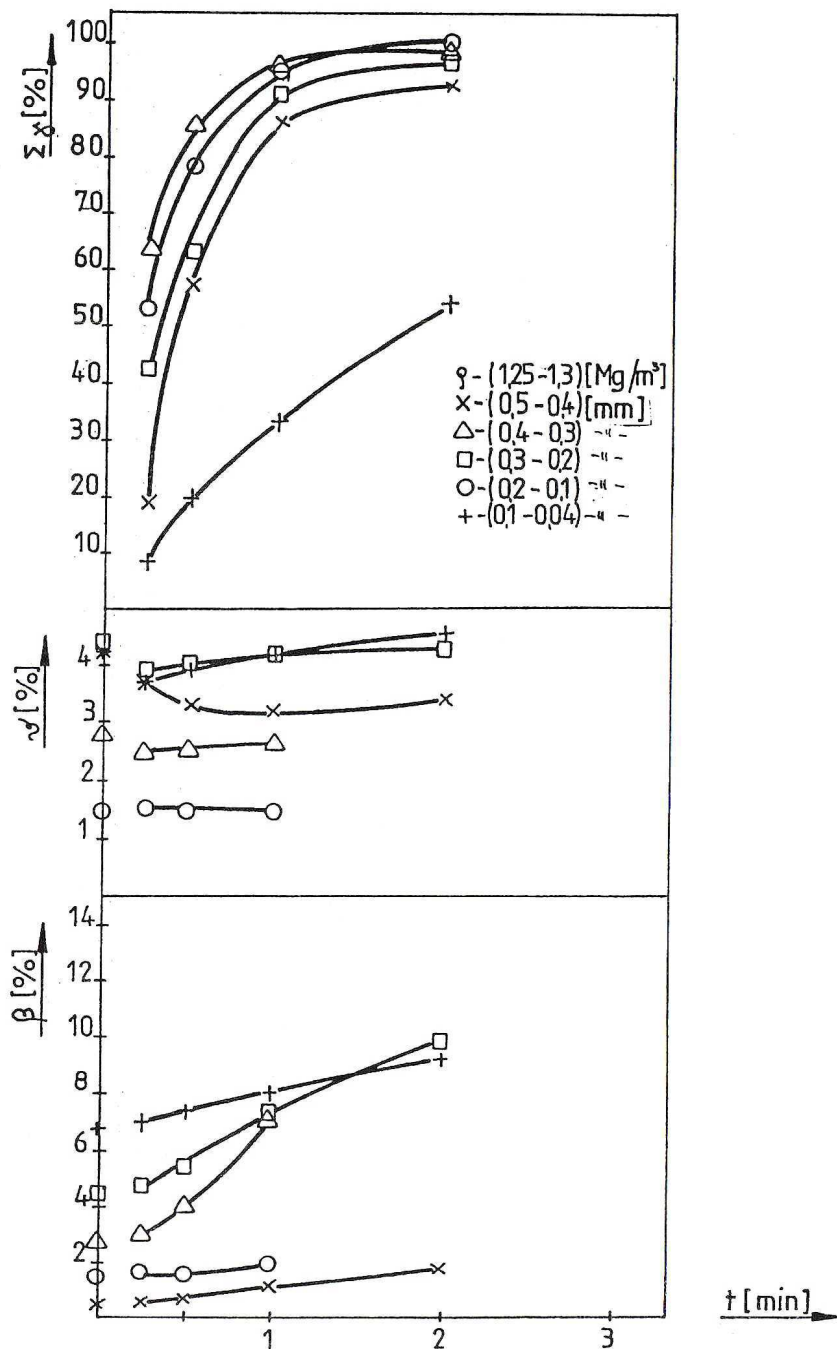


Rys. 1. Zależności zawartości popiołu dla różnych frakcji ciężarowych węgla od ich uziarnienia

Fig. 1. Dependence of the ash contents on the grain size for different densimetric coal fractions

