

Jerzy SABLİK
Czesław KOZŁOWSKI
Romuald BRZEZINA
Józef PAWLIK

Główny Instytut Górnictwa, Katowice

TECHNOLOGIA BEZPOŚREDNIEJ FLOTACJI WĘGLA Z WODY OBIEGOWEJ

Przedstawiono wyniki prac badawczych związanych z opracowaniem technologii bezpośredniej flotacji węgla z wody obiegowej. W wyniku doświadczeń przemysłowych stwierdzono, że technologia może być stosowana w zakładach wzbogacających muły węglowe, a warunkiem jest wysoki stopień stabilności i bezawaryjności pracy zakładu przerobczego. Analiza porównawcza techniczno-ekonomiczna technologii flotacji węgla z zawieszin dogęszczonych i technologii flotacji z wód obiegowych wykazały, że wdrożenie tej ostatniej może przynieść znaczne pozytywne efekty technologiczno-ekonomiczne.

1. Wstęp

Jedną z zasadniczych zmian zachodzących w technologii flotacji węgla jest obniżenie koncentracji części stałych w zawieszinie poddawanej procesowi wzbogacania metodą flotacji. Jeszcze w latach sześćdziesiątych panowało przekonanie, że ze względu na wykorzystanie maszyn flotacyjnych i odczynników flotacyjnych celowym jest flotowanie węgla z zawieszin o koncentracji części stałych rzędu 300 kg m^{-3} .

Badania wpływu koncentracji części stałych w zawieszinie na wyniki wzbogacania mułów węglowych metodą flotacji wykazały jednak, że zmniejszeniu koncentracji części stałych towarzyszy poprawa selektywności rozdziału węgla od substancji płonnych oraz poprawa kinetyki procesu [1, 2]. Praktycznie oznacza to większą zawartość popiołu w odpadach, a więc większy uzysk substancji palnej w koncentracie. Sprzyja omawianemu kierunkowi rozwoju technologii flotacji wdrożenie w przemyśle węglowym nowoczesnych maszyn flotacyjnych o dużych zdolnościach przerobowych [3, 4] oraz stosowanie nowych, bardziej sprawnych odczynników flotacyjnych [5].

Pod koniec lat siedemdziesiątych opracowana została tzw. wzorcowa technologia flotacji węgla [6], w ramach której przewidziano dwa warianty

ty przygotowania nadawy do flotacji: z częściowym zagęszczaniem zawiesziny ($100-150 \text{ kg m}^{-3}$) oraz bezpośrednie flotowanie węgla z wód obiegowych (popłuczkowych) bez ich dogęszczania w zagęszczaczach promieniotwórczych. Analizy wykonane dla kilku zakładów przerobczych wykazały, że w większości przypadków koncentracje części stałych w wodach popłuczkowych po ich klasyfikacji kontrolnej zawierają się w przedziale $40-80 \text{ kg m}^{-3}$ [7].

Zastosowanie w praktyce technologii bezpośredniej flotacji węgla z wód obiegowych umożliwi uproszczenie obiegu wodno-mułowego jako efekt eliminacji ze schematu technologicznego węzła dogęszczania zawieszin mułowych przed flotacją.

Technologię tego typu zastosowano do tej pory tylko w wybranych zakładach przerobczych Karagandy i Donbasu [8, 9]. Stwierdzono pozytywny wpływ nie tylko na wyniki flotacji, ale także na pracę innych węzłów obiegu wodno-mułowego.

Flotację węgla z zawieszin mułowych niedogęszczanych proponuje się także w najnowszych koncepcjach technologii obiegu wodno-mułowego i flotacji [10, 11, 12] zakładających np. grawitacyjne wzbogacanie ziarn do około $0,1 \text{ mm}$ oraz flotowanie ziarn mniejszych.

