

ZASTOSOWANIE OLEJKU ETERYCZNEGO EKSTRAHOWANEGO ZE SKÓREK POMARAŃCZY JAKO CZĘŚCIOWEGO SUBSTYTUTU FLOKULANTA

Anna Kowalczyk¹, Tadeusz Piecuch¹

¹ Katedra Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji, Politechnika Koszalińska, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, e-mail: anna.kowalczyk@tu.koszalin.pl; tadeusz.piecuch@tu.koszalin.pl

STRESZCZENIE

W pracy podjęto próbę określenia optymalnych warunków prowadzenia procesu mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych oraz zmniejszenia nieprzyjemnych zapachów wydzielających się podczas tego procesu. Proces odwadniania komunalnych osadów ściekowych prowadzono w laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350. Jako nadawę do procesu mechanicznego odwadniania zastosowano rzeczywisty ustabilizowany w wyniku fermentacji metanowej osad czynny, pobrany z Oczyszczalni Ścieków Jamno. Proces odwadniania wspomagany był flokulantem kationowym o nazwie handlowej Praestol 855BS o stężeniu rzeczywistym roztworu 0,3% oraz olejkiem eterycznym z pomarańczy, który wyprodukowano ze skórek pomarańczy w procesie destylacji parą wodną. Wartościami stałymi procesu odwadniania były: pH, temperatura, barwa, struktura, zapach, zawartość wody oraz zawartość suchej masy. Parametrami zmiennymi niezależnymi procesu odwadniania były: czas wirowania w zakresie 1–10 min, prędkość wirowania w zakresie 1000–3000 obr/min oraz dawka mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%) w zakresie 0–48 ml/dm³. Ocenie poddano: zawartość wody w osadzie, zawartość suchej masy w odcieku oraz czas utrzymywania się zapachu olejku w osadzie. Przeprowadzone badania wykazały, że olejek eteryczny z pomarańczy może być stosowany jako częściowy substytut flokulantu Praestol 855BS w procesie sedymentacji odśrodkowej. Olejek eteryczny z pomarańczy w dużym stopniu zmniejsza nieprzyjemne zapachy, które wydzielane są z osadów podczas ich mechanicznego odwadniania. Zaleca się do aplikacji dawkowanie równoczesne obydwu odczynników wspomagających, tj. flokulantu Praestol 855BS 79% oraz olejku eterycznego z pomarańczy 21% udziału objętościowego.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, odwadnianie, zawartość wody w osadzie, zawartość suchej masy w odcieku, olejek eteryczny z pomarańczy, flokulant.

APPLICATION OF ESSENTIAL OILS EXTRACTED FROM PEELS OF ORANGES AS A PARTIAL SUBSTITUTE OF FLOCCULANT

ABSTRACT

The study attempts to determine the optimum conditions of the process of mechanical dewatering of municipal sewage sludge and reduction of odours emitted during this process. The process of dewatering of municipal sewage sludge was carried out using laboratory sedimentation centrifuge of MPW-350 type. Municipal sewage sludge stabilized during anaerobic digestion, taken from Wastewater Treatment Plant Jamno. The dewatering process was aided by cationic flocculant Praestol 855BS of real solution concentration 0.3% and essential oil from orange, which was extracted from orange peels in the process of steam distillation. Constant parameters of dewatering process were: pH, temperature, colour, texture, smell, water content and dry matter content. Independent variables of dewatering process were: centrifugation time (in the range 1–10 min), centrifugation speed (in the range 1000–3000 rotations/min) and dose of mixture of flocculant Praestol 855BS (79%) + essential oil of orange (21%) in the range 0–48 ml/dm³. Water content in the sludge after the process, dry matter content in the effluent and the duration of the smell of oil in the sediment were determined. Studies showed that the essential oil from orange may be used as a partial substitute of flocculant Praestol 855BS in the process of centrifugal sedimentation. Essential oil of orange significantly reduces unpleasant odours which are emitted from sludge during mechanical dewatering. Simultaneous application of both reagents, ie. flocculant Praestol 855BS 79%, and essential oil of orange 21% of volume is recommended.

Keywords: sewage sludge, dewatering, water content in sludge, dry matter content in the effluent, essential oil from orange, flocculant.

WSTĘP

Przy mechanicznym odwadnianiu stosuje się tzw. kondycjonowanie osadów, które ma na celu zmianę struktury i właściwości osadów w stopniu pozwalającym zwiększyć efektywność ich odwadniania. Zmiana struktury osadów doprowadza m.in. do znacznego osłabienia sił wiążących wodę z powierzchnią cząstek fazy stałej co w efekcie powoduje bardzo łatwe usuwanie wody w procesach mechanicznego odwadniania [Bień i in. 1999, Boruszko 2001].

Wyróżnia się następujące metody kondycjonowania osadów: chemiczne – stosując reagenty takie jak np.: koagulanty, polielektrolity, obciążniki mineralne (kaolinit, bentonit) oraz fizyczne, tj. termiczne (podgrzewanie, wymrażanie), specyficzne (wykorzystanie działania pola ultradźwiękowego lub pola mikrofalowego), mechaniczne (zastosowanie dodatków, np. popiół, talk) i inne (przemywanie, napowietrzanie – poprzedzające sedymentację lub zagęszczanie (zwłaszcza w odniesieniu do osadu nadmiernego)) [Małej 2004, Małej i in. 2002, Podedworna & Umiejewska 2007, Podedworna & Umiejewska 2008].

