

Henryk Mańka
Rybnickie Zjednoczenie Przemysłu węglowego
"Rybnik"

Edmund Korzuch
Kopalnia Węgla Kamiennego
"Moszczenica"

PORÓWNANIE PRZEBIEGU PROCESÓW KLAROWANIA I ZAGĘSZCZANIA ZAWIESIN ODPADÓW FLOTACYJNYCH W SKALI LABORATORAJNEJ I PÓŁTECHNICZNEJ

Problemy gospodarki wodno-mułowej urosły w ostatnich latach do rangi najtrudniejszych problemów w procesie wzbogacania kopalin. Dotyczy to w szczególności zakładów wzbogacania węgla o dużych wydajnościach i pełnym zakresie wzbogacania, tj. posiadających szeroko rozbudowane zakłady flotacyjne do wzbogacania węgla klasy - 0,5 mm. Nowe konstrukcje wysoko wydajnych osadzarek w nieznacznym tylko stopniu zmniejszają jednostkowe zużycie wody do wzbogacania, zaś obserwowany aktualnie trend do obniżenia zagęszczenia części stałych w nawadnie flotacyjnej powoduje, że główną część wód opuszczających sekcje wzbogacania stanowią rozcieńczone zawiesiny wysokopopiołowych odpadów flotacyjnych oraz energetycznie bezużytecznych mułów ilastych.

Średniej wielkości zakład przeróbczy, względnie jeden system dużego zakładu przeróbczego w czasie procesu technologicznego wydziela średnio ok. 1000 m³/h wody zawierającej 10-30 kg/m³ części stałych charakteryzujących się w przybliżeniu następującym składem ziarnowym:

klasa	+ 0,5 mm	1-2%
klasa	0,5 - 0,075 mm	10-30%
klasa	- 0,075 mm	70-95%

Względy technologiczne nakazują rozdzielenie tej zawiesiny na składniki, tj. technicznie czystą wodę oraz odwodniony materiał odpadowy.

Przebieg procesu sedymentacji takich zawiesin należy do grupy procesów stosunkowo dobrze poznanych i opisanych. Według Battaglii [1] w początkowej fazie procesu następuje opadanie pojedynczych największych ziarn, zgodnie z wzorami Allena i Stokesa. Po pewnym czasie tworzy się mniej lub bardziej wyraźna granica mętności; tworzą się kłaczkki, zanika indywidualny ruch ziaren, a cała zawiesina zaczyna

osadzać się kolektywnie. Można tu wyróżnić cztery strefy:

- I - wody sklarowanej (powyżej granicy mętności),
- II - strefa jednostajnego osadzania kolektywnego,
- III - strefa przejściowa,
- IV - strefa kompresji w której osadzanie zostaje pozornie zatrzymane.

W procesach przemysłowych największe znaczenie posiadają zjawiska występujące na pograniczu stref I i II oraz III i IV, co wiąże się z procesami odpowiednio klarowania wód i zagęszczania zawiesin. Na matematyczny model tych procesów składa się zespół równań opisujących oddzielnie zjawiska występujące w poszczególnych strefach. Przebieg zjawisk występujących w strefie I i II został opisany matematycznie przez W.M. Sitało i S.T. Lewina [2]. Na podstawie tego modelu opracowano system obliczeniowy KLAR [3] umożliwiający obliczenie przy pomocy elektronicznej maszyny cyfrowej przewidywanych parametrów przemysłowego procesu klarowania wód o znanym składzie ziarnowym zawiesiny.

Wykorzystanie wyżej opisanych zjawisk dla regeneracji wód opuszczających sekcję wzbogacania nowoczesnego zakładu przerobczego pociągałoby za sobą konieczność budowy nadmiernej ilości kosztownych urządzeń klarujących dla oczyszczania tak dużej masy rozcieńczonych zawiesin. Dla podanego na wstępie przykładu, by uzyskać wodę technicznie czystą (o zagęszczeniu poniżej 1 kg/m^3) należałoby dysponować powierzchnią klarowania wynoszącą 1250 m^2 co w przeliczeniu na standardowe odmulniki promieniowe stanowi równowartość: 2 szt. odmulników ϕ 30 m, lub 1 szt. odmulnika ϕ 40 m. Dla przyspieszenia procesu oczyszczania wód, a tym samym ograniczenia wielkości powierzchni klarowników stosowane są coraz szerzej odczynniki flokulacyjne.