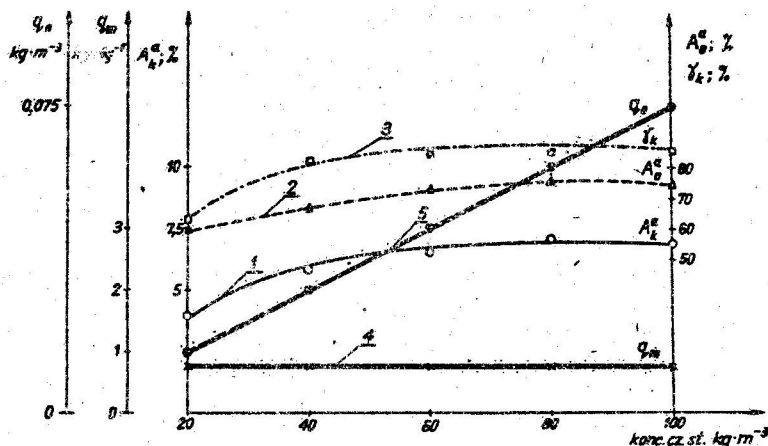
W referacie przedstawiono wyniki badań procesu flotacji węgla bezpośrednio z wód obiegowych bez ich wstępnego zagęszczania.

2. Wpływ małych koncentracji części stałych w zawieszinie na wybrane parametry procesu flotacji

Proces flotacji mułów węglowych z zawieszin o koncentracjach mniejszych od 100 kg m^{-3} badano początkowo w skali laboratoryjnej. Przedmiotem badań były muły węgla typu 35 o koncentracjach części stałych 20, 40, 60, 80 i 100 kg m^{-3} . Jako odczynnik flotacyjny stosowano mieszaninę kolektora (90 %) i substancji pianotwórczej (10 %). Badanie prowadzono w maszynie flotacyjnej typu mechanicznego o pojemności komory 1 dm^3 (produkcji IMN). Flotację frakcjonowaną prowadzono zgodnie z metodyką opisaną w pracy [13]. Wyniki przedstawiono na rys. 1 i rys. 2. W pierwszym przypadku flotację prowadzono przy różnych koncentracjach części stałych w zawieszinie dozując odczynnik flotacyjny w porcjach stałych w stosunku do masy mułu węglowego.

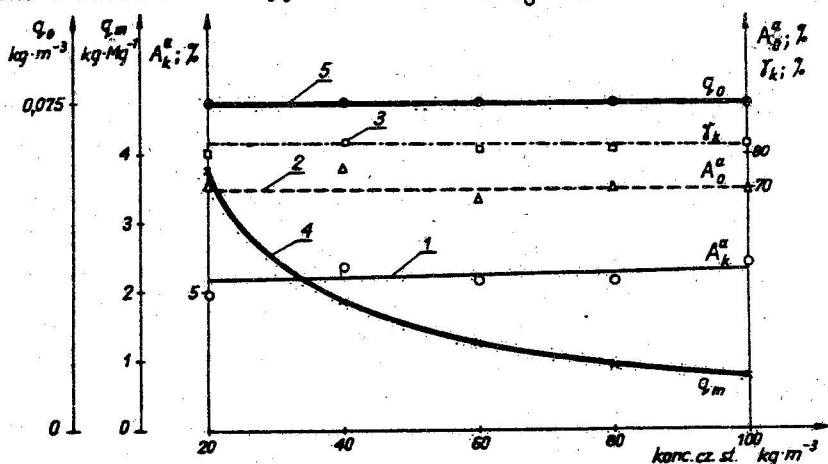
Wielkość tych porcji obliczano przyjmując jako punkt wyjścia ilość potrzebną do prawidłowego prowadzenia procesu przy koncentracji 100 kg m^{-3} . Zmniejszenie koncentracji części stałych w zawieszinie powoduje zatem zmniejszenie bezwzględnej ilości odczynnika dozowanego do środowiska flotacji. Jednocześnie maleje porcja odczynnika przypadająca na

jednostkę objętości (rys. 1). Widać, że maleje równocześnie wychód koncentratu i zawartość popiołu w odpadach. Pogarszająca się selektywność flotacji powoduje zatem stratę węgla w odpadach.



