

UKŁAD KOAGULANT – POLIELEKTROLIT W KONDYCYJONOWANIU PRZEFERMENTOWANYCH I NADŹWIĘKAWIANYCH OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Beata Bień¹, Jurand D. Bień¹

¹ Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Politechnika Częstochowska, ul. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa, e-mail: bmat@is.pcz.czyst.pl

STRESZCZENIE

Badania dotyczyły wpływu nieorganicznego koagulantu i polielektrolitu oraz łącznego działania tych dwóch związków chemicznych na przefermentowane i nadźwiękawiane osady. Nadźwiękawianie osadów ściekowych prowadzono w warunkach statycznych, w stałej objętości próbki wynoszącej 400 ml. Do nadźwiękawiania prób zastosowano mikroprocesorowy dezintegrator ultradźwiękowy Sonics VC750 o częstotliwości 20 kHz i amplitudzie 15.25 μm . Zmienną procesu nadźwiękawiania był czas dezintegracji wynoszący $t = 60, 120, 180$ sekund. Do kondycjonowania osadów wykorzystano: koagulant PIX 123 oraz polielektrolit Zetag 8160. Na podstawie testu CSK dobrano dawki PIX-u 123 oraz dawki polielektrolitu Zetag 8160. Badania wykazały, że zastosowanie oddzielne PIX-u 123 i Zetagu 8160 oraz łącznego ich działania powoduje spadek wartości CSK. W przypadku osadów nienadźwiękawianych preparowanych Zetagem 8160 lub PIX-em 123 lepszy efekt spadku wartości CSK uzyskano dla Zetagu 8160. Natomiast w przypadku osadów nadźwiękawianych lepszy efekt dało zastosowanie PIX-u 123. Ponadto połączone działanie nieorganicznego koagulantu i polielektrolitu pozwoliło na zmniejszenie ChZT w wodach nadosadowych, jednak najlepsze wyniki uzyskano dla osadów preparowanych tylko PIX-em 123. Najmniej skuteczny okazał się polielektrolit Zetag 8160.

Słowa kluczowe: dezintegracja ultradźwiękowa, koagulant, polielektrolit, osady ściekowe.

COAGULANT – POLYELECTROLYTE SYSTEM FOR THE CONDITIONING DIGESTED AND SONICATED SEWAGE SLUDGE

SUMMARY

The article presents the results of research on the impact of inorganic coagulants and polyelectrolytes and their common action on sonicated digested sludge. Sonication of sludge samples was carried out under static conditions for 60, 120 and 180 seconds. The ultrasonic wave of $f = 20$ kHz and two different amplitudes of $A = 15.25$ μm was used in tests. The coagulant PIX123 and the polyelectrolyte Zetag 8160 were used for conditioning. On the basis of CST test the doses of chemical reagents were chosen for conditioning. The results showed the effect of application of the PIX123 and Zetag 8160 and their combination on non-sonicated and sonicated sludge. The lowest CST was achieved for non-sonicated sludge while polyelectrolyte was applied. For sonicated sludge better results were achieved when

PIX123 was used. The combination of coagulant and polyelectrolyte allowed to achieve COD reduction, but the best results were achieved for sludge prepared by PIX123. The application of Zetag8160 in this case was not satisfactory.

Keywords: ultrasonic desintegration, coagulant, polyelectrolyte, sewage sludge.

