



## **Zastosowanie olejku eterycznego jako substytutu flokulanta w procesie mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych**

*Anna Kowalczyk, Tadeusz Piecuch*  
*Politechnika Koszalińska*

### **1. Wstęp**

Odwadnianie osadów ściekowych jest kluczowym elementem procesu przeróbki osadów, które prowadzi do istotnego zmniejszenia objętości osadu, zmiany ich konsystencji, a tym samym stworzenia możliwości ich transportu, użytkowania, a także składowania (Ciborowski 2006).

Odwadnianiem określa się rozdział osadu na placek o zawartości suchej masy 15-40% i ciecz osadową pozbawioną zawiesin. Osad o takiej zawartości suchej masy traci płynność, a swoją konsystencją zbliża się do konsystencji mokrej ziemi (Podedworna & Umiejewska 2007, Podedworna & Umiejewska 2008).

Szeroko prowadzone badania nad procesem odwadniania wykazały, że istotny wpływ na przebieg procesu i efekt końcowy ma wiele czynników; należą do nich przede wszystkim: zawartość substancji stałych, uwodnienie początkowe, jakość osadu, wstępne przygotowanie osadu oraz opór właściwy. Uogólniając zagadnienie można stwierdzić, że efektywność procesu odwadniania zależy od zdolności filtracyjnych substancji stałych w odwadnianych osadach oraz od warunków prowadzenia procesu (Bień i in. 1999).

Wstępne przygotowanie osadu polega na przekształceniu bezpostaciowej struktury osadów ściekowych w osad o strukturze porowatej, z którego łatwiej jest usunąć wodę. Można to osiągnąć poprzez dodawanie do osadów związków nieorganicznych (koagulantów) lub/i orga-

nicznych (flokulantów), co prowadzi do koagulacji najdrobniejszych i koloidalnych zawiesin lub tylko ich flokulacji, oraz uwalniania z osadu zaabsorbowanej wody (Abu-Orf & Dentel 1997, Bień i in. 1998, Lee & Liu 2001, Podedworna & Umiejewska 2008, Tchobanoglous i in. 2003).

Efektom ubocznym procesu odwadniania osadów ściekowych i nie tylko jest emisja nieprzyjemnych zapachów do środowiska, co powoduje dyskomfort osób pracujących na oczyszczalniach ścieków, jak i zamieszkujących tereny wokół tych obiektów.

Problem uciążliwości zapachowej na obiektach gospodarki ściekowej podejmowany jest przez wielu badaczy, którzy w swoich pracach dokonują identyfikacji i inwentaryzacji źródeł emisji odorantów, a także oceniają stopień uciążliwości zapachowej tych obiektów (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 znalezienie optymalnych warunków prowadzenia procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych w wirówce z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy jako substytutu flokulanta Praestol 855BS oraz zmniejszenie nieprzyjemnych zapachów wydzielających się podczas tego procesu.

## 2. 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 rzeczywiście 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  $\beta_N$  [mg/dm<sup>3</sup>].

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 flokulanta Praestol 855BS  $C_F$  [ml/dm<sup>3</sup>]:  
 $C_{F0} = 0$  ml/dm<sup>3</sup>,  $C_{F1} = 18$  ml/dm<sup>3</sup>,  $C_{F2} = 23$  ml/dm<sup>3</sup>,  
 $C_{F3} = 28$  ml/dm<sup>3</sup>,  $C_{F4} = 33$  ml/dm<sup>3</sup>,  $C_{F5} = 38$  ml/dm<sup>3</sup>,  
 $C_{F6} = 48$  ml/dm<sup>3</sup>,
- $x_4$  – dawka olejku eterycznego z pomarańczy  $C_O$  [ml/dm<sup>3</sup>]:  
 $C_{O0} = 0$  ml/dm<sup>3</sup>,  $C_{O1} = 18$  ml/dm<sup>3</sup>,  $C_{O2} = 23$  ml/dm<sup>3</sup>,  
 $C_{O3} = 28$  ml/dm<sup>3</sup>,  $C_{O4} = 33$  ml/dm<sup>3</sup>,  $C_{O5} = 38$  ml/dm<sup>3</sup>,  
 $C_{O6} = 48$  ml/dm<sup>3</sup>.

Parametry zmienne zależne (wynikowe) procesu odwadniania:

- $y_1$  – zawartość wody w osadzie  $W$  [%],
- $y_2$  – zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [mg/dm<sup>3</sup>],
- $y_3$  – czas utrzymywania się zapachu w osadzie  $T$  [min].

Badania laboratoryjne odwadniania komunalnych osadów ściekowych składały się z 2 serii:

Seria I – Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem flokulanta Praestol 855BS.