Spośród wyżej wymienionych metod najczęściej stosowane jest chemiczne kondycjonowanie osadów przez dodanie polimerów lub koagulantów. Mogą to być związki wapna, żelaza, glinu. Najpowszechniej jednak stosuje się związki organiczne (np. poliakrylamidy) o olbrzymim ciężarze cząsteczkowym. Nazywa się je flokulantami organicznymi, polimerami lub polielektrolitami. Dobrze dobrany polimer zwiększa czystość odcieku i zmniejsza uwodnienie osadu. Działanie polimeru jest wielostronne. Wpływa on na budowanie struktury kłaczkowej, zwiększanie ziaren (cząstek) osadu poprzez aglomerację drobnych cząstek koloidalnych oraz wytwarzanie odporności na ścinanie i ściskanie [Boruszko 2001].

Charakterystyczną cechą kondycjonowania jest to, że zbyt duża dawka polimeru może pogorszyć zdolność osadu do odwadniania [Boruszko 2001].

Mechaniczne odwadnianie osadów ściekowych jest jednym z głównych źródeł emisji substancji złośliwych z terenu oczyszczalni ścieków [Kulig i in. 2010].

W chwili obecnej problem uciążliwości zapachowej na obiektach gospodarki ściekowej podejmowany jest przez wielu badaczy z uwagi na brak w Polsce stosownych unormowań prawnych, które umożliwiłyby zarówno nakazanie ograniczenia emisji odorów, jak i egzekwowanie nakazów przez

organy ochrony środowiska [Agus i in. 2012, Bojanowicz-Bablok 2012, Brudniak i in. 2013, Kośmider & Krajewska 2007, Kośmider i in. 2012, Kulig 2005, Kulig i in. 2010, Kulig i in. 2008].

Celem niniejszej pracy było określenie optymalnych warunków prowadzenia procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych w wirówce oraz zmniejszenie nieprzyjemnych zapachów wydzielających się podczas tego procesu poprzez zastosowanie olejku eterycznego z pomarańczy jako częściowego substytutu flokulanta Praestol 855BS.

METODYKA BADAŃ

Owadnianie komunalnych osadów ściekowych

Proces odwadniania komunalnych osadów ściekowych prowadzono w laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350.

Jako nadawę do procesu mechanicznego odwadniania zastosowano rzeczywisty ustabilizowany w wyniku fermentacji metanowej osad czynny, pobrany z Oczyszczalni Ścieków Jamno, bezpośrednio z przewodu tłocznego podającego osad z WKFo (wydzielona komora fermentacyjna otwarta) do wirówek dekantacyjnych.

Wartościami stałymi procesu odwadniania były parametry charakteryzujące nadawę, tj.: pH [-], temperatura [°C], barwa, struktura, zapach, zawartość wody W_N [%] oraz zawartość suchej masy β_N [mg/dm³]. Parametry zmienne niezależne procesu odwadniania:

- x_1 – czas wirowania t [min]: $t_1 = 1$ min, $t_2 = 2$ min, $t_3 = 5$ min, $t_4 = 8$ min, $t_5 = 10$ min,
- x_2 – prędkość wirowania n [obr/min]: $n_1 = 1000$ obr/min, $n_2 = 1500$ obr/min, $n_3 = 2000$ obr/min, $n_4 = 2500$ obr/min, $n_5 = 3000$ obr/min,
- x_3 – dawka mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³]: $C_{F/O0} = 0$ ml/dm³, $C_{F/O1} = 18$ ml/dm³, $C_{F/O2} = 23$ ml/dm³, $C_{F/O3} = 28$ ml/dm³, $C_{F/O4} = 33$ ml/dm³, $C_{F/O5} = 38$ ml/dm³, $C_{F/O6} = 48$ ml/dm³.

Parametry zmienne zależne (wynikowe) procesu odwadniania:

- y_1 – zawartość wody w osadzie W [%],
- y_2 – zawartość suchej masy w odcieku β [mg/dm³],
- y_3 – czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Pierwszy etap badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych prowadzono przy stałej prędkości wirowania n wynoszącej 2500 obr/min oraz stałej dawce dodawanej mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), która wynosiła 28 ml/dm³. Parametrem zmiennym był czas wirowania (x_1), który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Drugi etap badań prowadzono przy stałej wartości parametru x_1 (czasu wirowania) wynoszącej 2 minuty (centralny punkt aproksymacji), stałej dawce mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) (x_3) wynoszącej 28 ml/dm³ przy zmiennej wartości parametru niezależnego x_2 – prędkości wirowania w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. W trzecim etapie badań parametrami stałymi niezależnymi były: czas wirowania t wynoszący 2 minuty oraz prędkość wirowania n , która wynosiła 2500 obr/min. Parametrem zmiennym była dawka dozowanej mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) w zakresie od 0 do 48 ml/dm³.

Pomiar zapachu

Czas utrzymywania się zneutralizowanego zapachu osadu oznaczono organoleptycznie, mierząc czas utrzymywania się zapachu olejku eterycznego z pomarańczy. Ocena organoleptyczna przeprowadzona była przez zespół składający się z czterech osób. Każda osoba posiadała kartę, na której dokonywała zapisu wyników. Pozyskane wyniki od wszystkich osób dały wypadkową, która posłużyła do określenia czasu neutralizacji odorów w odwirowanym osadzie.

