

Romuald BRZEZINA*

Jerzy SABLİK*

ZASTOSOWANIE FLOTACJI KOLUMNOWEJ DO WZBOGACANIA MUŁÓW WĘGLOWYCH

Przedstawiono technologię wzbogacania mułów węglowych przy użyciu flotownika kolumnowego skonstruowanego w Głównym Instytucie Górnictwa. Opisano budowę flotownika i zasadę jego działania. Omówiono wyniki badań wykonane na modelu przemysłowym o wydajności 60 m³/h. Stwierdzono przydatność flotacji kolumnowej do wzbogacania mułów węglowych, szczególnie o obniżonym górnym wymiarze ziarn.

1. Wprowadzenie

Sposobem umożliwiającym poprawę efektywności procesu wzbogacania najdrobniejszych ziarn kopalin użytecznych jest stosowanie flotacji kolumnowej. O intensywności prac prowadzonych na świecie w tym zakresie świadczy fakt udzielenia w ostatnich kilkunastu latach około 80 patentów [Rubinstein et al. 1989]. Należy się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości kolumnowe maszyny pneumatyczne zastąpią stosowane obecnie maszyny wirnikowe. Również w Głównym Instytucie Górnictwa na początku lat osiemdziesiątych podjęto prace nad zastosowaniem flotacji kolumnowej do wzbogacania mułów węglowych. Opracowano koncepcję takiej technologii i określono cechy konstrukcyjne flotownika w którym ta technologia mogłaby być realizowana [Brzezina 1982].

2. Technologia wzbogacania mułów węglowych metodą flotacji kolumnowej i cechy konstrukcyjne urządzenia umożliwiającego jej realizację

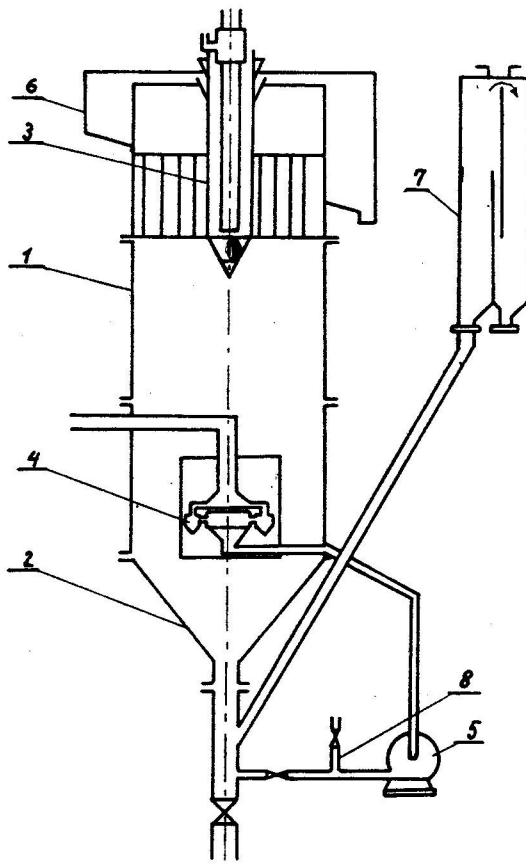
Koncepcja technologii, którą opracowano, zakładała kondycjonowanie nadawy zdyspergowanym powietrzem i odczynnikami flotacyjnymi podczas wprowadzania jej do flotownika, a następnie ponownie już wewnątrz

* Główny Instytut Górnictwa, 40-951 Katowice pl. Gwarków 1

flotownika. Dla zrealizowania wyżej wymienionych założeń należało skonstruować flotownik umożliwiający takie dwustopniowe kondycjonowanie nadawy. Ponadto ze względów ruchowych za celowe uznano zastosowanie we flotowniku takiego sposobu dyspersgowania powietrza, aby nie było potrzeby jego czyszczenia jak to jest w znanych obecnie rozwiązaniach [Imhof 1988, Mieszczerałow 1990, Schubert et al. 1988, Rubinstein et al. 1989]. Jednocześnie założono, że zastosowany do dyspersji powietrza aerator powinien mieć prostą budowę i charakteryzować się łatwością wykonania, a jednocześnie skutecznością działania. Analizowano różne rozwiązania konstrukcyjne aeratorów aby ostatecznie zastosować aeratory cyklonowe, które spełniają wyżej wymienione warunki. Na specjalnie zabudowanym stanowisku doświadczalnym określano w środowisku wodnym gabaryty aeratorów cyklonowych oraz parametry ich pracy, takie jak ; ciśnienie powietrza i cieczy. Następnie wykonano model kolumny ze szkła organicznego, który zabudowano na stanowisku badawczym w hali technologicznej GIG i zweryfikowano przyjętą koncepcję technologii oraz rozwiązań konstrukcyjnych urządzenia. Przeprowadzone badania wykazały przydatność opracowanej technologii wzbogacania mętów węglowych przy użyciu flotownika kolumnowego oraz pozwoliły określić podstawowe zasady prowadzenia procesu wzbogacania i parametry pracy flotownika. Na podstawie uzyskanych wyników badań opracowano założenia oraz projekt przemysłowego modelu kolumny flotacyjnej o wydajności około $60 \text{ m}^3/\text{h}$, której nadano symbol FLOKOB-3 [Dokumentacja GIG 1984]. Zasadę działania maszyny oraz wyniki badań w warunkach przemysłowych przedstawiono poniżej.