Seria II – Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy.

W pierwszej serii pierwszy etap badań prowadzono przy stałej prędkości wirowania  $n$  wynoszącej 2500 obr/min oraz stałej dawce dodawanego roztworu flokulanta o stężeniu 0,3%, która wynosiła 28 ml/dm<sup>3</sup>. 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 roztworu flokulanta ( $x_3$ ) wynoszącej 28 ml/dm<sup>3</sup> 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 dozowanego roztworu flokulanta o stężeniu 0,3% w zakresie od 0 do 48 ml/dm<sup>3</sup>.

W drugiej serii pierwszy etap badań prowadzono przy stałej prędkości wirowania  $n$  wynoszącej 2500 obr/min oraz stałej dawce dodawanego olejku eterycznego z pomarańczy, która wynosiła 28 ml/dm<sup>3</sup>. 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 olejku eterycznego z pomarańczy wynoszącej 28 ml/dm<sup>3</sup> 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 dozowanego olejku eterycznego z pomarańczy w zakresie od 0 do 48 ml/dm<sup>3</sup>.

### 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  $\beta_N$ : 21180 mg/dm<sup>3</sup>.

### Charakterystyka flokulanta kationowego Praestol 855BS

Proces odwadniania w laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350 wspomagany był flokulantem kationowym o nazwie handlowej Praestol 855BS, który stosowany jest na Oczyszczalni Ście-

ków 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.

**Tabela 1.** Charakterystyka flokulanta Praestol 855BS (ASHLAND)

**Table 1.** Characteristics of Praestol 855BS flocculant (ASHLAND)

Wygląd	granulowany ciało stałe
Barwa	biały jasno żółty
Zapach	aminowy
Temperatura zapłonu	nie dotyczy
Dolna granica wybuchowości	30.000 mg/dm <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup>
Rozpuszczalność w wodzie	słabo rozpuszczalny
Rozkład termiczny	> 150°C
Gęstość nasypowa	600/m <sup>3</sup>

### 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.

**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 <sup>3</sup>
Współczynnik załamania światła $n_D^{20}$	1,473

Olejek pomarańczowy zawiera głównie nerol i limonen.

### 3. Wyniki badań

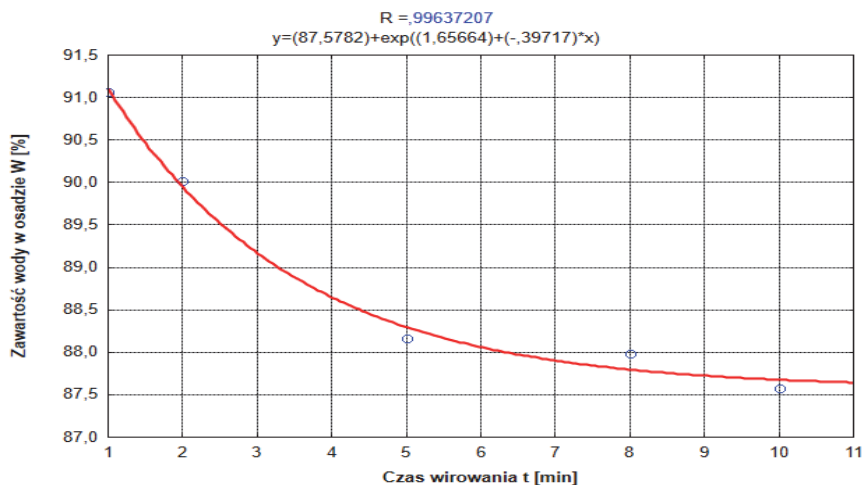
#### **Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem flokulanta Praestol 855BS**

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania  $t$  [min] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%].

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%].

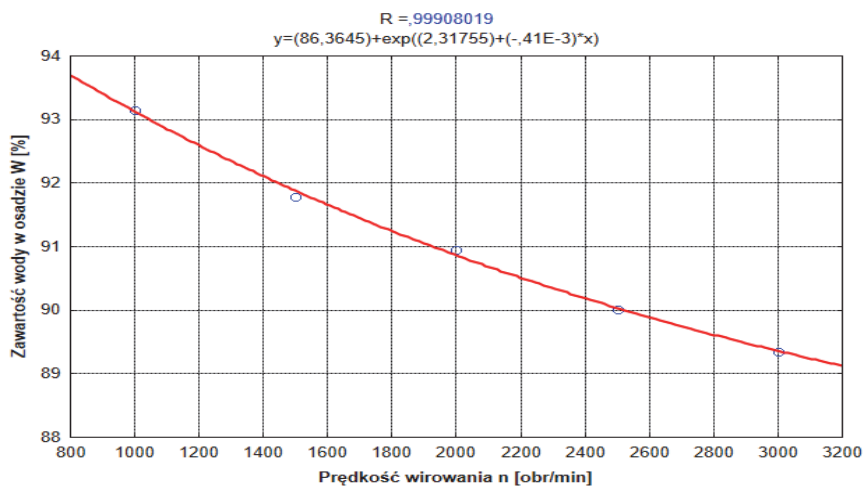
Na rysunku 3 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania  $t$  [min] i prędkości wirowania  $n$  [obr/min] dla określonej dawki flokulanta Praestol 855BS  $C_F = 28$  ml/dm<sup>3</sup> na zawartość wody w osadzie  $W$  [%].