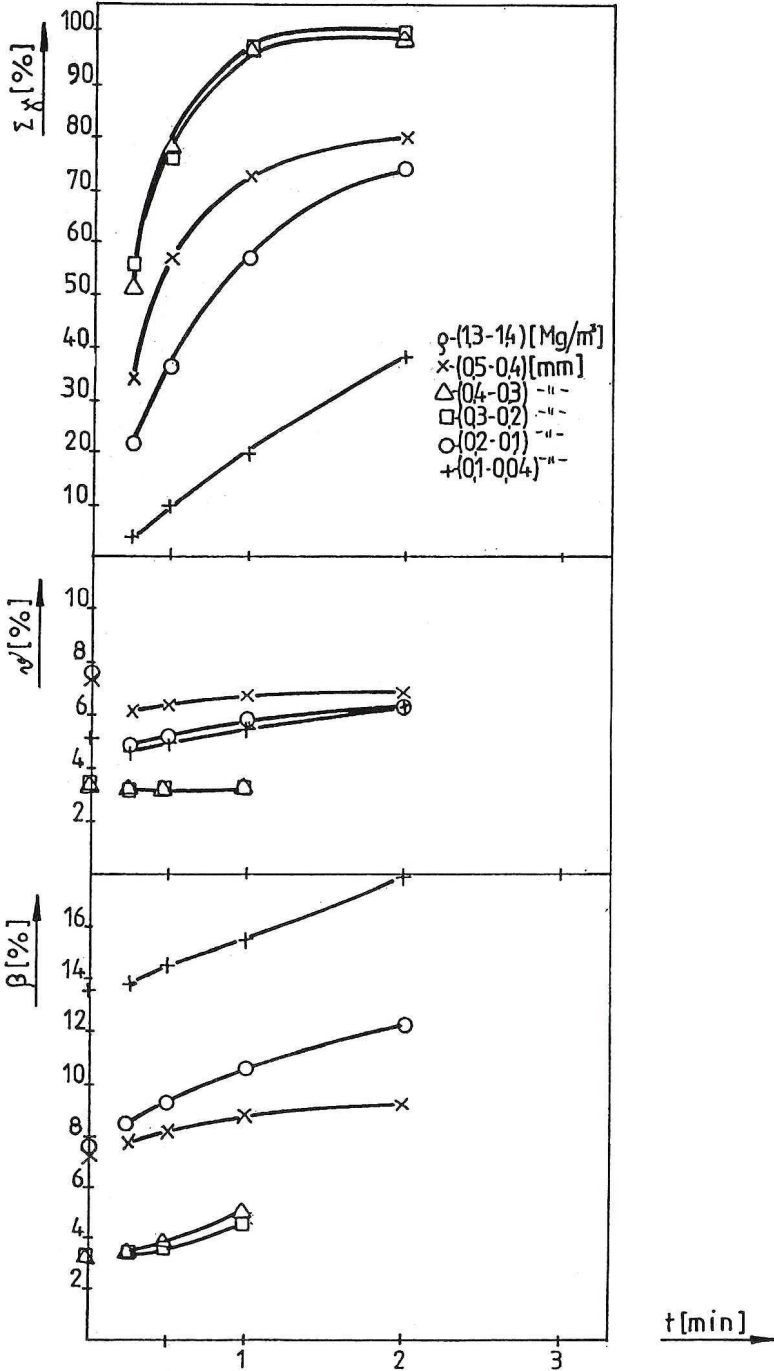


Rys. 2. Wyniki flotacji dla różnych klas ziarnowych frakcji poniżej 1,25 Mg/m³ w zależności od czasu flotacji
 Fig. 2. Flotation results of different grain size classes with density below 1,25 Mg/m³ as a function of the flotation time