3. Budowa i działanie modelu przemysłowego flotownika FLOKOB-3

Na rysunku 1 przedstawiono schemat budowy badanego flotownika. Flotownik ma kształt cylindra 1 ze stożkowym dnem 2. W górnej części kolumny umieszczono urządzenie 3 do wstępnego fizykochemicznego przygotowania nadawy i wprowadzenia jej do flotownika, w dolnej zaś - w strefie odpadów - układ aeratorów cyklonowych 4, służących do właściwego napowietrzenia mętów w flotowniku. Do aeratorów 4 pompą obiegu wewnętrznego 5 poprzez rozdzielacz wprowadzana jest zawiesina odpadów zassanych z króćca wylotowego flotownika, a specjalną rurą poprzez rozdzielacz sprężone powietrze z zewnątrz. Nadawa wstępnie napowietrzona i wymieszana z odczynnikami flotacyjnymi wprowadzana jest do kolumny na wysokości $2/3$ jej wysokości. Koncentrat przelewem spływa do koryt 6 a odpady poprzez skrzynkę 7 zaopatrzoną w zasuwę do regulacji poziomu mętów w flotowniku usuwane są na zewnątrz. Na rurociągu ssącym pompy 5 znajduje się króciec 8 z zaworem, poprzez który można dozować dodatkowo odczynnik, szczególnie pianotwórczy. Istotę tego rozwiązania stanowi



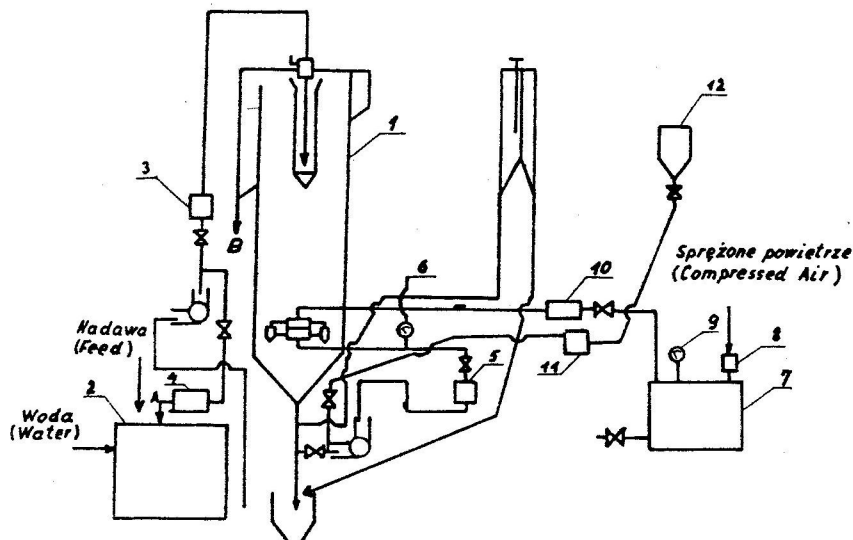
Rys.1. Schemat budowy kolumnowej maszyny pneumatycznej FLOKOB-3 (oznaczenia omówiono w tekście).

Fig.1. Design scheme of the FLOKOB-3 column flotation machine (notations explained in the text).

obieg wewnętrzny złożony z pompy 5 i układu aeratorów cyklonowych 4. Cyrkulująca w obiegu wewnętrznym zawieszina odpadów nie zmienia bilansu objętościowego mętów w flotowniku. Niska koncentracja części stałych w zawieszinie odpadów, będącej nośnikiem zdyspergowanego powietrza i zastosowanie stosunkowo dużych średnic wlotowych i wylotowych aeratorów cyklonowych zapobiega ich zatykaniu się. Ponadto rozwiązanie to umożliwia ponowne wprowadzenie do aeratorów cyklonowych części ziarn kopaliny użytecznej, które razem z odpadami opadły poniżej strefy aeracji, zwiększając prawdopodobieństwo ich wyflotowania. Tak skonstruowaną kolumnę flotownika o pojemności 3 m^3 zabudowano na stanowisku doświadczalnym w wytypowanym zakładzie przerobczym dla wykonania badań technologicznych wzbogacalności mułu węglowego.