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki flokulanta Praestol 855BS  $C_F$  [ml/dm<sup>3</sup>] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%].



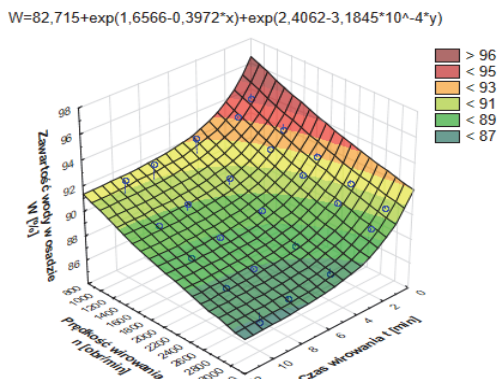
**Rys. 1.** Wpływ czasu wirowania  $t$  [min] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%] (Kowalczyk & Piecuch 2016)

**Fig. 1.** Impact of centrifugation time  $t$  [min] on water content in sediment  $W$  [%] (Kowalczyk & Piecuch 2016)



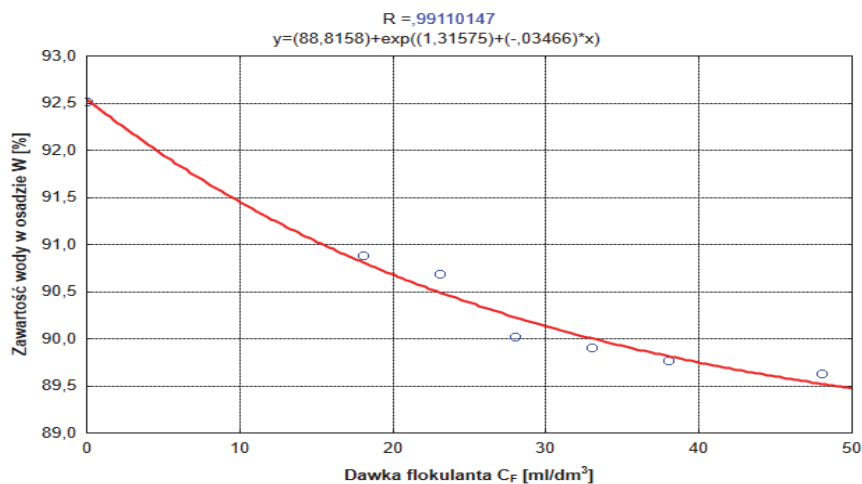
**Rys. 2.** Wpływ prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%] (Kowalczyk & Piecuch 2016)

**Fig. 2.** Impact of centrifugation speed  $n$  [rot./min.] on water content in sediment  $W$  [%] (Kowalczyk & Piecuch 2016)



**Rys. 3.** Wykres zależności zawartości wody w osadzie  $W$  [%] w funkcji czasu wirowania  $t$  [min] i prędkości wirowania  $n$  [obr/min] dla określonej dawki flokulanta  $C_F = 28 \text{ ml/dm}^3$  (Kowalczyk & Piecuch 2016)

**Fig. 3.** Impact of centrifugation time  $t$  [min.] and speed  $n$  [rot./min.] on water content in sediment  $W$  [%] for dose of flocculant  $C_F = 28 \text{ ml/dm}^3$  (Kowalczyk & Piecuch 2016)



**Rys. 4.** Wpływ dawki flokulanta  $C_F$  [ml/dm<sup>3</sup>] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%] (Kowalczyk & Piecuch 2016)

**Fig. 4.** Impact of flocculant dose  $C_F$  [ml/dm<sup>3</sup>] on water content in sediment  $W$  [%] (Kowalczyk & Piecuch 2016)



Równanie końcowe aproksymacyjne opisujące wykresy na rysunkach 1, 2, 3 oraz 4 ustalone metodą punktu centralnego wg Piecucha przyjęło postać (Kowalczyk & Piecuch 2016):

$$W(t, n, C_F) = 81,90 + \exp(1,66 - 0,40 \cdot t) + \exp(2,41 - 3,18 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \exp(1,18 - 0,05 \cdot C_F) \quad (1)$$

gdzie:

$W(t, n, C_F)$  – parametr wynikowy – zawartość wody w osadzie [%],

$t$  – czas wirowania [min],

$n$  – prędkość wirowania [obr/min],

$C_F$  – dawka flokulanta Praestol 855BS [ml/dm<sup>3</sup>].

