

Henryk CZARKOWSKI
Jerzy SABLIK
C.O.B.P.W.I.U.K. SEPARATOR
KATOWICE

ZALEŻNOŚĆ PARAMETRÓW FLOTACJI WĘGLA OD ZAGĘSZCZENIA NADAWY

1. Wstęp

Proces tworzenia się zespołu pęcherzyk powietrza - ziarno minerału, umożliwiającą flotację jest z punktu widzenia fizykochemicznego procesem złożonym. Spośród wielu uwarunkowań optymalizujących ten proces, jednym z istotnych jest zagęszczenie nadawy flotacyjnej, a więc ilość ziarn w określonej objętości środowiska flotacyjnego. Łatwo przewidzieć, że w warunkach zbyt dużego zagęszczenia powstać muszą trudności natury mechanicznej, powodujące często demineralizację pęcherzyków powietrza oraz ich koalescencję, powiększenie lepkości ułatwiające mechaniczne wynoszenie drobno zdyspergowanych składników płonnych do koncentratu itp. Następstwami dużego zagęszczenia nadawy są z punktu widzenia technologicznego pogorszenie się jakości koncentratu i odpadów oraz kinetyki flotacji (1-2-3). Należy się spodziewać, że fizykochemiczne warunki flotacji w środowiskach o niższej koncentracji części stałych będą lepsze. Zagadnienie to nie stanowiło jeszcze przedmiotu szerszych badań choć w wielu przypadkach wypowiedziano się na temat korzystnych rezultatów flotacji nadaw o niskim zagęszczeniu (4). W warunkach niskiej koncentracji części stałych maleje jednak prawdopodobieństwo spotkania się ziarn z rozpuszczonymi kropelkami odczynnika. Również stężenie odczynnika w związku z tradycyjnie dodawaną porcją jako funkcją zawartości części stałych maleje.

Celem pracy było określenie wpływu zmieniającego się zagęszczenia nadawy na niektóre parametry technologiczne jako odzwierciedlenie zmiany warunków fizykochemicznych flotacji przy różnej koncentracji części stałych w środowisku flotacyjnym.

2. Metodyka badań

Obiektem badań były próbki węgla koksowych trojakiemu rodzaju:

- muł węglowy pobrany z nadawy flotacyjnej niektórych zakładów przerobczych,
- muł wydzielony z próbek węgla przez odsianie klasy poniżej 0,5 mm,
- mieszanka mułów różnego pochodzenia.

Próbki mułu przygotowywano do flotacji po uprzednim odwodnieniu do stanu powietrzno suchego a następnie zamoczeniu przez standaryzowany przeciąg czasu odważonych ilości. Flotację prowadzono w maszynie laboratoryjnej typu mechanicznego o pojemności komory 5 l jako flotację frakcjonowaną. Stosowano porcjowe dawkowanie odczynników w ilościach określonych poprzedzającymi doświadczeniami kierunkowymi, dzieląc dobrany odczynnik na trzy dawki stanowiące najczęściej 60, 25 i 15% całkowitej ilości. W wyjątkowych przypadkach leniwie przebiegającej flotacji dodawano dalsze porcje odczynników ponad uprzednio zaprogramowaną dawkę. Po podaniu każdej dawki odczynników mieszano zawartość przez określony czas, jednakowy we wszystkich doświadczeniach stanowiących jedną serię. Serię tworzyły doświadczenia flotacyjne jednej próbki węgla podzielonej na kilka naważek odpowiadających różnym zagęszczeniom nadawy flotacyjnej. Najczęściej stosowane zagęszczenia były 80-100-130 (150) - 200 i 250 G/l.

Produkty flotacji suszono, ważono i oznaczano w nich zawartość popiołu.

