

Włodzimierz P. KOWALSKI, Tymoteusz TURLEJ, Marian BANAŚ, Krzysztof KOŁODZIEJCZYK

e-mail: wkowalsk@agh.edu.pl

Katedra Systemów Energetycznych i Urzędzeń Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## Badanie procesu sedymentacji sflokulowanej zawiesiny węglowej z wykorzystaniem układu wielostrumieniowego

### Wstęp

Badania realizowano imitując przebieg procesu sedymentacji w dwóch układach, a mianowicie w układzie klasycznym oraz z zastosowaniem wkładów wielostrumieniowych przy wykorzystaniu tzw. płytkiej sedymentacji [Kowalski, 2004].

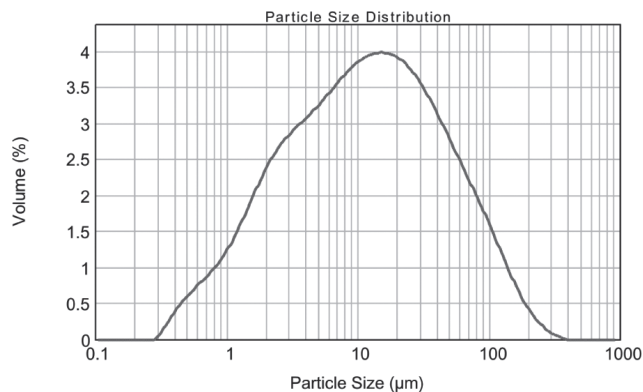
Celem pracy było zbadanie możliwości intensyfikacji procesu sedymentacji zawiesiny węglowej przy użyciu wkładów wielostrumieniowych oraz procesu flokulacji przy różnych dawkach flokulanta.

### Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowiła zawiesina pochodząca z zakładu wzbogacania węgla. Zawiesina została pobrana z układu oczyszczania, z kanału doprowadzającego zawiesinę do osadników. Punkt pobrania zawiesiny znajdował się przed układem dozującym flokulant.

Pozyskano zawiesinę o następujących parametrach: stężenie na poziomie  $45 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ , frakcja stała o uziarnieniu z przedziału  $0,1 \div 1 \text{ mm}$  oraz o gęstości części stałej wynoszącej  $2376 \text{ kg/m}^3$ . Zawiesina posiada relatywnie duże stężenie, obliczony udział objętościowy części stałej wynosi 1,89%, zatem proces sedymentacji tej zawiesiny jest procesem sedymentacji skrępowanej [Orzechowski, 1990].

Pomiar uziarnienia zawiesiny wykonano za pomocą dyfraktometru laserowego Mastersizer 2000. Sposób pomiaru uziarnienia opisano w pracy [Kowalski, 2012].



Rys. 1. Rozkład wielkości cząstek w zawieszynie

Kształt rozkładu wielkości cząstek otrzymanego dla badanej próbki przypominał kształt rozkładu logarytmiczno-normalnego. Wyznaczono zatem parametry tego rozkładu:  $m = 2,35$ ;  $\sigma = 1,29$ . Wartości statystyk korelacji wskazały na bardzo dobrą zgodność analizowanego rozkładu z rozkładem logarytmiczno-normalnym:  $R = 0,909$ ;  $F = 2612$ .

Na podstawie rozkładu wielkości cząstek jednoznacznie stwierdzono, że analizowana zawiesina jest zawieszyną drobnociągniastą, ponieważ połowa cząstek ma rozmiar poniżej  $12 \mu\text{m}$ . Oznacza to, że do jej sedymentacyjnego rozdzielenia konieczne jest połączenie drobnych ziaren w większe cząstki, np. poprzez wykorzystanie procesu flokulacji.