Opracowane równanie analityczno-empiryczne jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów (Kowalczyk & Piecuch 2016):

$t \in 1-10$  min,

$n \in 1000-3000$  obr/min,

$C_F \in 0-48$  ml/dm<sup>3</sup>,

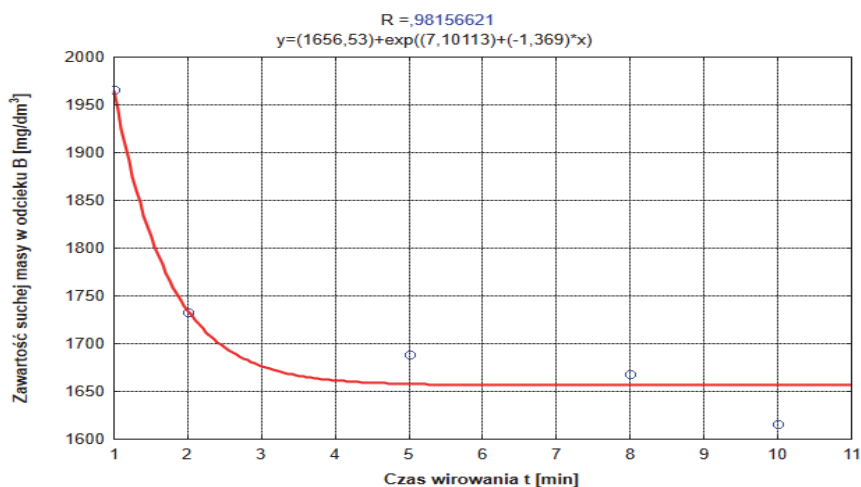
a więc w tym zakresie może być użytkowane do projektowania.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania  $t$  [min] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [mg/dm<sup>3</sup>].

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [mg/dm<sup>3</sup>].

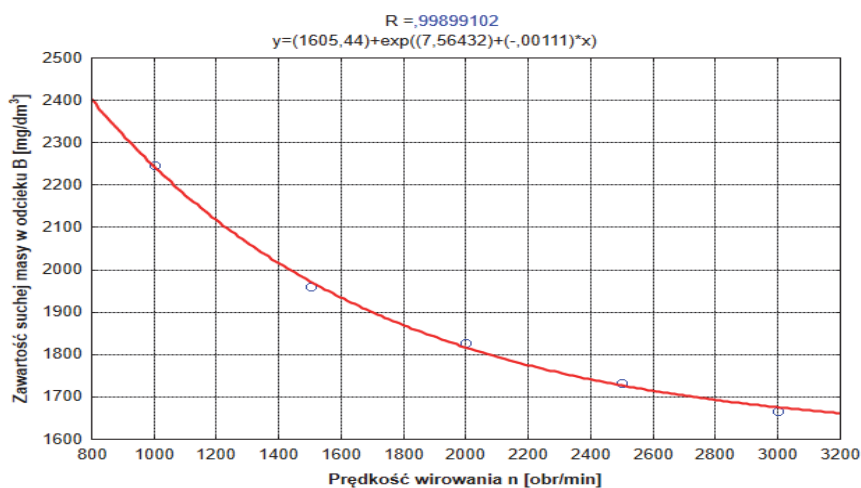
Na rysunku 7 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania  $t$  [min] i prędkości wirowania  $n$  [obr/min] dla określonej dawki flokulanta Praestol 855BS  $C_F = 28$  ml/dm<sup>3</sup> na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [mg/dm<sup>3</sup>].

Na rysunku 8 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki flokulanta Praestol 855BS  $C_F$  [ml/dm<sup>3</sup>] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [mg/dm<sup>3</sup>].