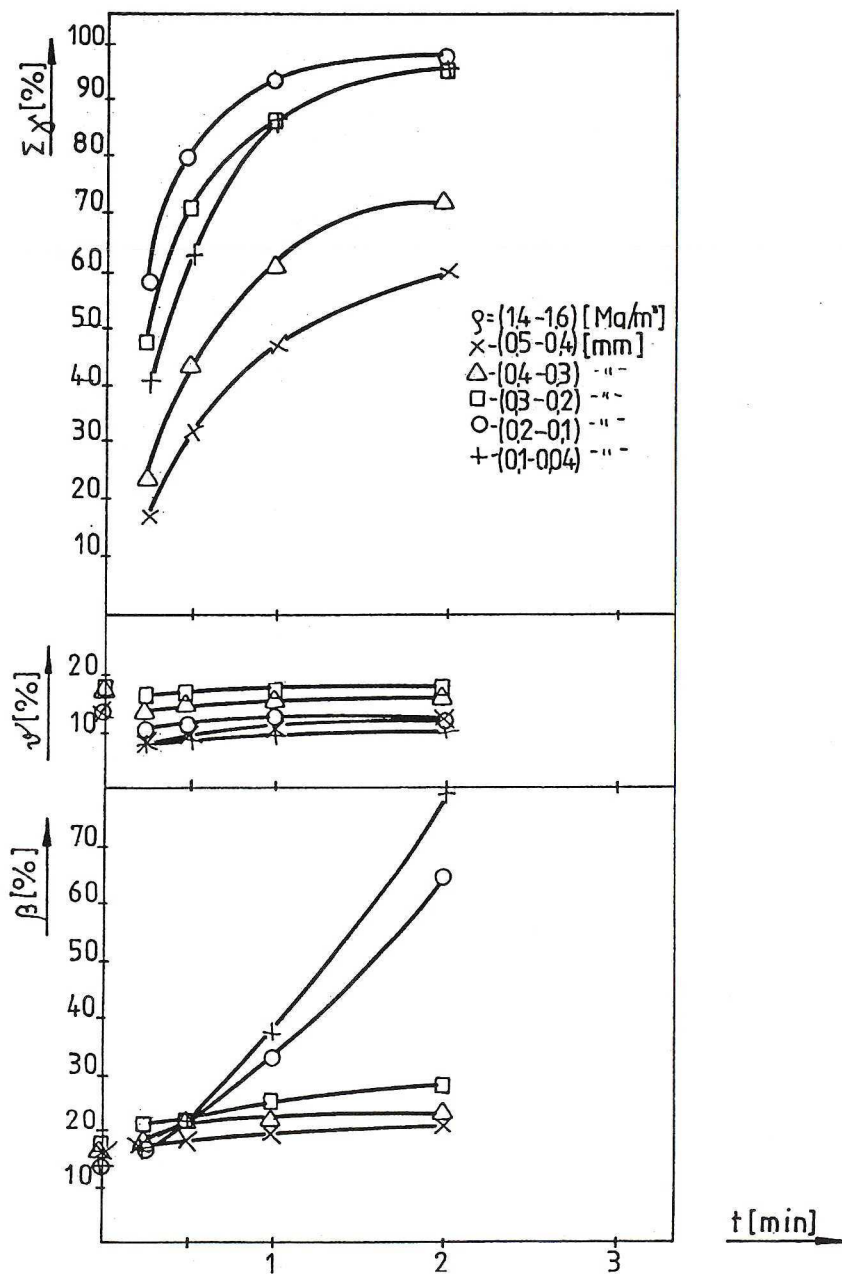


Rys. 3. Wyniki flotacji dla różnych klas ziarnowych frakcji (1,25—1,3) Mg/m³ w zależności od czasu flotacji

Fig. 3. Flotation results of different grain size classes with density (1,25—1,3) Mg/m³ as a function of the flotation time

