

BADANIE SKUTECZNOŚCI ODWADNIANIA PRZEFERMENTOWANYCH OSADÓW ŚCIEKOWYCH Z ZASTOSOWANIEM POLIELEKTROLITU ŻELOWEGO NA BAZIE POLIMERÓW ORGANICZNYCH

Marcin Głodniok¹, Dariusz Zdebik¹

¹ Pracownia Technologii Wody i Ścieków, Zakład Ochrony Wód, Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice, e-mail: mglodniok@gig.eu

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań odwadniania osadów ściekowych z zastosowaniem polielektrolitów żelowych. Założeniem badań było określenie możliwości zwiększenia wydajności odwadniania osadów ściekowych przy zastosowaniu nowoczesnych polimerów. Autorzy przeprowadzili badania w skali laboratoryjnej i półtechnicznej wraz z określeniem wpływu nowego rodzaju polielektrolitu żelowego na skuteczność odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych. Badano wpływ dwóch dawek roztworu polielektrolitu wynoszących 4 ml/m³ – dawka nr I oraz 8 ml/m³ – dawka nr II na skuteczność odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych. Uzyskane wyniki badań przeprowadzone na prasie laboratoryjnej wykazały zwiększenie skuteczności odwadniania przefermentowanego osadu ściekowego o ok. 2% przy zastosowaniu dawki nr I i o ok. 13% przy zastosowaniu dawki nr II, w porównaniu do odwadniania bez zastosowania badanego polielektrolitu.

Słowa kluczowe: odwadnianie osadów ściekowych, filtracja, polielektrolity,

STUDY OF THE DIGESTED SLUDGE DEWATERING EFFECTIVENESS USING POLYELECTROLYTE GEL BASED ON ORGANIC POLYMERS

ABSTRACT

The paper addresses the problems connected with sewage sludge dewatering. The premise of the study was the analysis of whether there are opportunities to increase the efficiency of dewatering sludge, a relatively low-cost involving the use of innovative polymers. The authors analyzed the impact of the new type of polyelectrolyte gel on the effectiveness of dewatering sludge. Laboratory studies were carried out at polyelectrolyte dose selection and laboratory testing on the press chamber designed to simulate the actual operation of sludge dewatering system. Two different doses of polyelectrolyte were tested for dose I – 4 ml/m³ and dose II – 8 ml/m³. The conducted analysis on laboratory press showed an increase of sludge dewatering efficiency by about 2% for dose no. I and by about 13% for dose no. II, in comparison to the test without polyelectrolyte.

Keywords: sewage sludge dewatering, filtration, polyelectrolytes.

WSTĘP

Regulacje prawne dotyczące gospodarki komunalnymi osadami ściekowymi obejmują trzy obszary środowiskowe związane z polityką odpadową, ochroną wód jak i emisjami przemysłowymi, które regulowane są przez tak zwane dyrektywy ramowe.

Osad ściekowy, który powstaje podczas procesu oczyszczania ścieków ściśle związany jest ze wspólnotową polityką wodną, regulowaną

przez Ramową dyrektywę wodną. Dokument ten obliguje państwa członkowskie do wdrażania kompleksowych rozwiązań w zakresie gospodarki wodno-ściekowej w celu osiągnięcia statusu dobrego stanu wód do 2015 r. W świetle przepisów prawa unijnego [86/278/EWG], osad ściekowy niespełniający wymogów rolniczego zastosowania definiowany jest jako odpad, który zgodnie z polską klasyfikacją odpadów (KO) zaliczony został do grupy 19 o kodzie 19 08 05. Dlatego też wszelkie działania w zakresie gospo-

darki osadami ściekowymi regulowane są przede wszystkim przepisami odpowiednimi dla sektora gospodarki odpadowej, ze szczególnym uwzględnieniem wymogów Ramowej dyrektywy odpadowej [2008/98/WE].

Ilość wytwarzanych osadów ściekowych bardzo szybko wzrasta, tworząc grupę problematycznych odpadów wymagających zgodnego ze standardami prawa wspólnotowego ich zagospodarowania. Pomimo, iż wachlarz proponowanych, możliwych do zastosowania w procesie gospodarowania komunalnymi osadami ściekowymi rozwiązań jest bardzo szeroki, istniejące ograniczenia prawne w znacznym stopniu limitują ten wybór [Werle, 2006].

