

Marian BANAS, Mariusz ROMAN

e-mail: mbanas@agh.edu.pl

Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica, Kraków

Badania składu granulometrycznego zawiesiny komunalnej

Wstęp

Dla potrzeb projektowania wielostrumieniowych urządzeń sedymentacyjnych oraz prowadzenia z ich użyciem procesu technologicznego, niezbędne jest rozpoznanie różnych właściwości fizykochemicznych zawiesin poddawanych sedymentacji, z których informacja o rozkładzie wielkości ziaren (lub rozkładzie prędkości ich opadania) jest szczególnie istotna [1].

W przypadku sedymentacyjnych metod oznaczania składu ziarnowego (waga sedymentacyjna) wyznacza się rozkład prędkości opadania ziaren, a wynikające z niego średnice ziaren należy traktować jako zastępcze średnice ziaren o kształcie kulistym, opadających z prędkościami wynikających z wzoru *Stokesa*.

Zawiesina komunalna, inaczej niż jest to w przypadku zawiesin przemysłowych, składa się nie z ziaren o kulistych kształtach, lecz często są to zbitki drobniejszych cząstek o nieregularnych kształtach, a nawet kłaczkę [2]. Powoduje to znaczne trudności w określaniu składu ziarnowego – nie tylko rozmiary ziaren podawane w składach ziarnowych takich zawiesin podawane są jako wielkości przybliżone średnicami zastępczymi, ale też znakomicie utrudnia sam proces wyznaczania składu granulometrycznego. Niektóre z analizatorów, ze względu na ich fizyczną zasadę pomiaru, mogą podawać wartości znacznie odbiegające od uzyskanych z użyciem innych przyrządów. Bardzo istotną rzeczą jest również, aby fizyczna zasada pomiaru w analizatorze nie wymuszała stosowania takich warunków pomiaru, jakie zakłócają przebieg sedymentacji lub w znaczny sposób odbiegają o warunków w trakcie sedymentacji w rzeczywistych warunkach w osadniku, np. poprzez wymuszanie znacznych rozcieńczeń, które eliminują atrakcyjne z punktu widzenia eksploatacji zjawisko wpływu stężenia fazy stałej na przebieg procesu sedymentacji.

Opis badań doświadczalnych

Dla wstępnego określenia składu ziarnowego zawiesiny komunalnej wykonano przeglądowe badania granulometryczne z użyciem dwu różnych analizatorów, stosujących całkiem inne fizyczne zasady pomiaru: wagi sedymentacyjnej (wykorzystującej pomiar przyrostu masy cząstek opadających na szalkę wagi w trakcie sedymentacji) oraz analizatora IPS-L (wykorzystującego zjawisko rozpraszania promieniowania podczerwonego w analizowanej zawieszynie).

Materiałem do badań była zawiesina komunalna pochodząca z oczyszczalni ścieków Kraków-Plaszów. Zawiesinę pobierano w układzie oczyszczalni z komory zbiorczej po piaskowniku. Z uwagi na zakładaną nietrwałość czasową zawiesiny badania wykonywano nie później niż 60 minut po poborze próbek. Dla potrzeb oznaczeń założono gęstość fazy stałej zawiesiny wynoszącą 1250 kg/m³ [3].

Pomiary wykonane za pomocą analizatora IPS-L

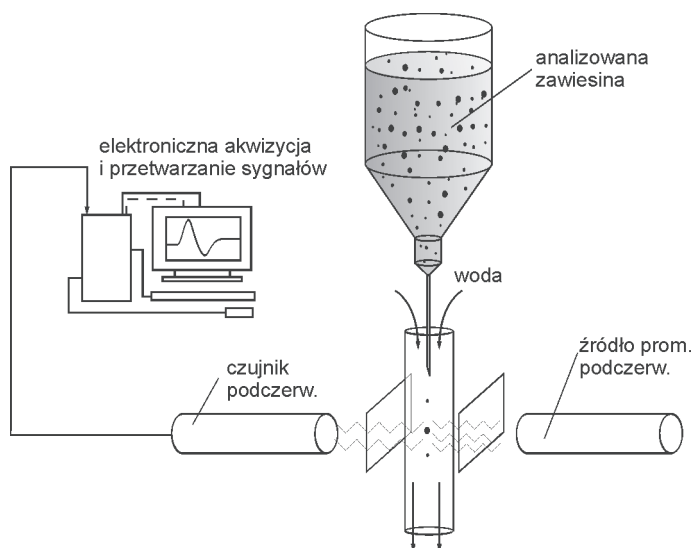
Analizator IPS-L jest laboratoryjnym urządzeniem służącym do automatycznego pomiaru wielkości cząstek stałych w wodzie, niezależnie od ich właściwości fizycznych i chemicznych.