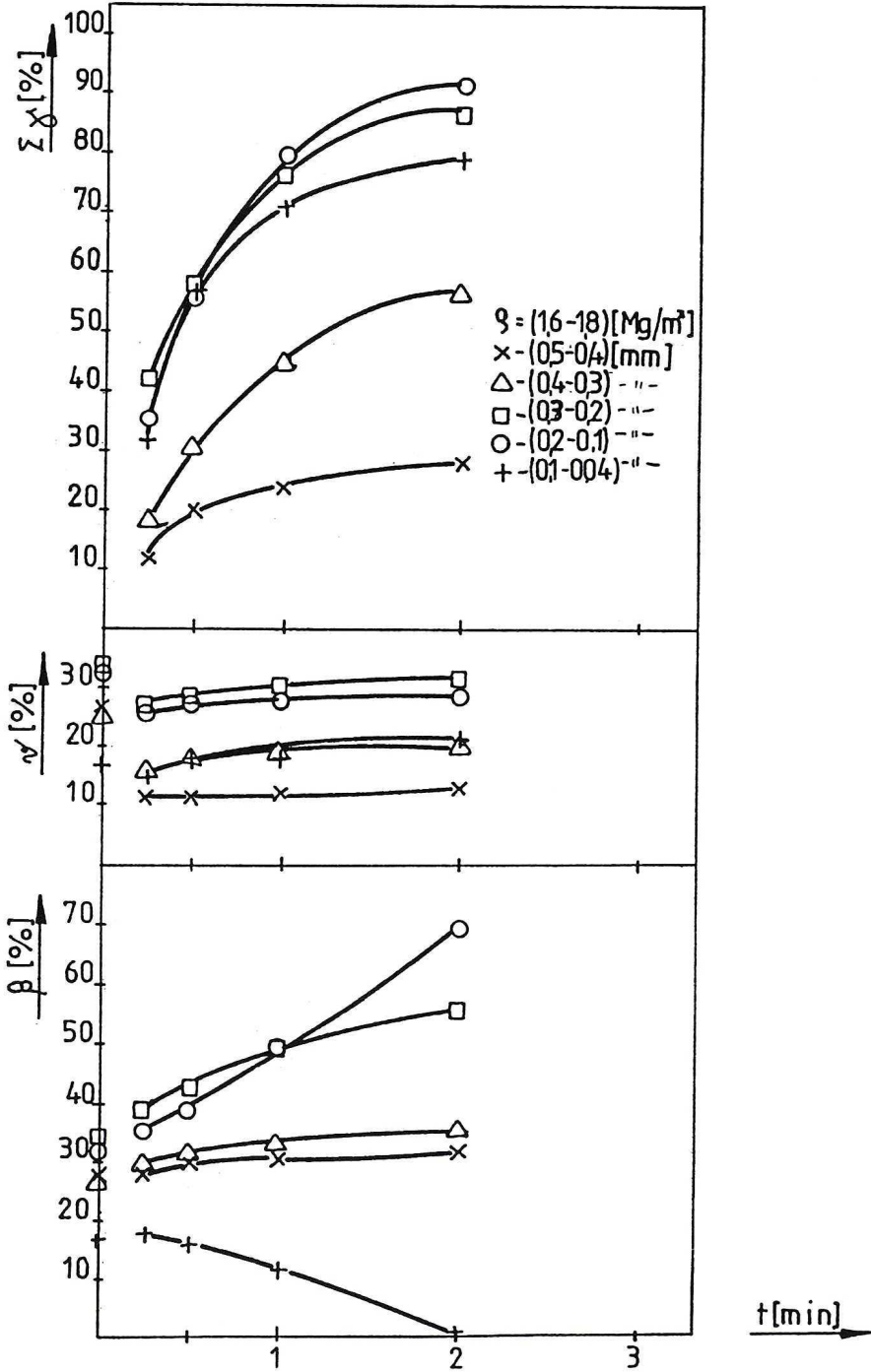


Rys. 4. Wyniki flotacji dla różnych klas ziarnowych frakcji (1,3—1,4) Mg/m³ w zależności od czasu flotacji
 Fig. 4. Flotation results of different grain size classes with density (1,3—1,4) Mg/m³ as a function of the flotation time