W oczyszczalniach ścieków, koszty związane z przetwarzaniem i unieszkodliwianiem osadów mogą wynosić nawet do 50% [Appels et al., 2008] całkowitych kosztów oczyszczania ścieków. Wysoka zawartość wody, koloidalna i ściśliwa postać fizyczna jest charakterystyczną cechą osadów ściekowych, które mogą zawierać od 99% do 95% wody po grawitacyjnym zagęszczeniu [Saveyn et al., 2005]. W konsekwencji niewiele zmniejszona jest objętość powstających osadów co tym samym wpływa na wysoki koszt ich transportu i składowania. W procesie oczyszczania ścieków, odwadnianie osadów jest jednym z najtrudniejszych zadań, stąd opracowano i udokumentowano wiele technik ich odwadniania [Glendinning et al., 2007]. Wśród nich można wymienić proces odwadniania mechanicznego, który jest powszechnie stosowany m.in. ze względu na niskie zużycie energii; znaczący wpływ na zmniejszenie całkowitej ilości odpadów jak i również na zwiększoną wartość kaloryczną produktu odwadniania [Vaxelaire et al. 1999, Vaxelaire i Olivier, 2006; Tuan i Sillappää, 2010]. Jednakże obecność związków organicznych, takich jak komórki bakteryjne i pozakomórkowe substancje polimerowe (EPS) utrudnia odwadnianie osadów jedynie na bazie technik mechanicznych takich jak grawitacyjne zagęszczenie, wirowanie, filtracja lub różne systemy kompresji (nawet przy wysokim ciśnieniu).

Aby przezwyciężyć przytoczone powyżej problemy, przed odwadnianiem mechanicznym powszechnie stosuje się wspomaganie chemiczne, które zwykle bierze udział we wspomaganium procesu flokulacji osadu przez zastosowanie np. chlorku żelaza(III), chlorku glinu lub syntetycznego polielektrolitu. Proces flokulacji zależy od dawkowania i właściwości chemikaliów, składu

osadów i charakterystyki urządzenia odwadniającego [Vaxelaire i Olivier, 2006; Saveyn i in., 2008]. Wysoko efektywne odwadnianie osadu jest bardzo trudne i pomimo zastosowania najwydajniejszych technik wciąż trudno jest otrzymać produkt końcowy zawierający poniżej 65% suchej masy [Mahmud i in., 2011]. W ostatnich latach, testowano różne rozwiązania a jedną z najczęściej stosowanych technik był ciśnieniowy system wspomagany polem elektrycznym (prądu stałego lub zmiennego). Napięcie, ciśnienie, czas, rozkład wielkości kłaczków, właściwości elektrochemiczne, kondycjonowanie, charakterystyka polielektrolitu itp. stanowią krytyczne parametry podczas badania tej metody odwadniania osadów ściekowych. Ze względu na tak wiele parametrów, dobranie właściwych parametrów procesu odwadniania i jej optymalizacja wciąż stanowi wyzwanie dla naukowców. Od niedawna naukowcy wiele uwagi poświęcają dziedzinie nanomateriałów ze względu na ich unikalne właściwości fizyko chemiczne takie jak zwiększanie magnetyzmu cząsteczki, przewodności i optyki [Maynard et al., 2006; Mu et al., 2011]. W szczególności nanocząsteczki metali takie jak tlenek tytanu, tlenek srebra, tlenek cynku i glinu zostały wprowadzone do powszechnego stosowania w procedurach przemysłowych, medycznych, wojskowych i na potrzeby uzdatniania wody [Elsworth et al., 2000; Serda i in., 2009; Kim i Van, 2010]. Ograniczone badania koncentrują się na wykorzystaniu nanocząsteczek magnetycznych w oczyszczaniu ścieków pozostawiając pole do dalszych badań. Również bio-polimery takie jak poliakrylamidy zyskują coraz powszechniejsze uznanie w procesach sedymentacji i flokulacji ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki i przetwarzania osadów ściekowych.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie możliwości zwiększenia zawartości suchej masy w odwadnianym osadzie ściekowym po fermentacji przy wprowadzeniu kationowego polielektrolitu, który dotychczas nie był powszechnie stosowany do odwadniania osadów ściekowych. Zakres badań obejmował wykonanie testów laboratoryjnych, na podstawie których określono skuteczność odwadniania osadów ściekowych przy wprowadzeniu różnych dawek polielektrolitu, a następnie wykonanie, w skali półtechnicznej, badań ma-

jących na celu zasymulowanie funkcjonowanie węzła osadowego w rzeczywistej oczyszczalni ścieków.

W celu dobrania dawki polielektrolitu w pierwszej kolejności, na etapie badań laboratoryjnych, wykonano po pięć prób z dwoma wybranymi stężeniami roboczymi polielektrolitu, które zastosowano podczas badań w skali półtechnicznej. Badania w skali półtechnicznej powtórzono w dwóch seriach na prasie laboratoryjnej.

Badania skuteczności procesu odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych były przeprowadzone przy użyciu laboratoryjnej prasy komorowej, o powierzchni filtracji około 195 cm². Testy wykonano przy różnych stężeniach roboczych polielektrolitu.