WPROWADZENIE

W Polsce wykorzystanie metody dezintegracji ultradźwiękowej w procesach oczyszczania ścieków zdobywa coraz większe zainteresowanie, szczególnie po pozytywnych doświadczeniach wdrożeniowych w oczyszczalniach ścieków w Bydgoszczy, Rzeszowie i Dąbrowie Górniczej [1]. Centrum Elektroniki Stosowanej CES Sp. z o.o. z Krakowa po wielu latach testów, prób laboratoryjnych oraz udoskonalania projektów, od roku 2004 do teraz zainstalowało i uruchomiło ponad 100 reaktorów ultradźwiękowych, które działają w dwunastu krajach na całym świecie. Propagacja fali ultradźwiękowej jest jedną z nowoczesnych technik obróbki osadów ściekowych zwłaszcza przed poddaniem ich fermentacji metanowej [2–4]. Dezintegracja jest procesem niszczenia struktur osadu (łącznie z rozerwaniem błon komórkowych) przyspieszającym hydrolizę komórek, przez uwolnienie substancji wewnątrzkomórkowych do wody zawartej w osadzie i umożliwiającym zapoczątkowanie oraz zwiększenie stopnia biologicznej degradacji [3]. Badania wykazują, że najlepszy efekt dezintegracji osadu uzyskuje się dzięki stosowaniu ultradźwięków o niskiej częstotliwości (20 kHz) i odpowiednio wysokiej mocy. Wydajność rozdrabniania ultradźwiękami zależy głównie od mocy ultradźwięków, czasu dezintegracji i zawartości suchej masy w osadzie. Natomiast do wad wynikających z zastosowania dezintegracji zalicza się problemy związane z uwalnianiem związków biogenych z przefermentowanych osadów do odcieków podczas ich odwadniania [5]. Zatem po dezintegracji mamy do czynienia z osadem ściekowym o zupełnie innej strukturze i właściwościach. Te zmiany wpływają także na efekt mechanicznego odwaniania osadów. W osadach o strukturze kłaczkowatej usuwanie wody jest trudne. Kształt kłaczka, rozmiar czy też koncentracja cząstek wpływa na szybkość procesu odwadniania, a wielkość cząstek na jego efektywność. Obecnie dominującą metodą obróbki osadów przed zagęszczaniem i odwadnianiem w komunalnych oczyszczalniach ścieków jest kondycjonowanie chemiczne [6–9]. W tym procesie osady miesza się z nieorganicznymi lub organicznymi substancjami chemicznymi, aby faza stała osadów, w połączeniu z drobniejszą i koloidalną substancją mętną koagulowała, flokulowała i ulegała dehydratacji. Kondycjonowanie chemiczne osadów ściekowych z użyciem różnych reagentów chemicznych ma za zadanie taką zmianę ich własności fizyko-chemicznych, aby uzyskać po ich odwodnieniu wysokie stężenie suchej masy i wysokiej jakości odciek. Osiągana zawartość suchej masy oraz zużycie energii i środków chemicznych w procesie odwadniania różnią się w zależności od rodzaju osadów ściekowych [10]. Maksymalna wydajność i zawartość suchej masy może pomóc ograniczyć koszty, dlatego też prowadzone są

badania dotyczące bardziej wydajnych sposobów wspomagania procesów odwadniania. Zatem wykorzystanie podstawowych zalet koagulantów i polimerów, a także łączne ich stosowanie w odpowiednich proporcjach i warunkach może przyczynić się do poprawy stopnia odwadniania osadów ściekowych. Celem badań było określenie skuteczności zastosowania koagulanta PIX 123, polielektrolitu Zetag 8160, a przede wszystkim połączonego działania obu tych środków chemicznych do odwadniania przefermentowanych i nadźwiewkawianych osadów ściekowych.

METODYKA BADAŃ

Materiały badań

Do badań wykorzystano osady pochodzące z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków z usuwaniem związków azotu i fosforu na drodze biologicznej o średnim dobowym przepływie ścieków wynoszącym 40 000 m³/d. Analizie poddano osady ściekowe po procesie stabilizacji w zamkniętych komorach fermentacyjnych. W dalszej części pracy przyjęto następujące oznaczenia: OP – dla osadów przefermentowanych i ON – dla nadźwiewkawianych, przefermentowanych osadów.

Przebieg badań

Nadźwiewkawianie osadów ściekowych prowadzono w warunkach statycznych, w stałej objętości próbki wynoszącej 400 ml. Do nadźwiewkawiania prób zastosowano mikroprocesorowy dezintegrator ultradźwiękowy dużej mocy z automatycznym strojeniem Sonics VC750 o częstotliwości 20 kHz i amplitudzie 15,25 μm (co odpowiada amplitudzie równej 25%). Zmienną procesu nadźwiewkawiania był czas dezintegracji wynoszący: 60, 120, 180 sekund. Do kondycjonowania osadów ściekowych wykorzystano koagulant PIX 123 i polielektrolit Zetag 8160 o charakterze wysoko kationowym. PIX 123 sporządzono jako roztwór 10%, a polielektrolit stosowano w postaci roztworu 0,1%. Zdolność osadów do oddawania wody mierzono za pomocą parametru CSK. Pomiar czasu ssania kapilarnego (CSK) prowadzono wg metody Baskerville'a i Galle'a, opartej na mierzeniu przejścia czołowej granicznej warstwy filtratu w wyniku działania sił ssących z zastosowaniem bibuły Whatman 17. Filtrację ciśnieniową prowadzono na stanowisku do laboratoryjnej filtracji ciśnieniowej składającym się z: filtra ciśnieniowego z ułożoną wewnątrz tkaniną filtracyjną (tkanina bawełniana BT), sprężarki powietrza, cylindrów miarowych na przesącz, zaworów odcinających, manometru oraz sekundomierza. Do badań przygotowano próbki preparowanych osadów o objętości 100 cm³ każda. Stosowane ciśnienie wynosiło 0,5 MPa. Stopień usunięcia zanieczyszczeń z wód nadosadowych oceniano na podstawie zmiany wartości wskaźnika CHZT. Oznaczenie CHZT wykonano metodą testową na spektrofotometrze

HACH DR 4000. Badania podzielono na trzy etapy (tab. 1). W I etapie do preparowania osadów ściekowych zastosowano polielektrolit Zetag 8160, w II etapie – PIX 123, natomiast w III etapie połączono PIX 123 (w stałej dawce 1,0 mg/g s.m.o.) i polielektrolit Zetag 8160 (w zmiennych dawkach).

