



## **Wspomaganie końcowego zagęszczania i odwadniania osadów ściekowych**

*Paweł Wolski*  
*Politechnika Częstochowska*

### **1. Wprowadzenie**

Wprowadzanie nowych technologii, wpływających na poprawę procesów oczyszczania ścieków, wiąże się ze zwiększeniem ilości produkowanych osadów na oczyszczalniach ścieków. Unieszkodliwianie oraz przetwarzanie powstałych osadów powinno skutkować zneutralizowaniem oraz zmniejszeniem ich objętości tak, aby osady można było bezpiecznie zagospodarować bez narażania środowiska naturalnego (Feng i in. 2009, Spinosa & Wichaman 2004). Obowiązujące Rozporządzenie Ministra Środowiska dotyczące podziału oraz metod wykorzystania osadów reguluje wszystkie kwestie związane z prawidłową gospodarką osadową.

Najskuteczniejszą metodą zmniejszenia objętości osadów jest odwadnianie mechaniczne, poprzedzone zagęszczaniem (Piecuch 1980). Jest to ekonomiczny oraz szybki proces przeróbki osadów, który pozwala przygotować osady np. do termicznej obróbki – coraz bardziej popularnej metody ich unieszkodliwiania. W celu zwiększenia skuteczności odwadniania stosuje się różne metody kondycjonowania, zarówno fizyczne, jak i chemiczne (Chang i in. 2001, Chu i in. 2001, Feng 2009). Celem tych zabiegów jest zmiana właściwości osadów poprzez ingerencję w ich strukturę (Zawieja i in. 2010), powodujące zmiany ich zdolności filtracyjnej (Piecuch i in. 2013, Piecuch i in. 2013). Obecnie coraz częściej można spotkać się w literaturze, obok fizycznych i chemicznych metod kondycjonowania, z połączeniem wspomnianych metod tzw. kondycjonowanie hybrydowe (Gonze i in. 2003, Małkowski i in. 2011).

Do fizycznych metod kondycjonowania zaliczamy dezintegrację ultradźwiękową. Proces ten wymaga bardzo dokładnego doboru parametrów sonifikacji poprzez badania wstępne. Przy małej energii wejściowej ultradźwięków możliwe jest zwiększenie skłonności osadów do odwadniania mechanicznego, natomiast przekroczenie pewnego progu (zbyt duży czas propagacji falą UD, przekroczenie natężenia pola UD) może przyczynić się do odwrotnego efektu od zamierzonego (Zawieja i in. 2009, Zhang i in. 2008). Odpowiednie przygotowanie osadów do odwadniania zależy w największym stopniu od poznania ich parametrów początkowych.

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących zagęszczania i oceny parametrów charakteryzujących efektywność odwadniania osadów ściekowych kondycjonowanych polem ultradźwiękowym, polielektrolitami, jak również przy zastosowaniu połączenia metod fizyczno-chemicznych.

## **2. Część doświadczalna**

### **2.1. Materiał do badań**

Badaniu poddano osady przefermentowane pochodzące z oczyszczalni mechaniczno-biologicznej o przepustowości 44000 m<sup>3</sup>/d. Osady pobrano z rurociągu, który transportuje osad z wydzielonych komór fermentacyjnych (WKF) do otwartych komór fermentacyjnych (OKF). Do polimerycznego kondycjonowania osadów wykorzystano polielektrolity słabo kationowe Praestol 851 BC oraz Praestol 853 BC.

### **2.2. Metodyka**

Pierwsza metoda preparowania osadów polegała na zastosowaniu dwóch polielektrolitów (Praestol 851 BC oraz Praestol 853 BC), dla których dawki wyznaczono na podstawie pomiaru czasu ssania kapilarnego (CSK). Przyjęte dawki wynosiły odpowiedni: 4,5 mg/g s.m.o. (dawka obniżona), 5,0 mg/g s.m.o. (dawka najkorzystniejsza), 5,5 mg/g s.m.o. (dawka podwyższona). Drugi sposób kondycjonowania polegał na poddaniu osadów działaniu fali ultradźwiękowej w wybranych konfiguracjach nadźwiękawiania. Kondycjonowanie osadów ściekowych polem ultradźwiękowym przeprowadzono za pomocą procesora ultradźwiękowego firmy Sonics VCX 1500 o mocy 1500 W oraz częstotliwości

