

ANTONI GOSZCZ*, WŁADYSŁAW POLECHOŃSKI**, DARIUSZ FOSZCZ***

Ocena możliwości poprawy parametrów procesu flotacji rudy miedzi przy wykorzystaniu aktywacji magnetohydrodynamicznej

Słowa kluczowe

Wzbogacanie rud miedzi, aktywacja magnetohydrodynamiczna

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań nad poprawą warunków przebiegu procesu flotacji w wyniku aktywacji magnetohydrodynamicznej (MHD) nadawy do flotacji, wody technologicznej oraz odczynników flotacyjnych. W referacie wykorzystano wyniki pracy wykonanej przez Agencję Gospodarki Odpadami Agos S.A. na zlecenie Oddziału Zakłady Wzbogacania Rud KGHM POLSKA MIEDŹ S.A. w Polkowicach, pt: „Badania określające możliwości wykorzystania aktywacji magnetohydrodynamicznej (MHD) do poprawy parametrów procesów flotacji rudy i filtracji koncentratu”.

Zaprezentowano wyniki przeprowadzonej analizy istotności statystycznej różnic w uzyskanych wynikach dla flotacji porównawczych i z aktywacją magnetohydrodynamiczną.

Wprowadzenie

Podstawą przeprowadzenia badań były wyniki doświadczeń nad wpływem pola magnetycznego na fizykochemiczne własności przepływających w nim cieczy. Szeroko zakrojone badania (Klassen 1982; Prospekty firmy EPURO z 1982) wykazały, że przepływająca z okreś-

* Prof. dr hab. inż., AGOS, Katowice.

** Mgr inż., IPIŚ PAN, Zabrze.

*** Dr inż., Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Zakład Przeróbki Kopalni Ochrony Środowiska i Utylizacji Odpadów AGH, Kraków.

loną prędkością w stałym polu magnetycznym woda na skutek oddziaływania nań pola magnetycznego zmienia szereg własności fizykochemicznych, a główne efekty tych zmian to:

- zmiana kąta zwilżania powierzchni twardych,
- zwiększenie prędkości i siły sorpcji,
- zwiększenie prędkości rozpuszczania ciał stałych,
- zwiększanie prędkości koagulacji zawartych w wodzie zawiesin,
- tworzenie się kryształów zawartych w niej soli nie tylko na ściankach wymiennika ciepła, lecz w całej objętości wody.

Ogólnie twierdzi się (Klassen 1982; Prospekty firmy EPURO z 1982), że wymienione efekty odnoszą się zarówno do wody, jak i jej roztworów oraz w różnym stopniu do wielu innych cieczy, w tym do polarnych cieczy prototropowych (cieczy zawierających ruchliwy atom wodoru) i niektórych elektrolitów zawierających jony nieparzystoelektronowe (jony paramagnetyczne). Zmiany fizykochemicznych własności przepływających w polu magnetycznym cieczy próbuje się wykorzystać do intensyfikacji procesów technologicznych w różnych dziedzinach techniki, w tym przy przeróbce kopalin do intensyfikacji procesów związanych z procesami flotacji (Klassen 1982; Kuczenko i in. 1971).

Przyczyny polepszenia parametrów flotacji w wyniku aktywacji MHD nadawy flotacyjnej lub odczynników flotacyjnych są od lat przedmiotem badań w wielu ośrodkach naukowych.

W pierwszym przybliżeniu stwierdzono, że po aktywacji MHD nadawy lub odczynników flotacyjnych następuje wzrost sorpcji na powierzchni minerałów przez odczynniki flotacyjne. W wyniku tego wzrasta prędkość flotacji oraz powiększa się jej selektywność i uzysk. W celu polepszenia parametrów flotacji, aktywacji MHD można poddać wodę dodawaną do nadawy, nadawę i wodne roztwory odczynników flotacyjnych.

Prowadzone liczne badania (Zubkova i in. 1972; Bendarenko 1965; Kovaczew i in. 1969; Ilie i in. 1969; Yonsefi i in. 1974; Cwietmetinformacja 1971) nad poprawą flotowalności przy wykorzystaniu aktywacji MHD dla minerałów takich, jak galena, sfaleryt, kalcyt, ruda węglowo-manganowa, rudy miedziowo-molibdenowe, a także rudy miedziowo-ołowiane i ruda złotonośna, potwierdziły przydatność aktywacji MHD do poprawy wyników flotacji. Badania wpływu aktywacji MHD na różne odczynniki flotacyjne, w tym sorbenty i regulatory flotacji, prowadzono głównie na ksantogenianach i kwasach tłuszczowych ze względu na to, że mają one zastosowanie przy flotacji prawie wszystkich siarczkowych i niesiarczkowych minerałów. Przeprowadzone badania wykazały wzrost prędkości flotacji oraz uzysków. Stwierdzono (Zubkova i in. 1972), że flotacja minerałów siarczkowych polepszyła się, przy czym ilość ksantogenianu znajdującego się na powierzchniach minerałów nie wzrosła, a zmniejszyła się, co wynika — jak tłumaczą autorzy — ze zwiększenia się hydrofobowych własności odczynnika znajdującego się na powierzchni minerałów. Jest to najprawdopodobniej związane z optymalnym przejściem ksantogenianu w dwuksantogenit w obecności tlenu, którego ilość i aktywność w aktywowanej MHD wodnej zawieszynie (nadawie) wzrosła. Potwierdza tę tezę ułatwienie desorpcji sorbentu z minerałów w przypadku aktywacji magnetycznej nadawy (wiadomo, że dwuksantogenit łączy się mniej trwale niż chemosorbujące jony ksantogenianu).

Badania (Bendarenko 1965) wykazały znaczny wzrost prędkości flotacji rudy węglowo-manganowej. Po aktywacji magnetycznej podczas pierwszych 3 minut do koncentratu przechodziło 2—4 razy więcej manganu niż bez aktywacji, przy czym aktywacja pulpy dawała lepsze rezultaty. Jednocześnie polepszyła się selektywność flotacji, bo otrzymano koncentrat o większej zawartości manganu, a sumaryczny uzysk manganu podczas 6 minut flotacji wzrósł z 70% do 91—93,5%.

Badania flotacji rudy miedziowo-molibdenowej z wykorzystaniem aktywacji MHD (Kovaczew i in. 1969) wykazały, że maksymalne efekty uzyskuje się dla optymalnie dobranych parametrów magneto hydrodynamicznych aktywacji, to jest właściwie dobranego natężenia pola magnetycznego i prędkości przepływu tych mediów w przestrzeni aktywnej magnetyzatora. W przypadku optymalnie dobranych parametrów nastąpiło zwiększenie prędkości flotacji o 20—30% i podwyższenie uzysku miedzi o 2,7% i molibdenu o 7% w koncentracie. Podobne wyniki uzyskano w badaniach aktywacji magnetycznej nadawy rudy miedziowo-ołowianej i rudy złotonośnej (Ilie i in. 1969), gdzie uzyskano zwiększanie uzysku w koncentracie miedzi z 64% do 79% i zwiększenie uzysku w koncentracie złota z 78 do 82,2%.

Przedmiotem badań był również wpływ aktywacji MHD monomineralnych wodnych roztworów na flotację (Yonsef i in. 1974). Stwierdzono, że przyrost uzysku nie zależy od przenikalności magnetycznej minerału. I tak, po aktywacji MHD flotacja ferromagnetycznego minerału jakim jest ilmenit polepszyła się w mniejszym stopniu niż flotacja paramagnetycznego piroluzytu, którego uzysk wzrósł o około 30%. Stwierdzono również, że dla określonego reżimu aktywacji MHD flotacyjność kalcytu zmniejszyła się. Ma to ważne znaczenie, gdyż kalcyt z reguły powinien pozostawać w odpadach po flotacyjnych.

W Cwietmetinformacji (1971) stwierdzono, że aktywacja MHD nadawy pirytu przed flotacją spowodowała zwiększenie uzysku o 4,8% i zwiększenie prędkości flotacji w granicach 14—18%. Wykazano przy tym, że wpływ wielkości natężenia pola magnetycznego na zwiększenie uzysku i prędkości flotacji ma charakter poliekstremalny, tj. zależny od optymalnych wartości kilku parametrów aktywacji MHD, przy czym do najważniejszych należą natężenie pola magnetycznego i prędkość przepływu przez pole aktywowanej nadawy.

Doświadczenia wykazały, że magnetyczna aktywacja wodnych roztworów odczynników flotacyjnych nie stoi w sprzeczności z magnetyczną aktywacją wody używanej do flotacji lub z magnetyczną aktywacją nadawy flotacyjnej. Można więc jednocześnie aktywować polem magnetycznym wymienione substancje bez obaw o pogorszenie parametrów flotacji.

W publikacji (Cwietmetinformacja 1971) stwierdzono ponadto, że po aktywacji MHD wodnego roztworu butylowego ksantogenianu potasu niektóre własności tego roztworu zmieniają się. Wzrasta lepkość właściwa roztworu, a jego przewodność elektryczna zmniejsza się. Stwierdzono także zmianę spektrum IK. Wzrasta intensywność pochłaniania w obszarze 1041 cm^{-1} , charakteryzująca intensywność drgań grup C = S w ksantogenianie, oraz wzrasta przenikalność magnetyczna roztworu. Według autorów wymienionych publikacji jest to wynikiem zmian dysocjacji elektrolitycznej kwasu ksantogenowego i tworzenia się dimerów (polimerów) typu dwuksantogenianu.

