

Beata BIEN

Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

Badania charakterystyk reologicznych i odwadniania chemicznie preparowanych osadów ściekowych

Przedstawiono wyniki badań wpływu polimerycznego kondycjonowania osadów ściekowych na ich charakterystyki reologiczne, stopień odwodnienia w procesach: filtracji próżniowej i odwirowania oraz strukturę. Do badań eksperymentalnych użyto osadów prefermentowanych z komunalnej oczyszczalni ścieków. Osady kondycjonowano kationowymi polielektrolitami o różnej sile działania, dostępnymi na rynku krajowym: Praestol 644BC (słabo kationowy), Praestol 650BC (średnio kationowy) oraz Praestol 624BC (silnie kationowy). Dawki polielektrolitów dobrano na podstawie przeprowadzonego testu CSK. Badania wykazały, że otrzymane dla kondycjonowanych osadów krzywe płynięcia nie pokrywały się, dając pętlę histerezy, przy czym wyższe wartości naprężeń ścinających uzyskiwano dla rosnących gradientów prędkości (zakres $0\div 100\text{ s}^{-1}$). Na podstawie uzyskanych pętli histerezy wyliczono wskaźniki tiksotropii badanych osadów. Z analizy wartości wskaźników tiksotropii wynika, że osady kondycjonowane polielektrolitami mają mniej stabilną strukturę niż osady niepreparowane. W osadach preparowanych chemicznie zachodzą większe zmiany w ich strukturze, tworzą się kłaczkę, które pod wpływem przyłożonej siły ulegają rozbięciu. Równocześnie z badaniami reologicznymi prowadzono badania dotyczące stopnia odwadniania osadów. Najniższe wartości uwodnienia końcowego odnotowano podczas procesu filtracji próżniowej dla osadów kondycjonowanych polielektrolitem Praestol 624BC.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, kondycjonowanie, polielektrolity, struktura, charakterystyki reologiczne

Wprowadzenie

Ilość osadów ściekowych wytworzonych w oczyszczalniach komunalnych według danych GUS w 2009 r. wyniosła 563,1 tys. Mg s.m. Średnio ilość ta rokrocznie zwiększa się o około 30 tys. Mg s.m. [1]. W Krajowym Programie Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) prognozowana na 2015 r. ilość suchej masy komunalnych osadów ściekowych osiągnie poziom 662 tys. Mg s.m./rok [2]. Zgodnie z zapisami Krajowego Planu Gospodarki Odpadami (KPGO) zakłada się, że w perspektywie do 2018 r. podstawowe cele w gospodarce komunalnymi osadami ściekowymi będą realizowane poprzez [3]:

- całkowite ograniczenie składowania osadów ściekowych,
- zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych przetwarzanych przed wprowadzeniem do środowiska oraz osadów przekształcanych metodami termicznymi,

- maksymalizację stopnia wykorzystania substancji biogenych zawartych w osadach przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów dotyczących bezpieczeństwa sanitarnego i chemicznego.

Planowane scenariusze zagospodarowania osadów wymagają odpowiedniej obróbki wstępnej osadów, a zwłaszcza ich odwodnienia lub suszenia. Szeroko prowadzone badania nad procesem odwadniania wykazały, że istotny wpływ na przebieg procesu i efekt końcowy ma wiele czynników. Należą do nich przede wszystkim [4-6]: zawartość substancji stałych, uwodnienie początkowe, jakość osadów, wstępne przygotowanie osadów oraz opór właściwy.

Proces przygotowania osadów do odwadniania określa się mianem kondycjonowania. Osady można kondycjonować związkami żelaza, glinu, wapnia, choć obecnie w praktyce preferowane są głównie związki organiczne (polielektrolity) [7, 8]. Związki te muszą być rozpuszczalne w wodzie. Ich ciężar cząsteczkowy jest wysoki (ponad milion g/mol), a długość cząsteczki na tyle duża, aby polimer mógł jednocześnie ulegać sorpcji na kilku ziarnach ciała stałego. Powstałe ciężkie i porowate agregaty, zwane flokułami, podlegają siłom grawitacji i zaczynają opadać, a prędkość ich sedymentacji opisuje prawo Stokesa. Opadające flokuły tworzą porowaty osad o dużej objętości.