Tabela 1. Zestawienie zastosowanych środków chemicznych i ich dawek

Table 1. Scheme of chemical reagents and its doses used in laboratory tests

Seria	Etap I	Etap II	Etap III	
	Zetag 8160 (mg/g s.m.o.)	PIX 123 (mg/g s.m.o.)	PIX 123 (mg/g s.m.o.)	Zetag 8160 (mg/g s.m.o.)
I	0,5	0,5	1,0	0,5
II	1,0	1,0	1,0	1,0
III	1,5	1,5	1,0	1,5
IV	2,0	2,0	1,0	2,0
V	2,5	2,5	1,0	2,5
VI	3,0	3,0	1,0	3,0
VII	3,5	3,5	1,0	3,5

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Charakterystykę fizyko-chemiczną badanych osadów podano w tabeli 2. Czas ssania kapilarnego (CSK) osadów przefermentowanych wynosił 1563s. Wyniki pomiaru czasu ssania kapilarnego wykazały, że preparowanie przefermentowanych osadów: polielektrolitem Zetag 8160, PIX-em 123 oraz metodą łączącą oba związki poprawiło ich zdolność do oddawania wody. Z rysunków 1–4 wynika, że wraz ze wzrostem dawki stosowanych środków chemicznych czas ssania kapilarnego preparowanych osadów zmniejsza się. W przypadku nienadźwiewianych osadów (rys. 1) najlepsze efekty zmiany CSK uzyskano dla metody łączonej. Najmniejszą wartość CSK – 30,6 s, czyli 48 razy mniejszą niż dla osadów przefermentowanych uzyskano dla osadów

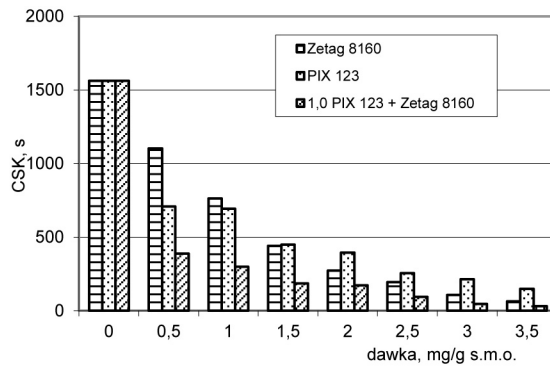
Tabela 2. Fizyko-chemiczna charakterystyka osadów ściekowych

Table 2. Physical and chemical characteristics of sewage sludge

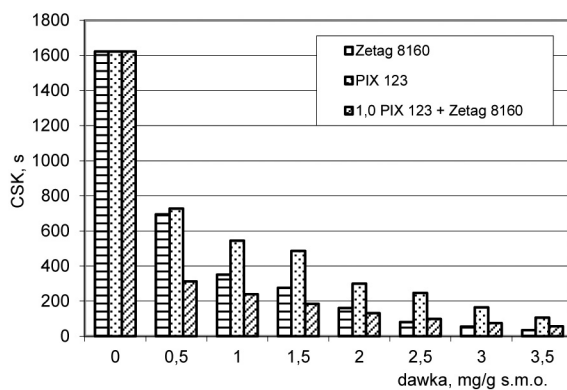
Oznaczenie	Jednostka	Wartość
pH	–	6,82
Uwodnienie początkowe	%	98,1
Sucha pozostałość	g/dm ³	18,8
Zawartość związków mineralnych	%	35,6
Zawartość związków organicznych	%	64,4
CSK	S	1563

preparowanych stałą dawką PIX 123 wynoszącą 1,0 mg/g s.m.o. i Zetagem 8160 w dawce 3,5 mg/g s.m.o (rys. 1). Preparowanie osadów tylko falą ultradźwiękową o amplitudzie 15,25 μm spowodowało skrócenie czasu ssania kapilarnego dla czasów nadźwiękawiania 120 s i 180 s odpowiednio 1320 s i 1194 s, natomiast dla 60 s nieznamne jego wydłużenie – 1623 s w porównaniu do osadów niepreparowanych (rys. 2–4). Ultradźwięki o małej amplitudzie wynoszącej 15,25 μm nie powodują dużego rozdrobnienia struktury osadów. Dla nadźwiękawianych osadów preparowanych wybranymi środkami uzyskano podobne zmiany czasu ssania kapilarnego (rys. 2–4) jak dla niepreparowanych osadów.