Rys. 1. Zależność wyników procesu flotacji miazg węglowych oraz ilości zużywanego odczynnika od koncentracji części stałych w zawieszinie w zakresie 20-100 kg m⁻³ i w przypadku dozowania odczynnika w stałej ilości w stosunku do masy części stałych

1 - zawartość popiołu w koncentracie A_k^a , 2 - zawartość popiołu w odpadach A_o^a , 3 - wychód koncentratu γ_k , 4 - zużycie odczynnika w stosunku do masy części stałych q_m (kg Mg⁻¹), 5 - zużycie odczynnika w stosunku do objętości zawiesziny q_o (kg m⁻³)



Rys. 2. Zależność wyników procesu flotacji miazg węglowych oraz ilości zużywanego odczynnika od koncentracji części stałych w zawieszinie w zakresie 20-100 kg m⁻³ i w przypadku dozowania odczynnika w stałej ilości w stosunku do objętości nadawy flotacyjnej (oznaczenia jak na rys. 1)

Można sądzić, że przyczyną tych ujemnych efektów jest malejąca koncentracja odczynnika w zawieszynie, a w następstwie niedostateczne zwilżenie powierzchni ziarn węglowych kolektorem. Dozowanie odczynnika flotacyjnego w ilości stałej na jednostkę objętości mułowej (rys. 2) powoduje, że wychód koncentratu i zawartość popiołu w odpadach są duże i stałe w całym przedziale niskich koncentracji części stałych. Jednocześnie jednak następuje wzrost zużycia odczynnika na jednostkę masy mułów węglowych i w konsekwencji bezwzględny wzrost zużycia odczynnika flotacyjnego. Fakt ten rzutuje ujemnie na ekonomikę procesu flotacji.

Wzrostowi zużycia odczynnika flotacyjnego można w znacznym stopniu zapobiec poprzez fizyko-chemiczne przygotowanie zawiesziny przed flotacją [14]. Kontaktowanie zawiesziny o silnie rozwiniętej powierzchni z odczynnikiem silnie zdyspergowanym (pod postacią aerozolu) w specjalnie skonstruowanym aparacie [15] powoduje lepsze wykorzystanie odczynnika (mniejsze zużycie), a ponadto poprawę kinetyki zwilżania powierzchni węgla i wzrost prędkości flotacji.

3. Badania przemysłowe technologii bezpośredniej flotacji węgla z wód obiegowych

Podstawowym założeniem technologii bezpośredniej flotacji węgla z wody obiegowej jest flotacja mułów tworzących się w poprzedzających procesach przerobczych, bez ich uprzedniego dogaszczania. Warunki do przeprowadzenia badań przemysłowych tego typu technologii przygotowano w zakładzie przerobczym kop. Moszczenica, przy czym polegało to głównie na uregulowaniu niektórych stosunków wodnych w płuczce, wyłączeniu ze schematu technologicznego zagęszczaczy promieniowych, tzw. płuczkowych, oraz przystosowaniu poszczególnych węzłów do przyjęcia większych objętości zawieszin mułowych. Program badań przewidywał ocenę pracy węzła flotacji zasilanego zawiesziną dogaszczoną oraz charakterystykę tego węzła zasilanego bezpośrednią wodą obiegową. Ocen tych dokonano poprzez oznaczenie ilości i jakości zawiesziny kierowanej do flotacji oraz produktów flotacji. Oceniono także zużycie odczynnika flotacyjnego.

Pracę flotacji przed wprowadzeniem nowej technologii oceniono na przestrzeni roku 1982. Średnie wyniki zestawiono w tablicy 1. Badania pracy węzła flotacji w oparciu o technologię bezpośredniej flotacji węgla z wody obiegowej prowadzono na przestrzeni marca 1983 r. Średnie wyniki zestawiono także w tablicy 1.

Widać wyraźnie korzystny wpływ nowej technologii na wyniki wzbogacania. Z nadawy o większej zawartości popiołu uzyskuje się koncentraty czystsze oraz odpady o dużej zawartości popiołu. Rośnie w związku z tym

Tablica 1.