Kiedy osady są przedmiotem flokulacji z użyciem polielektrolitów, cząstki o mniejszym rozmiarze mogą być aglomerowane, tworząc większe flokuły przy jednoczesnym neutralizowaniu ładunku powierzchniowego. Mieszanie roztworu jest powszechnie wykorzystywane jako element wspomagający flokulację, ale może prowadzić do rozbijania flokuł i jeżeli nadmiarowa ilość flokulantu pozostanie w wystarczającej ilości w roztworze, reflokulacja może wystąpić, prowadząc do powstania silnych i odpornych flokuł. Tak spreparowane osady są mechanicznie odwadniane. Optymalna dawka polielektrolitów jest dawką pozwalającą uzyskać najlepszą zdolność do osiadania i/lub najmniejszy opór w mechanicznym odwadnianiu. Różne charakterystyki aglomeratów są wymagane dla różnych procesów, np.: najlepsze flokuły podlegające sedymentacji powinny być dużych rozmiarów i wykazywać silne i skupione wnętrze. Z drugiej strony flokuły pozwalające uzyskać najmniejszy opór filtracji powinny charakteryzować się wysoką porowatością i wykazywać silne, ale otwarte wnętrze.

Badania reologiczne opierają się na pracach eksperymentalnych, określających charakterystykę płynięcia oraz zależność między naprężeniem stycznym a prędkością ścinania. Wykorzystanie badań reologicznych daje możliwość określenia trwałości struktury oraz zobrazowania zmian zachodzących w osadach poddanych kondycjonowaniu z zastosowaniem polielektrolitów.

Celem pracy było określenie wpływu wybranych dawek polielektrolitów: Praestol 644BC, Praestol 650BC oraz Praestol 624BC na zmiany parametrów reologicznych przefermentowanych osadów ściekowych (OP). Zakres badań obejmował:

- kondycjonowanie przefermentowanych osadów polielektrolitami: Praestol 644BC, Praestol 650BC oraz Praestol 624BC,

- oznaczanie czasu ssania kapilarnego (CSK),
- analizę zmian uwodnienia końcowego po procesach filtracji próżniowej i wirowania,
- obserwację struktury badanych osadów ściekowych,
- określenie zmian parametrów reologicznych kondycjonowanych osadów ściekowych.

1. Metodyka badań

1.1. Materiały badań

Do badań wykorzystano osady pochodzące z komunalnej oczyszczalni ścieków (o średnim dobowym przepływie ścieków 25 000 m³/d). Oczyszczalnia pracuje w układzie trójfazowego biologicznego oczyszczania ścieków, obejmującym biologiczną defosfatację, denitryfikację i nitryfikację. Oczyszczanie ścieków według układu trójfazowego zapewnia wysoki stopień redukcji zanieczyszczeń rzędu 82÷97%. Analizie poddano osady ściekowe po procesie stabilizacji w zamkniętych komorach fermentacyjnych.

1.2. Przebieg badań

W badaniach do kondycjonowania osadów ściekowych wykorzystano polielektrolity o charakterze kationowym o różnej mocy działania. Zastosowano dostępne autorce polielektrolity, takie jak: Praestol 644BC (słabo kationowy), Praestol 650BC (średnio kationowy) oraz Praestol 624BC (silnie kationowy). Polielektrolity stosowano w postaci rozcieńczonego roztworu 0,1%. W celu sporządzenia roztworu dokładnie mieszano go z wodą. Po upływie 120 min mieszania roztwór był dojrzały i gotowy do użytku.