Badania (Klassen i in. 1968) wykazały, że dla określonych wartości natężenia pola magnetycznego zwiększenie stopnia adsorpcji wynosi 2—3 razy, co szczególnie widoczne jest na ziarnach o dużych średnicach. Na cząsteczkach małych stopień adsorpcji wzrasta 1,5—1,7 razy.

W pracy Agafonowej i in. (1970) stwierdzono, że zwiększenie sorpcji ksantogenianu na minerałach siarczkowych po aktywacji jego roztworów w polu magnetycznym przejawia się również w zmianach flokulacji i flotacji ziaren. Wykazano, że po aktywacji MHD roztworów ksantogenianu prędkość osiadania zawiesiny chalkopirytu wzrasta o 5—8% (efekt pojawia się w obecności tak silnego flokulantu jak polikarylamid). W wymienionych publikacjach stwierdzono również, że po aktywacji MHD prędkość przyczepiania się pojedynczych ziaren minerałów do pęcherzyków powietrza wzrosła o około 10 razy, co związane jest ze zwiększeniem hydrofobizacji powierzchni cząsteczek przez zaktywowany ksantogenian.

Przy flotacji minerałów siarczkowych jako odczynniki flotacyjne stosuje się ksantogeniany, wodorotlenki, siarczki i węgliki metali. Badania przeprowadzone na roztworach azotanu ołowiu, siarczku miedzi, siarczku cynku o koncentracji 5×10^{-4} mol/l (Agafonowa i in. 1970), wykazały, że aktywacja MHD może mieć znaczny wpływ na procesy flotacji. Wymienione roztwory przepuszczano przez aktywator MHD, w którym natężenie pola magnetycznego zmieniano w przedziale od 160 do 1600 kA/m, a prędkość przepływu wynosiła $V \approx 0,1$ cm/s.

Wypadające osady oglądano pod mikroskopem. Badania wykazały, że największe zmiany po aktywacji magnetycznej zachodzą w procesach przebiegających w ciekłej fazie nadaw flotacyjnych i dotyczą:

- przyspieszenia tworzenia się osadów,
- zwiększenie stopnia flokulacji i koagulacji,
- zmiany składu wytrąconych osadów,
- podwyższenie koncentracji dwuksantogenianu.

Teoretycznie zmiany te powinny dodatnio wpływać na flotowalność minerałów. W szczególności zwiększenie prędkości wzajemnego oddziaływania kationów z jonem ksantogenianowym i zwiększenie koncentracji dwuksantogenianu w nadawie powinno prowadzić do przyspieszenia adsorpcji ksantogenianu na powierzchni mineralnej i zwiększenia stopnia jej hydrofobizacji oraz zwiększenia prędkości flotacji.

Badania (Demin i in. 1967) wykazały, że po aktywacji MHD wodnych roztworów sorbentów z grupą karboksylową ich sorpcja na powierzchniach minerałów wzrasta, przy czym nie tylko zwiększa się sorpcja sorbentu na minerałach, ale wzrasta stabilność umocowania odczynnika. Uzyskane wyniki dobrze konwenują z określonymi doświadczalnie zmianami fizykochemicznych własności badanych roztworów odczynników i badanych zawiesin.

1. Opis przeprowadzonych badań

Celem badań było określenie wpływu aktywacji magnetohydrodynamicznej nadawy do flotacji odczynników flotacyjnych na parametry flotacji polskich rud miedzi. Badania

prowadzono pod kątem oceny zwiększenia uzysku oraz prędkości flotacji w wyniku wymienionych aktywacji. Wykonano badania obejmujące kombinację zmian dla parametrów magnetohydrodynamicznych (prędkości przepływu aktywowanego medium i natężeń pola magnetycznego) w przestrzeni aktywnej, specjalnie zaprojektowanych i wykonanych do tych badań, laboratoryjnych magnetyzatorów i współpracujących z nimi urządzeń uśredniająco-dozujących dla (rys. 2):

- nadawy na flotację główną,
- odczynników flotacyjnych (odczynnik zbierający — ksantogienian),
- wody technologicznej (flotacje na rudzie surowej).

Przyjęto, następujące parametry MHD:

a) dla nadawy na flotację główną i dla rudy surowej:

stałe pole magnetyczne

- natężenie pola magnetycznego — 200; 300; 400 kA/m,
- prędkości przepływu aktywowanych mediów w przestrzeni aktywnej magnetyzatora — 0,5; 1,0; 1,5 m/s,
- długość drogi aktywacji MHD — 0,4 m,

zmienne pole magnetyczne (badania przy użyciu kanału poligradientowego rys. 1);

b) dla odczynników flotacyjnych:

- natężenie pola magnetycznego — 600 kA/m,
- prędkości przepływu w przestrzeni aktywnej magnetyzatora — 1,5 m/s,
- długość drogi aktywacji MHD — 0,2 m.

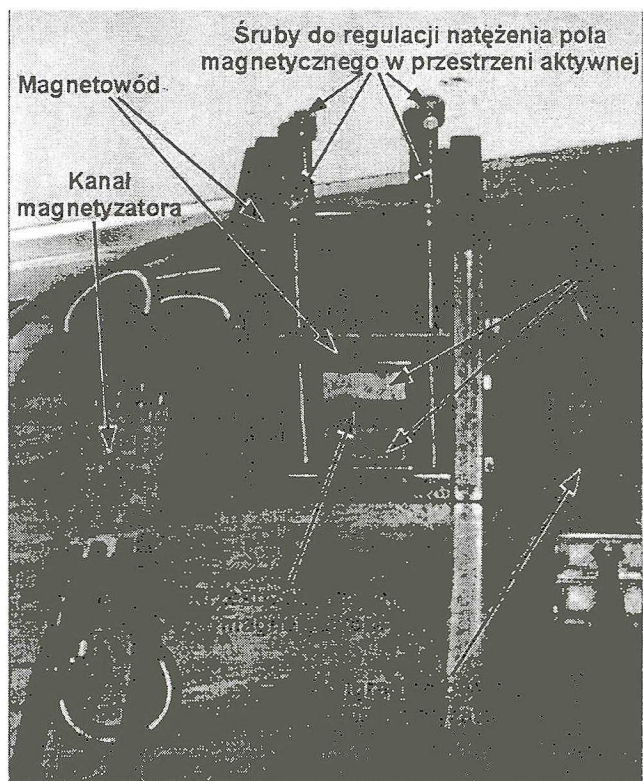
Do aktywacji MHD nadawy na flotację główną i dla rudy surowej opracowano i wykonano przedstawiony na rysunkach 1 i 2 specjalnej konstrukcji magnetyzator, pozwalający na płynną regulację uzyskiwanego w przestrzeni aktywnej stałego pola magnetycznego w zakresie natężeń od 20 kA/m do 700 kA/m, w którym do wytwarzania pola magnetycznego zastosowano magnesy ceramiczne nowej generacji typu: NdFeB. Długość przestrzeni aktywnej magnetyzatora wynosi 100 mm.

W magnetyzatorze zastosowano dwa różnej konstrukcji kanały, przez które przepływa aktywowane MHD medium. Pierwszy kanał nazwany kanałem „1” (rys. 1) tworzą połączone odpowiednimi wężykami polietylenowymi cztery rurki mosiężne o średnicy wewnętrznej 7 mm i przekroju $38,5 \text{ mm}^2$. Długość drogi aktywacji MHD w tym kanale wynosi 0,4 m. Natężenie pola magnetycznego w kanale odpowiada natężeniu pola w przestrzeni aktywnej i regulowane jest za pomocą śrub regulacyjnych przez zmianę odległości pomiędzy magnesami magnetyzatora.

Drugi kanał nazwany kanałem „2” (rys. 1) jest kanałem poligradientowym, to jest kanałem, którego wypełnienie stanowi tzw ferromagnetyczne wypełnienie filtrujące.

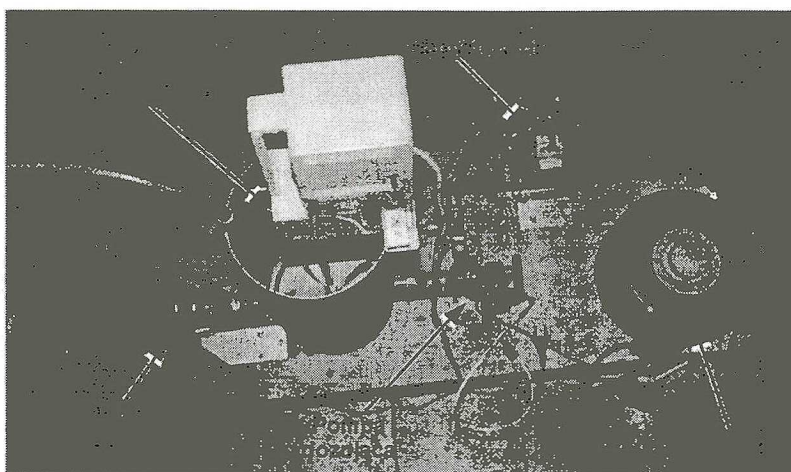
Wypełnienie to sprawia, że:

- przepływ medium w kanale jest przepływem burzliwym, a prędkości i gradienty prędkości przepływającego medium obejmują bardzo szerokie spektrum,
- medium przepływa przez obszary o różnych natężeniach pola magnetycznego i różnych gradientach natężeń pola magnetycznego, przy czym w zastosowanym kanale



Rys. 1. Magnetyzator

Fig. 1. Magnetizer



Rys. 2. Stanowisko badawcze do aktywacji magneto hydrodynamicznej

Fig. 2. Research stand for magnetohydrodynamic activation

maksymalne natężenie pola magnetycznego wynosi około 800 kA/m. Wymiary wewnętrzne przestrzeni aktywnej kanału wynoszą $55 \times 25 \times 100$ mm, a ferromagnetyczne wypełnienie stanowią ułożone jedna na drugiej perforowane w podobny sposób jak „tarka do ziemniaków” blachy wykonane ze stali gatunku H18, o grubości 0,15 mm.