W procesie filtracji ciśnieniowej analizowano zmienność uwodnienia końcowego placka filtracyjnego w zależności od zmian dawki użytych środków chemicznych (rys. 5–8). Poddawanie działaniu pola ultradźwiękowego osadów, a następnie prepa-

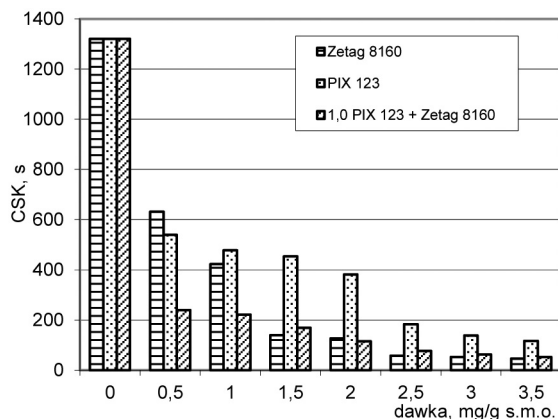


Rys. 1. Wykres zależności dawki wybranych środków chemicznych od CSK dla osadów OP
Fig. 1. The effect of chemical reagents dose on CST for OP sludge



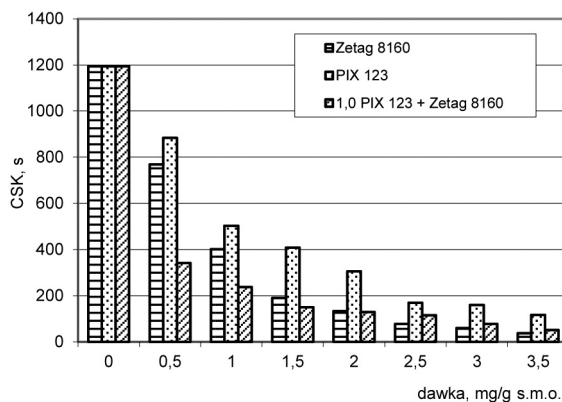
Rys. 2. Wykres zależności wybranych środków chemicznych od CSK dla nadźwiękawianych osadów przez 60 s – amplituda 15,25 μm

Fig. 2. The effect of chemical reagents dose on CST for ON sludge sonicated for $t = 60$ s, $A = 15.25$ μm



Rys. 3. Wykres zależności dawki wybranych środków chemicznych od CSK dla nadźwiękawianych osadów przez 120 s – amplituda 15,25 μm

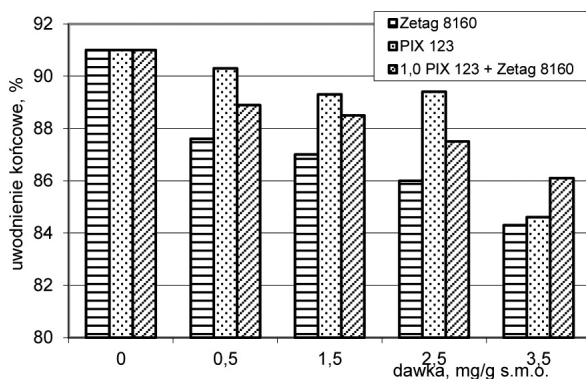
Fig. 3. The effect of chemical reagents dose on CST for ON sludge sonicated for 120 s, $A = 15.25 \mu\text{m}$



Rys. 4. Wykres zależności dawki wybranych środków chemicznych od CSK dla nadźwiękawianych osadów przez 180 s – amplituda 15,25 μm

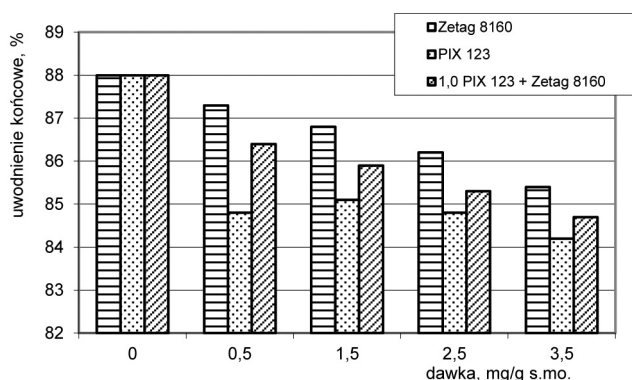
Fig. 4. The effect of chemical reagents dose on CST for ON sludge sonicated for 180 s, $A = 15.25 \mu\text{m}$

rowanie środkami chemicznymi wywołało określony skutek w postaci zmian uwodnienia końcowego w odniesieniu do parametrów niepreparowanych. Uwodnienie końcowe niepreparowanych osadów wynosiło 91%, zaś osadów nadźwiękawianych 88–90%. Dla nienadźwiękawianych osadów wraz ze wzrostem dawki dla wszystkich środków chemicznych obserwowano spadek uwodnienia końcowego. Najlepszy efekt odwodnienia nienadźwiękawianych osadów otrzymano podczas preparowania ich Zetagiem 8160, dla którego otrzymano najmniejszą wartość uwodnienia końcowego wynoszącą 84,3% (rys. 5). W przypadku nadźwiękawianych osadów



Rys. 5. Wpływ dawki środków chemicznych na zmiany końcowego uwodnienia osadów OP w procesie filtracji ciśnieniowej

