

Beata FRYŻLEWICZ-KOZAK, Katarzyna CHOWANIEC

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

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

Wpływ procesu mieszania na morfologię osadu czynnego

Wstęp

Przemysł chemiczny ma znaczący wpływ na rozwój cywilizacji, ale niestety stwarza również zagrożenie dla środowiska naturalnego m.in. ze względu na ścieki przemysłowe. Oczyszczanie ścieków przemysłowych stwarza problemy techniczne, technologiczne oraz ekonomiczne. Często źródłem utrudnień jest niejednorodny skład ścieków oraz dość znaczne stężenie zanieczyszczeń organicznych. Z powodu niskiej biodegradowalności zagrożenia mogą być poważne. Zróżnicowany skład i charakter odpadów, pochodzących nawet z zakładów o podobnej charakterystyce produkcji wymaga wielowymiarowego podejścia. W wielu przypadkach dla uzyskania wymaganych efektów oczyszczania konieczne jest łączenie kilku metod oczyszczania ścieków.

Metoda osadu czynnego jest obecnie dominującym sposobem oczyszczania ścieków komunalnych oraz przemysłowych. Można uważać ją za zintensyfikowaną postać procesu samooczyszczania się wód powierzchniowych w warunkach naturalnych. Polega ona na hodowli mikroorganizmów, które mają tendencję do flokulacji i tworzenia dużych, łatwo opadających agregatów w postaci kłaczkowatej (granulowanej) zawiesiny, zwanej osadem czynnym.

Ścieki podczas przepływu przez reaktory biologiczne są intensywnie mieszane i napowietrzane, co zapobiega opadaniu osadu i dostarcza tlen organizmom. Do mieszania oprócz mieszadeł mechanicznych można użyć sprężonego powietrza, które spełnia obie funkcje: przemieszcza masę ścieków oraz dostarcza potrzebny tlen. Takie warunki są optymalne dla rozwoju bakterii i pierwotniaków rozkładających zanieczyszczenia.

W czasie napowietrzania tworzą się kłaczki składające się w głównej mierze ze śluzu, zaadsorbowanych substancji rozpuszczonych i cząsteczek koloidalnych. Szybkość pobierania tlenu zależy od ilości biomasy w komorze napowietrzania i określana jest, jako *zdolność napowietrzania* wyrażana w $\text{kg O}_2/\text{m}^3\text{h}$. Niezmiernie ważne jest, aby tlen wprowadzony do ścieków oddziaływał na jak największą powierzchnię zewnętrzną i wewnętrzną kłaczka osadu czynnego. Uzyskuje się to po przez odpowiednią turbulencję oraz rozbitcie kłaczek osadu. Nieduży nadmiar stężenia tlenu ($1\div 4 \text{ mg O}_2/\text{l}$) zapewnia odpowiednie warunki tlenowe mikroorganizmom, które rozkładają zaadsorbowane mniejsze cząstki (monomery). Natomiast większe makrocząsteczki są wcześniej hydrolizowane przez enzymy wydzielane na zewnątrz komórek bakteryjnych [Anielak, 1998; Fryżlewicz-Kozak i Tal-Figiel, 2008; Fiałkowski i Pajdak-Stós, 2010; Fryżlewicz-Kozak i Drabik, 2011].

Celem niniejszej pracy była analiza wpływu długości procesu mieszania na morfologię osadu czynnego oraz możliwość wykorzystania w tym celu mikroskopu *Morphologi G3* firmy *Malvern Instruments Ltd*.

Badania doświadczalne

Materiały

Badania przeprowadzono na osadach czynnych pochodzących z przemysłowej oczyszczalni ścieków z okolic Krakowa.

Aparatura i metodyka

Analizowano wpływ długości procesu mieszania na morfologię osadu czynnego. W celu wykonania analizy obrazu należy wykonać odpowiednią liczbę zdjęć. Z literatury wynika, że zalecane liczby wahają się od 10 obrazów, co odpowiada około 150 obiektom [Grijnspeerd i Verstraete, 1997] do 70 obiektów [Motta i in., 2001]. Wykonanie analizy na podstawie takiej liczby zdjęć jest wystarczające do uzyskania statystycznie odpowiednich wyników.