4. Opis przemysłowego stanowiska doświadczalnego

Na rysunku 2 przedstawiono schemat przemysłowego stanowiska badawczego. Zasadniczym jego elementem jest kolumnowy flotownik pneumatyczny 1, do którego ze zbiornika 2 tłoczona jest nadawa flotacyjna wymieszana już z odczynnikami flotacyjnymi. Ilość nadawy mierzona jest przepływomierzem elektromagnetycznym 3, a koncentracja części stałych miernikiem 4. Ilość zawiesiny odpadów cyrkulujących w obiegu wewnętrznym mierzona jest przepływomierzem elektromagnetycznym 5, a ciśnienie tłoczne w tym obiegu manometrem przeponowym 6. Ilość sprężonego powietrza kierowanego do aeratorów flotownika ze zbiornika wyrównawczego 7 wyposażonego w stabilizator ciśnienia 8 i manometr 9 mierzona jest rotametrem 10. Do dozowania dodatkowej dawki odczynników flotacyjnych - szczególnie pianotwórczych - do króćca umieszczonego na rurociągu ssawnym pompy obiegu wewnętrznego flotownika służy dozownik 11, do którego odczynnik doprowadzony jest ze zbiornika 12. Powstaające w wyniku wzbogacania produkty kierowane są do węzłów odwadniania zakładu przerobczego. Stanowisko badawcze wyposażone jest w punkty pobierania próbek nadawy, koncentratu i odpadów.



Rys 2

Schemat technologiczny przemysłowego stanowiska badawczego kolumnowej maszyny pneumatycznej w zakładzie przerobczym (oznaczenia omówiono w tekście).

Fig 2

Technological layout scheme of a column flotation industrial test stand in a preparation plant (details are explained in the text).

A - punkt pobierania próbki nadawy

A - feed sampling point

B - punkt pobierania próbki koncentratu

B - concentrate sampling point

C - punkt pobierania próbki odpadów

C - waste sampling point

5. Wyniki badań

Zawiesinę mułów węglowych wzbogacaną w kolumnowej maszynie FLOKOB-3 pobierano z rurociągu nadawy kierowanej do węża flotacji zakładu przerobczego. Charakteryzowała się ona zmiennością zawartości popiołu i koncentracji części stałych. Do pompy tłoczącej tę zawiesinę do zakładu flotacji dozowano odczynnik flotacyjny o składzie 95 % oleju napędowego (ON) i 5 % odczynnika pianotwórczego (wyższe alkohole AC) w ilości około 0.8 kg/Mg. Flotowano muł o uziarnieniu naturalnym - 0.5 mm, a także muł o uziarnieniu - 0.1 mm, który uzyskano na drodze klasyfikacji w hydrocyklonie. Badania przemysłowe tych mułów poprzedzono badaniami laboratoryjnymi w celu określenia możliwych do uzyskania wyników technologicznych.

5.1. Wyniki badań flotowalności mułu o uziarnieniu poniżej 0.5 mm

Charakterystykę granulometryczno-popiołową losowo wybranej próbki mułu podano w tabelicy 1. Podstawowe rozeznanie flotowalności mułu dokonano w maszynie laboratoryjnej o pojemności komory równej 1 dm^3 , stosując koncentrację części stałych w zawieszynie 60 i 100 kg/m^3 zbliżoną do zakresu występującego w warunkach przemysłowych. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabelicy 2. Warunki prowadzenia procesu w maszynie FLOKOB-3 ustalono także w oparciu o wyniki badań takiej maszyny w skali laboratoryjnej. Natężenie dopływu nadawy do maszyny zmieniano od 35 do $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Do rurociągu ssącego pompy obiegu wewnętrznego maszyny dozowano dodatkowo odczynnik pianotwórczy w takiej ilości, aby udział tego środka w mieszaninie wynosił 10 %.

Tabela 1

Charakterystyka granulometryczno-popiołowa
mułu o uziarnieniu - 0.5 mm.