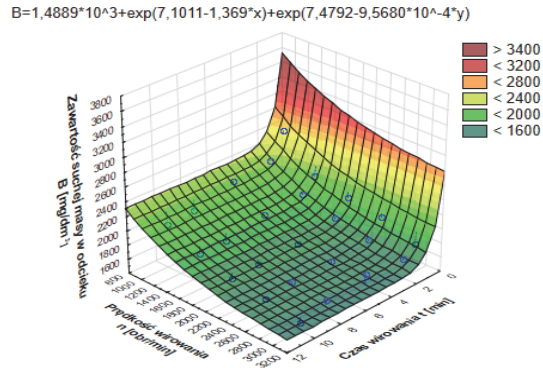
**Rys. 5.** Wpływ czasu wirowania  $t$  [min] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] (Kowalczyk & Piecuch 2016)

**Fig. 5.** Impact of centrifugation time  $t$  [min] on dry residue content in effluent  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] (Kowalczyk & Piecuch 2016)



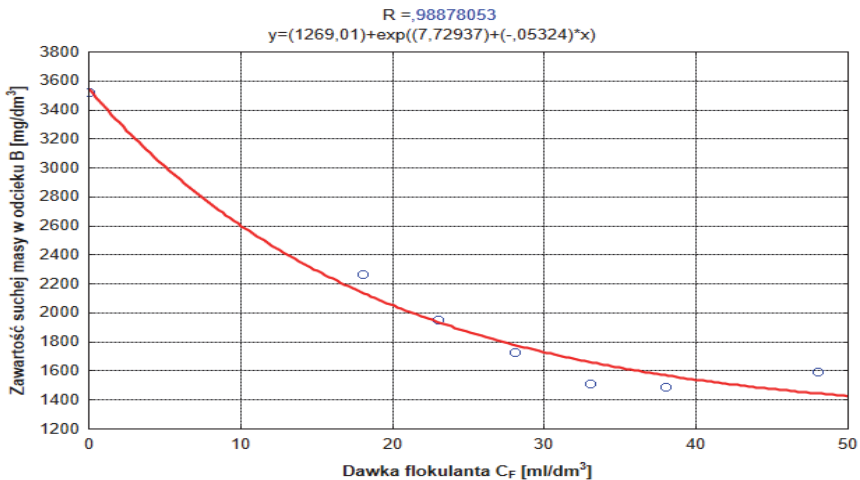
**Rys. 6.** Wpływ prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] (Kowalczyk & Piecuch 2016)

**Fig. 6.** Impact of centrifugation speed  $n$  [rot./min.] on dry residue content in effluent  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] (Kowalczyk & Piecuch 2016)



**Rys. 7.** Wykres zależności zawartości suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] w funkcji czasu wirowania  $t$  [min.] i prędkości wirowania  $n$  [obr./min.] dla określonej dawki flokulanta  $C_F = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$  (Kowalczyk & Piecuch 2016)

**Fig. 7.** Impact of centrifugation time  $t$  [min.] and speed  $n$  [rot./min.] on dry residue content in effluent  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] for dose of flocculant  $C_F = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$  (Kowalczyk & Piecuch 2016)



**Rys. 8.** Wpływ dawki flokulanta  $C_F$  [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] (Kowalczyk & Piecuch 2016)

**Fig. 8.** Impact of flocculant dose  $C_F$  [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ] on dry residue content in effluent  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] (Kowalczyk & Piecuch 2016)

Końcowe równanie aproksymacyjne wykresów na rysunkach 5, 6, 7 oraz 8 określone metodą punktu centralnego wg Piecucha ma następującą postać analityczno-empiryczną (Kowalczyk & Piecuch 2016):

$$\beta(t, n, C_F) = -209,27 + \exp(7,10 - 1,37 \cdot t) + \exp(7,48 - 9,57 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \exp(8,16 - 0,03 \cdot C_F) \quad (2)$$

gdzie:

$\beta(t, n, C_F)$  – parametr wynikowy – zawartość suchej masy w odcieku [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ],

$t$  – czas wirowania [min],

$n$  – prędkość wirowania [obr/min],

$C_F$  – dawka flokulanta Praestol 855BS [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ].

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów (Kowalczyk & Piecuch 2016):

$t \in 1-10$  min,

$n \in 1000-3000$  obr/min,

$C_F \in 0-48$   $\text{ml}/\text{dm}^3$ ,

a więc w tych zakresach projektant może je wykorzystywać.