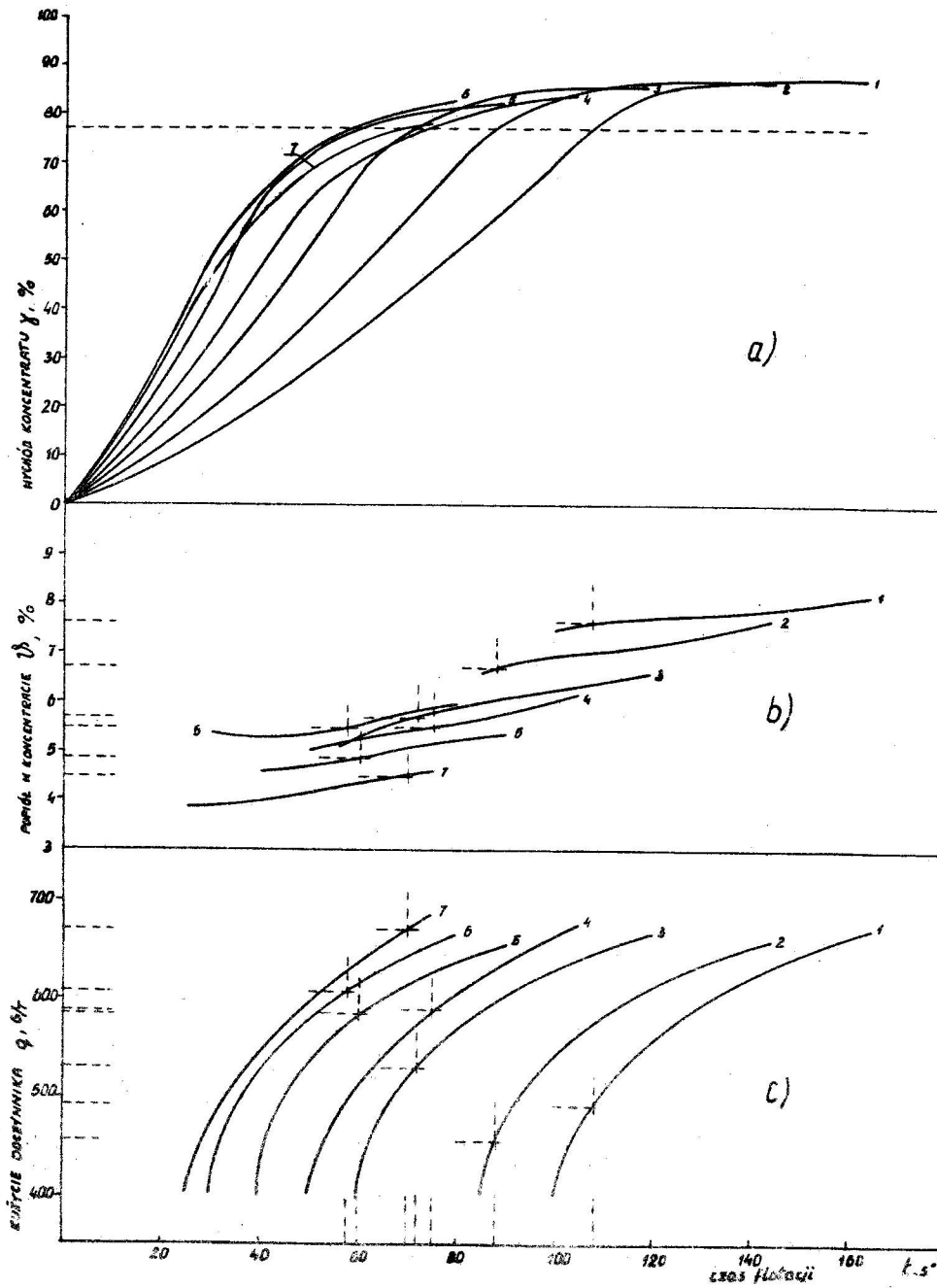
3. Omówienie wyników badań

Typowy przebieg flotacji mułów mieszanych ilustruje rysunek 1a, który przedstawia krzywe kinetyki flotacji 7 próbek o różnym zagęszczeniu początkowym od 250 G/l począwszy (krzywa 1) na 70 G/l (krzywa 7) skończywszy. W miarę zmniejszania się zagęszczenia nadawy maleje wychód koncentratu z 87,5% do 77,5% a więc o 10% (bezwzględnych). Skracą się przy tym również czas flotacji z 165 s do 75 s a więc ponad 50%.