W pracy wykorzystano aparat *Morphologi G3*, co umożliwiło otrzymanie znacznie większej ilości materiału do analizy. Działa on automatycznie – skanuje zaznaczony obraz próbki oraz tworzy jej cyfrowy

obraz. Zdjęcie każdej cząstki zostaje zapisane, co zapewnia wizualną weryfikację analizowanych danych.

Oprogramowanie analizujące umożliwiło zmierzenie oraz obliczenie wybranych własności każdej cząstki. Zakładka *Scattegram* pozwoliła na proste sklasyfikowanie różnych rodzajów cząstek w zależności od ich charakterystyk kształtu, a zakładka *Comparison* pozwoliła na prostą ocenę różnic wielkości cząstek z poszczególnych próbek. Uzyskane raporty zawierały rozkłady częstotliwości i histogramy.

Parametry morfologiczne kłaczek osadu czynnego można podzielić na dwie grupy [Fryżlewicz-Kozak i Tal-Figiel, 2008; Motta i in., 2001; *Morphologi G3*, 2010]:

- parametry reprezentujące wielkość kłaczek: powierzchnia, średnica, obwód;
- parametry kształtu: kolistość RD, wypukłość, kolistość HCF, wydłużenia EF, czy tzw. zwartość.

Kolistość kłaczek RD (*Roundness*) wskazuje na regularność ich kształtu i jego podobieństwo do koła [Fryżlewicz-Kozak i Tal-Figiel, 2008]:

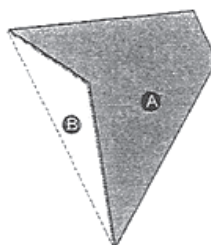
$$RD = \frac{4A}{\pi L_{ok}^2} \quad (1)$$

gdzie:

L_{ok} – długość najdłuższej osi kłaczka, [m]

A – powierzchnia kłaczka, [m²]

Im kolistość jest mniejsza od 1 tym kształt kłaczka jest mniej regularny i bardziej odbiega od koła.



Rys. 1. Przykładowy kształt z zaznaczonymi obwodami A i B stosowanymi do obliczania wypukłości wg równ. (2)

Wypukłość jest to stosunek obwodu wypukłego do obwodu zwykłego (Rys. 1) i mówi o gładkości linii brzegowej. Im wypukłość jest mniejsza od 1 tym więcej nierówności mają krawędzie kłaczka. Wyrażana jest wzorem [Malvern Inst., 2008]:

$$\text{Wypukłość} = \frac{\text{Obwód}(A+B)}{\text{Obwód}(A)} \quad (2)$$

Wysoko wrażliwa kolistość HSC (*High Sensitivity Circularity*) opisuje dokładniej odchylenie kłaczka od obiektu kulistego niż wielkość RD. Parametr ten wykazuje bardzo subtelne zmiany zależności pole-obwód [Malvern Inst., 2008]:

$$HSC = \frac{4\pi A}{O^2} \quad (3)$$

gdzie:

O – obwód kłaczka, [m]

A – powierzchnia kłaczka, [m²]

Dla doskonale kulistej granulki HSC wynosi 1, zaś dla granulki o kształcie pręta 0.

Wydłużenie kłaczka EF (*Elongation Factor*) to stosunek najdłuższego wymiaru do szerokości [Fryżlewicz-Kozak i Tal-Figiel, 2008]:

$$EF = \frac{L_{ok}}{B} \quad (4)$$

gdzie:

B – szerokość kłaczka, [m]

Kształt symetryczny we wszystkich kierunkach jaki mają koło, czy kwadrat, ma wydłużenie 0; kształty typu igły będą mieć wydłużenie zbliżone do 1. Parametr ten nie zależy od chropowatości powierzchni, gładka elipsa ma podobne wydłużenie jak spiczasta elipsa [Morphologi G3, 2010].

Zwartość zdefiniowana jest jako stosunek powierzchni wypukłej do wkłęsłej [Malvern Inst., 2008]:

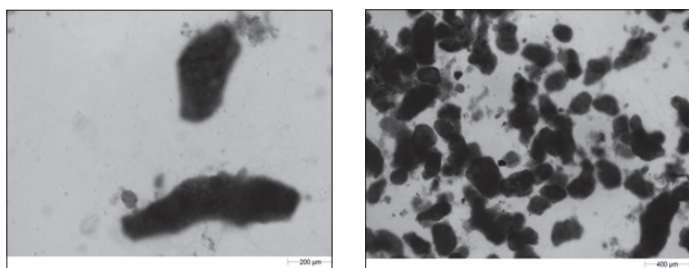
$$Zwartość = \frac{A+B}{A} \quad (5)$$

Im wartość bliższa 1 tym kłaczek mocniejszy i odporniejszy na oddziaływanie zewnętrzne.