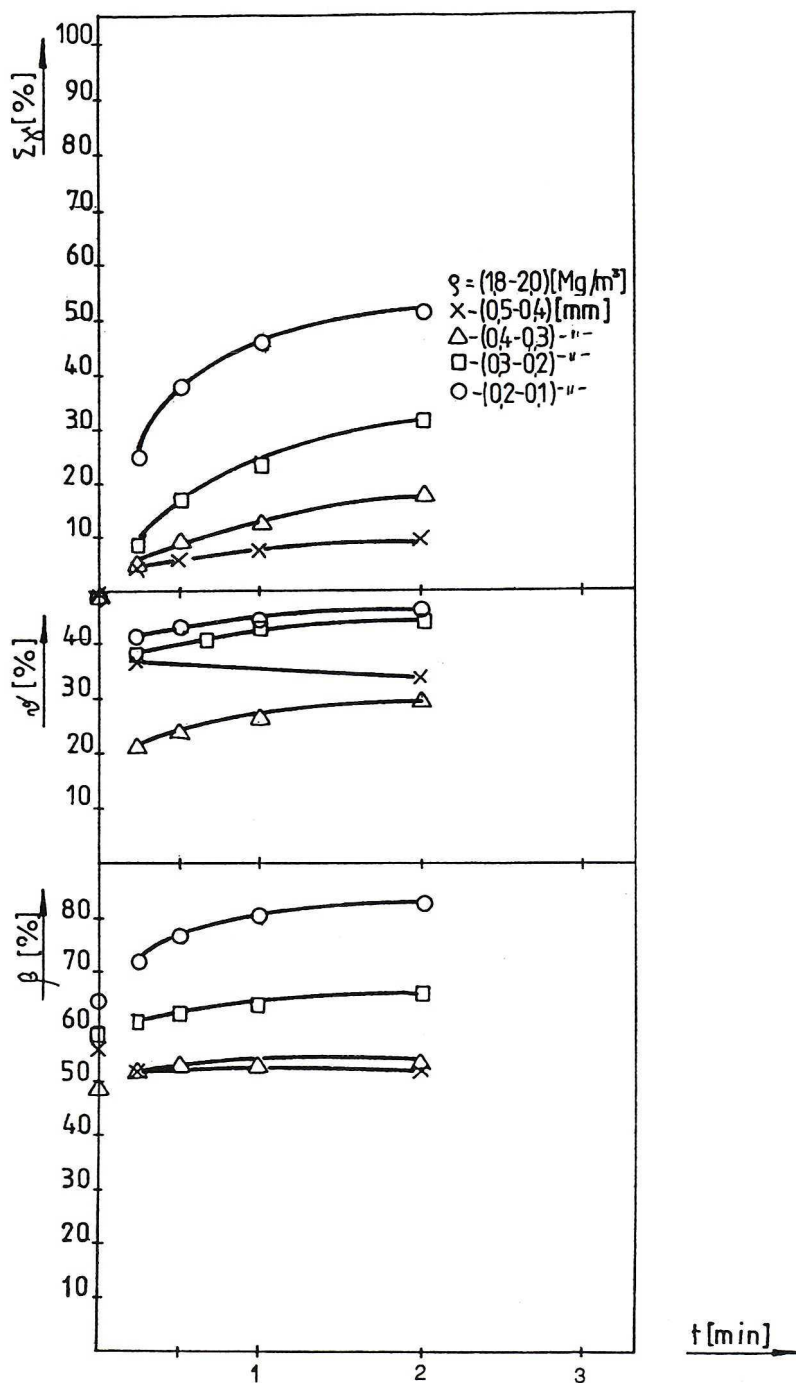


Rys. 5. Wyniki flotacji dla różnych klas ziarnowych frakcji (1,4—1,6) Mg/m³ w zależności od czasu flotacji

Fig. 5. Flotation results of different grain size classes with density (1,4—1,6) Mg/m³ as a function of the flotation time