Srednie wartości parametrów charakteryzujących pracę węzła flotacji przed i po wprowadzeniu technologii bezpośredniej flotacji węgla z wody obiegowej

Nazwa parametru	Wartości		
	przed wprowadzeniem nowej technologii (1982)	w pierwszym tygodniu badań III 1983 r.	w drugim tygodniu badań III 1983 r.
Koncentracja części stałych w nadawie, kg m ⁻³	100	45,0	55,0
Zawartość popiołu w nadawie, %	15,32	17,5	16,29
Wychód koncentratu, %	82,63	82,15	85,0
Zawartość popiołu w koncentracie, %	6,63	5,48	6,06
Zawartość popiołu w odpadach, %	58,65	72,71	74,20

wychód koncentratu. Kopalnia Moszczenica stosuje fizyko-chemiczne przygotowanie zawiesiny przed flotacją w aparatach typu UFOZ 15, co zapobiegło wzrostowi zużycia odczynnika flotacyjnego.

Istotne znaczenie z punktu widzenia możliwości wdrażania ma aspekt ruchowy omawianej technologii. Stwierdzono, że warunkiem istotnym stosowania nowej technologii jest stabilna praca całego obiegu wodno-mułowego, a także płuczki węglowej. Wahanie w ilości węgla zasilającego zakład oraz awarie maszyn i urządzeń utrudniają realizację tego typu technologii. Zastosowanie takiej technologii powoduje ponadto wzrost objętości zawieszin kierowanych do węzła flotacji. Wdrażanie technologii bezpośredniej flotacji węgla z wód obiegowych w kopalni Moszczenica wymaga w związku z tym powiększenia parku maszyn flotacyjnych.

4. Uogólniona techniczno-ekonomiczna analiza efektów związanych z wdrożeniem technologii bezpośredniej flotacji węgla z wód obiegowych

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń oraz wybrane parametry procesów wodno-mułowych zakładu przerobczego kop. Moszczenica stanowiły podstawę porównawczej analizy techniczno-ekonomicznej technologii flotacji z dogęszczaniem zawieszin oraz technologii bezpośredniej flotacji węgla z wód obiegowych. W tablicy 2 zestawiono przykładowo dane wyjściowe oraz wyniki wzbogacania dla obu omawianych technologii. Dane te stanowiły podstawę przykładowych schematów technologicznych bilansujących obie-

Tablica 2

Przykładowe dane wyjściowe oraz wyniki wzbogacania w procesie flotacji z dogęszczaniem i flotacji bezpośredniej węgla wykorzystane w analizie porównawczej

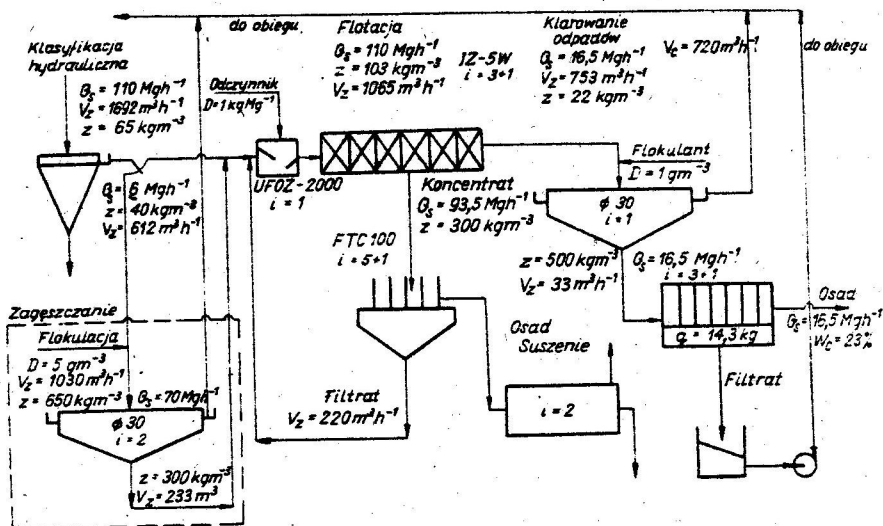
I Muł surowy		
Ilość, (Mg h^{-1})	- 110	
Koncentracja części stałych, (kg m^{-3})	- 65	
Objętość zawiesiny, ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	-1692	
	Flotacja z dogęszczaniem	Flotacja bezpośrednia
II Nadawa na flotację		
Objętość zawiesiny, ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	1065	2000
Konc. cz. st., (kg m^{-3})	103	55
Zawartość popiołu, (%)	17,5	17,5
III Odczynniki;		
Jakość odczynnika flot.	90 % ON [*] + 10 % AC ^{**}	90% ON + 10%AC
Ilość odczynnika (kg Mg^{-1})	1	1,2
Ilość flokulanta;		
muły surowe (g m^{-3})	5	-
odpady (g m^{-3})	1	1
IV Koncentrat flotacyjny;		
Wychód (%)	85	85
Zawartość popiołu (%)	8,0	7,0
V Odpady;		
Wychód (%)	15	15
Zawartość popiołu (%)	71	76