Do aktywacji MHD odczynników flotacyjnych (ksantogenianu) opracowano i wykonano układ składający się z magnetyzatora i pompy zębatej o stałej wydajności.

W przestrzeni aktywnej magnetyzatora o długości 100 mm umieszczono dwa połączone szeregowo kanały o przekroju 19 mm^2 , przez które przepływa z prędkością $\approx 1,5$ m/s aktywowany MHD ksantogenian. Natężenie pola magnetycznego wytwarzanego w przestrzeni aktywnej magnetyzatora przez magnesy typu NdFeB jest stałe i wynosi 600 kA/m, a czas aktywacji dobierano tak, by dana objętość aktywowanego ksantogenianu przepływała w przestrzeni aktywnej magnetyzatora w przybliżeniu pięć razy, co odpowiada długości drogi aktywacji $\approx 1,0$ m.

Wymienione bardzo wysokie parametry aktywacji MHD odczynników flotacyjnych wybrano z uwagi na stosunek objętości odczynników do objętości nadawy.

2. Wyniki badań

Badania przeprowadzono za pomocą przedstawionego na rysunku 2 układu składającego się z zbiornika uśredniającego gęstość nadawy, pompy, aktywatora MHD, odpowiednich zaworów i węży łączących te elementy układu oraz maszyny flotacyjnej wyposażonej w wanny o objętości $1,0 \text{ dm}^3$ i $1,5 \text{ dm}^3$.

Pobrana do badań nadawa była nalewana w ilości około 14 dm^3 do zbiornika uśredniającego o objętości dyspozycyjnej $\approx 12 \text{ dm}^3$ (objętość materiału możliwa do wykorzystania) i mieszana w czasie ≈ 50 minut w celu uśrednienia gęstości. Następnie za pomocą pompy wirnikowej nadawa pompowana była z założoną prędkością, ustaloną przez odpowiednie krzyże umieszczone w węzłach dozujących nadawę, do cylindrów miarowych, do objętości 1 dm^3 i $1,5 \text{ dm}^3$. W przypadku aktywacji MHD, nadawa pompowana była przez aktywator MHD, a w przypadku braku aktywacji — z jego pominięciem (próbka do badań flotacyjnych porównawczych). Po zważeniu cylindrów miarowych i określeniu gęstości nadawy, dobierano odpowiednią dla tej gęstości ilość odczynników flotacyjnych (zbieracza — ksantogenian i pianotwórczych — corflot) i prowadzono standardową flotację. W czasie flotacji po upływie określonych przedziałów czasowych pobierano wyflotowany koncentrat, który podobnie jak odpad suszono, ważono i poddawano analizom chemicznym na zawartość Cu. Flotacje prowadzono naprzemiennie, pobierając materiał aktywowany MHD i bez aktywacji (flotacje porównawcze).

Wyniki badań wpływu aktywacji magnetohydrodynamicznej nadawy, nadawy i odczynników flotacyjnych oraz odczynników flotacyjnych dla wybranych parametrów magnetohydrodynamicznych na parametry flotacji, w tym uzysk miedzi i prędkość flotacji po odrzuceniu wyników badań wstępnych (badania prowadzone bez cylindra uśredniającego), przedstawiono w tabelach 1—6 i na rysunkach 3—8.

TABELA I

46

Wyniki flotacji porównawczych oraz dla aktywacji MHD nadawy — parametry MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 1,5; 1,0; 0,4 m/s

TABLE I

Comparative flotation results and for MHD feed activation with parameters MHD — field intensity 400 kA/m, flow speed 1.5; 1.0; 0.4 m/s

Flotacje porównawcze																				
Czas flotacji	Flotacja I					Flotacja V					Flotacja VIII					Średnia flotacji I, V i VIII				
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
3	72,5	30,39	5,20	80,96	80,96	66,2	31,15	4,86	81,30	81,30	69,4	31,00	4,96	82,08	82,08	69,4	30,83	5,01	81,43	81,43
6	16,9	7,08	2,06	7,48	88,44	14,5	6,82	1,86	6,82	88,12	14,0	6,25	1,95	6,51	88,59	15,1	6,73	1,96	6,96	88,39
30	30,4	12,74	0,95	6,20	94,64	31,8	14,96	0,85	6,83	94,95	30,4	13,58	0,85	6,16	94,75	30,9	13,72	0,88	6,38	94,77
odpad	118,8	49,79	0,21	5,36	odpad	100,0	47,06	0,20	5,05	odpad	110,1	49,17	0,20	5,25	odpad	109,6	48,73	0,20	5,23	odpad
	238,6	100,00	1,95	100,00		212,5	100,00	1,86	100,00		223,9	100,00	1,87	100,00		225,0	100,00	1,90	100,00	
Aktywacja MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu V_p 1,5[m/s]																				
Czas flotacji	Flotacja II					Flotacja III					Flotacja IV					Średnia flotacji II, III i IV				
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
3	71,1	30,86	5,12	82,43	82,43	71,9	31,49	5,00	82,73	82,73	72,2	31,34	4,90	82,21	82,21	71,7	31,23	5,01	82,46	82,46
6	13,3	5,77	2,04	6,14	88,57	14,8	6,48	1,90	6,47	89,20	17,1	7,42	1,84	7,31	89,52	15,1	6,56	1,92	6,64	89,10
30	32,9	14,28	0,88	6,56	95,13	30,3	13,27	0,85	5,93	95,13	28,6	12,41	0,79	5,25	94,77	30,6	13,32	0,84	5,92	95,01
odpad	113,1	49,09	0,19	4,87	odpad	111,3	48,75	0,19	4,87	odpad	112,5	48,83	0,20	5,23	odpad	112,3	48,89	0,19	4,99	odpad
	230,4	100,00	1,92	100,00		228,3	100,00	1,90	100,00		230,4	100,00	1,87	100,00		229,7	100,00	1,90	100,00	

cd. tabeli I

cont. table I

Aktywacja MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu V_p 1,0[m/s]																				
Czas flotacji	Flotacja VI					Flotacja VII										Średnia flotacji VI i VII				
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
3	67,7	31,61	5,00	82,38	82,38	67,1	30,56	4,80	81,96	81,96						67,1	30,56	4,90	82,00	82,00
6	13,4	6,26	1,90	6,20	88,58	12,4	5,65	1,96	6,18	88,14						12,4	5,65	1,93	5,96	87,96
30	32,8	15,31	0,82	6,55	95,13	35,6	16,21	0,78	7,07	95,21						35,6	16,21	0,80	7,09	95,05
odpad	100,3	46,83	0,20	4,88	odpad	104,5	47,59	0,18	4,79	odpad						104,5	47,59	0,19	4,95	odpad
	214,2	100,00	1,92	100,00		219,6	100,00	1,79	100,00							219,6	100,00	1,83	100,00	
Aktywacja MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu V_p 0,4[m/s]																				
Czas flotacji	Flotacja IX					Flotacja X					Flotacja XI					Średnia flotacji IX, X, XI				
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
3	69,4	30,75	4,97	81,66	81,66	69,2	30,67	5,00	81,68	81,68	68,5	30,81	4,90	81,24	81,24	69,0	30,75	4,96	81,53	81,53
6	14,1	6,25	2,08	6,94	88,60	14,2	6,29	1,98	6,64	88,32	11,9	5,35	2,14	6,16	87,40	13,4	5,97	2,06	6,58	88,11
30	31,3	13,87	0,83	6,15	94,75	35,1	15,56	0,80	6,63	94,95	34,8	15,65	0,88	7,41	94,81	33,7	15,02	0,84	6,73	94,84
odpad	110,9	49,14	0,20	5,25		107,1	47,47	0,20	5,06		107,1	48,18	0,20	5,18		108,4	48,26	0,20	5,16	odpad
	225,7	100,00	1,87	100,00		225,6	100,00	1,88	100,00		222,3	100,00	1,86	100,00		224,5	100,00	1,87	100,00	

Wyniki flotacji porównawczych oraz dla aktywacji MHD nadawy — parametry MHD — natężenie pola 300 kA/m, prędkość przepływu 1,2—1,3, 0,5—0,6 m/s z aktywacją odczynników flotacyjnych, parametry MHD 400 kA/m

TABLE 2

Comparative flotation results and for MHD feed activation with parameters MHD — field intensity 300 kA/m, flow speed 1.2—1.3, 0.5—0.6 m/s with flotation reagents activation — MHD parameters 400 kA/m