Zmiany w zapopieleniu koncentratu przedstawia rys. 1b, z którego wyraźnie wynika postępujący w miarę zmniejszania się zagęszczenia, spadek zapopielenia koncentratu od 8% do 4,5%. To zróżnicowanie następuje już w pierwszej fazie flotacji o czym świadczą początkowe punkty krzywych leżące na poziomach odpowiednio 7,5% przy zagęszczeniu nadawy 250 G/l i poniżej 4% przy zagęszczeniu 70 G/l.

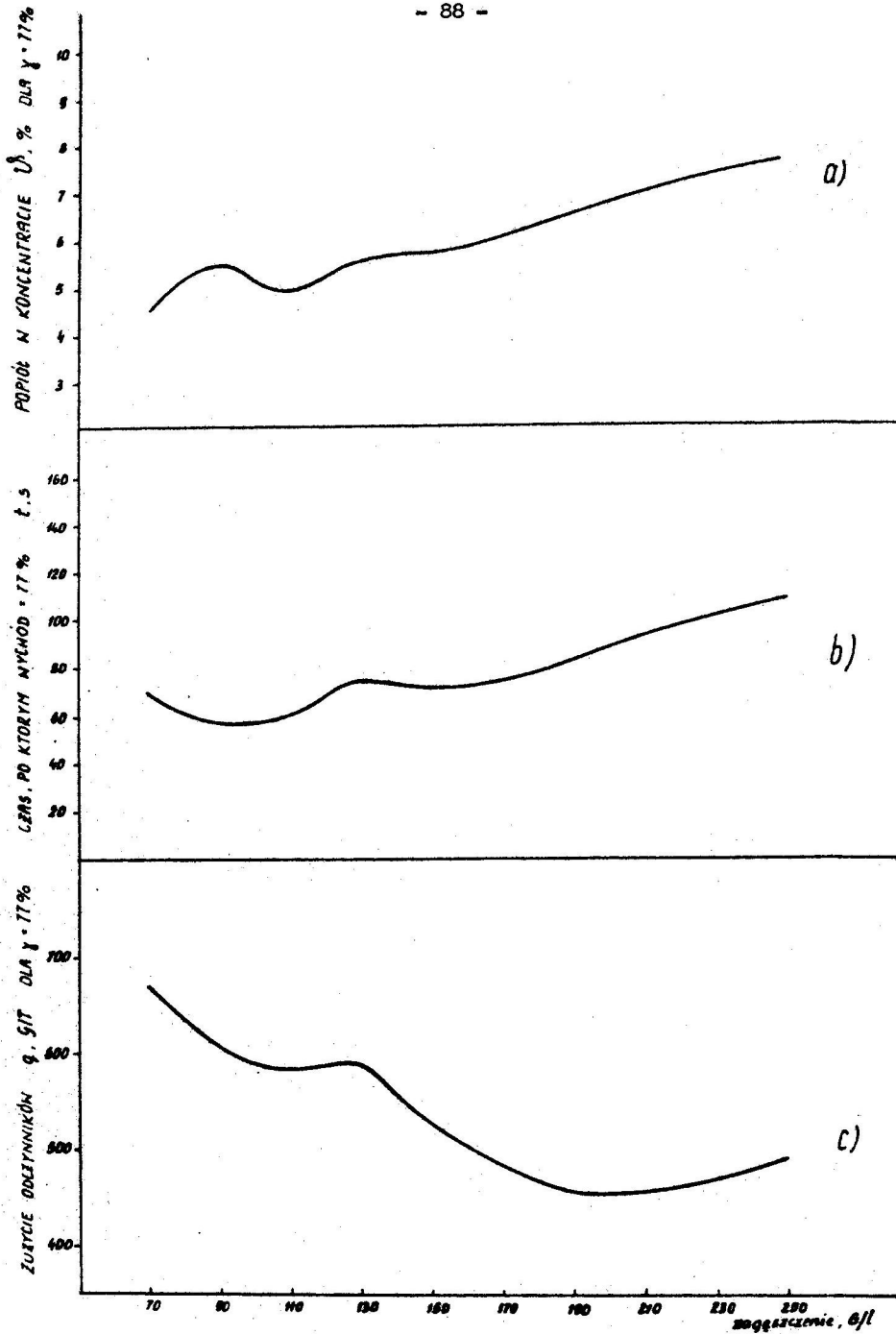
Wyjątkowe położenie zajmuje krzywa 6, która odpowiadając zagęszczeniu 90 G/l zamieniła krzywą 7 na rysunku 1a, a na rysunku 1b krzywe odpowiadające wyższym zagęszczeniom. Podobne wyjątki zaobserwowano również przy flotacji innych węgli ale nie dla tych samych wartości zagęszczenia (rysunek 4a, krzywe 1 i 2). Czy wyjątki te są wynikiem błędów doświadczeń czy też stanowią istotną cechę niektórych węgli jest sprawą dyskusyjną i wymagającą wyjaśnienia po nagromadzeniu odpowiedniego materiału obserwacyjnego. Wyjątki te oczywiście nie podważają ogólnych prawidłowości wyznaczonych trendami, widocznymi jeżeli rozpatrywać omawiane krzywe na całej ich długości.