Charakterystyka osadu ściekowego

Do badań użyto osad ściekowy o następującej charakterystyce:

- pH: 7,55,
- temperatura: 20 °C,
- barwa: czarna,
- struktura osadu: jednolita, trudno opadający, zawieszinowy,
- zapach: gnilny,
- zawartość wody W_N : 97,7%,
- zawartość suchej masy β_N : 21180 mg/dm³.

Charakterystyka flokulanta kationowego Praestol 855BS

Proces odwadniania w laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350 wspomaga-

ny był flokulantem kationowym o nazwie handlowej Praestol 855BS, który stosowany jest na Oczyszczalni Ścieków Jamno. Doświadczalnie dobrana i stosowana dawka flokulanta na oczyszczalni ścieków wynosi 3,68 kg/Mg s.m.o. W czasie odwadniania uzyskuje się osad odwodniony do poziomu 68–75% zawartości wody. W tabeli 1 przedstawiono informacje na temat podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych flokulanta Praestol 855BS zastosowanego do badań.

Charakterystyka olejku eterycznego z pomarańczy

Do badań procesu mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych w laboratorium wykorzystano naturalny olejek eteryczny z pomarańczy, który wyprodukowano ze skórek pomarańczy w procesie destylacji parą wodną.

W tabeli 2 przedstawiono informacje na temat podstawowych właściwości fizyczno-chemicznych olejku eterycznego z pomarańczy zastosowanego do badań. Olejek pomarańczowy zawiera głównie nerol i limonen.

Tabela 1. Charakterystyka flokulanta Praestol 855BS [ASHLAND]

Table 1. Characteristics of flocculant Praestol 855BS [ASHLAND]

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| Wygląd | granulat, ciało stałe |
| Barwa | biały, jasno żółty |
| Zapach | aminowy |
| Temperatura zapłonu | nie dotyczy |
| Dolna granica wybuchowości | 30 000 mg/dm ³ |
| pH | 7 stężenie 10,00 g/l |
| Temperatura topnienia | nie dotyczy |
| Temperatura wrzenia | nie dotyczy |
| Prężność par | < 0,02 hPa |
| Gęstość | ok. 0,72 g/cm ³ |
| Rozpuszczalność w wodzie | słabo rozpuszczalny |
| Rozkład termiczny | > 150 °C |
| Gęstość nasypowa | 600 kg/m ³ |

Tabela 2. Charakterystyka olejku eterycznego z pomarańczy

Table 2. Characteristics of orange essential oil

| | |
|---|-------------------------|
| Wygląd | Ciecz |
| Barwa | żółta |
| Zapach | pomarańczowy |
| Gęstość d_{20}^{20} | 0,850 g/cm ³ |
| Współczynnik załamania światła n_D^{20} | 1,473 |

WYNIKI I DISKUSJA

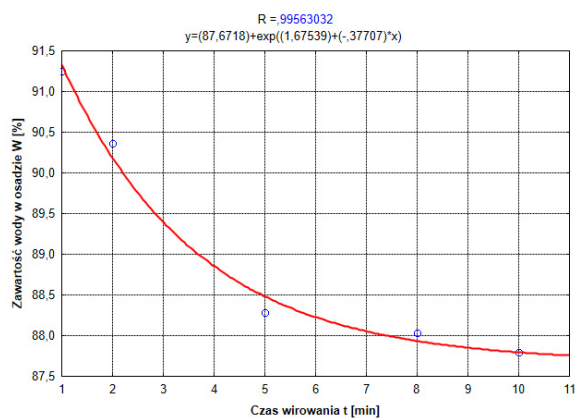
Pierwszym parametrem zmiennym, przy którym badano zawartość wody w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej był czas wirowania, który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Efekty odwadniania przedstawiono na rysunku 1. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost czasu wirowania powoduje spadek zawartości wody w osadzie. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać zmniejszenie zawartości wody w osadzie o 3,45%. Najniższą wartość zawartości wody w osadzie, tj. 87,8% uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że największy spadek zawartości wody w osadzie następuje przy wzroście czasu wirowania do pięciu minut. Dalsze wydłużenie czasu wirowania nie wpływa w znaczący sposób na zmniejszenie zawartości wody w osadzie. Spadek zawartości wody w osadzie można tłumaczyć tym, że wraz ze wzrostem czasu wirowania, wydłuża się czas działania siły odśrodkowej (największa zdecydowanie, co do wartości siła działająca na ziarenko osadu w procesie sedymentacji odśrodkowej), która powoduje sedymentację i zagęszczenie coraz mniejszych ziarenek osadu.

Kolejnym parametrem zmiennym w procesie sedymentacji odśrodkowej była prędkość wirowania, która zmieniała się w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 2. Analiza wyników badań wskazuje, że ze wzrostem prędkości obrotowej zmniejsza się zawartość wody w osadzie. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min otrzymano zmniejszenie zawartości wody w osadzie

o 3,26%. Najniższą wartość zawartości wody w osadzie, tj. 90,07% uzyskano przy prędkości obrotowej równej 3000 obr/min. Kształt krzywej pokazuje, że największy spadek zawartości wody w osadzie następuje do około 2500 obr/min, powyżej tej prędkości spadek zawartości wody w osadzie jest zdecydowanie mniejszy. Zależność tą można wytłumaczyć w taki sposób, że wraz ze wzrostem prędkości wirowania rośnie siła odśrodkowa, która powoduje odsączenie z por osadu zawartej w porach resztek wody.