Metodykę badań własności reologicznych zastosowaną do osadów komunalnych oraz sposób interpretacji otrzymanych wyników opracowano zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami. Badania reologiczne przeprowadzono metodą bezpośredniego określenia zależności między prędkością ścinania dv/dr a odpowiadającym im naprężeniem stycznym. Badania reologiczne wykonano za pomocą reometru RC 20. Reometr RC 20 pracował w połączeniu z komputerem wyposażonym w program RHEO 2000. Oceny badanych układów dokonano w przedziale zmian prędkości deformacji: $0÷100\text{ s}^{-1}$ w czasie 228 s oraz $100÷1\text{ s}^{-1}$ w czasie 114 s w temperaturze 20°C. W badaniach stosowano reometr, którego konstrukcja umożliwia wytworzenie jednorodnego pola. Zdolność osadów do oddawania wody mierzono za pomocą parametru CSK, stosując urządzenie wykonane w Instytucie Inżynierii Środowiska. Do obserwacji struktury badanych osadów wykorzystano system analizy obrazu (Quick Photo Camera) i aparat cyfrowy Olympus WZ 7070 zintegrowany z mikroskopem optycznym Olympus BX51. Zdjęcia struktury wykonano w powiększeniu 10:1.

2. Wyniki badań i dyskusja

Charakterystykę fizykochemiczną badanych osadów podano w tabeli 1.

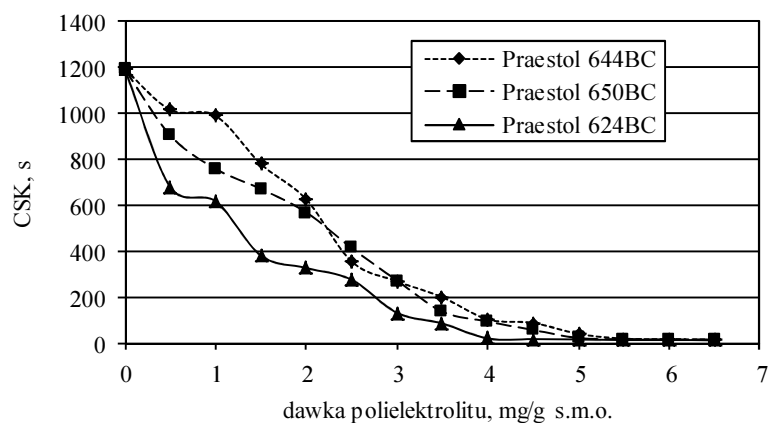
Tabela 1

Fizykochemiczna charakterystyka osadów ściekowych

Oznaczenie	Jednostka	Osad przefermentowany
barwa	-	brunatnoszara
zapach	-	roślinno-ziemisty
pH	-	7,9
sucha pozostałość	%	3,2
uwodnienie początkowe	%	96,8
zawartość substancji mineralnych	%	37,1
zawartość substancji organicznych	%	62,9
CSK	s	1192,0