Flotacje porównawcze																				
Czas flotacji	Flotacja I					Flotacja V					Flotacja IX					Średnia flotacji I, V i IX				
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
3	57,40	27,80	5,62	81,74	81,74	52,00	25,87	5,80	80,84	80,84	53,40	27,02	5,77	82,52	82,52	54,27	26,90	5,73	81,70	81,70
6	11,60	5,62	2,17	6,38	88,11	11,10	5,52	2,31	6,87	87,71	10,60	5,36	2,12	6,02	88,54	11,10	5,50	2,20	6,42	88,12
30	29,10	14,09	0,83	6,12	94,23	29,20	14,53	0,90	7,04	94,76	28,20	14,27	0,77	5,82	94,35	28,83	14,30	0,83	6,32	94,44
odpad	108,40	52,49	0,21	5,77		108,70	54,08	0,18	5,24		105,40	53,34	0,20	5,65		107,50	53,30	0,20	5,56	
	206,50		1,91			201,00	100,00	1,86	100,00		197,60	100,00	1,89	100,00		201,70		1,89	0	
Aktywacja MHD — natężenie pola 300 kA/m, prędkość przepływu V_p 1,2—1,3[m/s] z aktywacją odczynników flotacyjnych, parametry MHD 400 kA/m																				
Czas flotacji	Flotacja II					Flotacja III					Flotacja IV					Średnia flotacji II, III i IV				
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
3	53,80	26,18	5,82	81,63	81,63	50,40	24,63	5,86	79,56	79,56	51,50	25,37	5,70	79,65	79,65	51,90	25,40	5,79	80,28	80,28
6	12,50	6,08	2,16	7,04	88,67	12,50	6,11	2,07	6,97	86,53	11,60	5,71	2,23	7,02	86,67	12,20	5,97	2,15	7,01	87,29
30	27,90	13,58	0,84	6,11	94,78	32,50	15,88	0,90	7,88	94,41	37,40	18,42	0,82	8,32	94,99	32,60	15,95	0,85	7,44	94,73
odpad	111,30	54,16	0,18	5,22		109,20	53,37	0,19	5,59		102,50	50,49	0,18	5,01		107,67	52,68	0,18	5,27	odpad
	205,50	100,00	1,87	100,00		204,60	100,00	1,81	100,00		203,00	100,00	1,82	100,00		204,37	100,00	1,83	100,00	

cd. tabeli 2

cont. table 2

Aktywacja MHD — natężenie pola 300 kA/m, prędkość przepływu V_p 0,5—0,6[m/s] z aktywacją odczynników flotacyjnych, parametry MHD 400 kA/m																				
Czas flotacji	Flotacja VI					Flotacja VII										Średnia flotacji VI, VII, VIII i X				
	γ	γ	Cu	ϵ	$\Sigma\epsilon$	γ	γ	Cu	ϵ	$\Sigma\epsilon$	γ	γ	Cu	ϵ	$\Sigma\epsilon$	γ	γ	Cu	ϵ	$\Sigma\epsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
3	53,60	26,61	5,80	80,43	80,43	53,00	26,51	5,66	80,30	80,30						53,65	26,92	5,69	81,11	81,11
6	13,10	6,50	2,12	7,19	87,62	12,20	6,10	2,23	7,28	87,58						12,48	6,26	2,10	6,96	88,08
30	32,10	15,94	0,82	6,81	94,43	28,60	14,31	0,88	6,74	94,32						29,93	15,02	0,81	6,44	94,51
odpad	102,60	50,94	0,21	5,57		106,10	53,08	0,20	5,68							103,23	51,80	0,20	5,49	odpad
	201,40	100,00	1,92	100,00		199,90	100,00	1,87	100,00							199,28	100,00	1,89	100,00	
Czas flotacji	Flotacja VIII					Flotacja X														
	γ	γ	Cu	ϵ	$\Sigma\epsilon$	γ	γ	Cu	ϵ	$\Sigma\epsilon$										
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]										
3	55,10	27,63	5,60	82,24	82,24	52,90	26,93	5,69	81,48	81,48										
6	10,00	5,02	2,22	5,92	88,16	14,60	7,43	1,89	7,47	88,95										
30	29,30	14,69	0,80	6,25	94,40	29,70	15,12	0,74	5,95	94,90										
odpad	105,00	52,66	0,20	5,60		99,20	50,51	0,19	5,10											
	199,40	100,00	1,88	100,00		196,40	100,00	1,88	100,00											

TABELA 3

Wyniki flotacji porównawczych oraz dla aktywacji MHD nadawy — parametry MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 1,5 m/s z aktywacją odczynników flotacyjnych — parametry MHD 600 kA/m

TABLE 3

Comparative flotation results and for MHD feed activation with parameters MHD — field intensity 400 kA/m, flow speed 1.5 m/s with flotation reagents activation — MHD parameters 600 kA/m

Flotacje porównawcze																				
Czas flotacji	Flotacja II					Flotacja IV					Flotacja VI					Średnia flotacji II, IV, VI i VIII				
	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
3	73,7	32,10	6,63	82,34	82,34	68,8	30,02	6,72	80,45	80,45	79,7	35,44	6,05	83,74	83,74	74,7	32,67	6,47	82,54	82,54
6	14,8	6,45	3,04	7,58	89,92	14,2	6,20	3,22	7,96	88,41	12,6	5,60	3,21	7,02	90,77	14,7	6,44	2,99	7,53	90,07
30	29,5	12,85	1,27	6,32	96,24	31,3	13,66	1,32	7,19	95,60	31,7	14,10	1,04	5,73	96,50	31,5	13,76	1,14	6,11	96,18
odpad	111,6	48,61	0,20	3,76	odpad	114,9	50,13	0,22	4,40	odpad	100,9	44,86	0,20	3,50	odpad	107,7	47,13	0,21	3,82	odpad
	229,6	100,00	2,58	100,00		229,2	100,00	2,51	100,00		224,9	100,00	2,56	100,00		228,5	100,00	2,56	100,00	
Czas flotacji	Flotacja VIII																			
	γ	γ	Cu	ε	Σε															
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]															
3	76,4	33,16	6,55	83,60	83,60															
6	17,3	7,51	2,61	7,54	91,14															
30	33,3	14,45	0,94	5,23	96,37															
odpad	103,4	44,88	0,21	3,63	odpad															
	230,4	100,00	2,60	100,00																

cd. tabeli 3

cont. table 3

Aktywacja MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu V_p 1,5 [m/s] z aktywacją odczynników flotacyjnych — parametry MHD 600 kA/m																				
Czas flotacji	Flotacja I					Flotacja III					Flotacja V					Średnia flotacji VI, VII, VIII i X				
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
3	69,5	30,22	6,82	80,50	80,50	77,1	33,89	6,46	84,74	84,74	71,4	32,25	6,60	82,57	82,57	73,6	32,31	6,55	83,63	83,63
6	14,5	6,30	3,52	8,66	89,16	13,7	6,02	2,82	6,57	91,31	13,3	6,01	3,08	7,18	89,75	14,8	6,48	2,58	6,60	90,23
30	30,4	13,22	1,34	6,91	96,08	27,3	12,00	1,07	4,97	96,28	28,7	12,96	1,21	6,09	95,84	31,0	13,61	1,10	5,94	96,17
odpad	115,6	50,26	0,20	3,92	odpad	109,4	48,09	0,20	3,72	odpad	108,0	48,78	0,22	4,16	odpad	108,5	47,60	0,20	3,83	odpad
	230,0	100,00	2,56			227,5	100,00	2,58	100,00		221,4	100,00	2,58	100,00		227,9	100,00	2,53	100,00	
Czas flotacji	Flotacja VII					Flotacja IX														
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$										
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]										
3	72,8	31,47	6,77	82,88	82,88	77,4	33,73	6,16	87,75	87,75										
6	15,8	6,83	2,88	7,65	90,53	16,6	7,23	0,86	2,63	90,38										
30	34,7	15,00	1,00	5,84	96,37	34,0	14,81	0,94	5,88	96,26										
odpad	108,0	46,69	0,20	3,63	odpad	101,5	44,23	0,20	3,74	odpad										
	231,3	100,00	2,57	100,00		229,5	100,00	2,37	100,00											

TABELA 4

Wyniki flotacji porównawczych oraz dla aktywacji MHD nadawy — parametry MHD — poligradientowe pole magnetyczne z aktywacją odczynników flotacyjnych — parametry MHD odczynników 400 kA/m

TABLE 4

Comparative flotation results and for MHD feed activation with parameters MHD — polygradient magnetic field with flotation reagents activation — reagents MHD parameters 400 kA/m