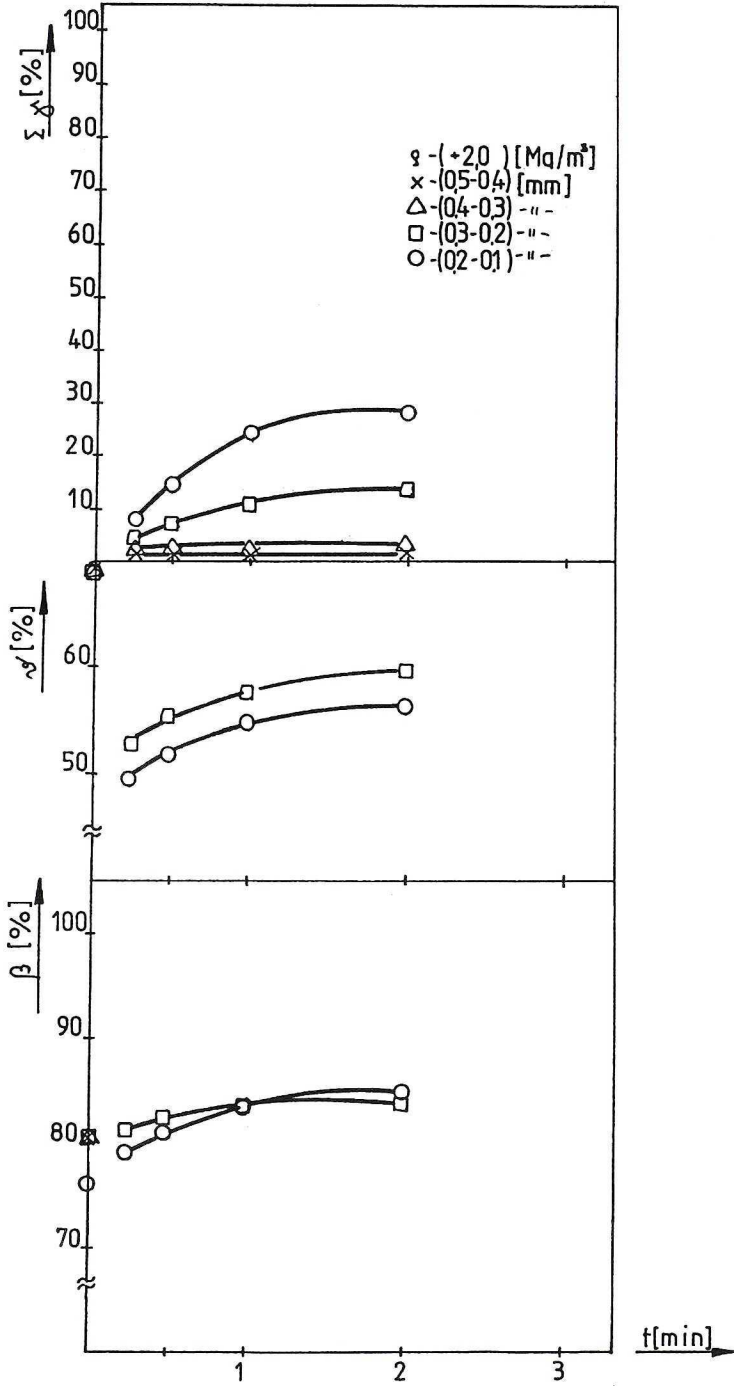


Rys. 6. Wyniki flotacji dla różnych klas ziarnowych frakcji (1,6—1,8) Mg/m³ w zależności od czasu flotacji
 Fig. 6. Flotation results of different grain size classes with density (1,6—1,8) Mg/m³ as a function of the flotation time



Rys. 7. Wyniki flotacji dla różnych klas ziarnowych frakcji (1,8—2,0) Mg/m³ w zależności od czasu flotacji

Fig. 7. Flotation results of different grain size classes with density (1,8—2,0) Mg/m³ as a function of the flotation time

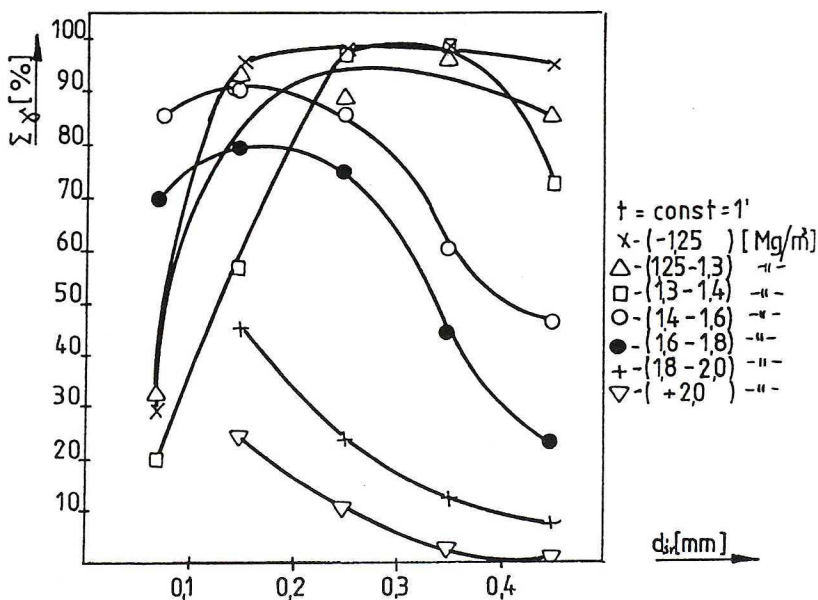


Rys. 8. Wyniki flotacji dla różnych klas ziarnowych frakcji powyżej 2,0 Mg/m³ w zależności od czasu flotacji
 Fig. 8. Flotation results of different grain size classes with density higher than 2,0 Mg/m³ as a function of the flotation time

2. Omówienie wyników badań

Wyniki zamieszczone w tabeli 1 i zależności przedstawione na rysunku 1 pokazują, że w niższych frakcjach densymetrycznych od poniżej $1,25 \text{ Mg/m}^3$ do frakcji $(1,3-1,4) \text{ Mg/m}^3$ badana klasa najdrobniejsza ($0,1-0,04$) mm wykazuje najwyższe zawartości popiołu. Dla frakcji powyżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ najwyższe zawartości popiołu mają klasy o średnim uziarnieniu. Dla frakcji najcięższej natomiast, powyżej $2,0 \text{ Mg/m}^3$, zawartości popiołu w poszczególnych klasach nieznacznie różnią się i są rzędu 80%. W obrębie wszystkich badanych klas ziarnowych zawartości popiołu rosną wraz ze wzrostem ciężaru właściwego (tab. 1 i rys. 1). Przykładowo dla klasy $(0,5-0,4)$ mm zawartości popiołu zmieniają się od wartości 1,7% dla frakcji $-1,25 \text{ Mg/m}^3$ do 81% dla frakcji $+2,0 \text{ Mg/m}^3$. Na kolejnych rysunkach 2—8 przedstawiono kinetykę procesu flotacji badanych klas ziarnowych wąskich frakcji densymetrycznych. Jak widać z tych rysunków, wychody koncentratów ($\Sigma\gamma$) rosną wraz ze wzrostem czasu flotacji, przy czym dla klas $(0,5-0,4)$ i $(0,4-0,3)$ mm wzrost ten jest nieznaczny w zakresie frakcji o ciężarach $(1,8-2,0)$ i $+2,0 \text{ Mg/m}^3$ (rys. 7, 8). Wydajność flotacji jest mała wtedy, gdyż flotowane są ziarna duże, ciężkie o wysokich zawartościach popiołu równych 50,5 i 81% (tab. 1). Dla klas pozostałych natomiast zależność $\Sigma\gamma = f(t)$ jest wyraźna dla wszystkich badanych frakcji densymetrycznych. W przypadku zawartości popiołu w koncentraty i odpadach wartości α i β rosną nieznacznie wraz ze wzrostem czasu flotacji.