Poszczególne parametry morfologiczne kłaczek są ze sobą powiązane w różnym stopniu. Do określenia tych liniowych zależności używany jest współczynnik korelacji *Pearsona* (r_p). Wartość współczynnika mieści się w zakresie od -1 do +1, gdzie -1 odpowiada doskonale negatywnej korelacji, a +1 doskonale pozytywnej korelacji, zaś 0 wskazuje na brak powiązania między poszczególnymi parametrami morfologicznymi [Kocwa-Haluch i Woźniakiewicz, 2011].

Wyniki badań i ich analiza

Przykładowe zdjęcia osadu biologicznego po 1,5-godzinym i 3,5-godzinnym napowietrzaniu przedstawiono na rys. 2. Tlenowe granule charakteryzują się: regularnym, gładkim oraz prawie okrągłym kształtem, dobrą zdolnością do sedimentacji, brakiem pęcznienia, gęstą i trwałą strukturą mikroorganizmów, wysoką retencją biomasy, tolerancją na zmienne i wysokie ładunki zanieczyszczeń organicznych, odpornością na substancje toksyczne.



Rys. 2. Przykładowe zdjęcie osadu czynnego po 1,5 h napowietrzania (po lewej) oraz po 3,5 h napowietrzania (po prawej)

Taki osad pozwala na efektywniejsze usuwanie ze ścieków związków azotu w procesach nityfikacji i denityfikacji oraz usuwanie związków fosforu [Coelho *in.*, 2006].

Po 1,5-godzinnym napowietrzaniu zaobserwowano mniej granulek o większym rozmiarze niż po 3,5-godzinnym napowietrzaniu. Świadczy to o mniejszej dostępnej powierzchni adsorpcyjnej dla związków, którymi odżywiają się bakterie. Dodatkowo ich brzegi charakteryzują się mniejszą regularnością. W drugim przypadku kształt granulek jest bardziej zbliżony do owalnego, dzięki czemu lepiej upakowują się na dnie zbiornika, usprawniając proces sedimentacji, skracając również jego czas. Ich częstotliwość występowania jest wyższa niż w przypadku pierwszym, co także korzystnie wpływa na proces oczyszczania ścieków.

Jednak zauważono, że dłuższe niż 3,5-godzinne napowietrzanie powoduje tak duże rozdrobnienie kłaczek, że przyjmują one strukturę mogącą zakłócić proces oczyszczania, poprzez zwiększenie mętności ścieków oczyszczonych. Czas opadania takich kłaczek na dno zbiornika może być zbyt długi i zostaną one przepompowane wraz ze ściekami oczyszczonymi. Ponadto w tym przypadku częstotliwość występowania kłaczek w jednostce objętości ścieków jest o wiele mniejsza niż w przypadku z 1,5-godzinnym napowietrzaniem, co ogranicza efektywność usuwania związków organicznych.

W osadzie po 1,5-godzinnym napowietrzaniu występują granulki średnie osiągające wielkość 400 μm . W tym osadzie dominują kłaczkami o kolistości 0,333. Im niższa wartość elongacji tym kłaczkami są bardziej okrągłe. Około 0,25% kłaczek przyjmuje wartość wydłużenia równą 0,4, zaś około 0,6% kłaczek osiąga elongację równą 0,7÷0,8. W osadzie po 1,5-godzinnym napowietrzaniu dominują kłaczkami o dość zwartej i mocnej strukturze, a więc odporne na zewnętrzne oddziaływanie. Około 0,7% kłaczek osiąga zwartość wynoszącą ok. 0,94. Kłaczkami omawianego osadu odznaczają się również dość dobrym współczynnikiem wypukłości, którego wartość sięga 0,98.