Flotacje porównawcze																				
Czas flotacji	Flotacja I					Flotacja III					Flotacja V					Średnia flotacji I, III i V				
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	80,9	30,22	5,00	76,77	76,77	83,3	31,72	4,78	76,10	76,10	86,0	32,89	4,76	79,20	79,20	250,20	31,60	4,85	77,36	77,36
2	14,9	5,57	2,90	8,20	84,97	17,0	6,47	2,78	9,03	85,13	17,9	6,85	2,56	8,87	88,07	49,80	6,29	2,74	8,70	86,06
3	7,1	2,65	2,28	3,07	88,04	8,3	3,16	2,36	3,74	88,87	6,1	2,33	1,88	2,22	90,29	21,50	2,72	2,19	3,01	89,07
6	9,5	3,55	1,78	3,21	91,25	11,7	4,46	1,58	3,53	92,40	7,1	2,72	1,58	2,17	92,46	28,30	3,57	1,65	2,97	92,04
16	27,9	10,42	0,68	3,60	94,85	27,1	10,32	0,62	3,21	95,61	26,6	10,17	0,63	3,24	95,70	81,60	10,31	0,64	3,35	95,39
30	11,2	4,18	0,24	0,51	95,36	11,2	4,27	0,28	0,60	96,21	11,5	4,40	0,27	0,60	96,30	33,90	4,28	0,26	0,57	95,96
odpad	116,2	43,41	0,21	4,63		104,0	39,60	0,19	3,78		106,3	40,65	0,18	3,70		326,50	41,24	0,19	4,04	odpad
	267,7	100,00	1,97	100,00		262,6	100,00	1,99	100,00		261,5	100,00	1,98	100,00		791,80	100,00	1,98	100,00	
MHD — poligradientowe pole magnetyczne z aktywacją odczynników flotacyjnych — parametry MHD 600 kA/m																				
Czas flotacji	Flotacja II					Flotacja IV					Flotacja VI					Średnia flotacji II, IV i VI				
	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$	γ	γ	Cu	ε	$\Sigma\varepsilon$
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	89,3	32,96	4,85	80,44	80,44	80,6	31,12	5,04	78,33	78,33	90,3	34,40	4,74	82,02	82,02	260,20	32,84	4,87	80,26	80,26
2	14,8	5,46	2,64	7,26	87,70	15,7	6,06	2,72	8,23	86,56	14,8	5,64	2,49	7,06	89,08	45,30	5,72	2,62	7,52	87,78
3	4,6	1,70	1,95	1,67	89,37	6,4	2,47	2,05	2,53	89,09	5,3	2,02	1,84	1,87	90,95	16,30	2,06	1,96	2,02	89,80
6	12,1	4,47	1,26	2,83	92,20	10,2	3,94	1,44	2,83	91,92	9,8	3,73	1,28	2,40	93,35	32,10	4,05	1,32	2,69	92,49
16	27,7	10,23	0,56	2,88	95,08	26,9	10,39	0,61	3,16	95,08	26,4	10,06	0,50	2,53	95,88	81,00	10,22	0,56	2,86	95,35
30	10,0	3,69	0,18	0,33	95,41	10,4	4,02	0,25	0,50	95,58	10,3	3,92	0,24	0,47	96,35	30,70	3,87	0,22	0,43	95,78
odpad	112,4	41,49	0,22	4,59		108,8	42,01	0,21	4,41		105,6	40,23	0,18	3,64		326,80	41,24	0,20	4,21	odpad
	270,9	100,00	1,99	100,00		259,0	100,00	2,00	100,00		262,5	100,00	1,99	100,00		792,40	100,00	1,99	100,00	

TABELA 5

Wyniki flotacji dla aktywacji MHD rudy surowej — parametry MHD — poligradientowe pole magnetyczne

TABLE 5

Flotation results for MHD activation of crude ore with parameters MHD — polygradient magnetic field

Flotacje porównawcze																				
Czas flotacji	Flotacja I					Flotacja III					Flotacja V					Średnia flotacji I, III i V				
	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	13,3	3,16	7,68	11,79	11,79	10,2	2,42	4,74	5,70	5,70	33,0	7,91	6,04	24,47	24,47	18,8	4,49	6,19	13,83	13,83
2	5,2	1,24	7,52	4,51	16,30	5,0	1,19	7,06	4,16	9,85	6,3	1,51	9,98	7,72	32,19	5,5	1,31	8,32	5,43	19,25
3	3,2	0,76	7,37	2,72	19,03	3,1	0,74	5,38	1,96	11,82	4,1	0,98	9,17	4,62	36,80	3,5	0,83	7,49	3,08	22,33
6	5,4	1,28	6,32	3,94	22,97	15,9	3,78	3,61	6,76	18,58	11,3	2,71	4,94	6,85	43,66	10,9	2,59	4,52	5,82	28,16
16	58,5	13,91	6,38	43,08	66,05	39,7	9,44	8,99	42,04	60,63	73,2	17,54	4,36	39,18	82,84	57,1	13,62	6,12	41,48	69,63
30	21,4	5,09	1,44	3,56	69,60	19,4	4,61	2,04	4,66	65,29	43,9	10,52	0,50	2,69	85,53	28,2	6,73	1,09	3,65	73,28
odpad	313,5	74,55	0,84	30,40	odpad	327,4	77,82	0,90	34,71	odpad	245,5	58,83	0,48	14,47	odpad	295,5	70,43	0,76	26,72	odpad
	420,5	100,00	2,06	100,00		420,7	100,00	2,02	100,00		417,3	100,00	1,95	100,00		419,5	100,00	2,01	100,00	
MHD o parametrach — poligradientowe pole magnetyczne [kA/m] do 800																				
Czas flotacji	Flotacja II					Flotacja IV					Flotacja IV					Średnia flotacji II i IV				
	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	12,4	2,96	6,10	8,53	8,53	15,8	3,79	4,44	8,35	8,35						14,1	3,37	5,17	8,44	8,44
2	4,6	1,10	7,28	3,78	12,31	4,8	1,15	6,61	3,78	12,13						4,7	1,12	6,94	3,78	12,22
3	2,7	0,64	7,18	2,19	14,50	6,0	1,44	4,84	3,46	15,59						4,4	1,04	5,57	2,81	15,03
6	5,4	1,29	6,48	3,95	18,44	17,9	4,29	3,76	8,01	23,60						11,7	2,79	4,39	5,93	20,95
16	62,2	14,85	7,00	49,11	67,56	47,6	11,41	8,15	46,19	69,79						54,9	13,14	7,50	47,69	68,64
30	33,8	8,07	1,11	4,23	71,79	52,6	12,61	0,94	5,89	75,68						43,2	10,34	1,01	5,04	73,68
odpad	297,7	71,08	0,84	28,21	odpad	272,4	65,31	0,75	24,32	odpad						285,1	68,20	0,80	26,32	odpad
	418,8	100,00	2,12	100,00		417,1	100,00	2,01	100,00							418,0	100,00	2,07	100,00	

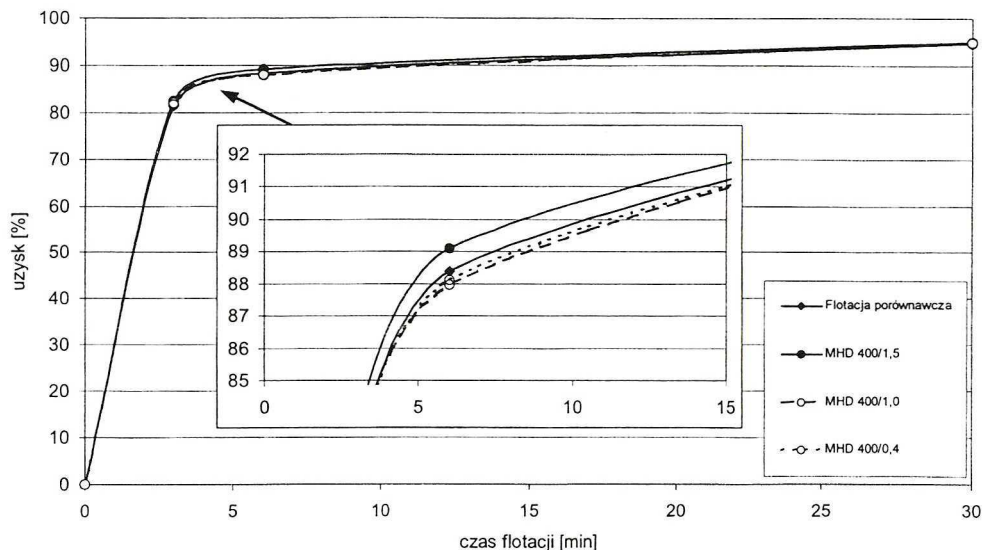
TABELA 6

Wyniki flotacji dla aktywacji MHD rudy surowej — parametry MHD — poligradientowe pole magnetyczne z aktywacją odczynników — parametry MHD 600 kA/m