Specyfika gospodarki wodnej kopalń węgla kamiennego polegająca na istniejącej konkurencji wód dołowych (o czystości technicznej) w stosunku do wód klarowanych na zakładzie przerobczym, narzuca konieczność klarowania zerowego wód popłuczkowych. Zastosowanie technologii klarowania zerowego odpadów flotacyjnych jest więc nieodzownym elementem pracy w zamkniętym obiegu wodno-mułowym.

Przeprowadzenie procesu klarowania zerowego odpadów flotacyjnych bez pomocy flokulantów pociągałoby za sobą niewspółmierny do efektów wzrost kosztów budowy urządzeń klarujących [4].

Wprowadzenie flokulantu do zawiesiny wpływa w sposób zasadniczy na przebieg procesów sedymentacji. Nie wdając się w analizę mechanizmu działania flokulantu można stwierdzić, że obraz procesu sedymentacji przedstawiony na wstępie niniejszego referatu, należy rozszerzyć o

wstępną fazę procesu sedymentacji, tj. fazę tworzenia się flokuł osadzających się z szybkością zależną od zagęszczenia części stałych w zawieszinie. Jako przykład modelu matematycznego dla takiego procesu można wymienić pracę C.C. Harrisa, R. Somasudarana i R.R. Jensena [5]. Na model ten również składa się zespół równań opisujących poszczególne fazy procesu.

W praktyce przemysłowej zjawiska sedymentacji zawieszin wykorzystuje się w dwu procesach:

- w procesie klarowania zawieszin (oczyszczania wód),
- w procesie odwadniania osadów (zagęszczanie i filtracja zawieszin). Przemysłowe procesy klarowania wód sprowadzają się właściwie do utrzymywania dostatecznie niższej szybkości przebiegu procesu od aktualnej szybkości przemieszczania się granicy mętności. Względy ekonomiczne dyktują, aby ta różnica była jak najmniejsza. Taki mechanizm procesu klarowania wód przyjęto również w badaniach laboratoryjnych ustalając w normie branżowej BN-70/0471-03 szczegółowe warunki oznaczania szybkości sedymentacji i wód płuczkowych.

W referowanej pracy prezentuje się porównanie różnych grup wyników badań procesów klarowania zawieszin, obejmujących te same parametry, przy czym omawiane grupy wyników pomiarów dotyczą procesów prowadzonych w skali laboratoryjnej i półtechnicznej. Dla grup tych dokonano analizy statystycznej według jednolitego schematu, przy wykorzystaniu elektronicznej techniki obliczeniowej oddzielnie dla każdej grupy wyników.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Przeprowadzono badania procesów sedymentacji w skali laboratoryjnej oraz na urządzeniach modelowych w skali półtechnicznej. Badania przeprowadzone na trzech różnych kopalniach, dotyczyły zawieszin odpadów flotacyjnych oraz mułów ilastych. Badania laboratoryjne dotyczyły pomiaru szybkości przesuwania się granicy mętności i wykonywane były zgodnie z wymaganiami normy branżowej BN-70/0471-03. Badania laboratoryjne przeprowadzono dla zawieszin mułów ilastych kop. Chwałowice oraz zawieszin odpadów flotacyjnych kopalni Anna.

Instalacja półtechniczna na kopalni Anna [5] umożliwiła przeprowadzenie badań procesu sedymentacji w układzie dwustopniowym, tj. klarowania wód i wtórnego zagęszczania wylewu w oddzielnym zagęszczaczu. Część odpadów z wybranej baterii flotacyjnej kierowano grawita-

cyjnie do zbiornika o pojemności 2 m^3 , skąd przepompowywano je do klarownika. Jako klarownika użyto stalowego stożka o średnicy 2 m i objętości $5,5 \text{ m}^3$. Nadawę na środek powierzchni stożka kierowano poprzez naczynie uspokajające, do którego pompowano również określoną ilość roztworu flokulanta. Woda sklarowana przelewała się przez krawędzie boczne stożka i odprowadzana była do zbiornika wody czystej. Drugi produkt procesu, tj. zagęszczona zawiesina grawitacyjnie spływała do zbiorniczka uspokajającego przed drugim stożkiem zagęszczającym. Drugi stożek zagęszczający o powierzchni 1 m^2 i objętości 1 m^3 wyposażony był w wolno obrotowe mieszadło łopatkowe. Cała instalacja pracowała w ruchu ciągłym przez okres od 1 do 4 godzin. Co 15 minut ruchu instalacji prowadzono:

- pomiary natężeń przepływu przelewu I, przelewu II i wylewu II,
- pobieranie próbek jednostkowych nadawy I, przelewu I, przelewu II i wylewu II.