20 kHz. Długość fali przy maksymalnej wartości amplitudy 100% wynosiła 39,42  $\mu\text{m}$ , natomiast dla amplitudy 50% wartość długości fali wynosiła 21,4  $\mu\text{m}$ . Każdorazowo nadźwiękawiano 500 ml osadu. Proces nadźwiękawiania polegał na wyprodukowaniu i wprowadzeniu energii w postaci ultradźwięków do badanego ośrodka przez specjalną końcówkę urządzenia. Kondycjonowanie osadów polegało na zastosowaniu różnych czasów (15 i 30s) i długości fali pola UD. Trzeci sposób preparowania osadów polegał na połączeniu wstępnego kondycjonowania polem ultradźwiękowym, a następnie dodaniu polielektrolitu w dawce najkorzystniejszej.

Pomiar CSK wykonano za pomocą metody Baskerville'a i Galle'a (PN-EN14701-1). Zagęszczanie grawitacyjne osadów przeprowadzono w cylindrach laboratoryjnych o pojemności 1000  $\text{cm}^3$ . Odpowiednio przygotowane osady poddane różnym metodą kondycjonowania wlewano do cylindrów mierząc objętość osadów w odpowiednich przedziałach czasowych: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90 i 120 minut (PN-EN14701-2).

Opór właściwy osadów wyznaczono za pomocą aparatury do filtracji próżniowej, składającej się z leja Buchnera, kolby laboratoryjnej, cylindra pomiarowego, wakuometru i pompy próżniowej. Zasada pomiaru polegała na umieszczeniu w leju Buchnera bibuły filtracyjnej, a następnie wlewu badanego osadu o objętości 100  $\text{cm}^3$  i pomiarze objętości odsączonego filtratu przy podciśnieniu wynoszącym 0,05 MPa (PN-EN14702-2).

### 3. Wyniki badań i dyskusja

Przeprowadzone badania rozpoczęto od określenia wstępnych parametrów pobranych osadów: barwy, zapachu, pH, uwodnienia początkowego i końcowego, suchej masy, czasu ssania kapilarnego oraz oporu właściwego osadów. W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę fizykochemiczną niekondycjonowanych osadów przefermentowanych wykorzystanych do badań. W badaniach wykorzystano polielektrolity Praestol 851 BC oraz Praestol 853 BC. Najkorzystniejszą ich dawkę dobrano sporządzając roztwory o stężeniu 0,1%, które dodawano do osadów w ilościach określonych w metodyce badań. W kolejnym etapie wyznaczono czas ssania kapilarnego dla osadów wstępnie kondycjonowanych polem ultradźwiękowym oraz osadów wstępnie kondycjonowanych polem UD z dodaniem wybranego polielektrolitu. Wstępną dezintegrację ultradźwiękową wykonano w czterech konfiguracjach (tabeli 2).

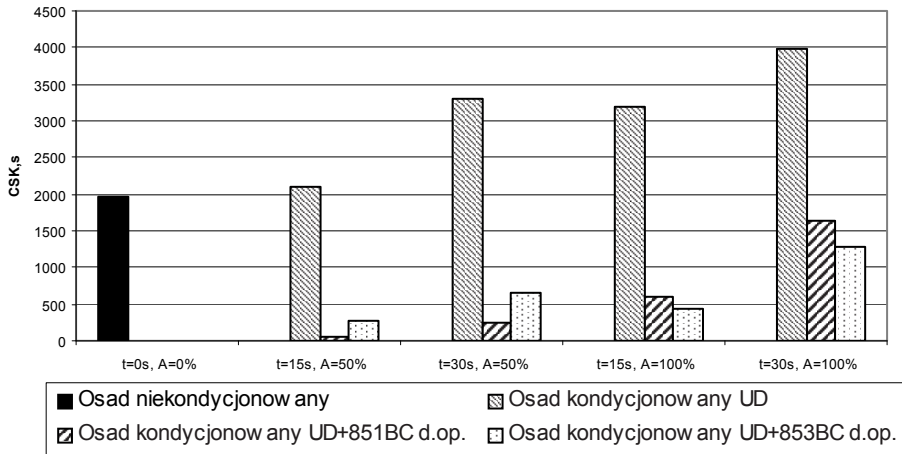
**Tabela 1.** Charakterystyka przefermentowanego osadu pobranego do badań  
**Table 1.** Characteristics of the digested sludge collected for testing