TABLE 6

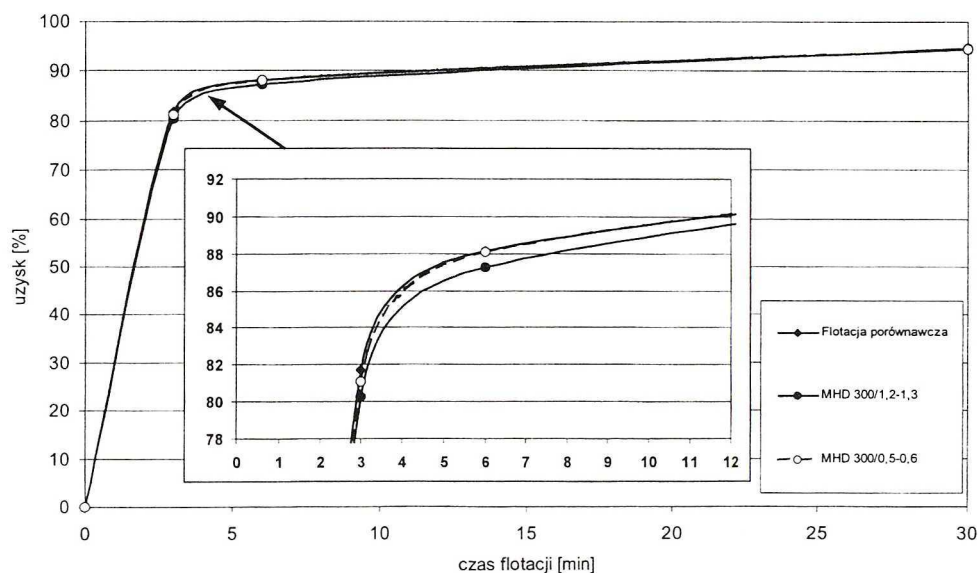
Flotation results for MHD activation of crude ore with parameters MHD polygradient magnetic field with reagent activation — MHD parameters 600 kA/m

Flotacje porównawcze																				
Czas flotacji	Flotacja I					Flotacja III					Flotacja V					Średnia flotacji I, III i V				
	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	6,9	1,98	4,69	4,49	4,49	12,7	3,66	3,66	6,45	6,45	15,8	4,56	5,98	12,64	12,64	11,8	3,40	4,90	7,91	7,91
2	6,0	1,72	3,54	2,94	7,43	7,2	2,08	4,86	4,85	11,30	4,2	1,21	9,44	5,30	17,95	5,8	1,67	5,51	4,38	12,29
3	5,2	1,49	3,28	2,36	9,80	4,9	1,41	4,36	2,96	14,26	3,8	1,10	7,20	3,66	21,61	4,6	1,33	4,73	3,00	15,30
6	22,2	6,36	2,54	7,82	17,61	18,1	5,22	3,24	8,13	22,40	15,0	4,33	4,51	9,05	30,66	18,4	5,31	3,30	8,34	23,64
16	48,5	13,89	6,76	45,45	63,06	31,3	9,03	9,50	41,24	63,63	48,2	13,92	6,90	44,50	75,15	42,7	12,28	7,48	43,74	67,38
30	47,3	13,55	1,04	6,82	69,88	36,9	10,64	1,36	6,96	70,59	45,0	13,00	0,70	4,21	79,37	43,1	12,40	1,01	5,98	73,35
odpad	213,0	61,01	1,02	30,12	odpad	235,6	67,96	0,90	29,41	odpad	214,2	61,87	0,72	20,63	odpad	220,9	63,61	0,88	26,65	odpad
	349,1	100,00	2,07	100,00		346,7	100,00	2,08	100,00		346,2	100,00	2,16	100,00		347,3	100,00	2,10	100,00	
MHD o parametrach — poligradientowe pole magnetyczne [kA/m] do 800																				
Czas flotacji	Flotacja II					Flotacja IV					Flotacja IV					Średnia flotacji II i IV				
	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε	γ	γ	Cu	ε	Σε
[min]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	8,5	2,48	2,43	2,91	2,91	12,3	3,55	2,52	4,25	4,25	9,2	2,73	2,66	3,55	3,55	10,0	2,92	2,54	3,57	3,57
2	4,9	1,43	2,89	1,99	4,90	7,2	2,08	2,98	2,94	7,19	1,7	0,50	3,44	0,85	4,40	4,6	1,34	3,00	1,95	5,52
3	4,6	1,34	2,64	1,71	6,61	7,3	2,11	2,56	2,56	9,76	3,3	0,98	3,07	1,47	5,86	5,1	1,48	2,69	1,92	7,44
6	4,7	1,37	3,15	2,08	8,69	28,5	8,23	2,35	9,18	18,94	11,0	3,26	2,92	4,66	10,52	14,7	4,31	2,58	5,35	12,79
16	39,4	11,49	6,12	33,92	42,60	58,8	16,99	5,98	48,22	67,16	14,8	4,38	9,75	20,92	31,44	37,7	11,01	6,52	34,60	47,40
30	55,7	16,25	1,59	12,46	55,06	22,2	6,41	1,15	3,50	70,66	50,6	14,99	2,12	15,55	47,00	42,8	12,52	1,72	10,39	57,79
odpad	225,0	65,64	1,42	44,94	odpad	209,8	60,62	1,02	29,34	odpad	247,0	73,16	1,48	53,00	odpad	227,3	66,42	1,32	42,21	odpad
	342,8	100,00	2,07	100,00		346,1	100,00	2,11	100,00		337,6	100,00	2,04	100,00		342,2	100,00	2,07	100,00	



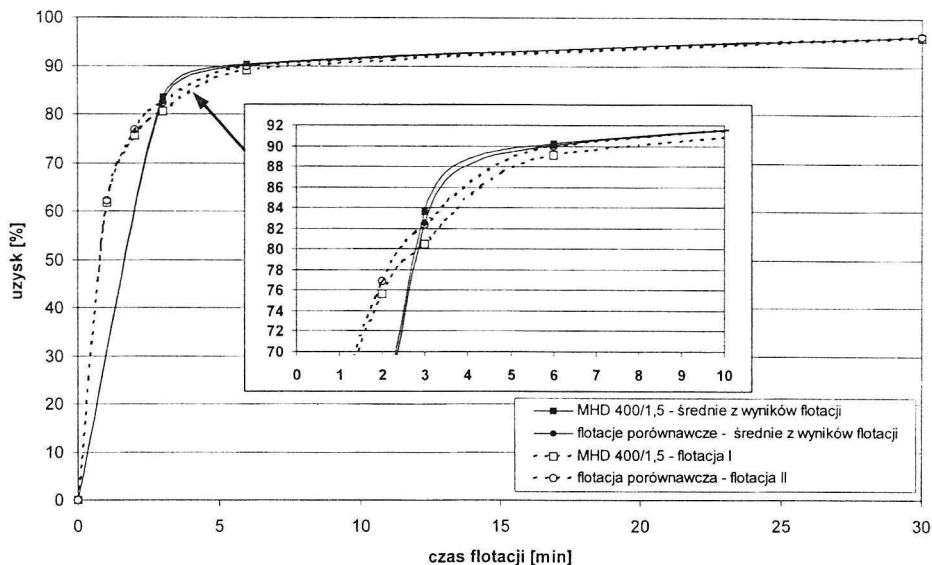
Rys. 3. Wyniki flotacji porównawczych oraz dla aktywacji MHD nadawy — parametry MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 1,5; 1,0; 0,4 m/s

Fig. 3. Results of comparative flotation and for MHD feed activation with parameters MHD — field intensity 400 kA/m, flow speed 1.5; 1.0; 0.4 m/s



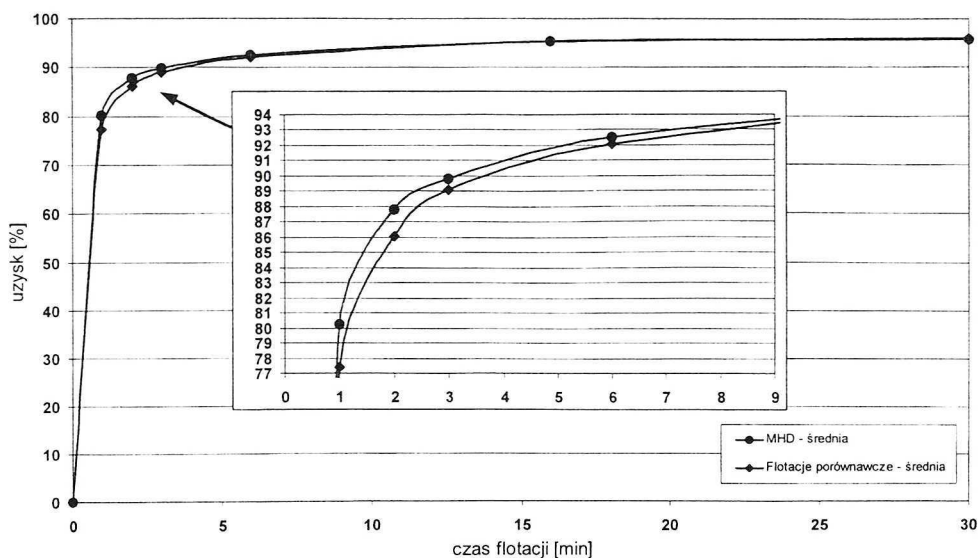
Rys. 4. Wyniki flotacji porównawczych oraz dla aktywacji MHD nadawy — parametry MHD — natężenie pola 300 kA/m, prędkość przepływu 1,2—1,3, 0,5—0,6 m/s z aktywacją odczynników flotacyjnych — parametry MHD 400 kA/m

Fig. 4. Results of comparative flotation and MHD feed activation with parameters MHD — field intensity 300 kA/m, flow speed 1.2—1.3, 0.5—0.6 m/s and flotation reagents activation — MHD parameters 400 kA/m