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Przefermentowany osad ściekowy po kwaśnej fermentacji został pobrany z komunalnej oczyszczalni ścieków w ilości ok 30 dm³. Wstępnie zagęszczony osad pobrano z rurociągów, przed wprowadzeniem do komór fermentacyjnych. Zawartość suchej masy osadu wynosiła od 2–4% smo/kg. Badania prowadzono w następujących etapach:

- etap badań laboratoryjnych I – etap testowy; przeprowadzenie testów laboratoryjnych mających na celu określenie podatności osadu na odwadnianie przy zastosowaniu różnych dawek polielektrolitu i wyznaczenie dawek polielektrolitu do dalszych badań;
- analiza otrzymanych wyników w celu dobrania optymalnego stężenia mieszaniny roboczej polielektrolitu;
- etap badań laboratoryjnych II – etap badawczy; wykonanie prób odwadniania w warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu prasy komorowo-tłokowej mającej na celu zasymulowanie pracy prasy do odwadniania osadów ściekowych.

Charakterystyka osadu ściekowego

Próbki osadu do analiz pobierano bezpośrednio z ciągu technologicznego oczyszczalni po drugim stopniu fermentacji, przed dodaniem polielektrolitu i skierowaniem ich do odwadniania na wirówkach. Osad przed wprowadzeniem do komór fermentacyjnych jest wstępnie zagęszczony mechanicznie. Zawartość suchej masy w analizowanym osadzie została określona labora-

toryjnie i wynosiła ok. 3% s.m. Na potrzeby realizacji pracy pobrano łącznie 30 dm³ osadu, co dało możliwość wykonania odpowiedniej ilości prób zgodnie z przedstawioną w punkcie 2.3 w metodyką.

Charakterystyka polielektrolitu

W czasie badań testowano skuteczność odwadniania z wykorzystaniem kationowego polielektrolitu o nazwie Neudos KP80 pochodzącego z linii nowoczesnych organicznych polielektrolitów firmy Ochsmann Chemie. Polielektrolit jest produkowany na bazie mieszaniny bio-polimerów takich jak poliakrylamidy. Zgodnie z informacjami producenta, polielektrolit ma charakteryzować się znacznie większym wpływem na skuteczność odwadniania osadów ściekowych.

Badania prowadzono na laboratoryjnym stanowisku do służącym do przeprowadzania procesów odwadniania osadów.

Określenie podatności osadu na odwadnianie z różnymi dawkami polielektrolitu

Analizę podatności osadu na odwadnianie przeprowadzono przy zastosowaniu laboratoryjnego zestawu opracowanego na bazie zmodyfikowanej metody opracowanej przez Kemira Kemi AB, i opisaną w artykule przez Boušková i Jansen [Tastu, 2007]

Proces odwadniania przebiega w dwóch etapach – etapu filtracji i etapu z użyciem prasy. Przed odwadnianiem oznaczono zawartość suchej masy osadu susząc osad w temperaturze 105°C. Podczas etapu filtracji, próbkę osadu odpowiadającą 1 g całkowitej suchej masy sączone na zestawie filtracyjnym wyposażonym w docelową tkaninę filtracyjną zastosowaną w prasie filtracyjnej. Czas filtracji określono na podstawie obserwacji wykraplania cieczy, filtrację prowadzono do momentu w którym ciecz przestała się wykraplać przez okres dłuższy niż 5 min. Po etapie filtracji wstępnie odsączony placek filtracyjny poddawano działaniu ciśnienia poprzez zastosowanie układu tłokowego celem dodatkowego usunięcia wody. Czas ekspozycji placka na ciśnienie wynosił 5 minut. W celu porównania jakości procesu odwadniania osadu zagęszczonego (bez polielektrolitu) i osadu zagęszczonego z dodatkiem polielektrolitu, zastosowano analizę wagową. Najpierw ważono zwilżony materiał filtracyjny, który został użyty do badań. Placek filtracyjny następnie suszono w temperaturze

105°C i poprzez porównanie uzyskanych wyników określono optymalną dawkę polielektrolitu do dalszych badań. Po przeprowadzeniu procesu odwadniania, ważono filtr z osadem zagęszczonym oraz z osadem zagęszczonym z dodatkiem polielektrolitu. Następnie po określeniu i dobraniu dawki polielektrolitu przeprowadzono badania na laboratoryjnej prasie komorowo-tłokowej. Procesowi odwadniania z zastosowaniem badawczej prasy komorowo-tłokowej poddano 5 litrów prefermentowanego osadu po wstępnym zagęszczeniu mechanicznym pobranego przed węzłem odwadniania osadów, o zawartości suchej masy wynoszącej 3% smo. W pierwszej kolejności przeprowadzono badania na próbie tzw. kontrolnej, do której nie dodano roztworu polielektrolitu. Następnie wykonano badania mieszaniny osadu z dodatkiem dwóch różnych stężeń polielektrolitu.