Natężenia przepływu mierzono metodą naczyniową, tj. poprzez pomiar czasu potrzebnego dla napełnienia naczynia o znanej pojemności. Parametry wtórne wyliczono przy pomocy równań bilansowych w oparciu o wyniki analiz laboratoryjnych próbek ciekłych pobranych podczas ruchu instalacji. Zużycie roztworu flokulanta obliczono mierząc jego zapas na początku i na końcu próby.

Instalacja półtechniczna na kopalni Moszczenica [7] zbudowana została w oparciu o stożek zagęszczający o średnicy $2,5 \text{ m}$ i objętości $6,6 \text{ m}^3$. W odróżnieniu od konstrukcji stożka instalacji kop. Anna, zmieniono sposób zasilania. Stożek kop. Moszczenica zasilany był poprzez centralnie umieszczoną rurę nadawczą o średnicy 300 mm , zanurzoną na głębokość 500 mm pod powierzchnią zwierciadła wody. W porównaniu z instalacją na kop. Anna, wprowadzono tu jeszcze dalsze dwie zmiany:

- pomiar natężenia przepływu nadawy w korycie metodą zwężki spiętrzającej,
- dozowanie roztworu flokulanta grawitacyjnie ze zbiornika, przy wykorzystaniu zasady lewarka. Pozwoliło to na skokową zmianę ilości dozowanego flokulanta w zależności od ilości węży gumowych użytych jako lewarki. W przypadku instalacji kop. Moszczenica zastosowano ten sam sposób prowadzenia ruchu i opróbowań jak na kop. Anna z wyjątkiem wyżej wymienionych zmian.

Analiza statystyczna wyników badań

W wyniku przeprowadzonych pomiarów otrzymano 4 zestawy parametrów procesu sedymentacji:

- 2 zestawy wyników badań laboratoryjnych,
- 2 zestawy wyników badań w skali półprzemysłowej.

Zestawy te obejmują następujące parametry:

- zagęszczenie części stałych w nadawie, kg/m^3 ,
- szybkości sedymentacji, m/h .

(dla warunków laboratoryjnych dotyczą szybkości przesuwania się granicy mętności, dla warunków prób technicznych prędkości sedymentacji obliczono jako stosunek natężenia przepływu przelewu i powierzchni klarownika. We wszystkich wypadkach szybkość sedymentacji analizowano oddzielnie dla każdego flokulanta).

- dawki flokulanta określającego ilość g czystego flokulanta przypadającego na 1 m^3 zawiesiny,
- wskaźnik S definiowany jako stosunek dawki flokulanta i szybkości sedymentacji wywołanej tą dawką.

Analizę prowadzono przy pomocy EMC typu Odra w oparciu o program standartowy XDS2 biblioteki programów ICL 1900, poszukując modelu stochastycznego opartego na równaniach regresji liniowej z 1-3 zmiennych niezależnych. Szczegółowe wyniki obliczeń przedstawiono w załączonej tablicy 1.

Dyskusja wyników i wnioski

W prezentowanym zestawieniu można stwierdzić zdecydowanie wyższe wartości współczynników korelacji wielorakiej dla parametrów prób półtechnicznych w porównaniu z odpowiednimi parametrami prób laboratoryjnych. Porównanie efektywności działania flokulanta gigtar z efektywnością działania flokulanta sedosan w przypadku badań laboratoryjnych odpadów flotacyjnych kop. Anna wypada korzystniej dla flokulanta gigtar, tj. odwrotnie niż w przypadku badań mułów ilastych kop. Chwałowice. Powyższe stwierdzenie nie znalazło jednak potwierdzenia podczas badań w skali półtechnicznej. Użycie flokulanta gigtar na instalacji kop. Anna prowadziło zdecydowanie do obniżenia wydajności instalacji. W związku z tym niewielką ilość prób w skali półtechnicznej z flokulantem gigtar wyłączono z dalszych rozwiązań. Ponadto niskie wartości współczynników regresji przy zmiennej "dawce" dla prób półtechnicznych na kop. Anna informują o użyciu flokulanta sedosan w nadmiarze. Przeprowadzone porównanie wzajemnych współzależności statystycznych pomiędzy poszczególnymi parametrami w czterech grupach pomiarowych pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wyniki badań laboratoryjnych szybkości sedymentacji wg. BN-70/0471-03, analizowane w układzie wieloparametrowym, wykazują zdecydowanie większe odchylenia od wartości z opisujących je statystycznych równań regresji, w porównaniu z odpowiednimi wynikami badań modelowych w skali półtechnicznej.