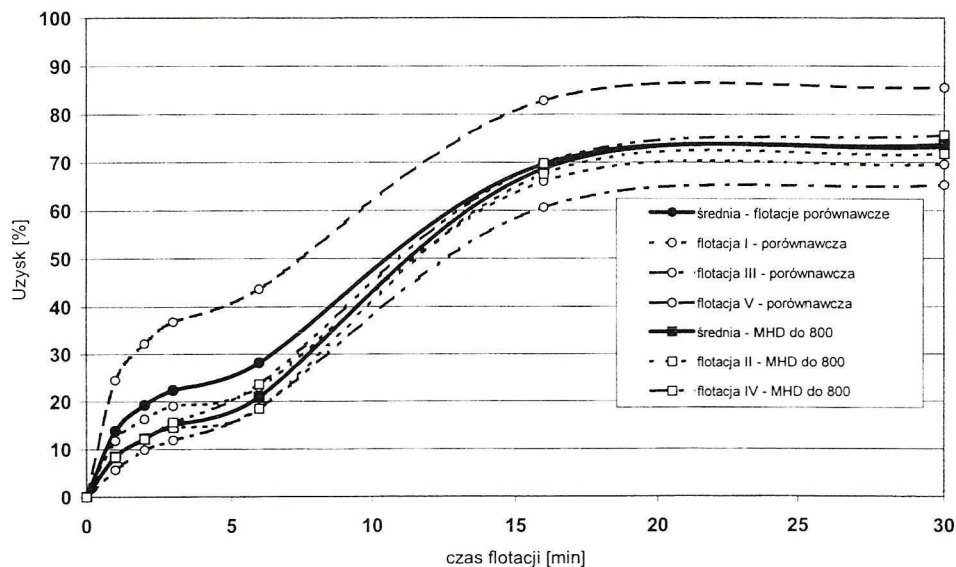
Rys. 5. Wyniki flotacji porównawczych oraz dla aktywacji MHD nadawy — parametry MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 1,5 m/s z aktywacją odczynników flotacyjnych — parametry MHD 600 kA/m

Fig. 5. Results of comparative flotation and MHD feed activation with parameters MHD — field intensity 400 kA/m, flow speed 1.5 m/s and flotation reagents activation — MHD parameters 600 kA/m



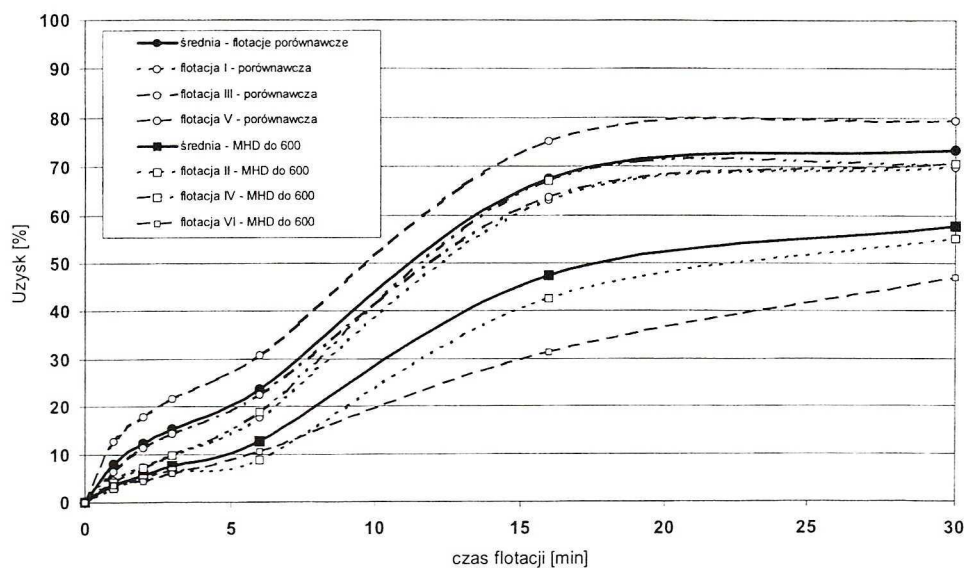
Rys. 6. Wyniki flotacji porównawczych oraz dla aktywacji MHD nadawy — parametry MHD — poligradientowe pole magnetyczne z aktywacją odczynników flotacyjnych — parametry MHD 400 kA/m

Fig. 6. Results of comparative flotation and MHD feed activation with parameters MHD — polygradient magnetic field with flotation reagents activation — MHD parameters 400 kA/m



Rys. 7. Wyniki flotacji dla aktywacji MHD rudy surowej — parametry MHD — poligradientowe pole magnetyczne

Fig. 7. Flotation results for MHD crude ore activation with parameters MHD — polygradient magnetic field



Rys. 8. Wyniki flotacji dla aktywacji MHD rudy surowej — parametry MHD — poligradientowe pole magnetyczne z aktywacją odczynników — parametry MHD 600 kA/m

Fig. 8. Flotation results for MHD crude ore activation with parameters MHD — polygradient magnetic field with reagent activation — MHD parameters 600 kA/m

Ocena różnic uzysków dla flotacji porównawczej oraz z aktywacją MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 1,5 m/s

TABLE 7

Recoveries differences evaluation for comparative flotation and with MHD activation — field intensity 400 kA/m, flow speed 1.5 m/s

Czas flotacji	Średnia flotacja porównawcza	Średnia MHD	t	df	p	n ważnych flotacja porównawcza	n ważnych MHD	Odchylenie standardowe flotacja porównawcza	Odchylenie standardowe MHD	Iloraz F wariancji	P wariancji
3	81,45	82,46	-2,773	4	0,050	3	3	0,574224	0,261024	4,840	0,342
6	88,38	89,10	-2,289	4	0,084	3	3	0,240069	0,483356	4,054	0,396
30	94,78	95,01	-1,529	4	0,201	3	3	0,157162	0,207846	1,749	0,728

TABELA 8

Ocena różnic uzysków dla flotacji porównawczej oraz z aktywacją MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 1,0 m/s

TABLE 8

Recoveries differences evaluation for comparative flotation and with MHD activation — field intensity 400 kA/m, flow speed 1.0 m/s

Czas flotacji	Średnia flotacja porównawcza	Średnia MHD	t	df	p	n ważnych flotacja porównawcza	n ważnych MHD	Odchylenie standardowe flotacja porównawcza	Odchylenie standardowe MHD	Iloraz F wariancji	P wariancji
3	81,45	82,17	-1,587	3	0,211	3	2	0,574224	0,296985	3,738	0,687
6	88,38	88,36	0,096	3	0,930	3	2	0,240069	0,311127	1,680	0,649
30	94,78	95,17	-3,226	3	0,048	3	2	0,157162	0,056569	7,719	0,493

TABELA 9

Ocena różnic uzysków dla flotacji porównawczej oraz z aktywacją MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 0,4 m/s

TABLE 9

Recoveries differences evaluation for comparative flotation and with MHD activation — field intensity 400 kA/m, flow speed 0.4 m/s

Czas flotacji	Średnia flotacja porównawcza	Średnia MHD	t	df	p	n ważnych flotacja porównawcza	n ważnych MHD	Odchylenie standardowe flotacja porównawcza	Odchylenie standardowe MHD	Iloraz F wariancji	P wariancji
3	81,45	81,53	-0,221	4	0,836	3	3	0,574224	0,248462	5,341	0,315
6	88,38	88,11	0,713	4	0,515	3	3	0,240069	0,627800	6,839	0,255
30	94,78	94,84	-0,523	4	0,629	3	3	0,157162	0,102632	2,345	0,598

TABELA 10

Ocena różnic uzysków dla flotacji porównawczej oraz z aktywacją MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 1,5 m/s, aktywacja MHD odczynnika zbierającego — natężenie pola 600 kA/m

TABLE 10

Recoveries differences evaluation for comparative flotation and with MHD activation — field intensity 400 kA/m, flow speed 1.5 m/s, collector MHD activation — field intensity 600 kA/m

Czas flotacji	Średnia flotacja porównawcza	Średnia MHD	t	df	p	n ważnych flotacja porównawcza	n ważnych MHD	Odchylenie standardowe flotacja porównawcza	Odchylenie standardowe MHD	Iloraz F wariancji	P wariancji
3	82,53	83,69	-0,753	7	0,476	4	5	1,523674	2,724012	3,196	0,367
6	90,06	90,23	-0,246	7	0,813	4	5	1,212893	0,813042	2,225	0,455
30	96,18	96,16	0,059	7	0,954	4	5	0,397767	0,211662	3,532	0,254

TABELA 11 8

Ocena różnic uzysków dla flotacji porównawczej oraz z aktywacją MHD — natężenie pola 300 kA/m, prędkość przepływu 1,2—1,3 m/s, aktywacja MHD odczynnika zbierającego — natężenie pola 400 kA/m

TABLE 11

Recoveries differences evaluation for comparative flotation and with MHD activation — field intensity 300 kA/m, flow speed 1.2—1.3 m/s, collector MHD activation — field intensity 400 kA/m

Czas flotacji	Średnia flotacja porównawcza	Średnia MHD	t	df	p	n ważnych flotacja porównawcza	n ważnych MHD	Odchylenie standardowe flotacja porównawcza	Odchylenie standardowe MHD	Iloraz F variancji	P variancji
3	81,698	80,28	1,705	4	0,163	3	3	0,841283	1,168090	1,928	0,683
6	88,121	87,29	1,138	4	0,319	3	3	0,413645	1,194732	8,342	0,214
30	94,447	94,73	-1,205	4	0,295	3	3	0,273792	0,294637	1,158	0,927