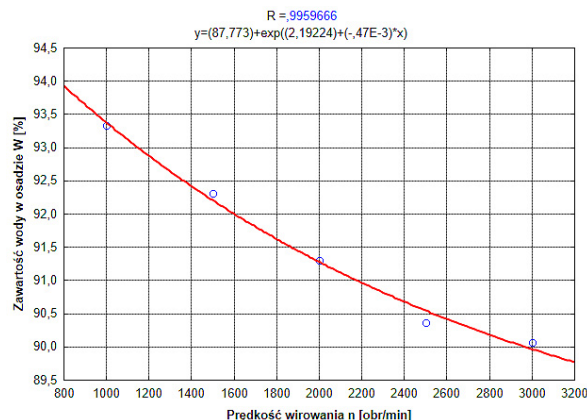
Na rysunku 3 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) $C_{F/O} = 28$ ml/dm³ na zawartość wody w osadzie W [%].

Ostatnim badanym parametrem zmiennym była dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), która zmieniła się w zakresie od 0 do 48 ml/dm³. Analiza wyników badań przedstawionych na rysunku 4 wskazuje, że wzrost dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) wpływa na zmniejszenie zawartości wody w osadzie. Ze wzrostem dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) od 0 do 48 ml/dm³ można uzyskać zmniejszenie zawartości wody w osadzie z 92,52% do wartości 89,77%, czyli o 2,75%. Najniższą wartość zawartości wody w osadzie, tj. 89,77% uzyskano przy dawce mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) równej 48 ml/dm³. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy



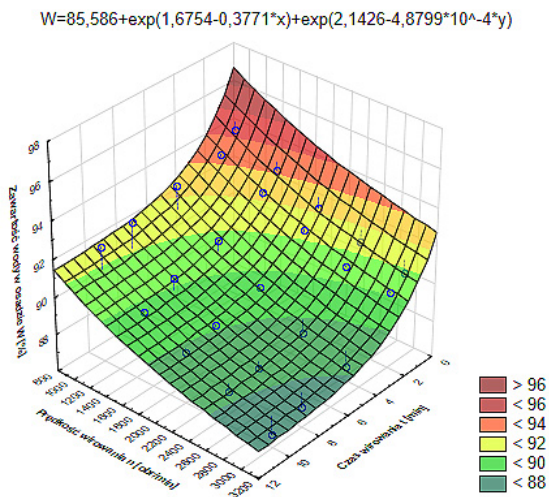
Rys. 1. Wpływ czasu wirowania t [min] na zawartość wody w osadzie W [%]

Fig. 1. Impact of centrifugation time t [minutes] on water content in the sludge W [%]



Rys. 2. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na zawartość wody w osadzie W [%]

Fig. 2. Impact of centrifugation speed n [rpm] on water content in the sludge W [%]



Rys. 3. Wykres zależności zawartości wody w osadzie W [%] w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant (79%) + olejek (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$
Fig. 3. Diagram of water content in the sludge W [%] vs. centrifugation time t [minutes] and centrifugation speed n [rotations/minute] for dose of mixture of flocculant (79%) + oil (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$

(21%) 33 ml/dm^3 jest dawką optymalną. Powyżej tej dawki spadek zawartości wody w osadzie nie jest istotny. Flokulant z olejkiem łączy drobne cząstki koloidalne zawiesiny w większe aglomeraty, tzw. kłaczkę, które znacznie lepiej podlegają oddziaływaniu siły odśrodkowej, gdyż mają większą masę ($m \cdot r^2$) przyspieszając w ten sposób proces sedymentacji odśrodkowej.

Końcowe równanie aproksymacyjne ustalone metodą punktu centralnego wg Piecucha przyjmuje następującą postać:

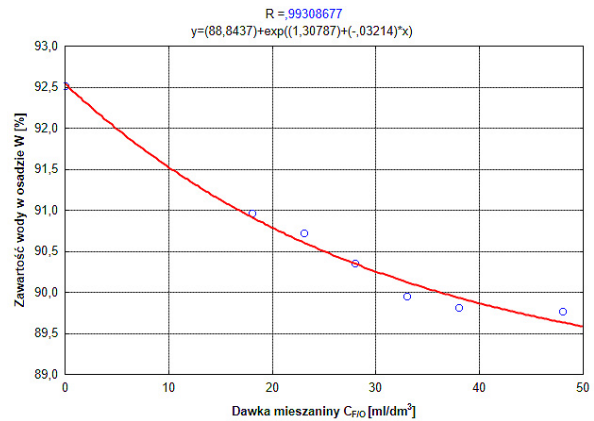
$$W(t, n, C_{F/O}) = 84,35 + \exp(1,68 - 0,38 \cdot t) + \exp(2,14 - 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \exp(1,14 - 0,05 \cdot C_{F/O}) \quad (1)$$

gdzie: $W(t, n, C_{F/O})$ – parametr wynikowy – zawartość wody w osadzie [%],
 t – czas wirowania [min],
 n – prędkość wirowania [obr/min],
 $C_{F/O}$ – dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) [ml/dm^3].

