

Beata FRYŹLEWICZ-KOZAK, Krzysztof DRABIK

e-mail: beata@chemia.pk.edu.pl

Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

Analiza komputerowa struktury nadźwiękowionych kłaczków osadów biologicznych

Wstęp

Obecnie zwraca się szczególną uwagę na ochronę środowiska, co wiąże się z właściwym wykorzystaniem i odnawianiem jego zasobów. Rozrastające się aglomeracje miejskie oraz dynamiczny proces industrializacji powodują coraz większą emisję zanieczyszczeń. Aby sprostać tym wyzwaniom powstają nowe oczyszczalnie ścieków, a stare podlegają modernizacji, by spełnić coraz ostrzejsze wymagania.

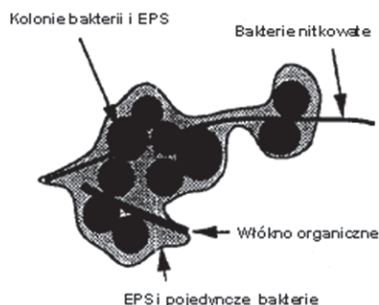
Z zagadnieniem oczyszczania ścieków nierozdzielnie wiąże się gospodarka osadami. Cel, jakim jest unieszkodliwienie i zminimalizowanie ilości powstających osadów, realizuje się w procesie ich odwadniania. Zmniejszenie stopnia uwodnienia osadu powoduje spadek kosztów składowania i transportu. Stąd ciągle poszukiwanie nowych, bardziej wydajnych sposobów wspomaganie procesu odwadniania.

Jednym z nich jest metoda wykorzystująca czynne oddziaływanie pola ultradźwiękowego. Ultradźwięki, poprzez zmiany strukturalne w osadzie o charakterze fizycznym, biologicznym i chemicznym, intensyfikują proces odwadniania.

Głównym celem prowadzonych badań jest ustalenie optymalnych parametrów pola ultradźwiękowego, takich jak zależności pomiędzy natężeniem i czasem nadźwiękowania, a zmianami strukturalnymi osadu.

Do określenia zakresu użyteczności danej metody wspomaganie procesu odwadniania wykorzystuje się różne techniki analizy. Istotną rolę odgrywa rozwój techniki komputerowej umożliwiający integrację nowoczesnych metod (specjalistyczne programy komputerowe) z klasycznymi (zdjęcia mikroskopowe). Ważny jest także sposób podejścia do opisu struktury różnego rodzaju tworów biologicznych (np. skupiska mikroorganizmów, kłaczkos osadu ściekowego); w tym aspekcie coraz szerzej stosowane jest pojęcie fraktali [1–3].

W procesie osadu czynnego główną rolę odgrywają skupiska mikroorganizmów – kłaczkos (Rys. 1). Właściwości fizyczne kłaczków, a przede wszystkim rozkład ich wielkości i struktura, mają decydujący wpływ na transport substratu do wnętrza skupisk mikroorganizmów, ich flokulację, efektywność oddzielenia biomasy osadu w osadnikach, zagęszczanie oraz odwadnianie osadu nadmiernego podczas jego unieszkodliwiania [5].



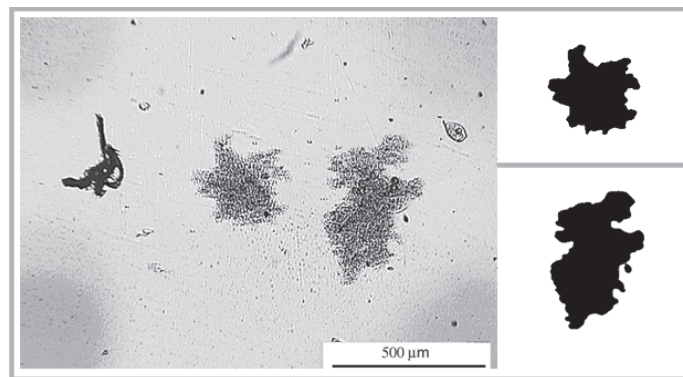
Rys. 1. Struktura kłaczkos osadu czynnego [4] (EPS – pozakomórkowe substancje polimerowe)