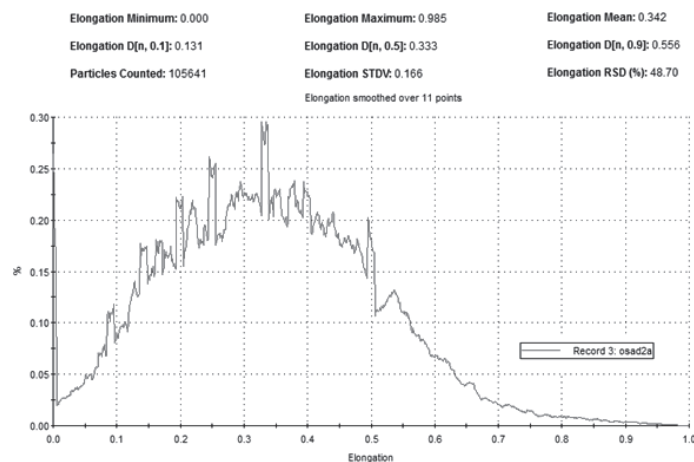
Kłaczkami po 3,5-godzinnym napowietrzaniu osiągają mniejsze rozmiary. Kolistość kłaczek omawianego osadu jest większa niż osadu

po 1,5-godzinnym napowietrzaniu i w najlepszym przypadku wynosi około 0,53.

Blisko 0,30% kłaczek przyjmuje wartość wydłużenia 0,333, natomiast o wiele więcej jest kłaczek o wydłużeniu 0 niż w przypadku osadu z 1,5 godzinnym napowietrzaniem.

Zwartość kłaczek rozpatrywanego osadu jest porównywalna jak we wcześniejszym przypadku.

Współczynnik wypukłości jest dość wysoki w dłużej napowietrzonym osadzie i wartość 0,99 osiągnięta jest przez 1,2% wszystkich kłaczek. Przykładowy wykres otrzymany w programie *Morphologi G3* przedstawiający rozkład ilościowy kłaczek według ich wydłużenia po 3,5-godzinnym napowietrzaniu pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Rozkład ilościowy kłaczek według ich wydłużenia, po 3,5-godzinnym napowietrzaniu

Podsumowanie

Za pomocą wybranych parametrów kształtu zbadano zmiany zachodzące w strukturze i morfologii kłaczek podczas napowietrzania osadu biologicznego.

Ich interpretacja pozwoliła na dobór odpowiednich warunków m.in. mieszania (napowietrzania), które poprawiają strukturę kłaczek wpływającą na ich zdolność do sedimentacji.

W systemie kontroli monitoringu oczyszczalni ścieków analiza obrazu znajduje coraz większe zastosowanie.

LITERATURA

- Anielak A.M., 1998. *Chemiczne i fizyko-chemiczne oczyszczanie ścieków*. Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin
- Coelho M., Leite S., Perez Y., 2006. Activated sludge morphology characterization through an image analysis procedure. *Brazilian J. Chem. Eng.*, **23**, 3, 319-330
- Fiałkowski E., Pajdak-Stós A., 2010. *Osad czynny, biologia i analiza mikroskopowa*. Wyd. Seidel-Przywecki, Piaseczno
- Fryźlewicz-Kozak B., Drabik K., 2011. Analiza komputerowa struktury nadzwyczajnie kłaczek osadów biologicznych *Inż. Ap. Chem.*, **50**, nr 5, 28-29
- Fryźlewicz-Kozak B., Tal-Figiel B., 2008. Theoretical and experimental analysis of floc structure of an activated sludge under sonication, *Chem. Proc. Eng.*, **29**, 87-98
- Grijpsperdt K., Verstraete W., 1997. Image analysis to estimate the settleability and concentration of activated sludge *Water Res.*, **31**, 5, 1126-1134. DOI: 10.1016/S0043-1354(96)00350-8
- Kocwa-Haluch R., Woźniakiewicz T., 2011. Analiza mikroskopowa osadu czynnego i jej rola w kontroli procesu technologicznego oczyszczania ścieków. *Czasopismo Techniczne. Środowisko*, **108**, nr 2-Ś, 141-162
- Malvern Inst., 2008. *Guidance for sample preparation and analysis of small particles suspension on the Morphologi G3, technical note*. Malvern Instruments Ltd
- Morphologi G3, 2010. *User manual, Mano410*, Issue 3.0
- Motta M. da, Pons MN., Roche N., Vivier H., 2001. Characterisation of activated sludge by automated image analysis *Biochem. Eng.*, **9**, 165-173. DOI: 10.1016/S1369-703X(01)00138-3