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

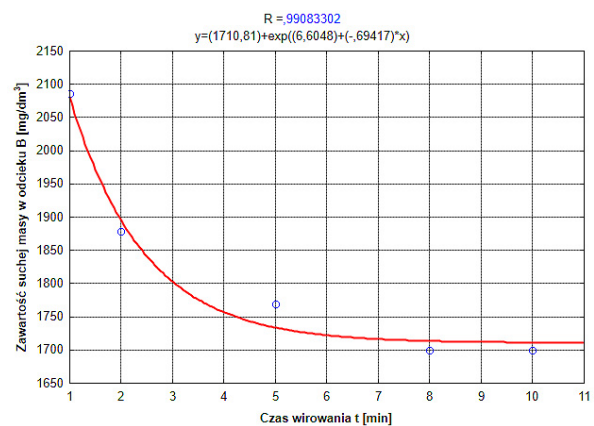
- $t \in 1-10 \text{ min}$,
- $n \in 1000-3000 \text{ obr/min}$,
- $C_{F/O} \in 0-48 \text{ ml/dm}^3$,

i w tych zakresach może być one wykorzystywane w projektowaniu.



Rys. 4. Wpływ dawki mieszaniny flokulant (79%) + olejek (21%) $C_{F/O} [\text{ml/dm}^3]$ na zawartość wody w osadzie W [%]
Fig. 4. Impact of dose of mixture of flocculant (79%) + oil (21%) $C_{F/O} [\text{ml/dm}^3]$ on water content in the sludge W [%]

Drugim parametrem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej, jaki badano, była zawartość suchej masy w odcieku. Wyniki badań wpływu czasu wirowania na zawartość suchej masy w odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej, przedstawiono na rysunku 5, który pokazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje wartość zawartości suchej masy w odcieku. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać spadek wartości zawartości suchej masy w odcieku z $2085,65 \text{ mg/dm}^3$ do wartości $1699,23 \text{ mg/dm}^3$, czyli o $386,42 \text{ mg/dm}^3$. Najniższą wartość zawartości suchej masy w odcieku, tj. $1699,23 \text{ mg/dm}^3$ uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu krzywej wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu



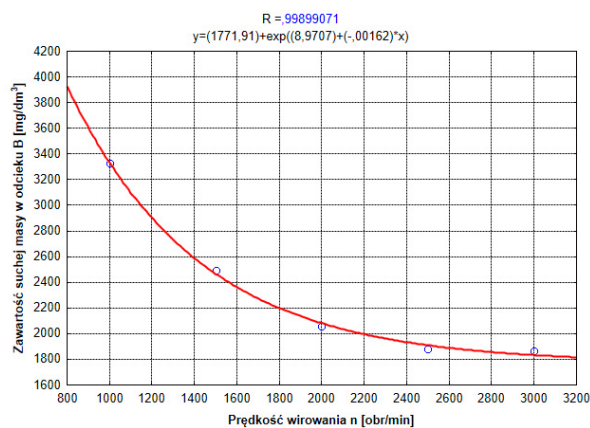
Rys. 5. Wpływ czasu wirowania t [min] na zawartość suchej masy w odcieku $\beta [\text{mg/dm}^3]$
Fig. 5. Impact of centrifugation time t [minutes] on dry matter content in effluent $\beta [\text{mg/dm}^3]$

wirowania do 8 minut następuje szybkie obniżenie zawartości suchej masy w odcieku. Wzrost czasu powyżej 8 minut nie powoduje zauważalnego spadku. Zatem, wraz ze wzrostem czasu wirowania wydłuża się czas tworzenia osadu, którego jest coraz więcej, a tym samym coraz mniej cząstek stałych może przejść do odcieku.

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na zawartość suchej masy w odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono na rysunku 6. Analiza wyników badań wskazuje, że wraz ze wzrostem prędkości wirowania maleje zawartość suchej masy w odcieku. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min zanotowano spadek zawartości suchej masy w odcieku o 1461,21 mg/dm³. Najniższą wartość zawartości suchej masy w odcieku, tj. 1864,8 mg/dm³ uzyskano przy prędkości wirowania równej 3000 obr/min. Kształt przebiegu zależności wskazuje, że wraz ze wzrostem prędkości do 2500 obr/min następuje szybkie obniżanie zawartości suchej masy w odcieku. Wzrost prędkości powyżej 2500 obr/min nie jest istotny. Otóż, wzrost siły odśrodkowej spowodowany wzrostem prędkości wirowania, zmusza nawet najmniejsze ziarna zawiesiny do sedymentacji, a więc usuwa je z odcieku.

Na rysunku 7 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) C_{F/O} = 28 ml/dm³ na zawartość suchej masy w odcieku β [mg/dm³].

Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) na zawartość suchej masy w odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawio-



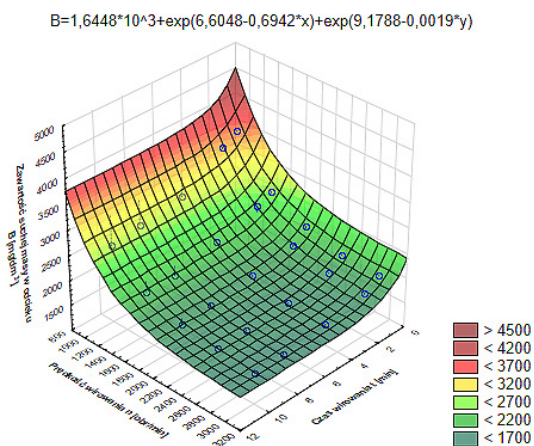
Rys. 6. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na zawartość suchej masy w odcieku β [mg/dm³]