Badania dotyczące kłaczków osadu czynnego skupiają się głównie na: morfologii (wielkość, kształt kłaczków), składzie kłaczków (badaniu ich wewnętrznej struktury, rozkładu mikroorganizmów), identyfikacji występujących gatunków mikroorganizmów oraz ustaleniu ich przestrzennego ułożenia. Pomiarów parametrów morfologicznych kłaczków i bakterii nitkowatych dostarczają cennych danych do codziennego działania oczyszczalni ścieków, między innymi umożliwiają ocenienie stężenia biomasy [6]. Między niektórymi parametrami uzyskanymi przy

użyciu analizy obrazu, a standartowymi parametrami osadów ściekowych zostały znalezione korelacje. Między innymi stwierdzono liniową zależność między polem powierzchni, a stężeniem osadu czynnego dla osadów o stężeniu poniżej 4 g/l [7]. Poszukiwano również zależności pomiędzy parametrami morfologicznymi kłaczków, a indeksem osadu. W pracy [7] stwierdzono, że istnieje możliwość powiązania morfologii kłaczków z właściwościami sedymentacyjnymi. Z kolei w pracy [8] nie udało się ustalić takich zależności, ale stwierdzono, że analiza kłaczków mogłaby być zastosowana w celu wykrycia zjawiska pęcznienia.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono na osadach czynnych pochodzących z oczyszczalni ścieków w Olkuszu. W badaniach wykorzystano generator ultradźwiękowy typu UD-11 o częstotliwości roboczej (f) 22 [kHz] i natężeniu pola ultradźwiękowego (I) $24 - 64 \cdot 10^3$ [W/m^2] przy czasach nadźwiękowania (t) od 0 do 300 [s]. Strukturę badanych osadów określono na podstawie obserwacji mikroskopowej, prowadzonej za pomocą mikroskopu polaryzacyjno-interferencyjnego *Biolar PI*. Uzyskane obrazy po wstępnej obróbce (zastosowaniu wybranych filtrów graficznych) analizowano za pomocą programu *ImageJ* [9]. Przykładowe zdjęcie osadu biologicznego przed i po korekcy graficznej przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowe zdjęcie osadu czynnego. Obraz oryginalny i wycięte kłaczkos po obróbce do dalszej analizy

W celu wykonania analizy obrazu należy wykonać odpowiednią liczbę zdjęć. W literaturze można znaleźć, że zalecana liczba waha się od 10 obrazów, co odpowiada około 150 obiektom [7] do 70 obiektów [8]. Autorzy podają, że wykonanie analizy na takiej ilości zdjęć jest wystarczające do uzyskania statystycznie odpowiednich wyników. W pracy wykonywano około 10 zdjęć, co odpowiadało 100 obiektom. Dla kłaczkos, który w całości znajdował się na zdjęciu, wykonano pomiary m.in. powierzchni, długości, szerokości, obwodu i średnicy *Fereta*. Dane te wykorzystano do opisu zmian struktury. Rozmiar kłaczków ścieku jest ważnym parametrem, określającym właściwości sedymentacyjne.

Parametry morfologiczne kłaczków osadu czynnego, które zostały uzyskane za pomocą automatycznej analizy obrazu, można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej zaliczono parametry reprezentujące wielkość kłaczków, takie jak: powierzchnia, średnica, obwód i średnica zastępcza. Średnicę zastępczą D_e , obliczano z następującej zależności [5, 7]:

$$D_e = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (1)$$

Do drugiej grupy parametrów morfologicznych zalicza się parametry kształtu, takie jak: wymiar fraktalny D , współczynnik kształtu FF , wydłużenie EF , kolistość HCF , czy tzw. okrągłość RD [7, 10]. Wykorzystano te parametry w celu lepszego zilustrowania zachodzących zmian. Następnie poszukiwano zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami m.in. wymiarem fraktalnym, a parametrami geometrycznymi kłaczków.

Do obliczeń wymiaru fraktalnego wstępnie wykorzystano trzy programy: *Fractalysse* [11], *Harfa* [12] i *ImageJ* [9]. Największą dokładność uzyskano stosując program *Fractalysse* (metoda *FreeBox*).