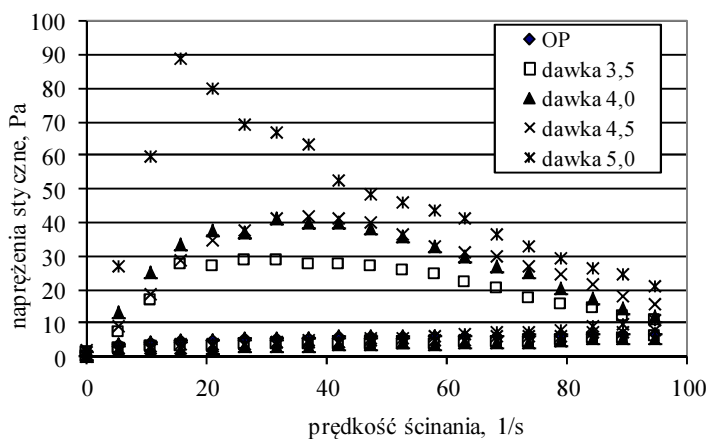
Wykorzystując wyniki testu CSK, stwierdzono, że preparowanie badanych osadów wybranymi polielektrolitami poprawiło ich zdolność do oddawania wody. Z rysunku 1 wynika, że czas ssania kapilarnego osadów przefermentowanych zmniejsza się wraz ze wzrostem dawki stosowanego polielektrolitu. Spadek ten utrzymuje się w całym przedziale dawkowania dla kolejnych polielektrolitów: Praestol 644BC, Praestol 650BC oraz Praestol 624BC. Najkorzystniejszy rezultat otrzymano w przypadku stosowania polielektrolitu Praestol 624BC, gdyż uzyskana wartość CSK była najniższa (dla dawki 5,0 mg/g s.m.o. wynosiła 14 s). Na podstawie wykreślonych krzywych (rys. 1) wybrano do dalszych badań następujące dawki polielektrolitów, mieszczące się w zakresie dawek optymalnych:

- Praestol 644BC - dawki: 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 mg/g s.m.o.,
- Praestol 650BC - dawki: 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 mg/g s.m.o.,
- Praestol 624BC - dawki: 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 mg/g s.m.o.

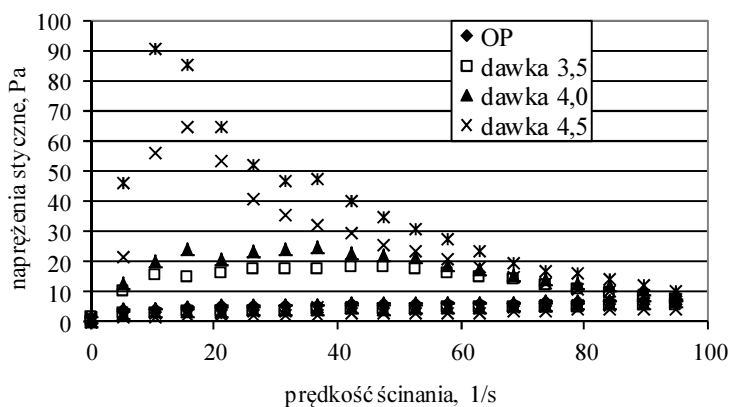


Rys. 1. Wykres zależności dawki polielektrolitów od CSK dla osadów przefermentowanych OP

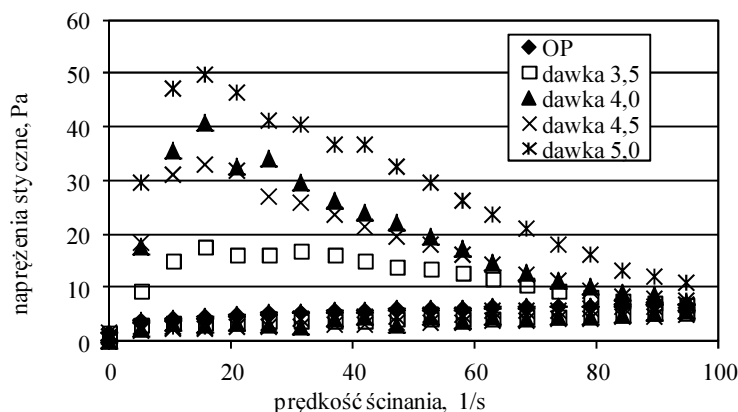
Właściwości reologiczne przefermentowanych osadów określono na podstawie krzywych płynięcia wyznaczonych doświadczalnie. W pomiarach wyznaczono wartości prędkości deformacji i odpowiadające im naprężenia ścinające. W wyniku pomiarów otrzymano zbiory punktów wyznaczających krzywe płynięcia, które nie pokrywały się, dając pętlę histerezy (rys. 2-4), przy czym wyższe wartości naprężeń ścinających uzyskiwano dla rosnących gradientów prędkości (zakres $0 \div 100 \text{ s}^{-1}$). Analizując reogramy dla osadów przefermentowanych preparowanych polielektrolitami Praestol 644BC i 650BC (rys. 2 i 3), można stwierdzić, że powstała struktura osadów dla dawek 4,5 i 5,0 mg/g s.m.o. w zakresie małych prędkości ścinania ($0 \div 15 \text{ s}^{-1}$) osiąga wysokie wartości naprężeń stycznych, które gwałtownie spadają przy zwiększającej się prędkości ($15 \div 100 \text{ s}^{-1}$). Świadczyć to może o tym, że struktura jest słaba i szybko ulega rozbiciu. Natomiast osady preparowane Praestolem 624BC wykazały bardziej łagodny przebieg krzywych reologicznych, co wskazuje na to, że uzyskane flokuły są silniejsze (rys. 4).