### Badania statyczne

Badania statyczne zrealizowano na stanowisku laboratoryjnym do badań procesu sedymentacji statycznej. Polegały one na wykonaniu testów sedymentacyjnych i wykreśleniu krzywych sedymentacyjnych [Bürger, 2001]. Badania przeprowadzono dla dwóch ustawień cylindra pomiarowego: pionowego oraz pochylonego. W pionowym cylindrze

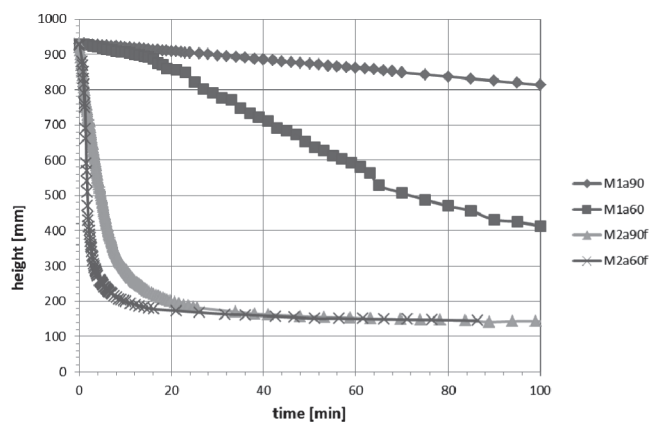
następuje proces sedymentacji zachodzący w klasycznych urządzeniach sedymentujących, bez wypełnienia wielostrumieniowego, a w cylindrze pochylonym odbywa się proces sedymentacji jak w osadniku z wkładami wielostrumieniowymi. W badaniach cylinder był pochylony pod kątem  $60^\circ$  względem podłoża. Jest to typowy kąt ustawienia przewodów sedymentacyjnych w wkładach wielostrumieniowych.

Pierwsze pomiary wykonano dla zawiesiny surowej (bez dodatku flokulanta), dla obu ustawień cylindra pomiarowego. Pomiary te stanowiły punkt odniesienia dla dalszych badań.

Druga część pomiarów została wykonana dla identycznych ustawień cylindrów, ale z zastosowaniem wspomaganego procesu sedymentacji flokulacją. Proces zrealizowano przy użyciu flokulanta FLOPAM AN 923 SHU. Flokulant dozowano w postaci roztworu wodnego o stężeniu 0,1%, w dawce wynoszącej 200 ppm. Flokulant dodawano do zbiornika zawierającego zawiesinę surową.

Proces mieszania przeprowadzano w dwóch etapach. W pierwszym etapie prowadzono szybkie mieszanie (pełne wymieszanie flokulanta z zawieszyną), a następnie wolne mieszanie zapewniające warunki do wytrącenia się kłaczków. Cylindry pomiarowe zostały napełnione sflokulowaną zawieszyną (z frakcją stałą w postaci kłaczków).

Krzywe sedymentacyjne otrzymane na podstawie tych pomiarów przedstawiono na rys. 2.

Rys. 2. Zestawienie krzywych sedymentacyjnych dla pomiaru M1 bez flokulanta oraz M2 z flokulantem dla ustawienia cylindra pomiarowego pionowo ( $90^\circ$ ) oraz pod kątem  $60^\circ$ 

Na podstawie krzywych sedymentacyjnych obliczono wartość prędkości sedymentacji jako:

$$v = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

gdzie:

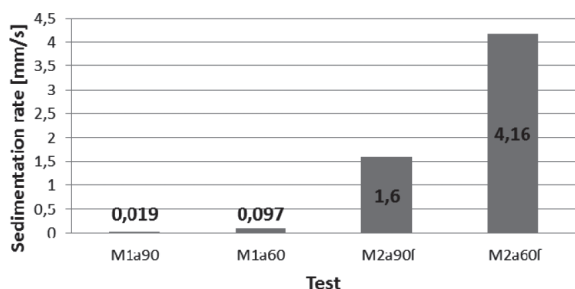
$\Delta h$  – wysokość granicy rozdzielenia [mm],

$\Delta t$  – czas [s].

Zestawienie wyników przedstawiono na rys. 3.