Fig. 6. Impact of centrifugation speed n [rpm] on dry matter content in effluent β [mg/dm³]

no na rysunku 8. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) wpływa na zmniejszenie zawartości suchej masy w odcieku. Ze wzrostem dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) od 0 do 48 ml/dm³ można uzyskać zmniejszenie zawartości suchej masy w odcieku o 1882,24 mg/dm³. Najniższą wartość zawartości suchej masy w odcieku, tj. 1642,84 mg/dm³ uzyskano przy dawce mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) równej 48 ml/dm³. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) 28 ml/dm³ jest dawką optymalną. Powyżej tej dawki spadek zawartości suchej masy w odcieku nie jest znaczący i utrzymuje się na podobnym poziomie. Flokulant i olejek wpływają na spadek zagęszczenia odcieku w taki sposób, że łączą one drobne cząstki koloidalne zawiesiny w większe aglomeraty, które znacznie łatwiej podlegają oddziaływaniu siły odśrodkowej, a więc przechodzą do osadu.

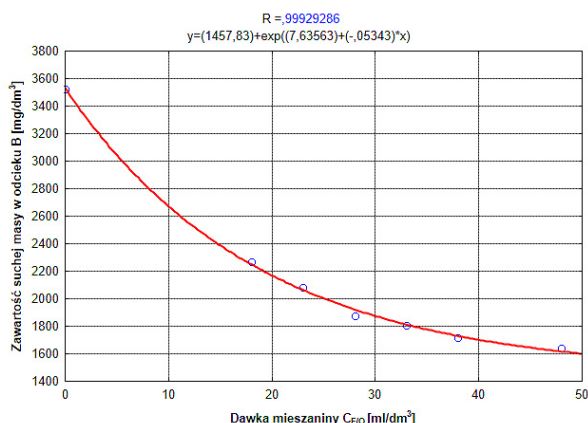
Końcowe równanie aproksymacyjne obliczone metodą punktu centralnego wg Piecucha ma następującą postać:

$$\beta(t, n, C_{F/O}) = 1,13 \cdot 10^3 + \exp(6,60 - 0,69 \cdot t) + \exp(9,18 - 1,90 \cdot 10^{-3} \cdot n) + \exp(7,68 - 0,05 \cdot C_{F/O}) \quad (2)$$



Rys. 7. Wykres zależności zawartości suchej masy w odcieku β [mg/dm³] w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant (79%) + olejek (21%) C_{F/O} = 28 [ml/dm³]

Fig. 7. Diagram of dry matter content in effluent β [mg/dm³] vs. centrifugation time t [minutes] and centrifugation speed n [rotations/minute] for dose of mixture of flocculant (79%) + oil (21%) C_{F/O} = 28 [ml/dm³]



Rys. 8. Wpływ dawki mieszaniny flokulant (79%) + olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na zawartość suchej masy w odcieku β [mg/dm³]

Fig. 8. Impact of dose of mixture of flocculant (79%) + oil (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] on dry matter content in effluent β [mg/dm³]

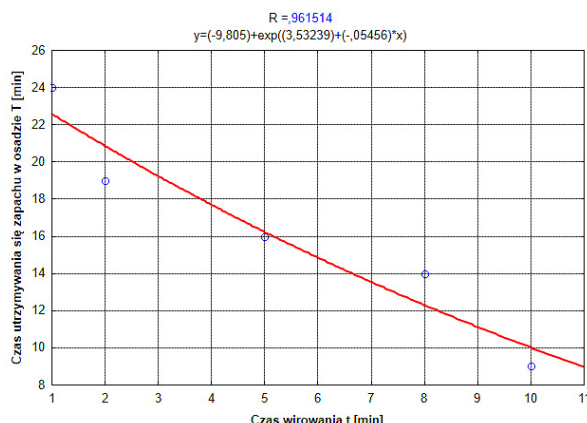
gdzie: $\beta(t, n, C_{F/O})$ – parametr wynikowy – zawartość suchej masy w odcieku [mg/dm³],
 t – czas wirowania [min],
 n – prędkość wirowania [obr/min],
 $C_{F/O}$ – dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) [ml/dm³].

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

- $t \in 1-10$ min,
- $n \in 1000-3000$ obr/min,
- $C_{F/O} \in 0-48$ ml/dm³,

a więc w tych zakresach może być użytkowane przez projektantów.

Kolejnym parametrem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej, jaki badano, był czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie. Wyniki badań wpływu czasu wirowania na czas utrzymywania się zapachu w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono na rysunku 9. Analiza wyników badań wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje czas utrzymywania się zapachu olejku eterycznego w osadzie. Najniższą wartość, tj. 9 minut uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że dalsze wydłużenie czasu wirowania będzie powodowało spadek czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie. Spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie można tłumaczyć tym, że im dłuższy czas wirowania, tym dłuższy czas oddziaływania siły odśrodkowej na odwadniany osad, która



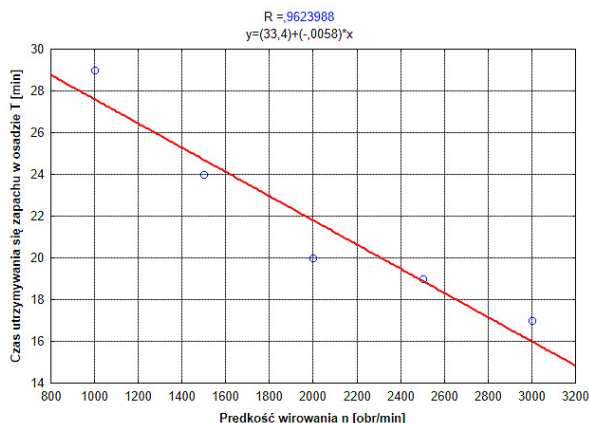
Rys. 9. Wpływ czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Fig. 9. Impact of centrifugation time t [minutes] on smell duration in the sludge T [minutes]

wypiera zarówno cząsteczki wody, jak i olejku z sedymentowanego osadu, powodując, że większa objętość olejku przedostaje się do odcieku. Należy również wziąć pod uwagę fakt, iż gęstość olejku jest mniejsza od gęstości wody, co powoduje, iż unosi się on na powierzchni odcieku.