Rys. 2. Wpływ dawki polielektrolitu Praestol 644BC na krzywe reologiczne OP

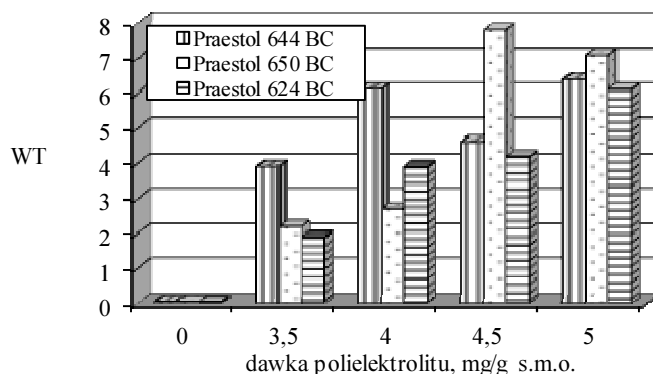


Rys. 3. Wpływ dawki polielektrolitu Praestol 650BC na krzywe reologiczne OP



Rys. 4. Wpływ dawki polielektrolitu Praestol 624BC na krzywe reologiczne OP

Na podstawie uzyskanych pętli histerezy wyliczono wskaźniki tiksotropii osadów, a następnie sporządzono wykresy zależności wskaźników tiksotropii od dawki (rys. 5).

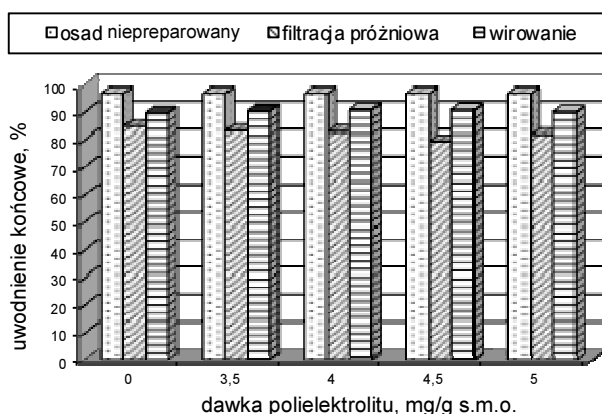


Rys. 5. Wpływ dawki polielektrolitu na wskaźnik tiksotropii OP

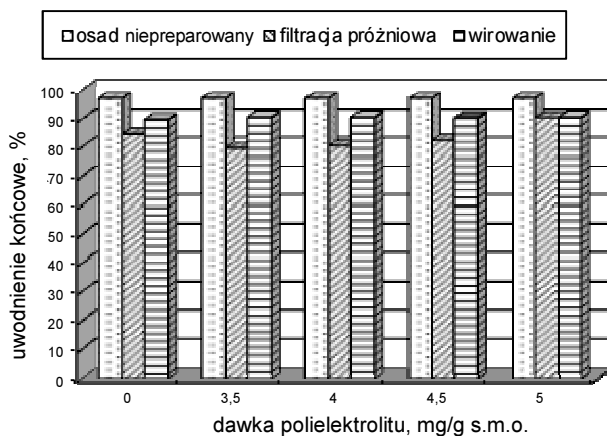
Wskaźniki tiksotropii dla osadów przefermentowanych preparowanych wybranymi polielektrolitami mieszczą się w zakresach (rys. 5):

- Praestol 644BC: 3,9÷6,4;
- Praestol 650BC: 2,2÷7,8;
- Praestol 624BC: 1,9÷6,1.