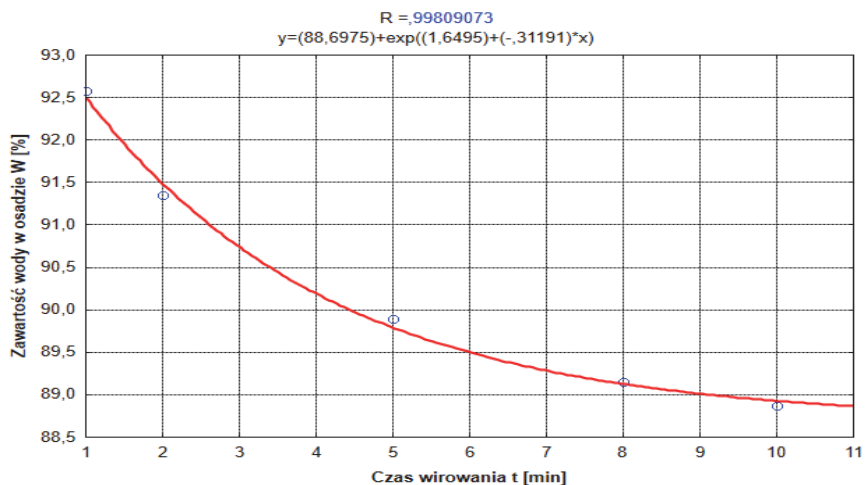
### **Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy**

Na rysunku 9 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania  $t$  [min] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%].

Na rysunku 10 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%].

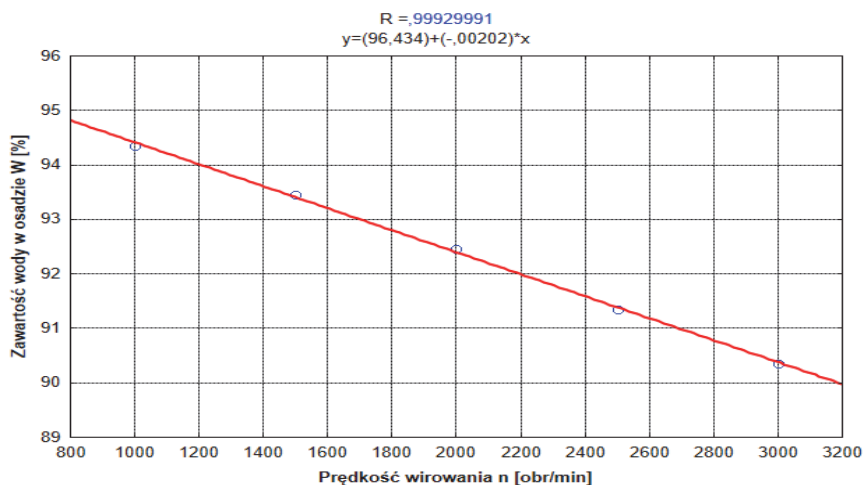
Na rysunku 11 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania  $t$  [min] i prędkości wirowania  $n$  [obr/min] dla określonej dawki olejku z pomarańczy  $C_O = 28$   $\text{ml}/\text{dm}^3$  na zawartość wody w osadzie  $W$  [%].

Na rysunku 12 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki olejku z pomarańczy  $C_O$  [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%].



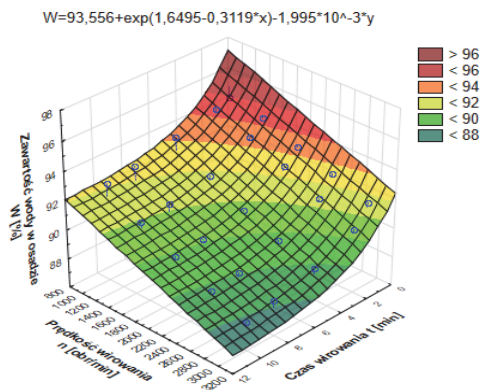
**Rys. 9.** Wpływ czasu wirowania  $t$  [min] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%]

**Fig. 9.** Impact of centrifugation time  $t$  [min] on water content in sediment  $W$  [%]



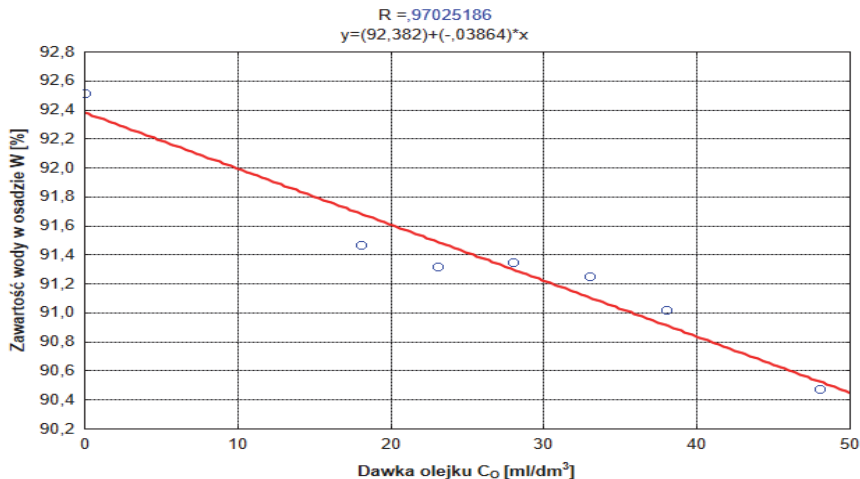
**Rys. 10.** Wpływ prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%]