Zasada działania analizatora IPS-L polega na pomiarze zmian strumienia promieniowania podczerwonego, który jest rozpraszany przez poruszające się w strefie pomiaru cząstki. Zmiany strumienia promieniowania po obróbce elektronicznej rejestrowane są przez komputer. Po zakończeniu pomiaru danej próbki wyniki przedstawiane są za pomo-

cą statystycznych parametrów zbioru, jak również rozkładów różnych właściwości cząstek.

Analizator składa się z czujnika pomiarowego, z którym zintegrowany jest elektroniczny układ automatycznego dozowania cząstek, zapewniający ciągłość pomiaru i kontrolę koncentracji cząstek w przestrzeni pomiarowej.

Zasada działania analizatora (pomiar pojedynczych cząstek fazy stałej zawiesiny) narzuca pewne ograniczenia: zawiesina nie może być zbyt stężona, aby w przestrzeni pomiarowej czujnika nie następowały koincydencje cząstek; implikacją tego jest fakt, iż stężenie zawiesiny w trakcie pomiaru jest granicznie niskie (pomiar pojedynczych cząstek), co nie oddaje warunków panujących w rzeczywistych warunkach w osadnikach.



Rys. 1. Schemat działania analizatora IPS-L

Próbkę surowej zawiesiny o objętości 500 cm³ rozcieńczano do obj. 1000 cm³, po wymieszaniu pobierano 10 cm³ tak przygotowanej zawiesiny i rozcieńczono w dozowniku analizatora do objętości 50 cm³. Pomiar powtórzono 6 razy, a wyniki uśredniono. W trakcie pomiarów nie stosowano żadnych odczynników dyspergujących.

Pomiary wykonane za pomocą wagi sedymentacyjnej

Badania na wadze sedymentacyjnej przeprowadzono z użyciem stanowiska laboratoryjnego, którego główną częścią jest elektroniczna waga firmy *Mettler Toledo AT460 DeltaRange*. Układ elektroniczny tej wagi umożliwia odczyt masy z dokładnością 0,1/1 mg w zakresie 0–62/405 g. Wyniki odczytu są w sposób ciągły rejestrowane w komputerze.

Dla uniknięcia wpływu drgań zewnętrznych podczas długotrwałych pomiarów stanowisko zostało wyposażone w bezwładnościowy tłumik drgań. Dla akwizycji danych opracowano specjalistyczne oprogramowanie komputerowe wspierające oprogramowanie standardowe *Balance Link*. Zakres ustawień pracy wagi jest bardzo szeroki.

Przy oznaczeniu system pomiarowy odczytuje wskazania w odcinkach czasowych 0,5 do 10 s. Zaś czas pomiarów w zależności od badanej zawiesiny wynosi od 2 do 12 godzin – W prezentowanych pomiarach stosowano odczyt do 1 s i pomiar trwający 6 godzin.

Wynikiem pomiaru jest zbiór wartości stanowiący zależność masy osadzonej na szalce w funkcji czasu. Wartości te stanowią dane wejściowe do autorskiego programu wyznaczającego parametry składu ziarnowego przy założonej statystycznej funkcji losowej. Dostępna jest funkcja rozkładu logarytmiczno-normalnego oraz uogólnionego rozkładu gamma.

Dokładny opis budowy stanowiska, sposobu interpretacji wyników otrzymanych z wskazań wagi, oraz opis autorskiego oprogramowania do akwizycji wyników pomiaru i obliczania parametrów rozkładu ziarnowego zamieszczono w pracach [4, 5].



Rys. 2. Stanowisko wagi sedymentacyjnej

W przeciwieństwie do analizatora IPS-L pomiar przy użyciu wagi sedymentacyjnej nie wprowadza żadnych zniekształceń w rozkładzie wielkości cząstek spowodowanych zmianą stężeń – pomiar odbywa się w zawieszynie o takim stężeniu, jakie panuje w rzeczywistych warunkach w osadniku; stąd też wagę sedymentacyjną można traktować jako urządzenie, którego wyniki szczególnie nadają się do celów obliczeń efektywności sedymentacji.

Pobraną zawieszinę z koryta zbiorczego po piaskowniku uśredniano (mieszając) i poddawano sedymentacji w cylindrze pomiarowym (o obj. 300 cm³) wyposażonym w podwieszoną od dołu wagi szalckę.

Nie stosowano odczynników dyspergujących, aby nie stracić informacji o współoddziaływaniu cząstek na siebie w trakcie sedymentacji.

Po wykonaniu pomiaru, zawieszinę odlewano, wymieszaniu pobierano nową próbkę, a następnie znowu dokonywano pomiaru.