Przy każdej próbie utrzymywano następujące warunki:

- ciśnienie w komorze filtracyjnej – 6 bar,
- czas trwania filtracji – 3,5 godziny,
- objętość nadawy – 5 litrów.

Po przeprowadzeniu analizy podatności osadu na odwadnianie zebrany odciek, plasek filtracyjny, pozostałość osadu w komorze oraz pozostałość nadawy posłużyły do zbilansowania procesu. Proces bilansowano, zarówno wagowo jak i objętościowo, w celu określenia zawartości suchej masy osadu w otrzymanym placku filtracyjnym.

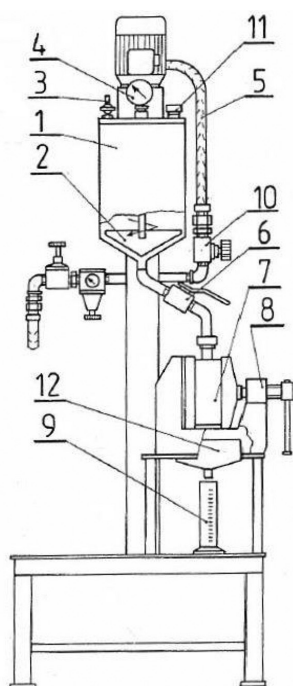
Parametry techniczne i zasada działania prasy komorowo-tłokowej wykorzystanej w doświadczeniu

Badania mające na celu zasymulowanie pracy rzeczywistego układu odwadniania osadów prowadzone były na laboratoryjnym stanowisku do odwadniania osadów, w skład którego wchodzi prasa komorowo-tłokowa oraz agregat ciśnieniowy (rys. 1). Główne parametry techniczne prasy:

- powierzchnia filtracji (około) – 190 cm²,
- objętość komory filtracyjnej – 228 cm³,
- ciśnienie filtracji – 6 bar,
- pojemność zbiornika nadawy 6 dm³,
- rodzaj zastosowanej tkaniny filtracyjnej – PT-911.

W pierwszej kolejności w komorze filtracyjnej (7) została umieszczona tkanina filtracyjna, która uszczelniona jest poprzez zamknięcie komory filtracyjnej (8). Pod komorą filtracyjną znajduje się kolektor spływu filtratu (12), do którego spływa odciek. Odciek gromadzony jest w cylindrze (9). Przed uruchomieniem prasy zawór odcinający nadawę (6) jest zamknięty.

Po sprawdzeniu szczelności układu filtrującego, do komory (1) wprowadzano osad z polielektrolitem w ilości 5:1, która po napełnieniu została szczelnie zamknięta. Po zamknięciu uruchomiono mieszadło (2) po czym włączono sprężarkę i otwarto zawór dławiący (10) za pomocą którego



Legenda:

- 1 Zbiornik nadawy
- 2 Mieszadło
- 3 zawór odpowietrzający
- 4 Manometr
- 5 Przewód sprężonego powietrza
- 6 Zawór odcinający nadawę
- 7 Komora filtracyjna
- 8 Zamknięcie komory filtracyjnej
- 9 Cylinder miarowy
- 10 Zawór dławiący
- 11 Korek wlewu nadawy
- 12 Kolektor spływu filtratu

Rys. 1. Schemat techniczny laboratoryjnej prasy komorowo-tłokowej [materiały GIG]

Fig. 1. Technical scheme of laboratory press

regulowane jest ciśnienie w zbiorniku (1). Odczytu ciśnienia dokonywano na manometrze (4). Wytworzone ciśnienie w komorze (1) powoduje przepływ osadu do komory filtracyjnej (7), gdzie umieszczona jest tkanina filtracyjna. Odcieki poprzez kolektor spływu filtratu (12) gromadzone są w cylindrze miarowym (9). Po zakończeniu próby (ok. 3,5 godz.) w komorze (1) następuje upust nadciśnienia (3). W ostatnim etapie, następuje zamknięcie dopływu osadu zaworem (6) dopływającego do komory filtracyjnej (7). Z komory filtracyjnej (7) pobierana jest tkanina filtracyjna wraz z odwodnionym osadem w celu wykonania oznaczeń. Zgromadzony filtrat w cylindrze (9) po zakończeniu próby zostaje pobrany i poddany analizom fizykochemicznym.

WYNIKI BADAŃ I OMÓWIENIE

Dobór dawki polielektrolitu

Badania podatności osadu na odwadnianie wobec różnych dawek polielektrolitu przeprowadzono z zastosowaniem laboratoryjnego zestawu do odwadniania osadów w oparciu o zmodyfikowaną metodę opracowaną przez Kemira Kemi AB przytoczoną w punkcie materiały i metody. Do 50 ml osadu dodawano roztwór polielektrolitu przeliczony wg. proporcji zgodnie z danymi zamieszczonymi w tabeli 1.