Osad niekondycjonowany			
Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1	Barwa	–	czarna
2	Zapach	–	fekalno-ziemisty
3	pH	–	8,15
4	Uwodnienie początkowe	%	97,21
5	Uwodnienie końcowe	%	95,27
6	Sucha masa osadu	g/dm <sup>3</sup>	27,8
7	Zawartość substancji mineralnych	g/dm <sup>3</sup>	9,5
8	Zawartość substancji organicznych	g/dm <sup>3</sup>	18,3
9	CSK	s	1975
10	Opór właściwy osadu	m/kg	3,59 · 10 <sup>14</sup>
11	Prędkość filtracji	cm <sup>3</sup> /s	0,03
12	Wydajność filtracji	kg/m <sup>2</sup> h	38,46

**Tabela 2.** Konfiguracje wstępnego kondycjonowania  
**Table 2.** Configurations of preconditioning

	1	2	3	4
Czas ekspozycji, s	15	30	15	30
Amplituda, %	50	50	100	100
Długość fali, μm	21,4	21,4	39,42	39,42
Wytworzona energia, kJ	2401	4723	3890	7706

Wstępna dezintegracja polem UD wpłynęła na zwiększenie czasu ssania kapilarnego w odniesieniu do CSK osadu niekondycjonowanego, którego wartość wynosiła 1975 sekund. Czas ssania kapilarnego osadów nadźwiękawianych przez 15 sekund przy długości fali 50% wyniósł 2088 s, natomiast dla amplitudy 100% i czasu ekspozycji 30 s wartość ta wyniosła 3979 s. Zaobserwowano, że im większą ilość energii wprowadzano do osadów, tym wartość CSK ulegała zwiększeniu, co wpływa niekorzystnie na parametry charakteryzujące efektywność odwadniania. Dodanie optymalnej dawki jednego z zastosowanych polielektrolitów Praestol 851 BC przyczyniło się do spadku wartości CSK do poziomu 51 s. W przypadku drugiego zastosowanego polielektrolitu zaobserwowano również zmniejszenie czasu ssania kapilarnego osadu do 269 s (rys. 1).

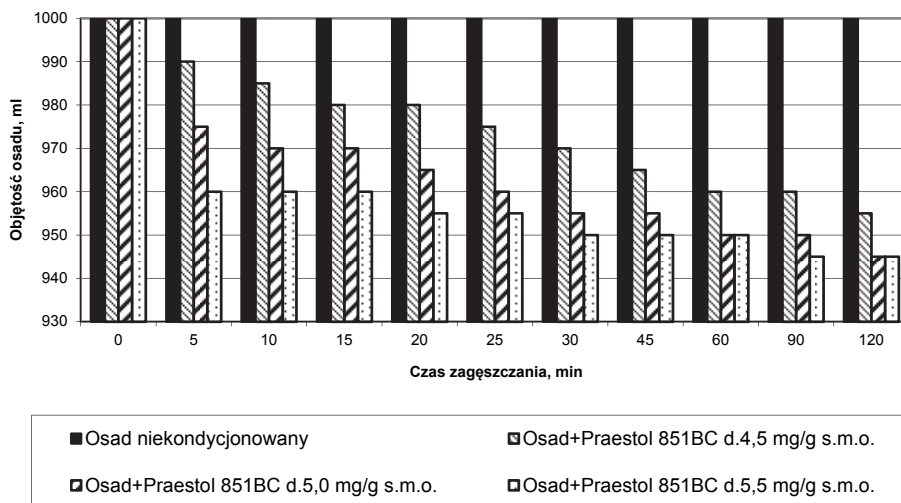


**Rys. 1.** Czas ssania kapilarnego osadów poddanych dezintegracji ultradźwiękowej oraz polielektrolitami w dawce optymalnej