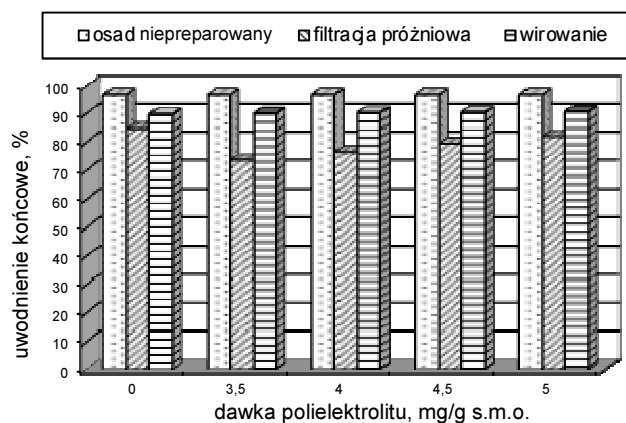
Dla osadów kondycjonowanych polielektrolitami uzyskano wyższe wartości wskaźnika tiksotropii niż dla osadów niepreparowanych. Z analizy wartości wskaźników tiksotropii wynika, że osady kondycjonowane polielektrolitami mają mniej stabilną strukturę niż osady niepreparowane. W osadach preparowanych chemicznie zachodzą większe zmiany w ich strukturze, tworzą się kłaczkę, które pod wpływem przyłożonej siły ulegają rozbiciu. Równocześnie z badaniami reologicznymi prowadzono badania dotyczące stopnia odwadniania osadów. Badania te określały stopień odwodnienia kondycjonowanych osadów po procesie odwirowywania oraz uwodnienia końcowego po procesie filtracji próżniowej (rys. 6-8).