Żużycie odczynników jednostkowe - odniesione do ilości substancji stałej (naważki) w nadawie, było jednakowe w całej serii doświadczeń - rysunek 1c zgodnie z założonym programem badań. Drobne różnice widoczne w



Rys. 1. Kinetyka flotacji mułu węglowego przy różnych zagęszczeniach na-
daw

1 - 250 g/l, 2 - 200, 3 - 150, 4 - 130, 5 - 110, 6 - 90, 7 - 70 g/l



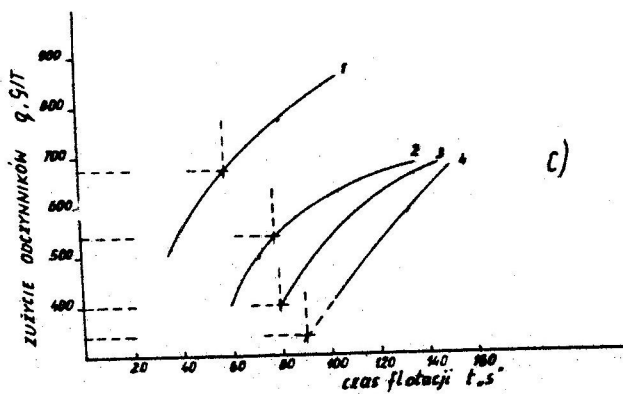
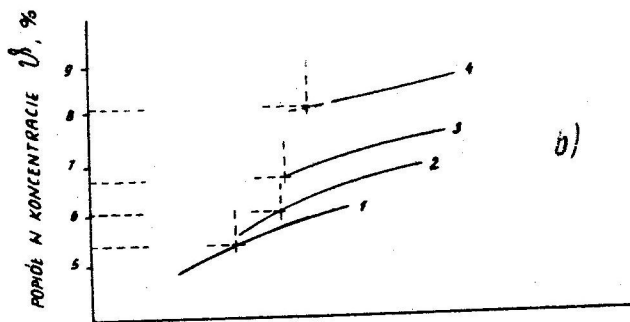
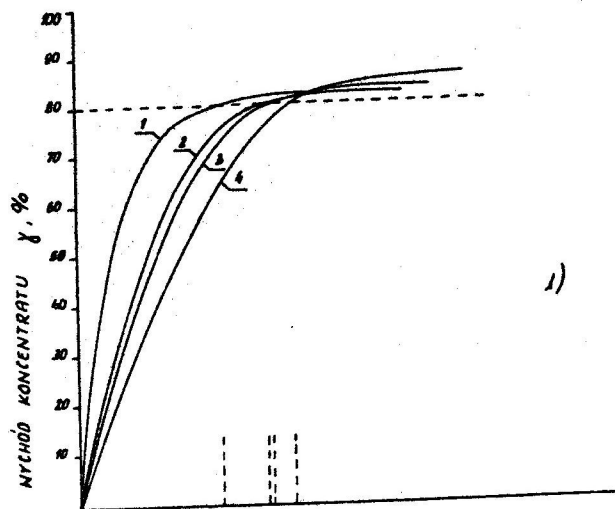
Rys. 2. Zależność czasu flotacji, zapopielenia koncentratu i zużycia odczynników od zagęszczenia nadawy

końcowej fazie flotacji były spowodowane sposobem dawkowania - kroplami, oczywiście nie podzielnymi.