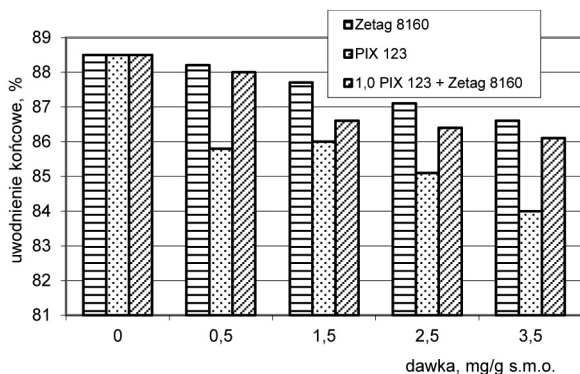
Fig. 5. The effect of chemical reagents dose on the changes of OP sludge final hydration in the process of pressure filtration



Rys. 6. Wpływ dawki środków chemicznych na zmiany końcowego uwodnienia nadźwiękawianych osadów ON przez 60 s (amplituda 15,25 μm) w procesie filtracji ciśnieniowej

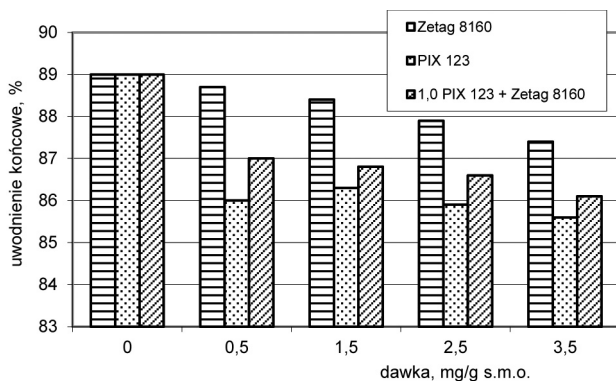
Fig. 6. The effect of chemical reagents dose on the changes of final hydration of ON sludge sonicated within 60 s (amplitude 15.25 μm) in the process of pressure filtration

amplitudą 15,25 μm w procesie filtracji ciśnieniowej najlepsze efekty odwadniania odnotowano dla koagulantu PIX 123 (rys. 6–8). Najkorzystniejszy rezultat odwadniania nadźwiękawianych osadów ściekowych kondycjonowanych polem ultradźwiękowym o amplitudzie 15,25 μm uzyskano dla czasu nadźwiękawiania 120 s i przy zastosowaniu PIX-u 123 w dawce 3,5 mg/g s.m.o. wynosił on 84%. (rys. 7). Z analizy wykresów 6–8 wynika, że uwodnienie końcowe nadźwiękawianych osadów preparowanych tylko Zetagem 8160 dało najslabsze efekty. Połączenie PIX-u 123 w stałej dawce 1,0 mg/g s.m.o. z Zetagem 8160 dało wyniki nieco lepsze od zastosowania samego polielektrolitu.



Rys. 7. Wpływ dawki środków chemicznych na zmiany końcowego uwodnienia nadźwiewkawianych osadów ON przez 120 s (amplituda 15,25 μm) w procesie filtracji ciśnieniowej