**Fig. 10.** Impact of centrifugation speed  $n$  [rot./min.] on water content in sediment  $W$  [%]



**Rys. 11.** Wykres zależności zawartości wody w osadzie  $W$  [%] w funkcji czasu wirowania  $t$  [min] i prędkości wirowania  $n$  [obr/min] dla określonej dawki olejku z pomarańczy  $C_0 = 28 \text{ ml/dm}^3$

**Fig. 11.** Impact of centrifugation time  $t$  [min.] and speed  $n$  [rot./min.] on water content in sediment  $W$  [%] for dose of orange essential oil  $C_0 = 28 \text{ ml/dm}^3$



**Rys. 12.** Wpływ dawki olejku z pomarańczy  $C_0$  [ $\text{ml/dm}^3$ ] na zawartość wody w osadzie  $W$  [%]

**Fig. 12.** Impact of orange essential oil dose  $C_0$  [ $\text{ml/dm}^3$ ] on water content in sediment  $W$  [%]

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

$$W(t, n, C_0) = 94,26 + \exp(1,65 - 0,31 \cdot t) - 2,00 \cdot 10^{-3} \cdot n - 0,03 \cdot C_0 \quad (3)$$

gdzie:

$W(t, n, C_0)$  – parametr wynikowy – zawartość wody w osadzie [%],

$t$  – czas wirowania [min],

$n$  – prędkość wirowania [obr/min],

$C_0$  – dawka olejku z pomarańczy [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ].

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1-10$  min,

$n \in 1000-3000$  obr/min,

$C_0 \in 0-48$   $\text{ml}/\text{dm}^3$ ,

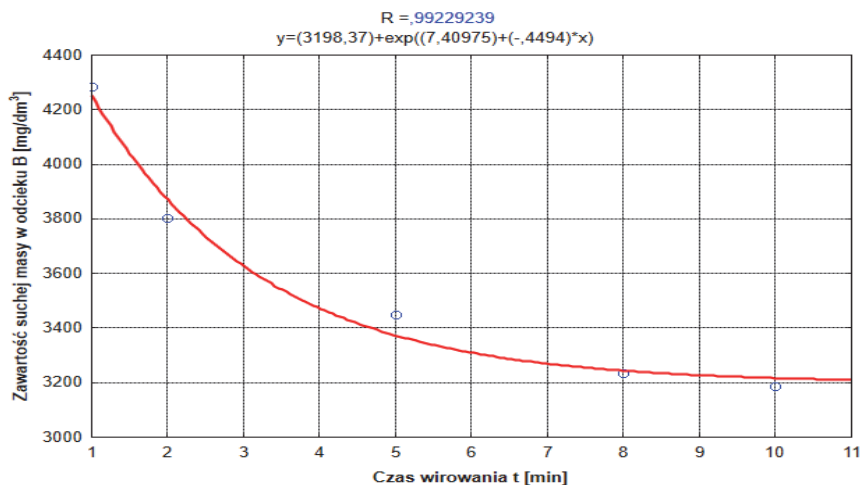
i w tych zakresach może być wykorzystywane w projektowaniu.

Na rysunku 13 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania  $t$  [min] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ].

Na rysunku 14 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ].

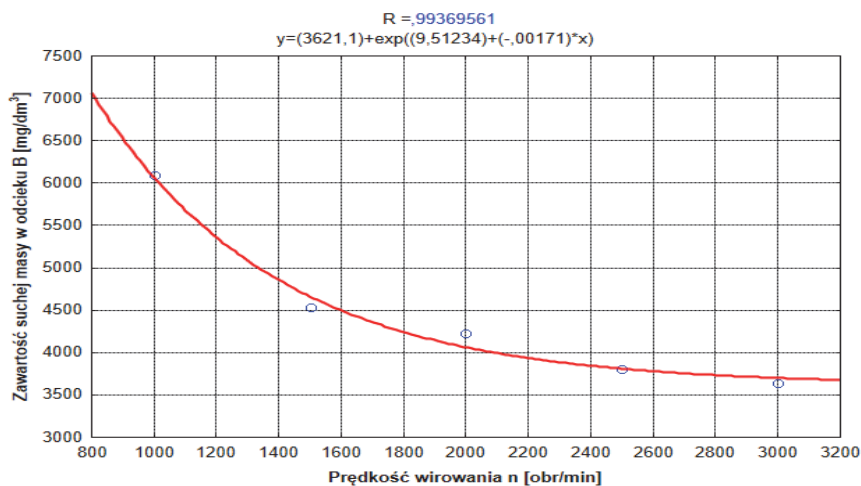
Na rysunku 15 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania  $t$  [min] i prędkości wirowania  $n$  [obr/min] dla określonej dawki olejku z pomarańczy  $C_0 = 28$   $\text{ml}/\text{dm}^3$  na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ].