Przed przystąpieniem do badań założono kilka dawek roboczych z którymi przeprowadzono badania. W artykule przedstawiono dwa stężenia robocze, które zauważalnie wpłynęły na skuteczność odwadniania (tab. 1).

Analizując wykres obrazujący wpływ dawki polielektrolitu na poszczególne wagi placków filtracyjnych można określić że zastosowanie dawki II przyniosło najlepsze rezultaty (rys. 2). Można stwierdzić iż zastosowanie dawki nr I skutkowało zwiększeniem wydajności odwadniania osadu, stąd dawka ta również została przetestowana w

badaniu wpływu na odwadnianie osadu na prasie laboratoryjnej.

Celem potwierdzenia skuteczności przeprowadzonych badań laboratoryjnych wykonano analizę korelacji dla wartości dawka/waga placka filtracyjnego. Analizę korelacji przeliczono w oparciu o ilość czystego polielektrolitu wprowadzonego do mieszaniny na potrzeby badań laboratoryjnych, i tak w przypadku dawki nr I było to 0,0002 mg czystego polielektrolitu, a w przypadku dawki II 0,0004 mg. Na poniższych wykresach przedstawiono korelację r-Persona dla trzech wykonanych testów z zastosowaniem zmodyfikowanej metody opracowanej przez Kemira Kemi AB.

Korelacja r-Persona została przeprowadzona dla trzech różnych dawek polielektrolitu i wynosiła odpowiednio dla testu **a** 0,995 dla testu **b** 0,982, i dla testu **c** 1 (rys. 3). Odnosząc się do osiągniętych wyników można stwierdzić iż prezentują one bardzo silną korelację (wartości od 0,6 do 1 mówią o związku silnym lub bardzo silnym).

Z analizy wyników przeprowadzonych badań laboratoryjnych wynika, że waga placka filtracyjnego z dodatkiem polielektrolitu jest większa niż placka filtracyjnego z próby kontrolnej zarówno w przypadku zastosowania dawki I jak i dawki II (odpowiednio w stosunku do kontroli o 1 g dla dawki I i 2 g dla dawki II). Wzrost masy osadu pozostałego na materiale filtracyjnym pozwala na stwierdzenie, że dodanie polielektrolitu do osadu poprawia efektywność procesu jego odwadniania. Przeprowadzone badania laboratoryjne, pozwoliły na określenie dawek polielektrolitu jakie stosowano w skali pół-technicznej (tab. 2).

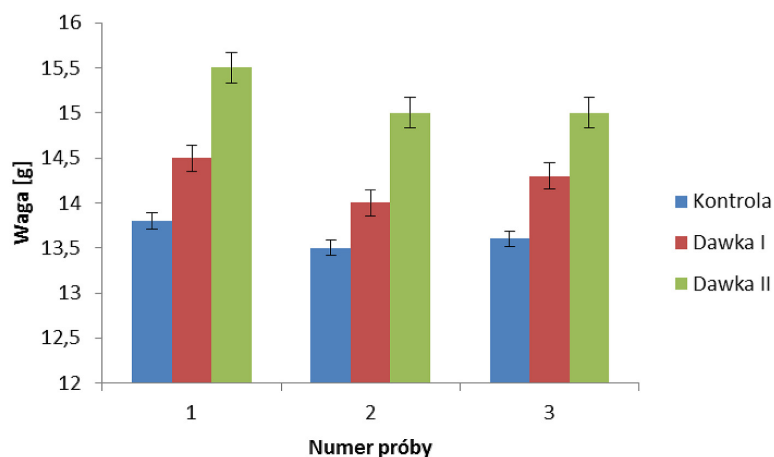
Odwadnianie osadu w skali pół-technicznej na prasie laboratoryjnej

Na prasie laboratoryjnej wykonano piętnaście prób skuteczności odwadniania z czego pięć prób stanowiły próby kontrolne, pięć prób stanowiły próby z dawką polielektrolitu nr I, a pięć prób z dawką nr II