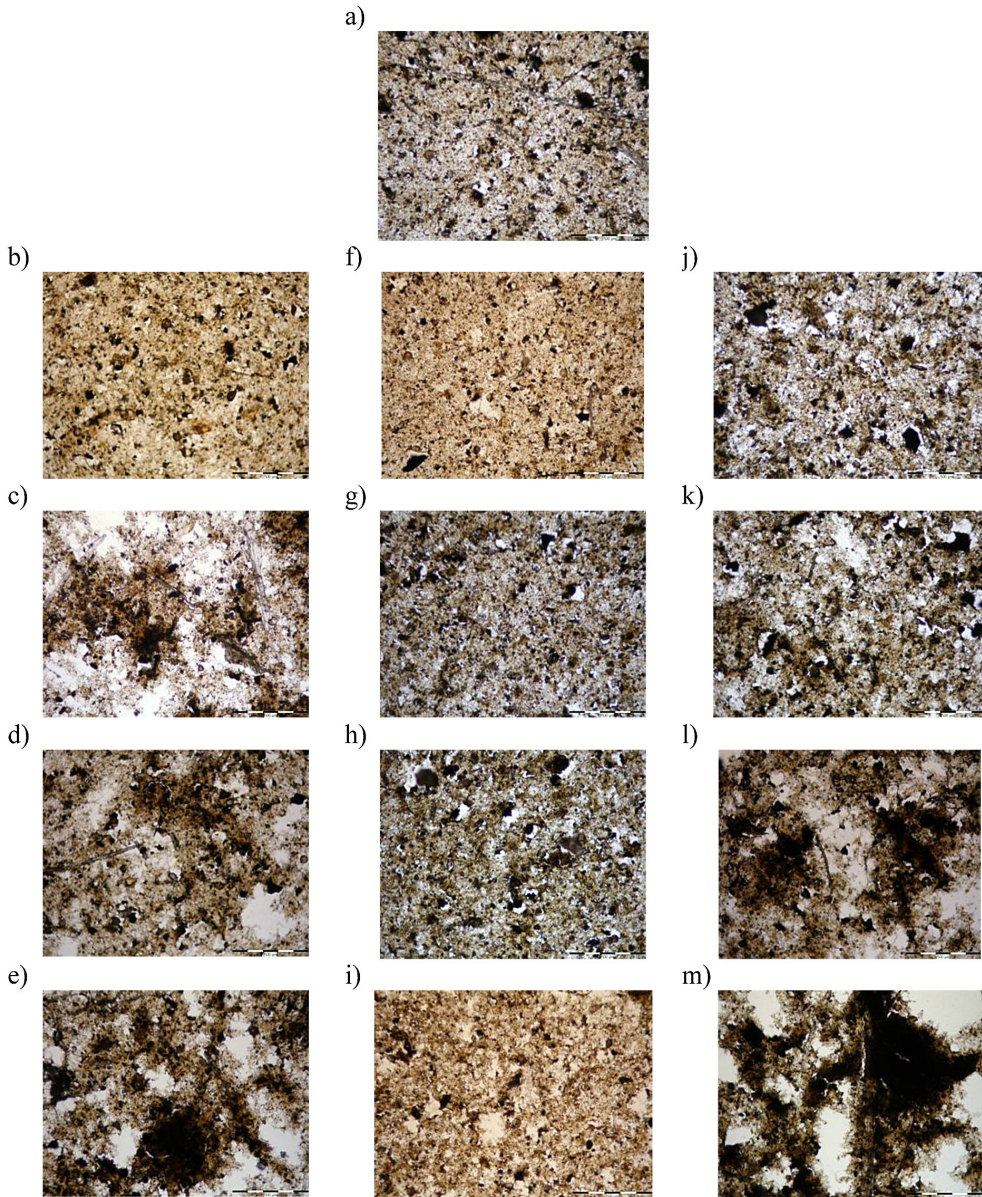
Fig. 7. The effect of chemical reagents dose on the changes of final hydration of ON sludge sonicated within 120 s (amplitude 15.25 μm) in the process of pressure filtration



Rys. 8. Wpływ dawki środków chemicznych na zmiany końcowego uwodnienia nadźwiewkawianych osadów ON przez 180 s (amplituda 15,25 μm) w procesie filtracji ciśnieniowej

Fig. 8. The effect of chemical reagents dose on the changes of final hydration of ON sludge sonicated within 180 s (amplitude 15.25 μm) in the process of pressure filtration

Z obserwacji mikroskopowej struktury przefermentowanych osadów ściekowych preparowanych polem ultradźwiękowym o amplitudzie 15,25 μm i czasie nadźwiewkawiania 60 s oraz środkami chemicznymi wynika (rys. 9), że wraz ze wzrostem dawki środka kondycjonującego dochodzi do zmniejszenia ściśliwości kłaczków, zwiększenia ich objętości oraz porowatości, w stosunku do osadów preparowanych wyłącznie ultradźwiękami (rys. 9a). Początkowe nadźwiewkawianie osadów spowodowało niewielkie rozbiecie kłaczków, które po dodaniu odpowiednio większej dawki środka kondycjonującego lepiej flokulowały. Najlepsze efekty osiągnięto stosując najwyższą dawkę środka kondycjonującego (3,5 mg/g s.m.o.). Najbardziej widoczne kłaczkosy osadów zauważono przy użyciu PIX-u 123 w stałej dawce (1,0 mg/g s.m.o.)

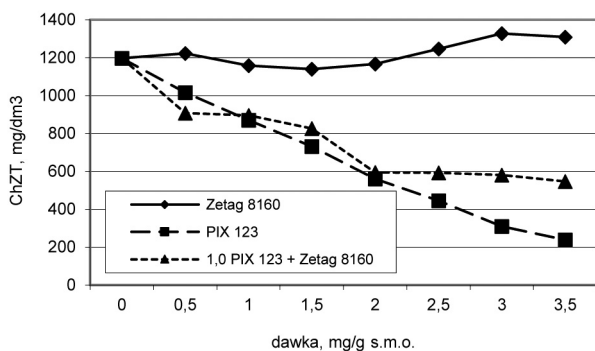


Rys. 9. Struktura osadów ściekowych kondycjonowanych polem ultradźwiękowym (amplituda 15,25 μm) oraz środkami chemicznymi: a) OP+60s; b) OP+60s+0,5Zetag; c) OP+60s+1,5Zetag; d) OP+60s+2,5Zetag; e) OP+60s+3,5Zetag; f) OP+60s+0,5PIX; g) OP+60s+1,5PIX; h) OP+60s+2,5PIX; i) OP+60s+3,5PIX; j) OP+60s+1,5PIX+0,5Zetag; k) OP+60s+1,5PIX+1,5Zetag; l) OP+60s+1,5PIX+2,5Zetag; m) OP+60s+1,5PIX+3,5Zetag