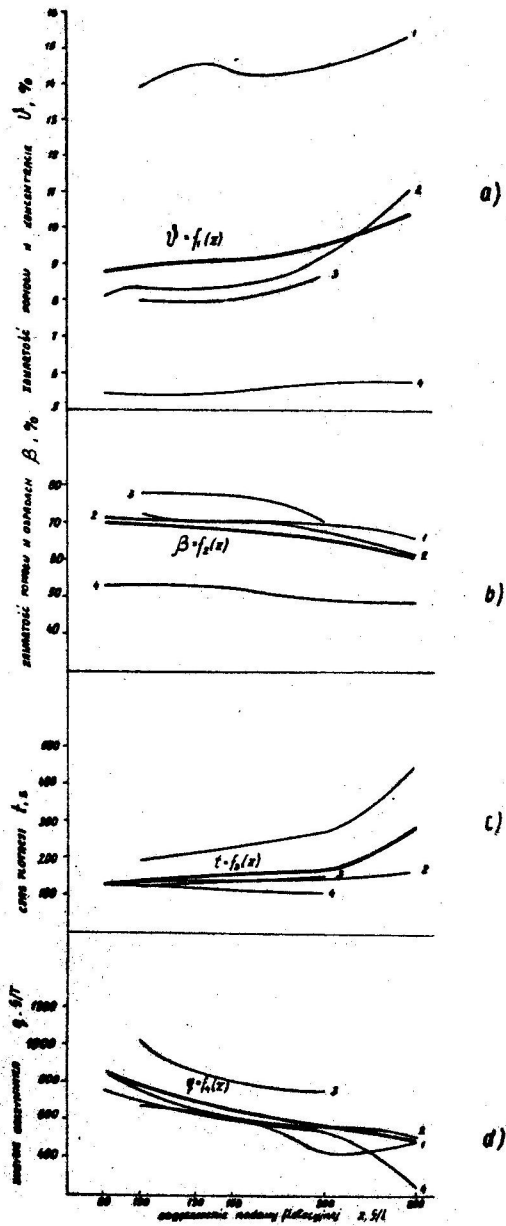
Ponieważ spadek zapopielenia koncentratu z reguły towarzyszy zmniejszaniu się wychodu koncentratu, należało wyjaśnić w jakiej mierze wyniki opisanych doświadczeń zostały spowodowane przez tę zależność a w jakiej przez zmniejszenie zagęszczenia nadawy. W tym celu przez krzywe wychodu na rysunku 1a przeprowadzono prostą na poziomie wychodu $y = 77\%$ przedstawiającego największą wspólną wartość wychodu i punkty przecięcia tej prostej z krzywymi kinetyki odrzutowano na krzywe zapopielenia koncentratu ϕ (rys. 1b) i zużycia odczynników q (rys. 1c). Odpowiadające jednakowemu wychodowi koncentratu wartości ϕ , q oraz czasu flotacji t przedstawiono na rys. 2 w zależności od zagęszczenia nadawy Z . Spadek zapopielenia koncentratów przy tym samym wychodzie uległ tylko nieznacznemu ograniczeniu i zawiera się w granicach 7,5% popiołu przy zagęszczeniu nadawy 250 G/l i 4,5% przy zagęszczeniu 70 G/l - rys. 2a. Świadczy to o decydującym wpływie zagęszczenia i [nieznacznym wpływie wielkości wychodu. Skrócenie czasu flotacji przy stałym wychodzie wynosi $110 - 70 = 40$ s tj. 36% - rys. 2b, jest zatem w przeważającej mierze również związane ze zmniejszeniem zagęszczenia.