Jako wynik każdego z pomiarów otrzymywano zbiór stanowiący zależność masy osadzonej na szalce w funkcji czasu. Zbiór ten stanowił dane wejściowe dla autorskiego programu wyznaczającego parametry uziarnienia dla założonej statystycznej funkcji rozkładu. Program ten wykorzystuje procedury aproksymacji nieliniowej MINUIT z biblioteki CERN.

Wyniki badań

Otrzymane za pomocą analizatora IPS-L

Wynikiem pomiarów z analizatora jest tabela zawierająca informacje o ilości cząstek w 256 klasach ziarnowych. Dane te wyeksportowano do pliku tekstowego i przetworzono za pomocą autorskiego oprogramowania, wyznaczając parametry rozkładu logarytmiczno-normalnego rozkładu wielkości cząstek. Wyniki zestawiono w tab. 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów z analizatora IPS-L

Próbka	Parametry rozkładu		Estymatory regresji	
	m	σ	R^2	F
IPS_1	2,75	0,74	0,9976	17946
IPS_2	2,65	0,75	0,9982	24143
IPS_3	2,66	0,73	0,9974	16537
IPS_4	2,41	0,70	0,9907	4670
IPS_5	2,65	0,75	0,9981	23076
IPS_6	2,72	0,74	0,9973	16202
Średnia	2,64	0,74		

Otrzymane za pomocą wagi sedymentacyjnej

Wyniki wskazań wagi stanowiły zbiór wejściowy do autorskiego programu, wyznaczającego parametry uziarnienia dla założonego logarytmiczno-normalnego rozkładu wielkości ziaren. Otrzymane wartości parametrów logarytmiczno-normalnego rozkładu wielkości cząstek zestawiono w tab. 2. W tabeli tej przedstawiono wyniki kolejno powtarzanych pomiarów. Czas pomiaru pojedynczej próbki wynosił około 6 godzin, więc kolejne wiersze pokazują zmianę parametrów składu ziarnowego w czasie.

Tab. 2. Wyniki pomiarów z analizatora IPS-L

Próbka	Parametry rozkładu		Estymatory regresji	
	m	σ	R_2	F
W_01	2,502	0,801	0,98349	1132097
W_02	2,137	0,652	0,92465	235668
W_03	1,937	0,992	0,93851	481001
W_04	1,924	0,676	0,95684	626136
W_05	1,655	0,602	0,91969	349214

Podsumowanie i wnioski

Zawiesina komunalna jest zawieszyną wykazującą bardzo dużą niestabilność w czasie, wraz z upływem czasu maleje wartość parametru m (opisującego średni rozmiar cząstek) ale również wartość parametru σ (miara rozrzutu wartości m). Oznacza to, że w zawieszynie (prawdopodobnie na skutek fermentacji), zanikają cząstki o większych rozmiarach, pozostają zaś drobniejsze, bardziej trwałe cząstki, najprawdopodobniej o charakterze mineralnym.

Z powyższego wynika, że w trakcie sedymentacji zawiesziny komunalnej w osadniku, jej skład ziarnowy ulega modyfikacji, co powoduje, że nie można w prosty sposób przełożyć jej uziarnienia na efekt działania osadnika, tak jak to było w przypadku przemysłowych zawiesin ziarnistych.

Porównanie wartości parametrów składu ziarnowego otrzymanych z przyrządu IPS-L oraz pierwszego pomiaru z wagi sedymentacyjnej, pokazuje, że wartości te są podobne. Oznacza to, że obydwa przyrządy można z powodzeniem stosować do badania składu granulometrycznego tej zawiesziny, niezależnie od rozcieńczeń, jakie wymusza zasada pomiaru z użyciem analizatora IPS-L.

Uzupełnieniem tych badań powinny być laboratoryjne badania efektywności sedymentacji dla określenia zgodności rzeczywistych efektywności z efektywnościami obliczonymi na podstawie wyznaczonych wartości parametrów składu ziarnowego. Badania te powinny uwzględnić zmianę składu ziarnowego w czasie trwania procesu.

LITERATURA

- [1] W. Kowalski: Osadniki wielostrumieniowe AGH 2004.
- [2] W.P. Kowalski, M. Banaś, K. Kołodziejczyk: Inż. Ap. Chem. **48**, nr 4, 71 (2009).
- [3] J. Bandrowski, H. Merta, J. Ziolo: Sedymentacja zawiesin. Zasady i projektowanie. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
- [4] W. Kowalski: Arch. Ochr. Środ., nr 1–2 (1991).
- [5] M. Banaś: Badania wpływu stężenia cząstek fazy stałej zawiesziny na proces sedymentacji. Rozprawa doktorska AGH Kraków 2003.
- [6] W.P. Kowalski, M. Banaś et al.: The application of lamella sedimentation devices in purifying of water and water wastes. Kraków 2004.