Rys. 6. Skuteczność odwadniania OP preparowanych polielektrolitem Praestol 644BC

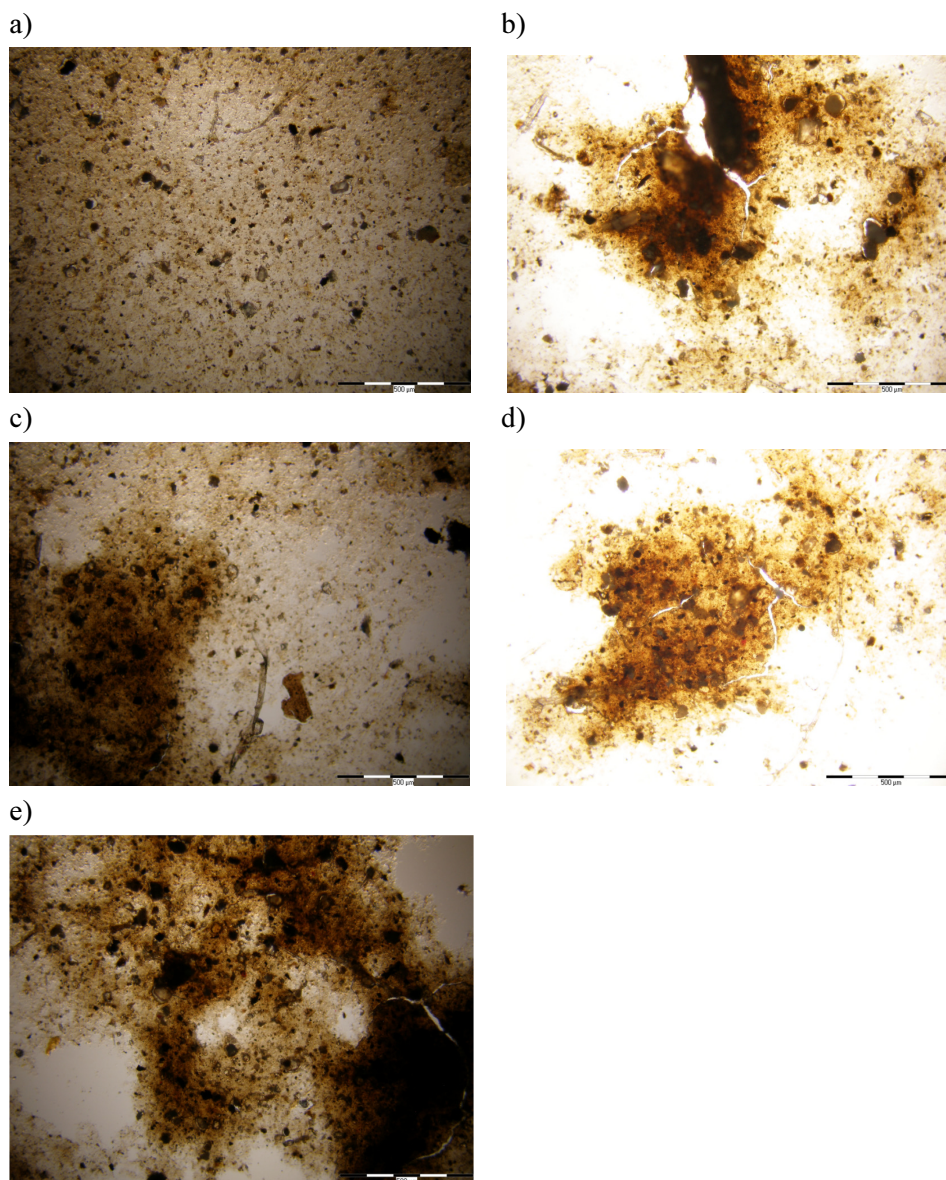


Rys. 7. Skuteczność odwadniania OP preparowanych polielektrolitem Praestol 650BC



Rys. 8. Skuteczność odwadniania OP preparowanych polielektrolitem Praestol 624BC

Z analizy wykresów na rysunkach 6-8 wynika, że najlepszą metodą odwadniania osadów kondycjonowanych wybranymi polielektrolitami jest filtracja próżniowa.



Rys. 9. Struktura osadów preparowanych polielektrolitem Praestol 624BC odpowiednio w dawkach: a) 0 mg/g s.m.o., b) 3,5 mg/g s.m.o., c) 4,0 mg/g s.m.o., d) 4,5 mg/g s.m.o., e) 5,0 mg/g s.m.o.

W przypadku tej metody zanotowano najniższe wartości uwodnienia końcowego. Ponadto wykonano także mikroskopowe zdjęcia struktury kondycjonowanych

osadów ściekowych (rys. 9). Pozwalają one na ocenę zmian zachodzących w strukturze osadów po ich kondycjonowaniu polielektrolitami. Obserwacje wykazują, że dawka polielektrolitów wpływa na zachodzące w osadach procesy. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem dawki polielektrolitu wzrasta wielkość sflokulowanych cząstek.