Wymiar fraktalny obiektu można również obliczyć analitycznie, a różni autorzy proponują dla obiektów mikroskopowych następujące wzory:

– Wymiar fraktalny bazujący na obwodzie, używany do charakterystyki przekrojów kłaczków osadu czynnego [13]:

$$A \cong O^{2/D} \quad (2)$$

– Wymiar fraktalny bazujący na obwodzie, używany do charakterystyki obiektów o dużej nieregularności [1]:

$$A \cong O^{2/D} \quad (3)$$

– Wymiar fraktalny bazujący na długości, charakteryzuje obiekty wydłużone [3]:

$$A \cong L^D \quad (4)$$

– Wymiar fraktalny bazujący na średnicy zastępczej, modyfikacja wzoru 4 [1]:

$$O \cong D_e^D \quad (5)$$

gdzie:

A – pole powierzchni kłaczków, [μm^2],

D – wymiar fraktalny, [-],

L – długość kłaczków, [μm],

D_e – średnica zastępcza, [μm],

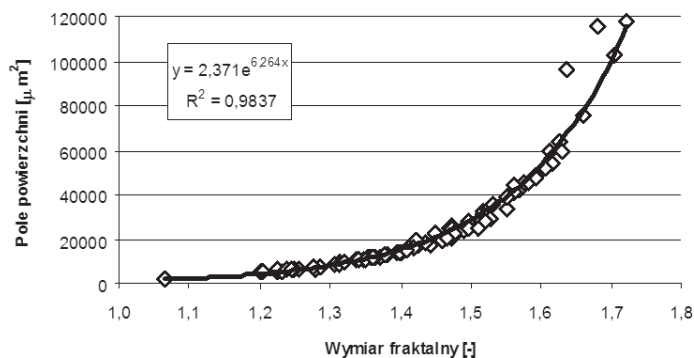
O – obwód kłaczków, [μm].

Wyniki badań

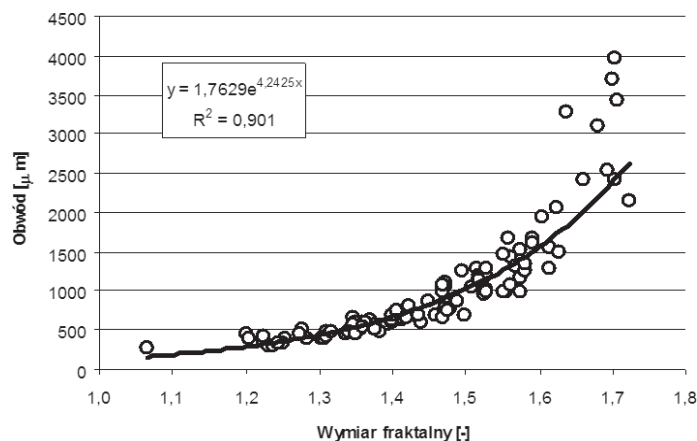
Obliczono wymiar fraktalny kłaczków osadu czynnego na podstawie wzorów (2)–(5). Średni błąd względny dla serii 100 zdjęć dla poszczególnych wzorów w stosunku do wyników uzyskanych w programie *Fractalysse* wynosił odpowiednio: -15,2; -5,8; -27,4 i -8,1%. Wzory (3) i (5) cechują się największą dokładnością, co więcej wzrasta ona w pewnym przedziale. Błąd względny nie przekraczał 3,2% dla wzoru (3) w przedziale wymiaru fraktalnego od 1,33 do 1,38. Największą dokładnością dla dużych kłaczków (wymiar fraktalny w zakresie od 1,65÷1,75) cechował się wzór (4).

Na podstawie uzyskanych wyników, wykazano wyraźną zależność pomiędzy polem powierzchni kłaczków, a jego wymiarem fraktalnym (Rys. 3). W przypadku obwodu, długości i szerokości zależność również istnieje natomiast cechuje ją mniejsza dokładność, co przedstawiono na przykładowym rys. 4 ($R^2 = 0,8 \div 0,9$ dla różnych serii zdjęć). Na rys. 5 przedstawiono zależność średnicy zastępczej i długości kłaczków od wymiaru fraktalnego kłaczków osadu czynnego.