* - kolektor, ** - odczynnik pianotwórczy

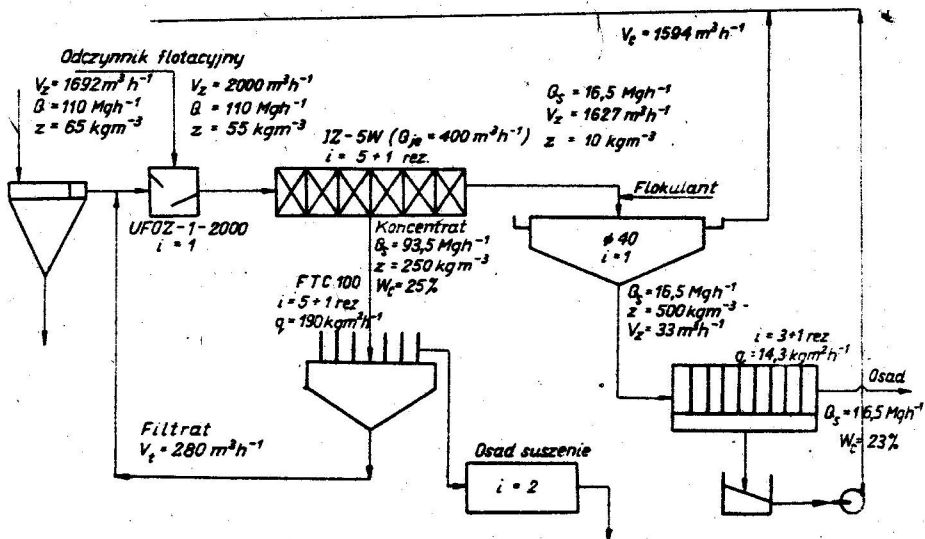
gi wodno-mułowe z flotacją z dogęszczaniem zawiesin mułowych (rys. 3) oraz flotację bezpośrednią węgla z wody obiegowej (rys. 4).

W tablicy 3 zestawiono ponadto ważniejsze maszyny i urządzenia niezbędne dla realizacji porównywalnych technologii.

Kierowanie do flotacji zawiesiny niedogęszczonej powoduje, że jej objętość jest niemal dwukrotnie większa (tablica 2). Oznacza to konieczność powiększenia ilości maszyn flotacyjnych z trzech do pięciu sztuk. Liczba maszyn w przypadku flotacji bezpośredniej może być mniejsza niż by to wynikało z prostego rachunku, gdyż prędkość flotacji przy niższej koncentracji części stałych w nadawie jest większa [1, 2]. Ze schematu technologicznego obiegu wodno-mułowego można usunąć dwa zagęszczacze promieniowe ($\phi 30$), a proces klarowania zawiesin odpadów flotacyjnych



Rys. 3. Przykład schematu technologicznego obiegu wodno-mułowego z flotacją dogęszczonych mułów węglowych



Rys. 4. Przykład schematu technologicznego obiegu wodno-mułowego z bezpośrednią flotacją węgla z wody obiegowej