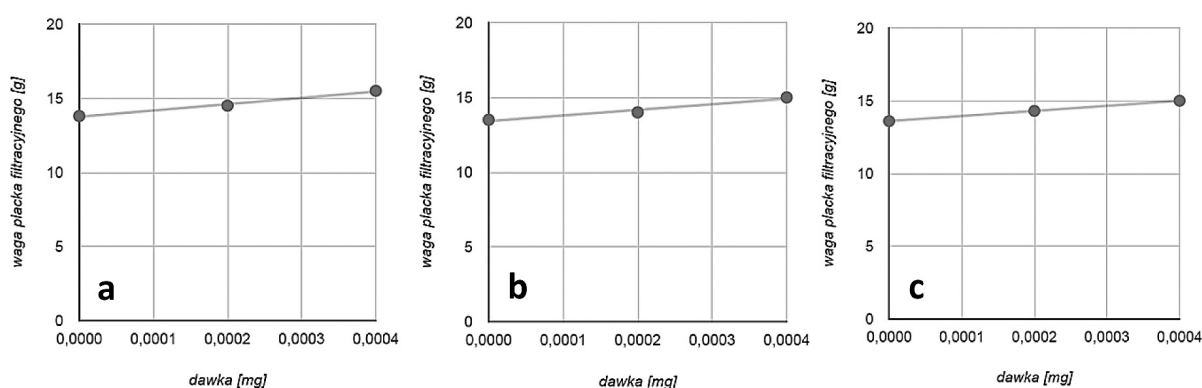
Tabela 1. Dawki polielektrolitu

Table 1. Polyelectrolyte doses

Lp.	Parametr	Roztwór polielektrolitu dawka nr I	Roztwór polielektrolitu dawka nr II
1	Stężenie	0,2%	0,4%
2	Dawka	2 ml roztw. 0,2%/l	5 ml roztw. 0,4%/l
3	Dawka na m ³ osadu [ml/m ³]	2 l roztw. 0,2%/m ³	5 l roztw. 0,4%/m ³
4	Dawka czystego polielektrolitu na kg smo [g/kg]	0,16 g/kg	0,32 g/kg
5	Zawartość czystego polielektrolitu w dawce na m ³ osadu [ml/m ³]	4 ml/m ³	8 ml/m ³



Rys. 2. Wyniki odwadniania osadu podczas doboru optymalnej dawki polielektrolitu
Fig. 2. Results of sewage sludge dewatering due optimising of polyelectrolyte dose



Rys. 3. Analiza korelacji r-Persona wykonana dla trzech testów laboratoryjnych
Fig. 3. Analysis of r-Person correlation for three laboratory tests

Tabela 2. Wyniki badań na laboratoryjnej prasie
Table 2. Results of analysis on laboratory press

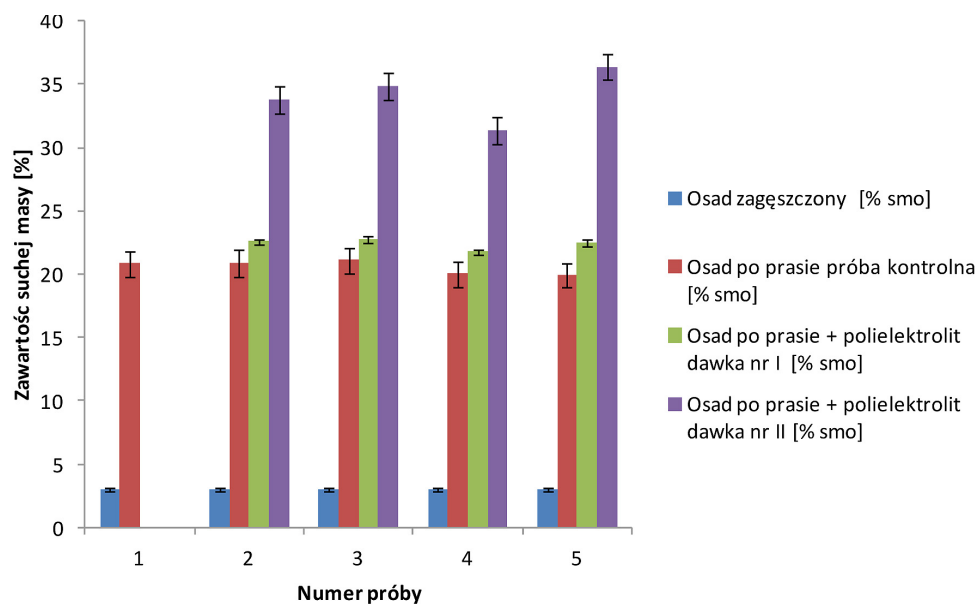
Nr próby	Osad zagęszczony [% smo]	Osad po prasie próba kontrolna [% smo]	Osad po prasie + polielektrolit dawka nr I [% smo]	Osad po prasie + polielektrolit dawka nr II [% smo]
1	3	20,82	n.b	n.b
2	3	20,89	22,57	33,79
3	3	21,10	22,76	34,90
4	3	20,06	21,76	31,35
5	3	19,94	22,49	36,41
Średnia	3	20,57	22,39	34,11

n.b. – nie badano.

Procesowi odwadniania z zastosowaniem badawczej prasy komorowo-tłokowej poddano 5 litrów przefermentowanego osadu, o zawartości suchej masy wynoszącej 3% smo. Ciśnienie w komorze filtracyjnej wynosiło 6 bar a czas trwania filtracji wyniósł 3,5 godziny. Po tym czasie zebrano 200 ml odcieku, a na tkaninie filtracyjnej utworzył się placek odwodnionego osadu o grubości 3 mm. W zbiorniku pozostało 4,4 litra nadawy.