Fig. 9. The microscopic structure of sonicated and conditioned sewage sludge

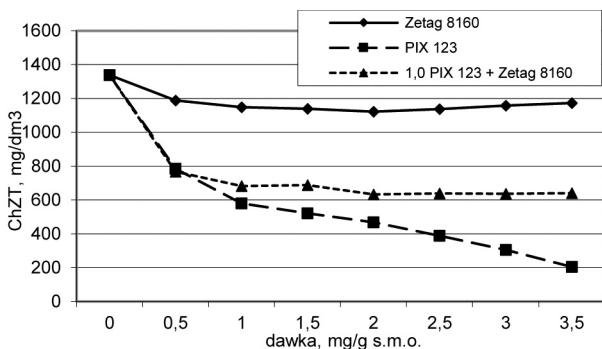
łącznie ze zmienną dawką Zetagu 8160. Otrzymano wówczas luźną strukturę osadów o dobrze widocznych kłaczkach. Wykorzystanie do kondycjonowania Zetagu 8160 spowodowało powstanie dużych, sflokulowanych cząstek. W przypadku użycia PIX-u 123 otrzymana struktura charakteryzowała się większą stabilnością, mniejszą ilością porów oraz liczbą dobrze widocznych kłaczków. Zastosowanie PIX-u 123 spowodowało powstanie struktury o przestrzennym ułożeniu kłaczków o większej ściśliwości, w porównaniu z innymi omawianymi przypadkami. Podobne zmiany zachodziły w strukturze pozostałych preparowanych osadów.

Ultradźwiękowe rozbitcie kłaczków osadów powoduje powstanie drobnej zawiesiny, czego efektem jest pogorszenie klarowności wody i wzrost ChZT (rys. 10–13). Użycie Zetagu 8160 spowodowało niewielki spadek ChZT (rys. 11–13), natomiast w przypadku nienadźwiękowanych osadów jego wzrost (rys. 1). Równomierny spadek wartości ChZT otrzymano przy zastosowaniu PIX-u 123 w całym przedziale daw-



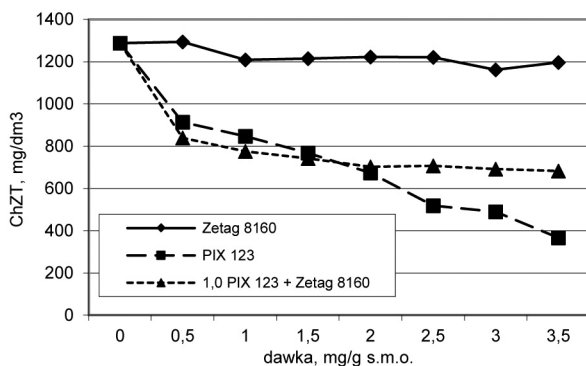
Rys. 10. Wpływ dawki wybranych środków chemicznych na wartość ChZT w wodzie nadosadowej osadów ściekowych

Fig. 10. The effect of chemical reagents dose on the COD of OP sludge supernatant

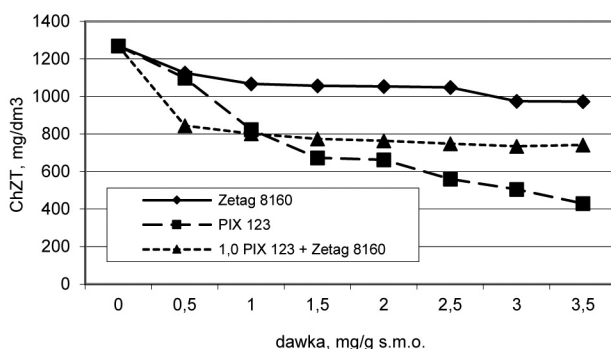


Rys. 11. Wpływ dawki wybranych środków chemicznych na wartość ChZT w wodzie nadosadowej nadźwiękowanych osadów ściekowych ON (amplituda 15,25 μm) przez 60 s

Fig. 11. The effect of chemical reagents dose on the COD of sludge supernatant. ON sludge sonicated for 60 s; A = 15.25 μm .



Rys. 12. Wpływ dawki wybranych środków chemicznych na wartość ChZT w wodzie nadosadowej nadźwiękawianych osadów ściekowych ON (amplituda 15,25 μm) przez 120 s
Fig. 12. The effect of chemical reagents dose on the COD of sludge supernatant. ON sludge sonicated for 120 s; A = 15.25 μm



Rys. 13. Wpływ dawki wybranych środków chemicznych na wartość ChZT w wodzie nadosadowej nadźwiękawianych osadów ściekowych ON (amplituda 15,25 μm) przez 180 s
Fig. 13. The effect of chemical reagents dose on the COD of sludge supernatant. ON sludge sonicated for 60 s; A = 15.25 μm

kowania (np. rys. 2 od 1338 mg/dm^3 do 204 mg/dm^3) oraz dla łączonej dawki PIX-u 123 z Zetagem 8160 (np. rys. 2 od 1338 mg/dm^3 do 640). Połączone działanie koagulantu nieorganicznego i polielektrolitu pozwoliło na zmniejszenie ChZT w wodach nadosadowych, jednak najlepsze wyniki uzyskano dla osadów preparowanych tylko PIX-em 123 (rys. 10–13). Najmniej skuteczny okazał się polielektrolit Zetag 8160.