Natomiast zużycie odczynników, potrzebnych dla osiągnięcia tego samego wychodu, wyraźnie wzrasta w miarę spadku zagęszczenia (rys. 2c), stając bardzo interesujące zjawisko z punktu widzenia technologicznego aczkolwiek niekorzystne pod względem ekonomicznym. Wzrost ten wynosi 33% (z 480 do 640 G/T). Z punktu widzenia technologicznego wzrost zużycia odczynników odniesiony do ilości substancji stałej, malejącej w miarę rozrzedzenia nadawy, wskazywałby na potrzebę utrzymania pewnego minimum koncentracji odczynników w mętach. To minimum jest niezbędne w celu utrzymania szybkości adsorpcji odczynników na powierzchni ziarn węgla na poziomie zabezpieczającym zadowalająco hydrofobizację, a co za tym idzie prawidłowy bieg flotacji.

Flotacja mułów i węgli z próbek pokładowych prowadzona przy różnych zagęszczeniach nadawy wykazała z jednej strony różnice związane z pochodzeniem próbek węgla, z drugiej jednak powtarzalność tendencji zaobserwowanych na przykładzie opisanej poprzednio serii doświadczeń z mieszkanką mułów. Wyniki serii doświadczeń z różnymi próbkami przedstawia tablica 1. Wyniki te interpretowano w analogiczny sposób jak poprzednio tj. wykreślono krzywe kinetyki flotacji każdego z badanych mułów osobno na jednym rysunku w postaci rodziny krzywych odpowiadającej badanemu zakresowi zmienności zagęszczeń. Odcięte na osi czasu odpowiadające na poszczególnych krzywych największemu wspólnemu wychodowi odrzutowano na krzywe zawartości popiołu w koncentracie oraz zużycia odczynników. Rysunek 3 ilustruje ten tok postępowania na przykładzie próbki 7. Rzędna na poziomie wychodu 80% odcina na poszczególnych krzywych odpowiadających zagęszczeniom nadawy 250, 200, 130 i 80 G/l wartości czasu, o którym ten wychód został



Rys. 3. Wpływ zagęszczenia na flotację węgla z próbki 2
1 - 20, 2 - 130, 3 - 200, 4 - 250 G/l



Rys. 4. Wpływ zagęszczenia nadawy flotacyjnej na:
a - zapopielenie koncentratu, b - popiół w odpadach, c - czas flotacji,
d - zużycie odczynników, 1 do 4 - różne próbki węgla

osiągnięty, zapopielenia koncentratu i zużycia odczynnika. Odczytane wartości dla poszczególnych próbek pokładowych służyły do obliczenia średnich naniesionych na rysunek 4a, b, c, d - krzywa 2.

Pozostałe krzywe na rys. 4 przedstawiają wyniki badań prowadzonych z mułami różnych kopalń. Krzywe pogrubione przedstawiają wyniki uśrednione dla wszystkich badanych próbek.

W związku z poczynionym poprzednio stwierdzeniem, że flotacja przy małym zagęszczeniu wymaga stosunkowo większej dawki odczynników (w odniesieniu do ilości substancji stałej w nadawie) opisane obecnie flotacje nadawy o małym zagęszczeniu przeprowadzono przy użyciu zwiększonych dawek. Spowodowało to jak widać z wykresu na rys. 3 pewne wyrównania wartości wychodów końcowych tj. osiągniętych po doprowadzeniu flotacji do stanu pustej piany. Pomimo tego utrzymały się na ogół różnice jakości koncentratu i odpadów, czasu flotacji oraz zużycia odczynników wraz ze zmieniającym się zagęszczeniem - porównanie z tablicą 1.

Przedstawione na rysunku 4a krzywe zawartości popiołu w koncentratkach z różnych próbek wykazują trendy o znacznym podobieństwie między sobą pomimo dużych różnic pod względem absolutnych wartości zapopielenia co wynika z różnic flotowalności i zapopielenia poszczególnych mułów. Charakterystyczne cechy krzywych to zmniejszenie zapopielenia w obszarze małych zagęszczeń nadawy, wzrost zapopielenia w obszarze dużych zagęszczeń oraz środkowy obszar, w którym zapopielenie koncentratu pozostaje prawie stałe, tylko w małym stopniu zależne od zagęszczenia nadawy.