Tablica 3

Ważniejsze urządzenia i maszyny konieczne do realizacji
obu analizowanych technologii

Lp.	Nazwa	Liczba (szt.)		Charakterystyka
		z dogęszczaniem	bez dogęszczania	
1.	Zagęszczacze promieniowe	3 x 30	1 x 40	φ m
2.	Aparat do kondycjonowania nadawy	1	1	UFOZ 1 - 2000
3.	Maszyna flotacyjna	3 + 1	5 + 1	IZ-5 sześciowirnikowa
4.	Filtr próżniowy	5 + 1	5 + 1	FTC - 100
5.	Suszarnia	2	2	ROW - 2
6.	Prasa filtracyjna	3 + 1	3 + 1	PF - ROW

realizować w jednym zagęszczaczu (φ 40). Zwiększenie liczby maszyn flotacyjnych oraz zmniejszenie liczby zagęszczaczy promieniowych są jedynymi istotnymi zmianami w wyposażeniu maszynowym obiegu wodno-mułowego i flotacji w przypadku realizacji bezpośredniej flotacji (tablica 3). Występują ponadto pewne różnice w wyposażeniu w pompy oraz armaturę pomocniczą.

Zastosowanie technologii bezpośredniej flotacji węgla z wody obiegowej spowoduje pewien wzrost zużycia odczynników flotacyjnych i w przypadku stosowania flokulantów w zagęszczaczach promieniowych płuczkowych w wersji technologii z dogęszczaniem zawiesiny, obniżenie zużycia tych ostatnich do ilości zużywanych do klarowania odpadów flotacyjnych.

Z ruchowego punktu widzenia ważnym warunkiem właściwej pracy węzła flotacji i obiegu wodno-mułowego według technologii bezpośredniej flotacji jest stabilna i bezawaryjna praca całego zakładu przerobczego. Warunek ten powodowany jest brakiem w schemacie technologicznym zagęszczaczy promieniowych, które nie tylko stabilizują ilość i jakość nadawy, ale także stanowią zbiornik wyrównawczy magazynujący muły w przypadku awarii. Brak zagęszczaczy promieniowych płuczkowych ma pozytywny wpływ na jakość wód zawracanych do obiegu, często bowiem z przelewem z tych zagęszczaczy do wód przedostawały się znaczne ilości substancji ilastych.

Jako efekt zastosowania technologii bezpośredniej flotacji węgla z wody obiegowej spodziewać się można wzrostu wychodu koncentratu lub poprawy jego jakości, albo obu tych wyników równocześnie. W niniejszej analizie technicznej dla uproszczenia rachunku ekonomicznego przyjęto, że nastąpi obniżenie zawartości popiołu w koncentracie flotacyjnym

Tablica 4

Porównawcze dane techniczno-ekonomiczne

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Wartość	
			Technologia flotacji	
			z dogaszczaniem	bezpośrednio z wody obiegowej
1.	Nakłady inwestycyjne	mln zł	800	786
2.	Koszty eksploatacji (obiegu wodno-mułowego)	mln zł/rok	163,8	166,8
3.	Wartość produkcji	mln zł/rok	1.692,0	1.773,8
4.	Efekt ekonomiczny	mln zł/rok	-	+ 78,0

średnio o jeden procent, a wychód koncentratu będzie taki sam w przypadku obu porównywalnych technologii. Nastąpi jednak korzystny wzrost zawartości popiołu w odpadach (tablica 2).

W porównawczej analizie ekonomicznej [16] uwzględnione zostały trzy podstawowe czynniki decydujące o efektywności przedsięwzięcia technologicznego, a mianowicie nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacji oraz wyniki technologiczno-ekonomiczne wzbogacania mułów. Obliczenia wykazały (tablica 4), że łączna nakłady inwestycyjne w przypadku realizacji zakładu flotacji wg koncepcji z dogaszczaniem zawiesziny przed flotacją będą o kilkanaście milionów zł większe niż w przypadku budowy zakładu wg koncepcji bezpośredniej flotacji. Różnica wynika przede wszystkim z konieczności budowy w pierwszym przypadku zagęszczaczy promieniowych. W zakresie kosztów eksploatacji lepszymi parametrami charakteryzuje się technologia flotacji z dogaszczaniem, a różnice wynikające z niejednakowego zużycia odczynnika flotacyjnego są rzędu kilku milionów zł na rok (tablica 4).