**Fig. 1.** The capillary suction time of sludge subjected to ultrasonic disintegration, and the optimum dose of polyelectrolytes

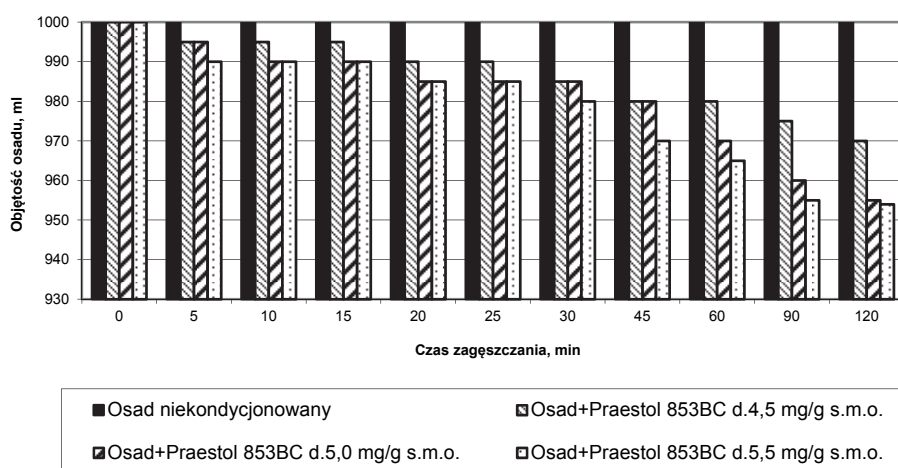
Poddając zagęszczaniu grawitacyjnemu osady niekondycjonowane, nie zaobserwowano zmian ich objętości. Po 120 min. zagęszczania, objętość wynosiła  $1000 \text{ cm}^3$ . Dodanie flokulantu Praestol 851 BC do osadów znacznie poprawiło proces zagęszczania (rys. 2). Dawka najkorzystniejsza, która została dodana do badanej próbki pozytywnie wpłynęła na proces zagęszczania, pozwalając na uzyskanie po 120 min sedimentacji objętości osadów na poziomie  $945 \text{ cm}^3$ . Pomiar wykonano również dla dawki obniżonej oraz podwyższonej, dla których objętości osadów również uległy obniżeniu po 120 min odpowiednio do  $955 \text{ cm}^3$  oraz  $945 \text{ cm}^3$ .

Przy zagęszczaniu grawitacyjnym z udziałem drugiego flokulantu Praestol 853 BC objętości osadów również uległa zmniejszeniu (rys. 3). Objętość zagęszczanych osadów kondycjonowanych dawką optymalną polielektrolitu po 120 min wyniosła  $955 \text{ cm}^3$ . Porównując wpływ pierwszego oraz drugiego polielektrolitu na zagęszczanie osadów, odnotowano lepszy rezultat w przypadku flokulantu Praestol 851 BC.