Porównanie z krzywą zapopielenia na rys. 2a ogólnie biorąc wskazuje na podobieństwo ich kształtów chociaż stromość krzywej w obszarze niskiego zagęszczenia jest mniejsza na rys. 4 co tłumaczy się działaniem zwiększonej dawki odczynników w tym obszarze zagęszczeń.

Zapopielenie odpadów - rys. 4b wyraźnie zwiększa się przy malejącym zagęszczeniu nadawy okazując tendencję odmienną niż widoczna w tablicy 1. Biorąc pod uwagę, że wartości pokazane na rys. 4b zachodzą przy stałym wychodzie natomiast podane w tablicy 1 przy maksymalnie osiągniętym, jasnym staje się, że w warunkach porównywalnych przy stałym wychodzie koncentratu flotacja przebiega bardziej selektywnie przy małych zagęszczeniach nadawy a rozdział na koncentrat i odpady jest bardziej ostry.

Przy zagęszczeniu nadawy 80 G/l koncentrat uśredniony (krzywa pogrubiona) zawiera 8,8% popiołu a odpady 70%, przy zagęszczeniu zwiększonym do 250 G/l koncentrat zawiera już 10,4% popiołu a odpady tylko 60%. Charakterystycznym przy tym jest wyraźniejsze pogorszenie wyników w zakresie dużych zagęszczeń tj. powyżej 200 G/l niż poprawa w zakresie małych co ilustruje większa stromość krzywych α i β w prawej części rysunków.

Czas flotacji (rys. 4c) w przypadku uśrednionych wartości skraca się w kierunku malejących zagęszczeń aczkolwiek nieznacznie w obszarze zagęszczeń poniżej 200 G/l natomiast wyraźnie wzrasta przy zagęszczeniach na prawo od tego obszaru. Charakterystyczne jest przy tym nietypowe zachowanie

Tablica 1

Wyniki flotacji przy różnych zagęszczeniach nadawy

Lp. próbki	Nadawa		Koncentrat		Odpady	Dawka od- czynnika G/T	Czas- flota- cji t,s
	$\alpha, \%$	$\delta, G/l$	$\gamma, \%$	$\nu, \%$	$\beta, \%$		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	25,16	100	82,1	15,15	71,77	780	240
	26,23	125	80,0	14,80	72,01	624	240
	25,36	150	85,2	16,45	76,55	690	360
	25,28	175	86,1	16,90	76,98	743	480
	26,16	200	84,6	17,00	76,33	650	480
	25,79	250	82,5	16,00	71,91	520	480
	25,66						
2.1.	15,59	80	81,5	5,30	60,90	795	160
	15,18	100	79,9	5,64	53,09	715	180
	15,73	150	79,4	5,91	53,57	660	200
	16,07	200	83,2	6,71	62,43	655	220
	15,64						
2.2.	7,56	80	91,5	4,17	44,00	795	155
	7,92	100	85,0	3,80	31,29	715	160
	7,55	150	94,1	4,76	52,73	740	210
	7,96	200	93,2	4,82	51,74	732	240
	7,76						
2.3.	27,18	100	69,7	10,82	64,84	670	180
	27,41	150	75,4	11,54	76,04	620	200
	26,85	200	78,6	12,52	79,48	615	220
	27,15						
2.4.	37,66	80	64,5	13,46	81,62	850	100
	37,54	130	66,3	13,78	84,20	585	115
	36,72	200	70,8	17,17	84,17	580	150
	37,39	250	72,0	18,91	84,84	575	165
	37,33						
2.5.	29,16	80	75,13	11,18	83,47	1250	125
	28,22	130	77,35	11,89	83,97	860	135
	28,42	200	78,67	13,36	83,98	920	215
	27,79	250	81,28	14,54	85,29	880	225
	28,40						