Próby z dodatkiem polielektrolitu

Analogiczne jak w przypadku próby kontrolnej procesowi odwadniania z poddano 5 litrów przefermentowanego osadu, o zawartości suchej masy wynoszącej 3% smo. Ciśnienie w komorze filtracyjnej wynosiło 6 bar a czas trwania filtracji wyniósł 3,5 godziny. Wyniki dziesięciu przeprowadzonych prób z dwoma różnymi dawkami polielektrolitu przedstawiono w tabeli 2 i rysunku 4.



Rys. 4. Wyniki odwadniania osadu na prasie laboratoryjnej
 Fig. 4. Results of sewage sludge dewatering on a laboratory press

Ocena wizualna wytworzonych placków filtracyjnych pozwala wnioskować, że najlepiej odwodniony placek jest wynikiem badania przeprowadzonego ze stężeniem polielektrolitu nr II, co również potwierdziły późniejsze analizy stężenia suchej masy osadu.

Prasa laboratoryjna, na której prowadzono badania, ze względu na swoją konstrukcję charakteryzuje się nieco wyższą sprawnością odwadniania od standardowo stosowanych urządzeń w oczyszczalniach. W tabeli 3 pokazano porównanie wyników odwadniania osadu w węźle osadowym oczyszczalni komunalnej, z której pobrano osady, z wynikami odwadniania na prasie laboratoryjnej GIG. W oparciu o przedstawione wyniki stwierdzono:

- w próbie kontrolnej bez polielektrolitu wykonanej na prasie laboratoryjnej GIG uzyskano najniższą zawartość smo,
- w próbie z polielektrolitem o stężeniu nr I uzyskano porównywalny wynik jak na prasach stosowanych w oczyszczalni podczas odwadniania osadu ściekowego,
- w próbie z dawką nr II osiągnięto wynik średnio o ok. 13% większy w stosunku do wyniku otrzymanego w komunalnej oczyszczalni ścieków.

W tabeli 4 zestawiono wyniki badań fizykochemicznych odwodnionego osadu powstającego w oczyszczalni ścieków, z której pochodził osad użyty do testów w skali laboratoryjnej i półtechnicznej.

Porównując skuteczność odwadniania osadów na wirówkach oczyszczalni (z zastosowaniem innego rodzaju polielektrolitu) oraz skuteczność odwadniania na prasie laboratoryjnej można dostrzec wyraźną analogię, co z kolei potwierdza słuszność przedmiotowych badań i wskazuje, że istnieje możliwość wykorzystania wyników odwadniania osiągniętych przez GIG w praktyce, uwzględniając charakterystykę urządzeń pracujących w warunkach rzeczywistych. Dodatkowo wyniki otrzymane na prasie laboratoryjnej można porównać z wynikami węzła osadowego komunalnej oczyszczalni ścieków jako potwierdzenie słuszności postawionych przed przeprowadzonym badaniem założeń (tab. 4). Można zatem przyjąć, że osiągnięta wysoka skuteczność odwadniania osadu z polielektrolitem przy dawce nr II będzie również możliwa do osiągnięcia na wirówkach funkcjonujących w ciągu technologicznym oczyszczalni ścieków.

Tabela 3. Porównanie skuteczności odwadniania osadu prasą stosowaną w oczyszczalni oraz prasą GIG
 Table 3. Comparison of sludge dewatering effectiveness by GIG's and industrial press

Średni % smo – w oczyszczalni za rok 2014	Średni % smo, próba kontrolna	Średni % smo, próba ze stężeniem polielektrolitu nr I	Średni % smo, próba ze stężeniem polielektrolitu nr II
21,17	20,62	22,39	34,11

Tabela 4. Charakterystyka odwodnionego pofermentacyjnego osadu ściekowego**Table 4.** Parameters of fermented dewatered sewage sludge

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość średnia
1	Kadm (Cd)	mg/kg s.m.	3,07
2	Miedź (Cu)	mg/kg s.m.	163,67
3	Nikiel (Ni)	mg/kg s.m.	19,27
4	Ołów (Pb)	mg/kg s.m.	71,8
5	Cynk (Zn)	mg/kg s.m.	1170,83
6	Rtęć (Hg)	mg/kg s.m.	1,12
7	Chrom (Cr)	mg/kg s.m.	31,22
12	Odczyn pH	–	11,00
13	Sucha masa	%	21,17
14	Substancja organiczna	% s.m.	54,95
15	Azot amonowy	% s.m.	0,49
16	Azot ogólny	% s.m.	3,99
17	Fosfor ogólny	% s.m.	3,97
18	Zawartość wapnia (Ca)	% s.m.	8,39
19	Zawartość magnezu (Mg)	% s.m.	1,70