**Rys. 2.** Zagęszczanie osadów niepreparowanych oraz kondycjonowanych polielektrolitem Praestol 851BC

**Fig. 2.** The thickening of untreated sludge and conditioned by polyelectrolyte Praestol 851BC

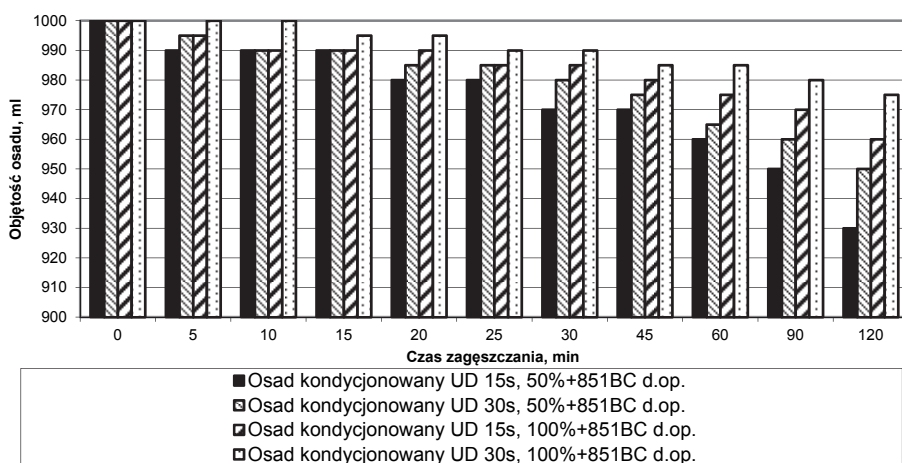


**Rys. 3.** Zagęszczanie osadów niepreparowanych oraz kondycjonowanych polielektrolitem Praestol 853BC

**Fig. 3.** The thickening of untreated sludge and conditioned by polyelectrolyte Praestol 853BC

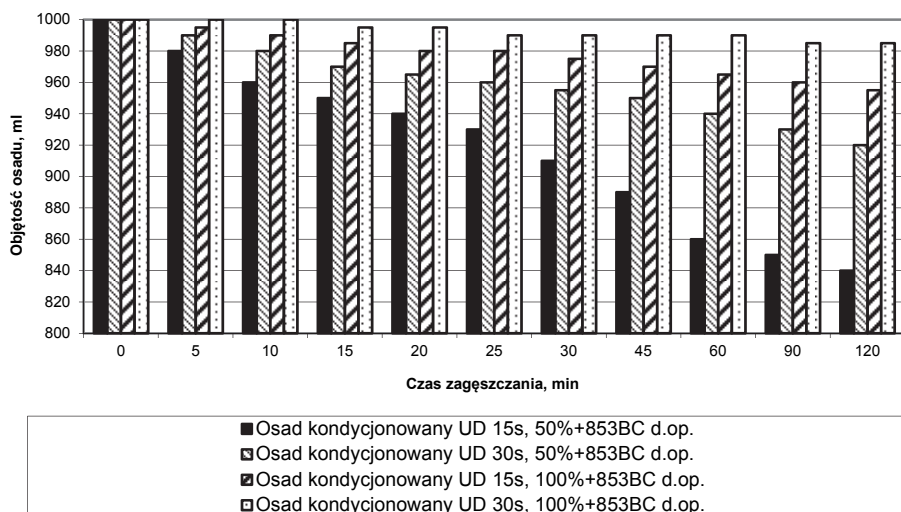
Objętość osadów poddanych wstępnemu kondycjonowaniu polem ultradźwiękowym po zagęszczaniu grawitacyjnym nie zmieniła się, z tego względu nie oznaczano tej wartości na wykresie. Na rysunku 4 przedstawiono zmiany objętości osadów poddanych kondycjonowaniu polem UD z dodatkiem polielektrolitu Praestol 851 BC w dawce najkorzystniejszej. Największą efektywnością zagęszczania wykazały się osady wstępnie preparowane polem UD w czasie 15 sekund, amplitudzie 50% z dodatkiem polielektrolitu Praestol 851 BC w dawce optymalnej. Najmniejszą efektywnością zagęszczania wykazały się osady nadźwiękawiane w czasie 30s, amplitudzie 100% z dodatkiem polielektrolitu Praestol 851 BC.

Zagęszczanie grawitacyjne przeprowadzono również dla osadów z dodatkiem polielektrolitu Praestol 853 BC w dawce optymalnej. Najmniejszą objętość osadów odnotowano po wstępnym kondycjonowaniu polem UD przez 15 s, amplitudzie 50% w obecności polielektrolitu Praestol 853 BC, otrzymując po 120 min wartość  $840 \text{ cm}^3$ , natomiast po czasie nadźwiękawiania 30s, amplitudzie 100% z wykorzystaniem polielektrolitu Praestol 853 BC w optymalnej dawce, objętość zagęszczanych osadów po 120 min spadła do  $985 \text{ cm}^3$ .