cd. tablicy 1

1	2	3	4	5	6	7	8
2.6.	22,12	80	81,8	6,09	93,68	850	105
	22,61	130	82,2	6,92	95,06	677	135
	22,07	200	83,3	7,55	95,10	680	145
	21,40	250	85,4	8,76	95,33	672	160
	22,05						
3.	14,11	100	91,1	7,97	76,88	1020	125
	14,10	150	91,0	8,02	75,56	810	140
	14,74	200	91,1	8,68	76,80	765	155
	14,32						
4.1.	8,63	80	93,2	5,06	57,53	685	135
	8,59	100	93,35	5,08	57,90	630	140
	8,62	150	93,7	5,24	58,84	575	160
	8,68	200	95,4	5,84	67,64	570	170
	8,63						
4.2.	10,50	100	91,33	5,84	59,65	780	120
	9,93	120	92,23	5,84	58,42	650	120
	10,18	150	90,66	5,79	52,83	640	120
	9,31	160	95,46	6,39	70,74	660	125
	9,84	188	95,84	6,92	77,16	670	130
	10,09	215	95,90	7,15	78,70	660	135
	9,42	256	97,11	7,26	81,85	700	140
	9,90						

flotacji w przypadku maku próbki 4, gdzie nie obserwuje się wpływu zagęszczenia na czas flotacji.

Wpływ zagęszczenia na wielkość zużycia odczynników flotacyjnych jest ewidentny na niekorzyść małych zagęszczeń. Przyczyną tego jest zmiana koncentracji odczynników w ośrodku flotacyjnym w miarę zmian zagęszczenia. Dawki odczynników są programowane na substancję stałą. Wzrost zagęszczenia nadawy powoduje przy tej samej dawce jednostkowej wzrost bezwzględnej ilości odczynnika w stałej objętości nadawy co z kolei powoduje wzrost koncentracji odczynnika w środowisku. A wzrost koncentracji intensyfikuje adsorpcję odczynników na ziarnach węgla a ta z kolei intensyfikuje flotację.

Odwrotnie przy zmniejszeniu zagęszczenia nadawy maleje ilość substancji stałej w nadawie, maleje zatem bezwzględna ilość odczynnika a jego koncentracja spada poniżej pewnego poziomu niezbędnego dla zapewnienia zadowalającej adsorpcji. Wtedy zachodzi potrzeba zwiększenia jednostkowej dawki odczynnika.

Jak wynika z badań poszczególnych próbek wpływ zagęszczenia nadawy jest różny dla różnych węgli i wydaje się, że jest większy w przypadku węgli trudnoflotowalnych a "spłaszcza się" dla węgli łatwoflotowalnych. Intuicyjnie jest to zrozumiałe, mniejsze są bowiem możliwości poprawienia dobrych wyników niż słabych.

4. Wnioski

1. Flotowanie mułu węglowego przy zmniejszonym zagęszczeniu nadawy w sposób istotny wpływa na wyniki flotacji a mianowicie:
 - korzystnie pod względem ostrości rozdziału, zapopielenia koncentratu i odpadów oraz czasu flotacji,
 - niekorzystnie pod względem wielkości zużycia odczynników flotacyjnych,
2. W obszarze średnich zagęszczeń słabnie zależność wskaźników flotacji od zagęszczenia nadawy.
3. Zależność wskaźników flotacji od zagęszczenia nadawy wykazuje dla różnych węgli ten sam trend ale o indywidualnym nachyleniu.

LITERATURA

1. D.S. Jemieljanov: Teoria i praktyka flotacji węgla. Wydawnictwo GH, Katowice 1956.
2. W.I. Klassen: Flotacja węgla, Wydawnictwo "Śląsk" Katowice 1966.
3. W. Krukowiecki: Przeróbka mechaniczna kopalin PWN Łódź - Warszawa - Kraków 1965.
4. A. Luscher, R. Hamant: Flotation, Filterung und Trocknung von Kohlen-schlamm in nordfranzösischen Revier. IV Międzynarodowy Kongres Przeróbki Węgla, Harrogate 1962.