T a b l i c a 1

Parametr	Anna	Laboratoryjne Półtechniczne Próby na Kopalniach		
		Chwałowice	Anna*	Moszczenica
		3	4	5
1	2	3	4	5
Ilość badań w grupie	20	8	10	11
Maksymalna szybkość sedymentacji	31,2	9,94	1,73	5,18
Minimalna szybkość sedymentacji	0,0045	0,62	0,30	2,69
Maksymalne współczynniki korelacji szybkości sedymentacji i:				
(flokulant gigtar)				
drugi parametr	zag.	S	-	-
R	-0,596	0,786	-	-
(flokulant sedosan)				
drugi parametr	Dawka	S	Dawka	Zag.
R	0,508	0,913	0,944	-0,659
Współczynniki regresji dla równań z jedną zmienną niezależną				
(flokulant gigtar)				
Dawka	0,0377	2,05	-	-
R	0,67	0,68	-	-
(flokulant Sedosan)				
Dawka	0,196	-	0,05127	-
R	0,62	-	0,94	-
Const	-	2,90		3,61
R	-	0,63		0,97

* Dla badań instalacji półtechnicznej kop. Anna przedstawiono tylko wyniki I stopnia klarowania

1	2	3	4	5
Współczynniki regresji równań z dwoma zmiennymi niezależnymi				
(flokulant gigtar)				
Dawka	0,0477	-	-	-
S	0,000459	2,92	-	-
R	0,745	0,89	-	-
Const		4,69	-	-
(flokulant sedosan)				
Dawka	0,276	-	0,00172	-
Zag.	-0,0340	-	-	-0,00715
R	0,692	0,948	0,963	0,985
S	-	-6,92	-0,425	-
Const	-	8,56	-	4,39
Współczynniki regresji równań z trzema zmiennymi niezależnymi				
(flokulant gigtar)				
Const	1,56	4,69	-	-
Zag.	-0,0172	-0,0302	-	-
Dawka	0,035	-	-	-
R	0,841	0,929	-	-
S		-2,51	-	-
(flokulant sedosan)				
Const	6,78	9,47	1,96	3,25
Zag.	0,0846	-0,0281	0,00595	-
Dawka	0,21	-	-	0,0219
R	0,710	0,960	0,984	0,996
S		-6,22	-0,566	-0,014

2. Przyjmowanie wyników laboratoryjnych pomiarów szybkości sedymentacji z uwzględnieniem tzw. współczynników zmiany skali, jako podstawy do obliczenia zapotrzebowania powierzchni klarowania, może prowadzić w przypadku dużych obiektów do znacznego zawyżenia technologicznie niezbędnej powierzchni.

3. Projektowanie urządzeń klarujących dla dużych zakładów przerobowych winno być poprzedzone badaniami modelowymi w skali półtechnicznej prowadzonymi bezpośrednio na pracujących zakładach przerobowych wzbogacających ten sam typ węgla.

LITERATURA

- 1 A. Battaglia, Odwadnianie produktów wzbogacania i obiegi wodne płuczek, WGH, Katowice 1963.
- 2 W.M. Sitało, S.T. Lewin, Eksperymentalnoe issledowanie i rasczety processow w grawitacyjnych sgustitelno-oswettlitelnych ustrojstwach, Ugol, nr 12, 1968, s. 50-53.
- 3 H. Maika, S. Tomaszczyk, System wyznaczania współzależności pomiędzy zagęszczeniami poszczególnych strumieni klarowników grawitacyjnych w zależności od ich obciążenia oraz składu ziarnowego nadawy (w przygotowaniu do druku).
- 4 Cz. Kozłowski, Optymalizacja procesów rozdzielania fazy stałej od cieklej w obiegu wodno-mułowym zakładu przerobowego. Wzbogacanie i Utylizacja Kopalni, nr 3, 1973, s. 29.
- 5 C.C. Harris, P. Somasundaran, R.R. Jensen, Sedimentation of Compressible Materials Analysis of Batch Sedimentation Curve, Powder Technology, 11, 1975, s. 75-84.
- 6 Sprawozdanie nr 2 Ośrodka Naukowo-Badawczego KWK Moszczenica, Badania półprzemysłowe odwadniania odpadów flotacyjnych kop. Anna na instalacji węgierskiej.
- 7 Sprawozdanie nr 47 Ośrodka Naukowo-Badawczego KWK Moszczenica, Określenie możliwości odwadniania odpadów flotacyjnych KWK Moszczenica na tarczowych filtrach próżniowych w warunkach przemysłowych, przy zastosowaniu wysokiej jakości flokulantów w jednostopniowym systemie zagęszczania nadawy na filtry.