Na rysunku 9 przedstawiono wpływ wielkości ziarn o zawężonych ciężarach właściwych na wyniki flotacji po 1 minucie trwania procesu. Dla ziarn o gęstościach poniżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ cha-



Rys. 9. Wpływ uziarnienia na wyniki flotacji wąskich frakcji densymetrycznych węgla po 1 minucie trwania procesu
 Fig. 9. Effect of the grain size on flotation results of narrow densimetric coal fractions for flotation time of 1 minute

rakter zależności $\gamma(d_{sr})$ jest zbliżony. Flotowalność rośnie wraz ze wzrostem wielkości ziarn (rys. 9). Ziarna najdrobniejsze flotują najgorzej (γ są rzędu 30%). Należy to tłumaczyć tym, że klasa (0,1—0,04) mm frakcji poniżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ ma najwyższą zawartość popiołu (tab. 1) oraz rozwiniętą powierzchnię właściwą, czyli na jednostkę powierzchni przypada mniej odczynnika niż w przypadku ziarn grubszych, dla których wychody są rzędu 90%. Natomiast dla ziarn o gęstościach powyżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ zachowanie flotacyjne jest odwrotne, czyli ziarna drobniejsze (o mniejszej zawartości popiołu) flotują lepiej od grubszych i wyniki flotacji gwałtownie maleją ze wzrostem wielkości ziarna.

Jak wiadomo, sile zlepienia ziarna mineralnego z pęcherzykiem powietrza przeciwdziała siła grawitacji dążąca do oderwania cząstki od powierzchni pęcherzyka. Stąd im większa gęstość ziarn, tym mniejsze prawdopodobieństwo zajścia efektywnego zderzenia ziarna z pęcherzykiem. Ziarna najdrobniejsze o gęstości powyżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ flotują najlepiej ze wszystkich badanych klas i flotowalność maleje wraz ze wzrostem wielkości ziarna, natomiast ziarna o gęstości poniżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ flotują najgorzej. Na ziarna o gęstości poniżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ działa mniejsza siła grawitacji, czyli powinno być więcej zderzeń efektywnych, ale za to energia kinetyczna tych ziarn jest mniejsza od energii kinetycznej ziarn grubszych i nie dochodzi do zderzeń. Dla zajścia zderzenia konieczne jest bowiem zbliżenie ziarna i pęcherzyka aż do utworzenia cienkiego filmu na powierzchni zetknięcia, następnie zmniejszenie grubości cienkiego filmu do wartości krytycznej, przy której następuje jego pęknięcie oraz rozrywanie filmu ciekłego aż do utworzenia perymetru i stabilnego kąta zwilżania. Gdy ziarno ma za małą energię kinetyczną, to będzie ono poruszać się prądami opływającymi pęcherzyk i nie zajdzie proces zlepienia pęcherzyka z ziarnem (Scheludko 1969). Stąd lepsza flotowalność ziarn drobniejszych o wyższych ciężarach właściwych powyżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ niż ziarn poniżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$.

Podsumowanie

Celem pracy było zbadanie wpływu wielkości ziarn węglowych na wyniki flotacji. Aby wyeliminować wpływ gęstości ziarn na proces flotacji do badań przygotowano wąskie frakcje ciężarowe. Badane klasy ziarnowe w obrębie danej frakcji różniły się zawartością popiołu, ale nie zaobserwowano żadnej zależności zmian zawartości popiołu ze wzrostem uziarnienia.