**Rys. 4.** Zagęszczanie osadów kondycjonowanych polem UD oraz polielektrolitem Praestol 851BC

**Fig. 4.** Sludge thickening conditioned by ultrasonic field and polyelectrolyte Praestol 851BC



**Rys. 5.** Zagęszczanie osadów kondycjonowanych polem UD oraz polielektrolitem Praestol 853BC

**Fig. 5.** Sludge thickening conditioned by ultrasonic field and polyelectrolyte Praestol 853BC

Opory filtracji zostały obliczone dla osadów niekondycjonowanych oraz kondycjonowanych polielektrolitami Praestol 851 BC oraz Praestol 853 BC w dawce obniżonej, optymalnej oraz podwyższonej (tabela 3, 4). Wartość oporu osadów niekondycjonowanych wynosiła  $3,59 \cdot 10^{14}$  m/kg, co świadczy o słabych zdolnościach filtracyjnych. W przypadku osadów kondycjonowanych polielektrolitami odnotowano również wysokie wartości oporów właściwych. W tabeli 5 przedstawiono wartości oporów dla osadów wstępnie kondycjonowanych polem ultradźwiękowym oraz kondycjonowanych polem UD z dodaniem wybranych polielektrolitów. Opór osadów wstępnie kondycjonowanych polem UD przez 15s i amplitudzie 50% wyniósł  $51,68 \cdot 10^{12}$  m/kg, natomiast w przypadku osadów nadźwiękowanych przez 30s i amplitudzie 100% wyniósł  $1229,98 \cdot 10^{12}$  m/kg. Największy spadek wartości oporu filtracji odnotowano po dodaniu do osadów wstępnie kondycjonowanych polem UD przez 30 s i amplitudzie 100% optymalnej dawki flokulantu Praestol 853 BC ( $4,7 \cdot 10^{12}$  m/kg).



**Tabela 3.** Opór właściwy osadów kondycjonowanych polielektrolitami  
**Table 3.** Resistivity of sludge conditioned with polyelectrolytes

Opór właściwy osadu $r \cdot 10^{12}$ , m/kg						
Dawka polielektrolitu, mg/g s.m.o.						
0	4,5		5,0		5,5	
Osad niekondycjonowany	Praestol 851 BC	Praestol 853 BC	Praestol 851 BC	Praestol 853 BC	Praestol 851 BC	Praestol 853 BC
359	13,2	27,6	12,5	24,3	12,4	17,4

**Tabela 4.** Opór właściwy osadów kondycjonowanych polem UD oraz polielektrolitami

**Table 4.** Resistivity of sludge conditioned by ultrasonic field and polyelectrolytes

	Opór właściwy osadu $r \cdot 10^{12}$ , m/kg			
	Czas i amplituda nadźwiękawiania			
	15s, 50%	30s, 50%	15s, 100%	30s, 100%
Osad kondycjonowany UD	51,6	44,5	592,5	1229,9
Osad kondycjonowany UD+851BC d.op.	20,5	12,7	9,6	24,2
Osad kondycjonowany UD+853BC d.op.	4,2	11,5	5,7	4,7

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Czas ssania kapilarnego osadów kondycjonowanych chemicznie polielektrolitami w porównaniu do CSK osadów niekondycjonowanych, znacząco zmalał. Zmniejszenie wartości CSK było porównywalne dla zastosowanych polielektrolitów, jednakże polielektrolit silnie kationowy wykazał skuteczniejsze działanie. W przypadku zastosowania energii pola ultradźwiękowego, osady poddane jej działaniu wykazały znaczny wzrost wartości CSK, proporcjonalny do ilości wytworzonej energii podczas nadźwiękawiania próbki osadu.

Zastosowanie metody łączonej w kondycjonowaniu osadów wpłynęło na kolejne zmiany w wartościach CSK. Największą wartość uzyskano dla osadów nadźwiękawianych przez 30s, przy amplitudzie 100% w przypadku obydwóch polielektrolitów. Najmniejsze wartości czasu ssania kapilarnego odnotowano wykorzystując czas ekspozycji 15 s i amplitudę 50%.

Osady niekondycjonowane trudno ulegały sedymentacji. Ich preparowanie polielektrolitami wpłynęło na poprawę procesu zagęszczania. W przypadku dwóch zastosowanych polielektrolitów odnotowano porównywalny efekt zagęszczania. Osady kondycjonowane polem ultradźwiękowym, dla przyjętych parametrów, trudno ulegały sonifikacji. Preparowanie polem UD oraz polielektrolitem Praestol 851 BC wpłynęło korzystnie na ich wartości w odniesieniu do preparowania osadów samym polielektrolitem, przy czasie ekspozycji 15 s i amplitudzie 50%. Ostatecznie najlepszy efekt zagęszczania zaobserwowano w przypadku działania polem UD (15s, amplituda 50%) oraz dodania flokulanta 853 BC.