Klasa ziarnowa mm	Wychód	Zawartość popiołu A^a %	Średnia zawartość popiołu $A^a, \%$
+ 0.5	5.4	2.93	2.93
0.5 - 0.3	8.2	2.87	2.89
0.3 - 0.2	13.5	4.96	3.92
0.2 - 0.1	13.5	6.94	4.92
0.1 - 0.06	10.8	12.19	6.63
- 0.06	48.6	29.85	18.00

Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono najkorzystniejsze warunki prowadzenia procesu wzbogacania mułu o uziarnieniu - 0.5 mm. Są to :

- natężenie dopływu nadawy do maszyny $45 \text{ m}^3/\text{h}$
- czas przebywania mętów w maszynie 4 min.
- ilość powietrza doprowadzonego do aeratorów $28 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- ciśnienie powietrza doprowadzonego do aeratorów ok. 0.1 MPa

Srednie wyniki technologiczne flotacji uzyskane w tych warunkach były następujące :

koncentrat	- zawartość popiołu	5.8 %
	- koncentracja części stałych	280 kg/m^3
	- wychód	76 %
odpady	- zawartość popiołu	61.8 %
	- koncentracja części stałych	15 kg/m^3

Koncentracja części stałych w nadawie wahała się od 50 do 95 kg/m^3 .

Nie stwierdzono, aby zmienność koncentracji części stałych w tym zakresie miała istotny wpływ na jakość produktów wzbogacania.

Tablica 2

Wyniki badań laboratoryjnych
mułu o uziarnieniu - 0.5 mm.

Koncentracja części stałych kg/m^3	Odczynnik dawka ; kg/Mg	Czas flotacji s	Zawartość popiołu A^a , %		
			NADAWA	KONCENTRAT	ODPADY
60	ON + 5% AC ; 1.0	175	17.98	5.35	56.80
100	ON + 5% AC ; 1.0	175	16.59	6.33	49.13
60	ON +10% AC ; 1.0	245	18.09	7.10	63.23
100	ON +10% AC ; 1.0	225	18.49	6.93	55.16

Tablica 3

Charakterystyka granulometryczno-popiołowa
mułu o uziarnieniu poniżej 0.1 mm.

Klasa ziarnowa mm	Wychód	Zawartość popiołu A^a %	Srednia zawartość popiołu A^a , %
+ 0.5	1.1	-	-
0.5 - 0.3	1.7	7.16	7.16
0.3 - 0.2	5.6	4.95	5.69
0.2 - 0.1	8.3	4.56	5.13
0.1 - 0.06	11.1	6.75	5.77
- 0.06	72.2	33.52	25.81

5.2. Wyniki badań flotowalności mułu o uziarnieniu poniżej 0.1 mm

Charakterystykę granulometryczno-popiołową losowo wybranej próbki mułu podano w tablicy 3.

Oceny flotowalności losowo wybranej próbki zawiesiny mułu o naturalnej koncentracji części stałych dokonano w maszynie laboratoryjnej, a uzyskane wyniki podano w tablicy 4.

Badania flotowalności tego mułu w maszynie FLOKOB-3 prowadzono stosując natężenie dopływu nadawy od 45 do 60 m³/h. Koncentracja części stałych w nadawie wahała się od 25 do 55 kg/m³, a zawartość popiołu od 20 do 27 %. Warunki pracy maszyny były takie same jak podczas badań mułu o uziarnieniu poniżej 0.5 mm. Średnie wyniki technologiczne flotacji przy poszczególnych natężeniach dopływu nadawy do maszyny przedstawiono w tablicy 5. Jak z powyższego widać, natężenie dopływu nadawy do maszyny w przebadanym zakresie nie miało istotnego wpływu na wyniki flotacji. Istotne znaczenie miała jakość i uziarnienie nadawy.

Tablica 4

Wyniki badań laboratoryjnych
mułu o uziarnieniu poniżej 0.1 mm.

Koncentracja części stałych kg/m ³	Odczynnik dawka ; kg/Mg	Czas flotacji s	Zawartość popiołu A ^a , %		
			NADAWA	KONCENTRAT	ODPADY
43.5	ON +10% AC ; 0.8	315	22.25	7.39	63.94

Tablica 5

Wyniki flotacji mułu o uziarnieniu poniżej 0.1 mm
uzyskane w modelu maszyny FLOKOB-3.