Do procesu flotacji stosowano n-heksanol, który odgrywa zarówno rolę odczynnika zbierającego, jak i pianotwórczego. Analiza dynamiki procesu flotacji wykazała, że wychody koncentratów wąskich klas ziarnowych rosną wraz ze wzrostem czasu trwania procesu. Czasy flotacji są krótkie, rzędu 2 minut. Zaobserwowano wyraźne różnice we flotowalności różnych klas ziarnowych o tych samych ciężarach. W przypadku frakcji najlżejszej najgorzej flotuje najdrobniejsza klasa o najwyższej zawartości popiołu, pozostałe zaś zachowują się podobnie i flotują bardzo dobrze (rys. 2, 9). Przy przejściu do frakcji cięższych (1,25—1,4) Mg/m^3 następuje zróżnicowanie flotowalności klas ziarnowych (rys. 3, 4). Wraz ze wzrostem wielkości ziarn flotowalność rośnie, a następnie dla klasy najgrubszej spada (rys. 9). Kolejność ich flotowalności układa się analogicznie jak zawartości popiołu w danych klasach (tab. 1). Dla frakcji cięższych powyżej $1,4 \text{ Mg/m}^3$ obserwuje się spadek flotowalności wraz ze wzrostem wielkości ziarn i klasa najgrubsza (0,5—0,4) mm flotuje najgorzej (rys. 9). Jak widać z przedstawionej analizy, za-

chowanie flotacyjne zależy od wielkości ziarn, ale zależność ta jest różna dla różnych frakcji ciężarowych.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych, numer pracy w AGH: 11.11.100.238

LITERATURA

- Małysa E., 1981 — Określenie zdolności flotacyjnych węgla kamiennych o niskim stopniu uwęglenia. *Górnictwo* r. 5, z. 4.
- Małysa E., Stachurski J., 1982 — Influence of controlled and non controlled parameters surface properties and floatability of coals. Intern. Symp. Recent Advances in Particulate Science and Technology, Madras, India.
- Małysa E., Małysa K., Czarnecki J., 1987 — A method of comparison of the frothing and collecting properties of frothers. *Colloids Surfaces* No. 23, p. 29.
- Nicol S.K., Fine coal beneficiator. In: A.R. Swanson and A.C. Patridge (Eds.), *Advanced Coal Preparation Monograph Series* vol. IV, Part 9.
- Ray D., Ratcliff G.A., 1973 — Removal of fine particles from water by dispersed air flotation: effects of bubble size and particle size on collection efficiency. *Can. J. Chem. Eng.* 51, 178.
- Schimmoller B.K., Lutrell G.H., Yoon R-H., 1993 — A combined hydrodynamic-surface force model for bubble-particle collection. *Proc. 18th Intern. Mineral Process. Congress, Sydney* vol. 3, p. 751.
- Scheludko A., 1969 — *Chemia koloidów*. WNT, Warszawa.
- Weber M.E., Paddock D., 1983 — Interceptional and gravitational collision efficiencies for single collectors for intermediate Reynolds numbers. *J. Colloid Interface Sci.* 94 (2) 328.
- Yoon R-H., 1991 — Hydrodynamic and surface forces in bubble-particle interactions. *AufbereitungsTechnik* 32, no 9, p. 474.
- Yoon R-H., Lutrell G.H., 1989 — The effect of bubble size on fine particle flotation. *Miner. Process. Extractive Metall. Rev.* 5. 101.

EWA MAŁYSA

INFLUENCE OF GRAIN SIZE ON RESULTS OF COAL FLOTATION

Key words

Coal, flotation, grain size, densimetric fractions, hexanol

Abstract

Coal flotation depends on many various parameters and grain size is one of the important factors. Larger the grain size, higher is probability of its collision with air bubble and formation of the bubble-grain aggregate. Stability of the bubble-grain aggregate depends on a magnitude of the forces tending to destroy the aggregate and is a function of the grain density and size. The paper presents results of investigations of influence of the grain size on process of coal flotation. To get rid of the effect of density the grain classes floated were chosen in such manner that they had very similar densities, but different sizes. A clear difference was observed in flotation results of the grain classes having the same density and different sizes. In the case of the grains with density below $1,4 \text{ Mg/m}^3$ their floatability increased with increasing size of the grains. However, for grains of density higher than $1,4 \text{ Mg/m}^3$ the floatability was decreasing with increasing size of the grains.