TABELA 12

Ocena różnic uzysków dla flotacji porównawczej oraz z aktywacją MHD — natężenie pola 300 kA/m, prędkość przepływu 0,5—0,6 m/s, aktywacja MHD odczynnika zbierającego — natężenie pola 400 kA/m

TABLE 12

Recoveries differences evaluation for comparative flotation and with MHD activation — field intensity 300 kA/m, flow speed 0.5—0.6 m/s, collector MHD activation — field intensity 400 kA/m

Czas flotacji	Średnia flotacja porównawcza	Średnia MHD	t	df	p	n ważnych flotacja porównawcza	n ważnych MHD	Odchylenie standardowe flotacja porównawcza	Odchylenie standardowe MHD	Iloraz F variancji	P variancji
3	81,70	81,11	0,864	5	0,427	3	4	0,841283	0,918008	1,191	0,973
6	88,12	88,08	0,106	5	0,919	3	4	0,413645	0,638536	2,383	0,619
30	94,45	94,51	-0,315	5	0,765	3	4	0,273792	0,261581	1,096	0,879

TABELA 13

Ocena różnic uzysków dla flotacji porównawczej oraz z aktywacją MHD — poligradientowe pole magnetyczne

TABLE 13

Recoveries differences evaluation for comparative flotation and with MHD activation — polygradient magnetic field

Czas flotacji	Średnia flotacja porównawcza	Średnia MHD	t	df	p	n ważnych flotacja porównawcza	n ważnych MHD	Odchylenie standardowe flotacja porównawcza	Odchylenie standardowe MHD	Iloraz F wariancji	P wariancji
1	77,36	80,26	-2,040	4	0,111	3	3	1,631145	1,851333	1,288	0,874
2	86,06	87,78	-1,386	4	0,238	3	3	1,745432	1,261903	1,913	0,687
3	89,07	89,80	-0,841	4	0,448	3	3	1,137820	1,002863	1,287	0,874
6	92,04	92,49	-0,770	4	0,484	3	3	0,681934	0,757826	1,235	0,895
16	95,39	95,35	0,105	4	0,921	3	3	0,466940	0,461880	1,022	0,989
30	95,96	95,78	0,424	4	0,693	3	3	0,518684	0,500899	1,072	0,965

W celu oceny istotności różnic pomiędzy flotacjami porównawczymi i przy zastosowaniu aktywacji MHD, przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych wyników. W analizie tej pominięto wyniki z badań przeprowadzonych na rudzie surowej z uwagi na duże różnice w wynikach w ramach flotacji porównawczych oraz dla flotacji z aktywacją MHD.

Wyniki analizy istotności statystycznej w wynikach flotacji porównawczych i z zastosowaniem aktywacji MHD przedstawiono w tabelach od 7 do 13.

Z obliczeń testu F (ostatnie dwie kolumny) wynika, że nie możemy odrzucić hipotezy o równości wariancji (czas flotacji: 3 minuty $p = 0,342$, 6 minut $p = 0,396$, 30 minut $p = 0,728$). Obliczana jest zatem wartość statystyki t dla testu o jednorodnych wariancjach. Wyniki testu istotności różnic w uzyskach dla flotacji porównawczej i flotacji z aktywacją MHD wskazują, iż jedynie wynik flotacji po 3 minutach jest istotnie statystycznie różny pomiędzy flotacją z aktywacją MHD a flotacją porównawczą. Ponieważ średnia wartość uzysku dla flotacji z aktywacją jest większa — oznacza to, iż nastąpiło zwiększenie prędkości flotacji.

Z przeprowadzonej analizy istotności statystycznej uzyskanych wyników badań wynika, że jedynie dla parametrów MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 1,5 m/s, dla 3-minutowego czasu flotacji uzyskana wyższa wartość uzysku dla aktywacji nadawy jest istotna statystycznie na poziomie istotności 0,05. Oznacza to, iż można oczekiwać w wyniku zastosowania aktywacji o tych parametrach zwiększenia prędkości flotacji.

Ten wniosek potwierdzają najniższe poziomy istotności dla pozostałych analizowanych danych doświadczalnych właśnie dla początków flotacji (czas flotacji do 3 minut) tabele 8, 10, 11, 12, 13.

Wnioski

1. Przeprowadzone wstępne badania wpływu aktywacji MHD nadawy i odczynników flotacyjnych na parametry flotacji dla przyjętych do badań nadaw, parametrów MHD, wykazały zmienny wpływ aktywacji MHD na uzyskiwane wyniki flotacji, co może potwierdzać tezę o wieloparametrowym charakterze wpływu aktywacji MHD na aktywowane media.
2. Analiza istotności statystycznej uzyskanych wyników wykazała, iż jedynie różnica uzysku (+1,01%) pomiędzy flotacją z aktywacją a parametrami MHD — natężenie pola 400 kA/m, prędkość przepływu 1,5 m/s, dla 3-minutowego czasu flotacji i flotacją porównawczą jest istotna statystycznie na poziomie istotności 0,05.
3. Z uwagi na atrakcyjność techniczno-ekonomiczną aktywacji MHD oraz zakładany wieloparametrowy charakter wpływu tej aktywacji na aktywowane media, wydaje się celowe przeprowadzenie badań obejmujących szersze spektrum parametrów MHD stosowanych do tych aktywacji, w celu jednoznacznego wyjaśnienia wpływu aktywacji MHD na poprawę parametrów procesów związanych z flotacją. Przeprowadzenie odpowiednich badań umożliwi określenie przydatności aktywacji MHD w procesach flotacji

i pozwoli na ewentualne opracowanie technologii wykorzystujących aktywację MHD w procesach wzbogacania surowców.

4. W przypadku dalszych badań dla rud miedzi należy je prowadzić pod kątem oceny wzrostu prędkości flotacji w szczególności dla rudy surowej, dla której w prowadzonych badaniach wystąpiła największa zmienność uzyskanych wyników zarówno z aktywacją MHD, jak i dla flotacji porównawczych, co utrudniło analizę tych wyników.

LITERATURA

- Agafonowa i in., 1970 — Materiały kolokwium o teorii flotacji. Nauka, s. 140—148.
- Aleńkin A.F. i in., 1980 — Cwietnyje metally nr 9, s.101.
- Bendarenko O.P., 1965 — Obogaszczeniye rud nr 3 s. 22—23.
- Demin C.A. i in., 1967 — Obogaszczeniye i brikietirovaniye uglija. Nedra, s. 31—32.
- Ilic P. i in., 1969 — Revista mineral vol. 20; nr 8.
- Karmazin W.J., Karmazin W.W., 1984 — Magnitnyje metody obogaszczeniya. Nedra.
- Klassen W.I. i in., 1968 — Cwietnyje metally nr 5, s. 23—24.
- Klassen W.I. i in., 1972 — Koks i chimija nr 10, s. 7—9.
- Klassen W.I., 1982 — Omagnicziwaniye wodnych sistem. Chimija.
- Kovaczew K. i in., — Rudodobiw (Sofia) 1969, nr 4, s. 16—19 i 1970 nr 2 s. 12—15.
- Kuczenko A.N. i in., 1971 — Nowyje isledowanija w gornoj elektromechanikie. Gornyj Institut, s. 17—19.
- Kuryłowicz J., 1962 — Badania materiałów magnetycznych. WNT, Warszawa.
- Nałęcz M., Jaworski J., 1968 — Miernictwo magnetyczne. WNT, Warszawa.
- Nikitina W.S. i in., 1972 — Koks i chimija nr 8, s. 7—9.
- Prospekty firmy EPURO — Belgia z 1982 r.
- Woprosy teorii i praktiki magnitnoj obrabotki wody i wodnych sitem. Sbornik Wtorgo Wsiesojznogo so-wierszczeniya. Cwietmetinformacja 1971.
- Woprosy teorii i praktiki magnitnoj obrabotki wody i wodnych sistem. Sbornik Pierwogo Wsiesojznogo Soobszczeniya. Nowosibirsk, 1975, s. 230—232.
- Zincowiew In.Z. i in., 1968 — Ugol nr 3, s. 39—61.
- Yonsef A.A. i in., 1974 — Erzmetall Bd 27, nr 5 s. 233—236.
- Zubkova N.T. i in., 1972 — Nauczne Trudy Srednieaziatyckiego Instytuta Cwietnoj Metałurgii nr 5, s. 11—18.

EVALUATION OF COPPER ORE FLOTATION PROCESS PARAMETERS IMPROVEMENT POSSIBILITIES WITH USE OF MAGNETOHYDRODYNAMIC ACTIVATION**Key words**

Copper ore beneficiation, magnetohydrodynamic activation

Abstract

The article presents results of research on flotation process conditions improvement as a result of magnetohydrodynamic (MHD) activation of flotation feed, technological water and flotation reagents. In the paper there have been used the results of work done by Agencja Gospodarki Odpadami Agos S.A. (Agency for Waste Management Agos S.A.) for Oddział Wzbogacania Rud (Division Concentrator Plants) KGHM Polska Miedź S.A. in Polkowice entitled *Research defining possibilities of using magnetohydrodynamic activation (MHD) for improvement of ore flotation and concentrate filtration process parameters*.

There have been presented results of analysis of statistical significance of differences between obtained results for comparative flotation and with magnetohydrodynamic activation.