Poprawa efektów technologicznych wyrażająca się zgodnie z przyjętymi założeniami (tablica 2) lepszą jakością koncentratu w przypadku bezpośredniej flotacji węgla z wód obiegowych przyniesie rocznie zysk rzędu kilkudziesięciu milionów zł. Bilans efektów ekonomicznych jest zatem bardziej korzystny w przypadku technologii bezpośredniej flotacji węgla z wody obiegowej.

5. Wnioski

1. Przeprowadzone badania, wykonane analizy technologiczne i ekonomiczne jak również obserwacje procesu bezpośredniej flotacji węgla z wody obiegowej z punktu widzenia walorów ruchomych wykazały, że techno-

- logia ta może być stosowana w zakładach przeróbki mechanicznej węgla.
2. Zastosowanie omówionej technologii w danym zakładzie przerobczym przyniesie znaczny pozytywny efekt technologiczno-ekonomiczny.

LITERATURA

- [1] Czarkowski H., Sablik J.,: Fizyko-chemiczne problemy przeróbki kopalin, Z.6, 1972 r.
- [2] Czarkowski H., Sablik J.,: Wzbogacanie i utylizacja kopalin, 5, 1973.
- [3] Brzezina R., Romańczyk E., Sablik J., Wzbogacanie i utylizacja kopalin 2, 1974.
- [4] Brzezina R., Sablik J., Projekty, Problemy, Budownictwo Węglowe 3, 1976 r.
- [5] Sablik J., Makula K., Olszówka J., Odczynniki flotacyjne jako elementy technologii flotacji węgla. Prace GIG seria dodatkowa, 1979r.
- [6] Sablik J., Brzezina R., Przegląd Górniczy 5, 1981 r.
- [7] Aleksa H. et al, Prace niepublikowane (Dokumentacje GIG).
- [8] Kozłowski Cz., Drogoń W., Nowoczesne metody w przeróbce mechanicznej drobnych ziarn węglowych. Sprawozdanie ze stażu w ZSRR. GIG-Separator, 1967.
- [9] Borc M.A., Lunc I.G., Czerniak J.B., Ugol 2, 1978.
- [10] Bahr A., Fellensiek E., Ludke H., Mehrhoff F.W., Wilczyński P., 9th Int. Coal Prep. Congr., C₆, New Delhi, Indie 1982.
- [11] Wilczyński P., Aufbereitungs - Technik 5, 1981.
- [12] Nowak Z., Gospodarka wodno-mułowa w zakładach przeróbki mechanicznej węgla, s. 274-5, "Śląsk" Katowice, 1982.
- [13] Sablik J., Flotowalność polskich węgli kamiennych jako funkcje stopnia ich uwęglenia. Prace GIG, seria dodatkowa, Katowice 1980.
- [14] Sablik J., Pawlik J., Prace GIG, Komunikat nr 713. Katowice 1980.
- [15] Pawlik J., Projekty, Problemy, Budownictwo Węglowe 1, 1981.
- [16] Opracowanie GBS i PPW "Separator", Ekonomiczna analiza porównawcza wariantów obiegu wodno-mułowego, Katowice 1983 (nr zlecenia 15295).

TECHNOLOGY OF DIRECT FROTH FLOTATION OF COAL FROM CIRCUIT WATER

The article presents results of research on the elaboration of the technology of direct coal flotation from circuit water. Industrial experience has indicated that the technology may be applied in plants beneficiating coal slurries, provided stability and reliability of the plant are maintained on the high level.

The comparative technological and economic analysis of coal flotation from thickened slurries and direct flotation from circuit water indicated that implementation of the latter in the preparation plant may result in significant technological and economic effects.