WNIOSKI

Stężenie suchej masy w tzw. próbie kontrolnej bez dodatku polielektrolitu zbliżone jest do stężeń suchej masy osadu otrzymywanych w komunalnej oczyszczalni ścieków, z której pobierano osad ściekowy, co świadczy o tym, że prasa laboratoryjna ze względu na swoją konstrukcję ma porównywalną sprawność odwadniania do systemu stosowanego w oczyszczalni. W badaniach dwóch próbek stężeń polielektrolitu stwierdzono:

- wyniki prób ze stężeniem polielektrolitu nr I są bardzo zbliżone do wyników próby kontrolnej,
- wyniki prób ze stężeniem nr II w stosunku do wyników próby kontrolnej wskazują na wyższą zawartość suchej masy w placku, średnio o ok. 12%.

Wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych potwierdziły zwiększenie skuteczności odwadniania osadu ściekowego po zastosowaniu polielektrolitu w stężeniu nr II o ok. 10–13% w stosunku do próby kontrolnej.

Porównując uzyskane wyniki laboratoryjne odwadniania osadu z wynikami z oczyszczalni ścieków można wnioskować, że zbliżone parametry suchej masy osadu będą możliwe do osiągnięcia w warunkach przemysłowych.

Przeprowadzone badania dają podstawę do przeprowadzenia dalszych badań w warunkach przemysłowych celem określenia wielkości dawki i sposobu dozowania polielektrolitu.

PIŚMIENNICTWO

1. Boušková A., Jansen J.L.C. 2006. Improvement of separation and dewatering of activated sludge by using enhanced biological removal process over chemical phosphorus precipitation. *Journal of Residuals Science and Technology* 3, 145–151.
2. Boušková A., Persson E., Jansen J.L.C., Dohan-yos M. 2006. The effect of operational temperature on dewatering characteristics of digested sludge. *Journal of Residuals Science and Technology* 3, 43–49.
3. Scholz M. 2005. Review of recent trends in Capillary Suction Time (CST) dewaterability testing research. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 44, 8157–8163.
4. Tastu Y. 2007. Evaluation of sludge dewatering properties. Master thesis No 2007-09. Water and Environment Engineering, Department of Chemical Engineering, Lund University.
5. Appels L., Baeyens J., Degreè J., Dewil R., 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Prog. Energy Combust.* 34, 755–781.
6. Saveyn H., Meersseman S., Thas O., Van D.M.P., 2005. Influence of polyelectrolyte characteristics on pressure-driven physicochemical dewatering. *Colloid Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects* 262, 40–51.
7. Glendinning S., Lamont-Black J., Jones C.J.F.P., 2007. Treatment of sewage sludge using electrokinetic geosynthetics. *Journal of Hazardous Materials* 139, 267–276.

8. Vaxelaire J., Olivier J., 2006. Conditioning for municipal sludge dewatering. From filtration compression tests to belt press. *Drying Technol.* 24, 1225–1233.
9. Tuan P.A., Sillappää M., 2010. Migration of ions and organic matter during electro-dewatering of anaerobic sludge. *J. Hazard. Mater.* 173, 54–61.
10. Mahmoud A., Olivier J., Vaxelaire J., Hoadley F.A., 2011. Electro-dewatering of wastewater sludge: influence of the operating conditions and their interactions effects. *Water Res.* 45, 2795–2810.
11. Maynard A.D., Aitken R.J., Butz T., Colvin V., Donaldson K., Oberdorster G., Philbert M.A., Ryan J., Seaton A., Stone V., Tinkle S.S., Tran L., Walker N.J., Warheit D.B., 2006. Safe handling of nanotechnology. *Nature* 444, 267–269.
12. Mu H., Chen Y., Xiao N., 2011. Effects of metal oxide nanoparticles (TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , ZnO) on waste activated sludge anaerobic digestion. *Biore-sour. Technol.*, 10305–10311.
13. Ellsworth D.K., Verhulst D., Spitler T.M., Sabacky B.J., 2000. Titanium nanoparticles move to the marketplace. *Chem. Innovation* 30(12), 30–35.
14. Serda R.E., Ferrati S., Godin B., Tasciotti E., Liu X.W., Ferrari M., 2009. Mitotic trafficking of silicon microparticles. *Nanoscale* 1(2), 250–259.
15. Kim J., Van D.B., 2010. The use of polymeric and ceramic membrane structures: review of manufacturing procedures and performance improvement for water treatment. *Environ. Pollut.* 158, 2335–2349.
16. Werle S. 2010. Termiczne sposoby zagospodarowania osadów ściekowych. *Energia ze ścieków. Politechnika Śląska, Energetyka Ciepła i Z wodowa*, nr 9.