Dodanie wybranych polielektrolitów do osadów znacznie obniżyło wartości oporu właściwego. Również zastosowanie dezintegracji ultradźwiękowej wpłynęło na zmianę wartości omawianego parametru. Dla czasu ekspozycji 15 i 30 s oraz amplitudy 50% stwierdzono obniżenie wartości oporu filtracji w porównaniu do osadu niekondycjonowanego, natomiast w przypadku zastosowania amplitudy 100% stwierdzono znaczny wzrost wartości oporu. Znaczne obniżenie wartości oporów uzyskano stosując połączone metody kondycjonowania. Połączenie działania pola UD o amplitudzie 50% przez 15 s z flokulantem Praestol 853 BC okazało się najefektywniejszą metodą obniżenia oporu filtracji oraz pozostałych badanych parametrów.

Analizując wyniki przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- 1) Kondycjonowanie osadów ściekowych metodą chemiczną, poprawiło parametry odwadnialności osadów tj. czas ssania kapilarnego i wartości oporów właściwych,
- 2) Kondycjonowanie fizyczne polem ultradźwiękowym zwiększyło wartości czasu ssania kapilarnego badanych osadów, proporcjonalnie do ilości wytworzonej energii podczas ich ekspozycji. Zastosowanie metody łączonej wpłynęło na obniżenie czasu ssania kapilarnego, jednakże w gorszym stopniu niż w przypadku wykorzystania wyłącznie polielektrolitów,
- 3) Zastosowanie polielektrolitów poprawiło proces zagęszczania grawitacyjnego osadów. Osady kondycjonowane metodą hybrydową wykazały największą zdolność do zagęszczania. Najlepsze efekty odnotowano dla osadów nadźwiękawianych przez 15 s i przy amplitudzie 50% w połączeniu z polielektrolitami,

- 4) Zastosowanie kondycjonowania wpłynęło na obniżenie wartości oporów właściwych. Najniższe wartości uzyskano stosując metodę łączoną w preparowaniu osadów (czas 15 s, amplituda 50%, polielektrolit Praestol 853 BC), uzyskując wartość końcową  $4,2 \cdot 10^{12}$  m/kg.

*Badania finansowane z BS – PB – 401/303/12*

## Literatura

- Chang, G.R., Liu, J.C., Lee, D.J. (2001). Co-conditioning and dewatering of chemical sludge and waste activated sludge. *Water Res.*, 35, 786-794.
- Chu, C.P., Chang, Bea-Ven, Liao, G.S., Jean, D.S., Lee, D.J. (2001). Observations on changes in ultrasonically treated waste activated sludge. *Water Res.*, 35, 1038-1046.
- Feng, X., Deng, J., Lei, H., Bai, T., Fan, Q., Li, Z. (2009). Dewaterability of waste activated sludge with ultrasound conditioning. *Bioresource Technology*, 100, 1074-1081.
- Feng, X., Lei, H.Y., Deng, J.C., Yu, Q., Li, H.L. (2009). Physical and chemical characteristics of waste activated sludge treated ultrasonically. *Chem. Eng. Process.*, 48, 187-194.
- Gonze, E., Pillot, S., Valette, E., Gonthier, Y., Bernis, A. (2003). Ultrasonic treatment of an aerobic activated sludge in a batch reactor. *Chem. Eng. and Process.*, 42, 965-975.
- Małkowski, M., Wolski, P., Wolny, L. (2011). Dewaterability of thermal conditioned sewage sludge after anaerobic stabilization. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 6, 109-115.
- Piecuch, T. (1980). *Podstawy sedymentacyjnej teorii procesu filtracji*. Nauki podstawowe, Zeszyty naukowe Politechniki Częstochowskiej, Nr 2.
- Piecuch, T., Piekarski, J., Malatyńska, G. (2013). The equation describing the filtration process with compressible sediment accumulation on a filter mesh. *Archives of Environmental Protection*, 39, 1, 93-104.
- Piecuch, T., Piekarski, J., Malatyńska, G. (2013). Filtration of mixtures forming compressible sediments. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, 15, 1, 39-58.
- PN-EN14701-1 – charakterystyka osadów ściekowych. Właściwości filtracyjne. Część I: czas ssania kapilarnego
- PN-EN14701-2 – charakterystyka osadów ściekowych. Właściwości sedymentacyjne. Część II: oznaczenie zdolności zagęszczania
- PN-EN14702-2 – charakterystyka osadów ściekowych. Właściwości filtracyjne. Część II: oznaczenie oporu właściwego filtracji