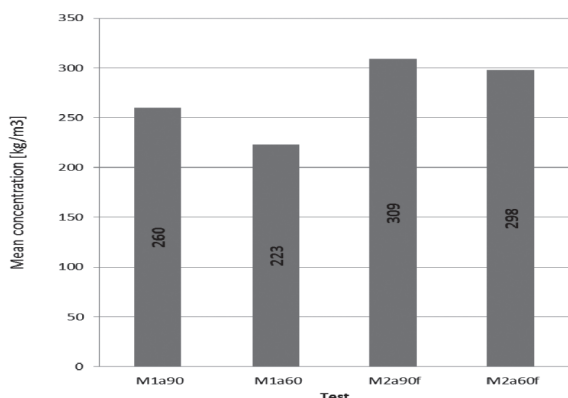
Wykreślone krzywe sedymentacyjne (Rys. 2) oraz obliczone wartości szybkości sedymentacji jednoznacznie ukazują kilkukrotny wzrost szybkości sedymentacji w przypadku zastosowania sedymentacji wielostrumieniowej. Zastosowanie procesu flokulacji umożliwia uzyskanie kilkudziesięciokrotnego zwiększenia sedymentacji, natomiast jednoczesne zastosowanie obu technik intensyfikacji pozwala na aż 220-krotne zwiększenie prędkości sedymentacji.

Krzywe sedymentacji umożliwiają również obliczenie wartości stężenia zawiesiny w dowolnym punkcie na krzywej oraz maksymalny poziom kompresji [Bürger, 2001]. Wykonano obliczenia maksymalnego



Rys. 3. Prędkość sedymentacji zawiesiny dla pomiarów M1 i M2

poziomu kompresji możliwej do osiągnięcia przez proces sedymentacji (Rys. 4). Poziom kompresji w układzie z dodatkiem flokulanta osiągał większe wartości niż w układzie bez flokulanta.

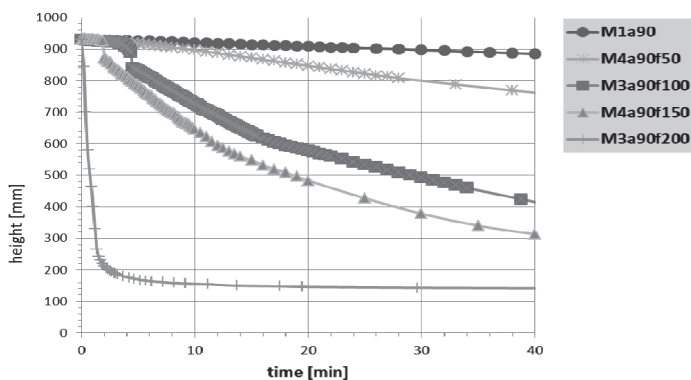


Rys. 4. Średnie stężenie warstwy osadu dla maksymalnego poziomu kompresji dla pomiarów M1 i M2

### Badania statyczne z zastosowaniem różnych dawek flokulanta

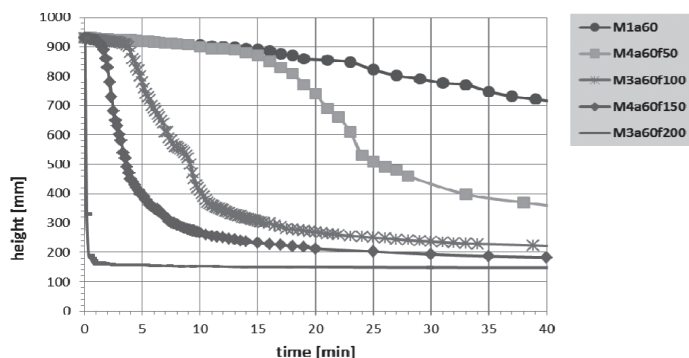
Kolejne badania przeprowadzono dla zawiesiny z różnymi dawkami flokulanta. W badaniach przyjęto dawki: 50, 100, 150 oraz 200 ppm. Badania wykonano dla obu przypadków ustawień cylindrów pomiarowych.

W tej części badań zastosowano inną metodologię przeprowadzenia procesu flokulacji. Odpowiednia dawka flokulanta została wprowadzona bezpośrednio do cylindra pomiarowego. Wykonano mieszanie trwające kilka minut, a następnie dokonano pomiaru sedymentacji w warunkach statycznych. Zastosowanie tego typu sposobu przeprowadzenia procesu flokulacji zabezpiecza przed ewentualną sedymentacją w zbiorniku oraz rozbijaniem wytworzonych flokuł podczas napełniania cylindrów pomiarowych.