WNIOSKI

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. (Dz.U. 2013, 38) w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowa-

nia na składowisku odpadów danego typu od 1 stycznia 2016 r. w Polsce praktycznie nie będzie można składować osadów ściekowych na składowiskach. Wobec tego konieczne jest poszukiwanie bardziej efektywnych metod ich końcowego zagospodarowania. Nowe wymagania związane z właściwościami osadów ściekowych to między innymi redukcja ich uwodnienia. Prowadzone badania są rozwiązaniem intensyfikującym proces odwadniania. Aby uzyskać dobre efekty odwodnienia, konieczne jest wstępne kondycjonowanie osadów. W tym celu zastosowano nieorganiczne i organiczne środki chemiczne, a mianowicie koagulant PIX 123 oraz polielektrolit wysoko kationowy Zetag 8160. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Najkorzystniej na spadek wartości czasu ssania kapilarnego osadów ściekowych wpłynęło wstępne ich preparowanie PIX-em 123 w dawce 1,0 mg/g s.m.o. łącznie z Zetagem 8160 w zmiennych dawkach.
2. Kondycjonowanie osadów samym polem ultradźwiękowym wpływa na zmiany uwodnienia końcowego w procesie filtracji ciśnieniowej. Najlepszy efekt osiągnięto nadźwiękując osady amplitudą 15,25 mm w czasie 60 s – uwodnienie końcowe wynosiło 88%.
3. Zastosowanie chemicznych reagentów: Zetag 8160, PIX 123 oraz PIX 123 w stałej dawce łącznie z Zetagem 8160 w zmiennych dawkach wpływa na polepszenie parametrów odwadniania osadów, czyli obniżenie uwodnienia końcowego w procesie filtracji ciśnieniowej. Najskuteczniejszym środkiem okazał się PIX 123.
4. Mikroskopowe obserwacje zmian struktury osadów ściekowych są wykorzystywane do określenia oddziaływania poszczególnych środków chemicznych oraz fizycznych podczas ich kondycjonowania.
5. Połączone działanie koagulantu nieorganicznego i polielektrolitu pozwoliło na zmniejszenie ChZT w wodach nadosadowych. Najlepszy stopień ich zmniejszenia uzyskano dla PIX-u 123, a następnie metody łączonej.

LITERATURA

1. Borukała K., Kowal L., Milanowski A., 2013. Ultradźwiękami w osad. Przegląd Komunalny 2 (257), 40–46.
2. Zielewicz-Madej E., 2003. The influence of parameters of ultrasonic disintegration on the intensification of anaerobic biodegradation of organic compounds from sewage sludge. Inżynieria i Ochrona Środowiska 6 (3–4), 455–468.
3. Zhang G., Zhang P., Yang J., Chen Y., 2007. Ultrasonic reduction of excess sludge from the activated sludge system. J. Hazard. Mater. Vol. 145, 515–519.
4. Gronroos A., Kyllonen H., Korpijarvi K., Pirkonen P., Paavola T., Jokela J., Rintala J., 2005. Ultrasound assisted method to increase soluble chemical oxygen demand (SCOD) of sewage sludge for digestion. Ultrasonics Sonochemistry Vol. 12, 115–120.

5. Ciborowski M., 2010. Możliwości zastosowania koagulantu PIX w przeróbce osadów ściekowych. *Forum Eksploatatora* nr 3 (48), 76–77.
6. Juraszka B., Sumara A., 2013. Odwadnianie osadów pokoagulacyjnych w procesie sedymentacji odśrodkowej z zastosowaniem flokulantu Optifloc A-120HMW. *Annual Set the Environment Protection* Vol 15, 1098–1110.
7. Tuan P.-A., Sillanpää M., 2010. Effect of freeze/thaw conditions, polyelectrolyte addition, and sludge loading on sludge electro-dewatering process. *Chemical Engineering Journal* 164 (1), 85–91.
8. Dieudé-Fauvel E., Dentel S.K., 2011. Sludge conditioning: Impact of Polymers on Floc structure. *Journal of Residuals Science and Technology* 8 (3), 101–108.
9. Bień B., Bień J.D., 2014. Use of inorganic coagulants and polyelectrolytes to sonicated sewage sludge for improvement of sludge dewatering. *Desalination and Water Treatment* Vol. 52 (19–21), 3767–3774.
10. Konieczny P., 2007. Kemicond – nowa technologia chemicznego kondycjonowania osadów ściekowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 6, 20–26.