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono na rysunku 10. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost prędkości wirowania powoduje spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min zanotowano spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie o 12 minut. Najniższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 17 minut uzyskano przy prędkości wirowania 3000 obr/min. Kształt przebiegu krzywej pokazuje, że dalszy wzrost prędkości wirowania będzie powodował spadek czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie. Spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie można wytłumaczyć tak samo jak w poprzednim przypadku, czyli, że wraz ze wzrostem prędkości wirowania rośnie siła odśrodkowa, która wypiera cząsteczki wody i olejku z sedymentowanego osadu, powodując, że większa ilość olejku przedostaje się do odcieku. W tym przypadku również należy uwzględnić gęstość olejku, która jest mniejsza od gęstości wody i pod wpływem siły odśrodkowej wypływa on na powierzchnię odcieku.

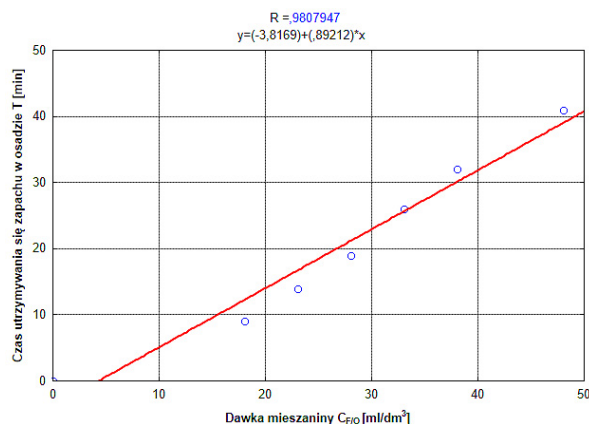
Na rysunku 11 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny



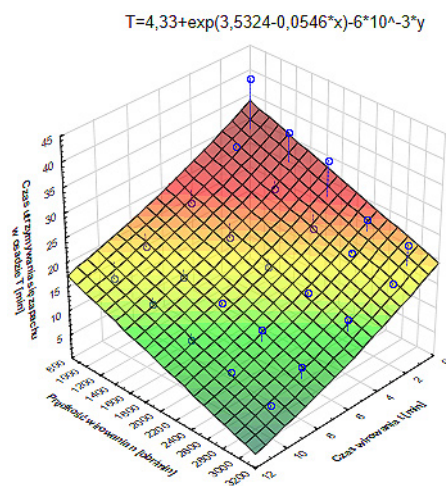
Rys. 10. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
Fig. 10. Impact of centrifugation speed n [rpm] on smell duration in the sludge T [minutes]

flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) na czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono na rysunku 12. Analiza wyników badań wskazuje, że wraz ze wzrostem dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) wzrasta czas utrzymywania się zapachu w osadzie. Najwyższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 41 minut uzyskano przy dawce mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) 48 ml/dm^3 . Kształt przebiegu tej zależ-



Rys. 12. Wpływ dawki mieszaniny flokulant (79%) + olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
Fig. 12. Impact of dose of mixture of flocculant (79%) + oil (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] on smell duration in the sludge T [minutes]



Rys. 11. Wykres zależności czasu utrzymywania się zapachu T [min] w osadzie w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant (79%) + olejek (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$
Fig. 11. Diagram of smell duration T [minutes] vs. centrifugation time t [minutes] and centrifugation speed n [rotations/minute] for dose of mixture of flocculant (79%) + oil (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$

ności wskazuje, że dalsze zwiększanie dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) będzie powodowało wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie. Można to tłumaczyć tym, że wraz ze wzrostem dawki, zwiększa się objętość olejku w odwodnionym osadzie, a tym samym wzrasta czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów w osadzie.

Po wprowadzeniu olejku eterycznego z pomarańczy do osadu ściekowego nastąpiło złagodzenie, a nawet zanik nieprzyjemnego zapachu osadu. Spowodowały to związki należące do grupy terpenów m.in. limonen i nerol, które wchodzi w skład olejku eterycznego z pomarańczy. Związki te mają najwyższe progi węchowej wyczuwalności i to one decydują o charakterystycznym zapachu olejku eterycznego z pomarańczy.

Mechanizm neutralizacji zapachu nie został dotychczas wyjaśniony. W tym przypadku najprościej można wytłumaczyć go w taki sposób, że nastąpiło zablokowanie części receptorów nabłonka węchowego poprzez związki decydujące o charakterystycznym zapachu olejku eterycznego z pomarańczy, co przyczyniło się do zmiany charakteru zapachu odwodnionych osadów z nieprzyjemnego na przyjemny, w których wyczuwalna była woń olejku eterycznego z pomarańczy.