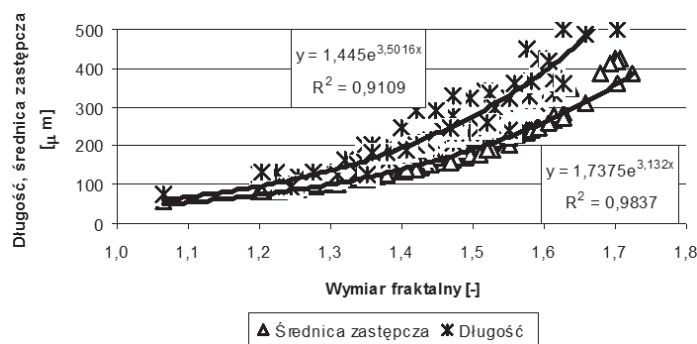
Porównywanie rozkładów wielkości kłaczków ma na celu ustalenie optymalnego czasu nadźwiekowienia osadów. Wymiar fraktalny jest funkcją wykładniczą średnicy ekwiwalentnej. Dlatego też najkorzyst-



Rys. 3. Wykresy zależności pola powierzchni od wymiaru fraktalnego kłaczków



Rys. 4. Wykresy zależności obwodu od wymiaru fraktalnego kłaczków



Rys. 5. Wykres zależności długości i średnicy zastępczej od wymiaru fraktalnego kłaczków

niejsza wielkość kłaczków ze względów sedymentacyjnych, czyli od 100 do 200 μm , w jednostkach wymiaru fraktalnego daje przedział 1,2÷1,5.

Oprócz zmian ilościowych istotną rolę w procesie odwadniania osadów mają zmiany kształtu cząstek. Korzystnemu efektowi zmiany liczby cząstek o wybranej średnicy może towarzyszyć niekorzystna zmiana ich struktury. Najbardziej pożądane są cząstki o kształcie kulistym, przy czym ze względu na dwuwymiarowość zdjęć analizę oparto o parametry kolistości (przy założeniu, iż trzeci wymiar cząstek nie odbiega zasadniczo od pozostałych).

Podsumowanie

Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Za pomocą wybranych parametrów kształtu można zobrazować zachodzące zmiany w strukturze i morfologii kłaczków. Ich odpowiednia interpretacja pozwala na dobór odpowiednich parametrów pola ultradźwiękowego, które powodują poprawę struktury kłaczków, wpływającą na jego zdolność efektywnego odwadniania. Analiza obrazu mogłaby być wprowadzona do systemu kontroli w monitoringu oczyszczalni ścieków.

W pracy przedstawiono kilka metod obliczania wymiaru fraktalnego oraz stwierdzono, że może on być stosowany do opisu kłaczków.

LITERATURA

- [1] A. Krein, E. Petticrew, T. Udelhoven: *Catena* **53**, 165 (2003)
- [2] B. Fryźlewicz-Kozak, B. Tal-Figiel: *Chem. Proc. Eng.* **29**, 87 (2008)
- [3] B. Fryźlewicz-Kozak, B. Tal-Figiel: *Czas. Techn.* 5-M6, 111(105) (2008).
- [4] K. Keiding, H. Nielse: *Wat. Res.* **31**, 1665 (1997).
- [5] D. Li, J. Ganczarczyk: *Res. J. WPCF* **63**, nr 5, 806 (1991).
- [6] E. Siwarska-Bizukojć: *Biotechn. Let.* **27**, 1427 (2005).
- [7] K. Grijspeerd, W. Verstraete: *Wat. Res.* **31**, nr 5, 1126 (1997).
- [8] M. da Motta, MN. Pons, N. Roche, H. Vivier: *Biochem. Eng.* **9**, 165 (2001).
- [9] Program *ImageJ* (24.05.2009): <http://rsb.info.nih.gov/ij/index.html>
- [10] J.C. Russ: *The image processing handbook*, 4th ed. 2002.
- [11] Program *Fractalysse* (24.05.2009): <http://www.fractalysse.org>
- [12] Program *Harfa* (24.05.2009): http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/includes/harfa_download.inc.php
- [13] P. Spicer, P. Sotiris: *Wat. Res.* 30/5, 1049 (1996).