Wnioski

Uzyskane wyniki badawcze pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Właściwości reologiczne osadów umożliwiają określenie trwałości i odporności na ścinanie powstających sflokulowanych cząstek osadów w procesach polimericznego kondycjonowania.
2. Wartości parametrów reologicznych, zwłaszcza wskaźnika tiksotropii, zależą od rodzaju i dawki zastosowanego polielektrolitu. Preparowanie osadów przefermentowanych polielektrolitami w porównaniu do osadów niepreparowanych wywołuje wzrost wartości naprężeń stycznych wraz ze wzrostem dawki polielektrolitu.
3. Osady przefermentowane kondycjonowane polielektrolitami pochodzące z komunalnych oczyszczalni ścieków posiadają właściwości tiksotropowe, o czym świadczy uzyskana pętla histerezy w krzywych reologicznych.
4. Wysokie wartości wskaźnika tiksotropii świadczą o tym, że struktura osadów jest mało stabilna. Analiza wartości wskaźnika tiksotropii wykazała, że osady kondycjonowane polielektrolitami mają mniej stabilną strukturę niż osady niepreparowane.
5. Krzywe płynięcia pozwalają określić optymalne warunki mieszania osadów w różnych urządzeniach, np. komorach fermentacyjnych, jak również w procesach kondycjonowania, np. po dodaniu polielektrolitów tak, aby:
 - uzyskana struktura osadów była trwała,
 - uwodnienie osadów było niewielkie, ale nie zakłócało przepływu osadów przez rurociągi.

Literatura

- [1] Rocznik Statystyczny Ochrona Środowiska, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2010.
- [2] Aktualizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych - AKPOŚK 2009, Warszawa, luty 2010.
- [3] Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2010, załącznik do uchwały nr 233 Rady Ministrów z dnia 29 grudnia 2006 r.
- [4] Kowalczyk M., Kamizela T., Efektywność separacji fazy stałej z osadów ściekowych w procesie odwadniania przy dawkowaniu substancji chemicznych, Gospodarka odpadami komunalnymi, Tom VI, Wydawnictwo Feniks, Koszalin 2010, 301-308.
- [5] Bień J., Kowalczyk M., Kamizela T., Wpływ parametrów warstwy filtracyjnej oraz sposobu preparowania osadów ściekowych na efekty ich odwadniania, Gospodarka odpadami komunalnymi, Tom V, Wydawnictwo Feniks, Koszalin 2009, 129-138.

- [6] Bień J.B., Wolny L., Wolski P., Działanie ultradźwięków i polielektrolitów w procesie odwirowania osadów ściekowych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2001, 4, 1, 41-50.
- [7] Wolny L., Ultradźwiękowe wspomaganie procesu przygotowania osadów ściekowych do odwadniania, *Seria Monografie nr 104*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2005.
- [8] Bień B., Bień J.D., Soboniak E., Wpływ dawki polielektrolitu oraz czasu nadźwiękawiania na właściwości tiksotropowe osadów przemysłowych, *Mat. Konf. Environmental protection into the future*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007, 269-279.

Rheological Properties and Dewatering Characteristic of Sewage Sludge after Conditioning

The paper presents the investigation results of sludge conditioning influence on the rheological characteristics, the degree of dewatering process and sludge structure. Tests were conducted on sludge from municipal wastewater treatment plant after fermentation process. Investigated sludge was conditioned with cationic polyelectrolytes of different strength potential. Three polyelectrolytes were used: Praestol 644BC (weakly cationic), Praestol 650BC (average cationic) and Praestol 624BC (strongly cationic). The doses of polyelectrolytes were chosen based on CST tests. The results of research have shown, that the rheological curves do not coincide giving a hysteresis loop. Higher values of shear stress gradients were obtained for increasing velocity ($0 \div 100 \text{ s}^{-1}$). Based on the hysteresis loops the thixotropy indicators were calculated. An analysis of these indicators show that conditioned sludge has a less stable structure than sludge that is unprepared. The conditioned sludge shows also a major changes in the structure. The clumps are formed and then broken by applied force. Simultaneously to rheological studies the research on the degree of sludge dewatering was conducted. The lowest values of final dewatering were recorded during the vacuum filtration process for sludges which were prepared with Praestol 624BC.

Keywords: sewage sludge, conditioning, polyelectrolyte, structure, rheological parameters