Równanie aproksymacyjne metodą punktu centralnego wg Piecucha przyjmuje następującą postać:

$$T(t, n, C_{F/O}) = -27,37 + \exp(3,53 - 0,05 \cdot t) - 6 \cdot 10^{-3} \cdot n + 1,15 \cdot C_{F/O} \quad (3)$$

gdzie: $T(t, n, C_{F/O})$ – parametr wynikowy – czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],
 t – czas wirowania [min],
 n – prędkość wirowania [obr/min],
 $C_{F/O}$ – dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) [ml/dm³].

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

- $t \in 1-10$ min,
- $n \in 1000-3000$ obr/min,
- $C_{F/O} \in 0-48$ ml/dm³,

a więc w tych zakresach może być użytkowane przez projektantów.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i ich analizy można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Olejek eteryczny z pomarańczy może być stosowany jako częściowy substytut flokulanta Praestol 855BS w procesie sedymentacji odśrodkowej.
2. Mieszanina olejku eterycznego z pomarańczy z flokulantem Praestol 855BS wpływa na spadek parametrów wynikowych procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych.
3. Proces odwadniania osadów ściekowych wspomagany flokulantem Praestol 855BS oraz mieszaniną w proporcji flokulant Praestol 855BS 79% oraz olejek eteryczny z pomarańczy 21%, okazał się nieco skuteczniejszy przy zastosowaniu flokulanta Praestol 855BS; różnica w zawartości wody w osadzie jest niewielka i wynosi zaledwie ok. 0,28%, natomiast w przypadku zawartości suchej masy w odcieku ok. 283,13 mg/dm³. Wyniki badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem flokulanta Praestol 855BS zostały przedstawione w pracy [Kowalczyk & Piecuch 2016].
4. Olejek eteryczny z pomarańczy powoduje znaczną poprawę warunków pracy, tzn. w dużym stopniu zmniejsza nieprzyjemne zapachy, które wydzielane są z osadów podczas ich mechanicznego odwadniania.

5. Biorąc pod uwagę zarówno skuteczne obniżenie parametrów wynikowych procesu odwadniania i znaczne zmniejszenie uciążliwości zapachowych, przyjmuje się i zaleca do aplikacji dawkowanie równoczesne obydwu odczynników wspomagających, tj. flokulanta Praestol 855BS 79% oraz olejku eterycznego z pomarańczy 21% udziału objętościowego.

LITERATURA

1. Agus, E., Zhang, L., Sedlak, D. L. 2012. A framework for identifying characteristic odor compounds in municipal wastewater effluent. *Water Research*, 46 (18), 5970–5980.
2. ASHLAND Karta charakterystyki flokulanta Praestol 855BS, Nr karty: R0308409.
3. Bień, J., Matysiak, B., Wystalska, K. 1999. Stabilizacja i odwadnianie osadów ściekowych. Monografie Nr 60. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
4. Bojanowicz-Bablok, A. 2012. Disamenity externalities of municipal solid waste landfill. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 14 (1), 11–20.
5. Boruszko, D. 2001. Przeróbka i unieszkodliwianie osadów ściekowych – ćwiczenia laboratoryjne. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok.
6. Brudniak, A., Dębowski, M., Zieliński, M. 2013. Określenie zapachowego oddziaływania wybranej oczyszczalni ścieków na tereny objęte opracowaniem planu zagospodarowania przestrzennego. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15 (2), 1759–1771.
7. Kośmider, J., & Krajewska, B. 2007. Determining Temporary Odour Concentration under Field Conditions – Comparison of Methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16 (2), 215–225.
8. Kośmider, J., Mazur-Chrzanowska, B., Wyszynski, B. 2012. *Odory*. PWN, Warszawa.
9. Kowalczyk, A. & Piecuch, T. 2016. Sludge dewatering in a decanter centrifuge aided by cationic flocculant Praestol 855BS and essential oil of waste orange peel. *Archives of Environmental Protection*, 42 (1), 3–18.
10. Kulig, A. 2005. Źródła i oddziaływanie odorantów emitowanych z obiektów gospodarki ściekowej. *Przeгляд Komunalny, Zeszyty Komunalne*, 11, 99–103.
11. Kulig, A., Lelicińska-Serafin, K., Podedworna, J., Sinicyn, G., Heidrich, Z., Czyżkowski, B. 2010. Identyfikacja, inwentaryzacja i charakterystyka źródeł odorantów w gospodarce komunalnej w Polsce [W:] Szynkowska, M., Zwoździak, J. (red.) *Współczesna problematyka odorów*. WNT, Warszawa, 14–53.

12. Kulig, A., Sinicyn, G., Czyżkowski, B., Lelicińska-Serafin, K., Heidrich, Z., Podedworna, J. 2008. Identification and survey of the sources of potential olfactory impact in municipal management in Poland. *Modern Chemical Technology in Agriculture and Environment Protection*, 9, 549–563.
13. Malej, J. 2004. Odpady i osady ściekowe. Charakterystyka – unieszkodliwianie – zagospodarowanie. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
14. Malej, J., Majewska, A., Boguski, A. 2002. Wybrane problemy oczyszczania wód osadowych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 4, 11–48.
15. Podedworna, J., Umiejewska, K. 2007. Ćwiczenia laboratoryjne z technologii osadów ściekowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
16. Podedworna, J., Umiejewska, K. 2008. Technologia osadów ściekowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.