- Spinosa, L., Wichaman, K. (2004). Sludge characterization: the role of physical consistency. *Water Sci. Technol.*, 49, 10, 59-65.
- Wolski, P., Zawieja, I. (2012). Effect of ultrasound field on dewatering of sewage sludge. *Archives of Environmental Protection*, 38, 2, 25-31.
- Zawieja, I., Wolny, L., Wolski, P. (2010). Influence on the modification of food industry excess sludge structure on the effectiveness increase of the anaerobic stabilization process. *Polish Journal of Environmental Studies, Series of monographs*, 2, 261-267.
- Zawieja, I., Wolny, L., Wolski, P. (2009). Wpływ procesu hydrolizy ultradźwiękowej na generowanie lotnych kwasów tłuszczowych w procesie kwaśnej fermentacji osadów nadmiernych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 3, 12, 207-217.
- Zhang, G., Zhang, P., Yang, J., Liu, H. (2008). Energy-efficient sludge sonification: Power and sludge characteristics. *Bioresource Technology*, 99, 9029-9031.

## Support of the Final Thickening and Dewatering of Sludge

### Abstract

The article presents results of research on the use of cationic polyelectrolyte Praestol, ultrasonic disintegration, and a combination of these methods on the process of compaction as well as the capillary suction time and the resistivity of the sludge. The study used two wavelengths of the ultrasound field (39.42 microns and 21.4 microns) and exposure times of 15 and 30 s. For various combinations and connections established parameters of the conditioning process determined their impact on the thickening time of capillary suction (CST), and resistance values.

The assumed parameters of research was observed for all combinations of improving the conditioning of sludge thickening for nonprepared sludge. Also, for some methods of supporting observed to obtain results more efficiently characterize the donation of water.

### Streszczenie

Owadnianie to podstawowy proces zmniejszenia objętości osadów ściekowych. W celu zwiększenia zdolności osadów do oddawania wody stosuje się różne procesy wspomagające. Jedną z metod jest zastosowanie polielektrolitów, jak również działanie pola ultradźwiękowego przy odpowiednio dobranych parametrach sonifikacji. Kondycjonowanie osadów ściekowych zmienia strukturę oraz właściwości osadów, powodując zmiany w równowadze układu, co sprzyja zwiększeniu zdolności do zagęszczania i odwadniania.

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące zastosowania polielektrolitów kationowych Praestol, dezintegracji ultradźwiękowej oraz połączenia powyższych metod na przebieg procesu zagęszczania, jak również wartości czasu ssania kapilarnego i oporu właściwego osadów. W badaniach wykorzystano dwie długości fali pola ultradźwiękowego (39,42  $\mu\text{m}$  oraz 21,4  $\mu\text{m}$ ) oraz czasy ekspozycji 15 i 30 s. Dla różnych kombinacji i połączeń założonych parametrów procesu kondycjonowania określano ich wpływ na przebieg zagęszczania, czas ssania kapilarnego (CSK) oraz wartości oporów.

Przy założonych parametrach prowadzenia badań zaobserwowano dla wszystkich kombinacji kondycjonowania poprawę zagęszczania osadów ściekowych w odniesieniu do osadów niekondycjonowanych. Również dla niektórych metod wspomagania odnotowano uzyskanie wyników charakteryzujących lepszą efektywność oddawania wody.

**Słowa kluczowe:**

osady ściekowe, stabilizacja, chemiczne kondycjonowanie, nadźwiękawianie, odwadnianie

**Keywords:**

sewage sludge, stabilization, chemical conditioning, sonication, dehydration