Ilość nadawy, m ³ /h	45	50	55	60
KONCENTRAT				
zawartość popiołu, %	6.5	7.9	6.5	8.9
koncentracja części stałych, kg/m ³	154.5	144.7	166.0	147.6
wychód, %	77.8	72.9	72.1	72.0
ODPADY				
zawartość popiołu, %	69.9	65.9	62.8	66.9
koncentracja części stałych, kg/m ³	10.8	11.1	12.1	8.2

6. Wnioski i uwagi końcowe

Przeprowadzone badania wykazały przydatność kolumnowej maszyny przemysłowej FLOKOB-3 do wzbogacania mułów węglowych. Uzyskane w niej

produkty flotacji są porównywalne z otrzymanymi w maszynie laboratoryjnej i w osmiowirnikowych maszynach pneumomechanicznych IZ-12 zainstalowanych w zakładzie przeróbczym, w którym te badania przeprowadzono. Przy natężeniu dopływu nadaw do maszyn IZ-12 od 500 do 600 m³/h uzyskiwano koncentraty o zawartości popiołu w granicach od 6 do 10 % i odpady o zawartości popiołu od 60 do 70 %. Znaczący to, że czas przebywania mętów w tej maszynie wynosił około 10 minut, natomiast w przypadku maszyny ELOKOB-3 wahał się od 3 do 4 minut.

Sposób dyspersji powietrza zastosowany w maszynie FLOKOB-3 sprawdził się w warunkach przemysłowych. W trakcie badań nie było przypadku awarii związanej z napowietrzaniem mętów w maszynie. Stwierdzono jednak potrzebę uzupełnienia konstrukcji maszyny o pewne dodatkowe elementy dla usprawnienia jej funkcjonowania. Należy tu wymienić potrzebę zabezpieczenia obiegu wewnętrznego mętów przed zanieczyszczeniami takimi jak: szmaty, papier, a przede wszystkim miazga drzewna. Dla sprawniejszego odbioru flotokcentratu zwłaszcza w przypadku wzbogacania nadaw o podwyższonej koncentracji części stałych należałoby zabudować zgarniacze piany. W istniejącej wersji maszyny można to uzyskać poprzez zwiększenie ciśnienia lub ilości powietrza doprowadzonego do aeratorów. Powoduje to jednak zbyt szybkie przemieszczanie się strug mętów ku górze i zaburzenia w strefie mineralizacji pęcherzyków powietrza, a w efekcie obniżenie jakości koncentratów i zawartości w nich części stałych. Przy stałej wartości ilości i ciśnienia zawiesziny doprowadzonej do aeratorów cyklonowych może to spowodować także zanik efektu dyspersji powietrza, a w rezultacie pojawienie się dużych baniek powietrza na powierzchni mętów w maszynie. Zainstalowanie zgarniaczy piany może ponadto usprawnić i znacznie przyspieszyć rozruch flotownika. Dla ograniczenia niekorzystnego zjawiska jakim jest występowanie w maszynie pionowych ruchów mętów, przewiduje się zainstalowanie w kolumnie przegród z blach ustawionych prostopadle do przekroju poprzecznego kolumny. Wydajność maszyny FLOKOB-3 nie przekracza 60 m³/h i jest zbyt mała, aby mogła znaleźć zastosowanie w eksploatowanych obecnie w polskim przemyśle węglowym zakładach przeróbczych wzbogacających muły węglowe. Dlatego też mimo ryzyka związanego z powiększeniem skali maszyn kolumnowych przystąpiono do budowy typoszeregu tych flotowników o znaczeniu przemysłowym. Z badań własnych jak i rozeznania literaturowego wynika, że maszyny tego typu mogą być szczególnie przydatne do wzbogacania mułów węglowych o dużej zawartości popiołu i obniżonym górnym wymiarze ziarn.

7. Literatura

Brzezina R.:1982, O warunkach i możliwościach stosowania maszyn flotacyjnych pneumomechanicznych do wzbogacania muiów węglowych. Zbiór referatów na czwarte naukowo-przemysłowe seminarium pt. "Flotacja węgla", 208-216.

Imhof R.:1988, Aufbereitungs Technik, 29, nr 8, 451-458.

Meszczerakow N.F.:1990, Kondicjonirujuszczije i flotacjonnyje aparaty i maszyny, Nedra, Moskwa, 153-190.

Schubert B.:1988, Aufbereitungs Technik, 29, nr 6, 307-315

Rubinstein J.B:1989, Piennaja seperacija i kołonnaja flotacija, Nedra, Moskwa, 93-140.

Dokumentacja GIG 1984.

Abstract

Brzezina R., Sablik J., 1991, The Use of Column Flotation for Coal Slurry Beneficiation. Physicochemical Problems of Mineral Processing. 24. 57-65.

A technology of coal beneficiation using column flotation developed at the Central Mining Institute (Katowice Poland) is presented. The construction and operation principles have been described. The results of investigation of an industrial model having a 60 m³ ph capacity are discussed. The suitability of column flotation for coal slurries beneficiation, particularly for suspension of low grains size has been confirmed.