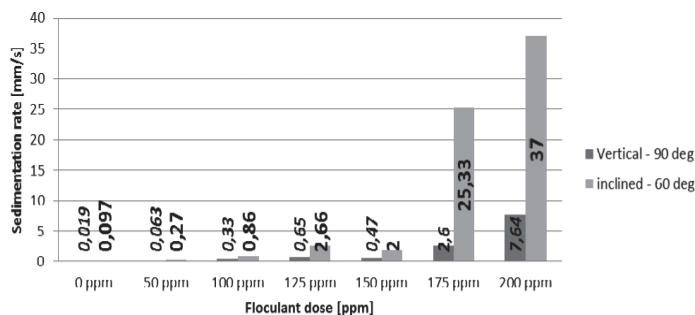


Rys. 5. Zestawienie krzywych sedymentacyjnych dla pomiarów z różną dawką flokulanta dla pionowego ustawienia cylindra pomiarowego

Kształt krzywej sedymentacyjnej zmienia się w zależności od zastosowanej dawki flokulanta. Wraz ze zwiększającą się dawką flokulanta następuje wzrost prędkości sedymentacji, zarówno w cylindrze pionowym, jak i pochylonym. Zależność ta dotyczy zastosowanego zakresu



Rys. 6. Zestawienie krzywych sedymentacyjnych dla pomiarów z różną dawką flokulanta dla cylindra pomiarowego ustawionego pod kątem 60° względem podłoża



Rys. 7. Zależność prędkości sedymentacji od dawki flokulanta w cylindrze ustawionym pionowo i pochylonym

dawki 0÷200 ppm. Na rys. 7 przedstawiono zależność prędkości sedymentacji od dawki flokulanta.

Wraz ze wzrostem dawki flokulanta (w określonym zakresie) szybkość sedymentacji wzrasta, w obu przypadkach ustawienia cylindra pomiarowego. W układzie cylindra pochylonego szybkość sedymentacji wzrasta kilkukrotnie bardziej niż w przypadku cylindra pionowego. Zastosowanie sedymentacji wielostrumieniowej pozwala na wzrost szybkości sedymentacji, niezależnie od wielkości dawki flokulanta.

### Wnioski

Badania procesu sedymentacji zawiesiny węglowej potwierdziły możliwość oraz wysoką efektywność jednoczesnego zastosowania wkładów wielostrumieniowych oraz procesu flokulacji. Efekt końcowy uzyskany jedną techniką intensyfikacji został zwielokrotniony poprzez efekt osiągnięty przez drugą metodę.

Zastosowanie wyłącznie wkładów wielostrumieniowych podnosi szybkość procesu sedymentacji kilkukrotnie. Oddzielne użycia procesu flokulacji również powoduje wzrost szybkości sedymentacji oraz maksymalnego poziomu kompresji.

Prędkość sedymentacji osiągnięta poprzez jednoczesne zastosowanie sedymentacji wielostrumieniowej oraz wspomaganie flokulacji jest kilkusetkrotnie większa niż w przypadku zastosowania klasycznej sedymentacji.

Sposób przeprowadzenia procesu flokulacji ma znaczący wpływ na późniejszy przebieg procesu sedymentacji. Silnie nietrwały charakter sflokulowanej zawiesiny powoduje, że sposób mieszania (m.in. szybkość, intensywność) ma wpływ na uzyskiwane wyniki.

### LITERATURA

Bürger R., Wendland W.L., 2001. Sedimentation and suspension flows: Historical perspective and some recent developments. *Journal of Engineering Mathematics*, **41**, nr 2-3, 101-116. DOI: 10.1023/A:1011934726111

Kowalski W.P. 2004. *Osadniki wielostrumieniowe*. Wyd. N-Dyd. AGH. Kraków

Kowalski W.P., Banaś M., Kołodziejczyk K., Turlej T., 2012. Research of the sedimentation process of coal suspension assisted with flocculation in the multiflux system. *Monografie AGH, WIMiR*, nr 40, 59-72

Orzechowski Z. 1990. *Przepływy dwufazowe adiabatyczne ustalone*. PWN, Warszawa