Na rysunku 16 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki olejku z pomarańczy  $C_0$  [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ].



**Rys. 13.** Wpływ czasu wirowania  $t$  [min] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [mg/dm<sup>3</sup>]

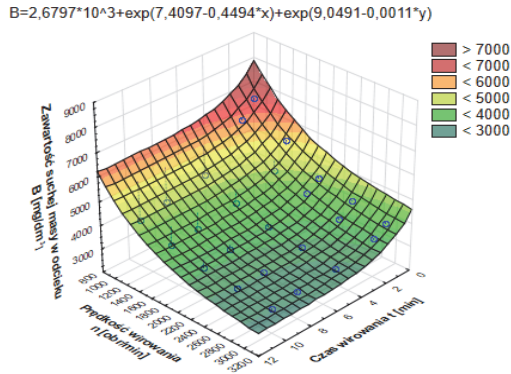
**Fig. 13.** Impact of centrifugation time  $t$  [min.] on dry residue content in effluent  $\beta$  [mg/dm<sup>3</sup>]



**Rys. 14.** Wpływ prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [mg/dm<sup>3</sup>]

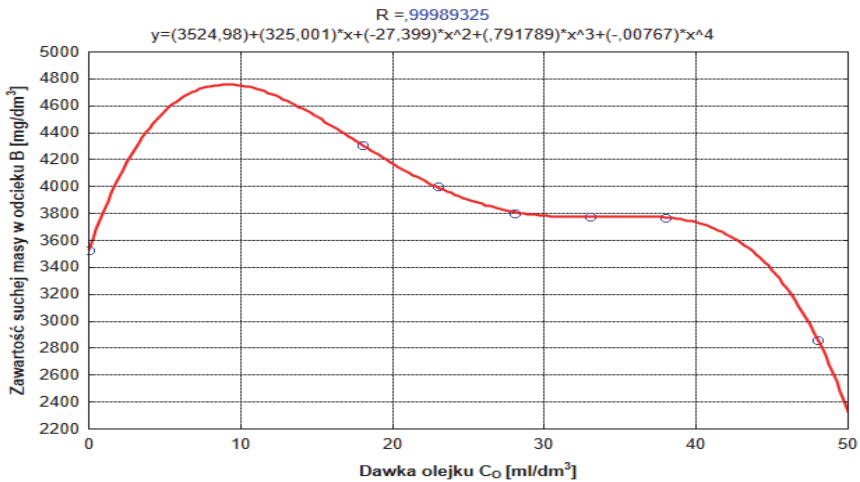
**Fig. 14.** Impact of centrifugation speed  $n$  [rot./min.] on dry residue content in effluent  $\beta$  [mg/dm<sup>3</sup>]





**Rys. 15.** Wykres zależności zawartości suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] w funkcji czasu wirowania  $t$  [min] i prędkości wirowania  $n$  [obr./min] dla określonej dawki olejku z pomarańczy  $C_0 = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$

**Fig. 15.** Impact of centrifugation time  $t$  [min.] and speed  $n$  [rot./min.] on dry residue content in effluent  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] for dose of orange essential oil  $C_0 = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$



**Rys. 16.** Wpływ dawki olejku z pomarańczy  $C_0$  [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ] na zawartość suchej masy w odcieku  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]

**Fig. 16.** Impact of orange essential oil dose  $C_0$  [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ] on dry residue content in effluent  $\beta$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]

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

$$\beta(t, n, C_O) = 1,71 \cdot 10^3 + \exp(7,41 - 0,45 \cdot t) + \exp(9,05 - 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot n) + 407,06 \cdot C_O - 31,14 \cdot C_O^2 + 0,87 \cdot C_O^3 - 0,01 \cdot C_O^4 \quad (4)$$

gdzie:

$\beta(t, n, C_O)$  – parametr wynikowy – zawartość suchej masy w odcieku [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ],

$t$  – czas wirowania [min],

$n$  – prędkość wirowania [obr/min],

$C_O$  – dawka olejku z pomarańczy [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ].

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1-10$  min,

$n \in 1000-3000$  obr/min,

$C_O \in 0-48$   $\text{ml}/\text{dm}^3$ ,

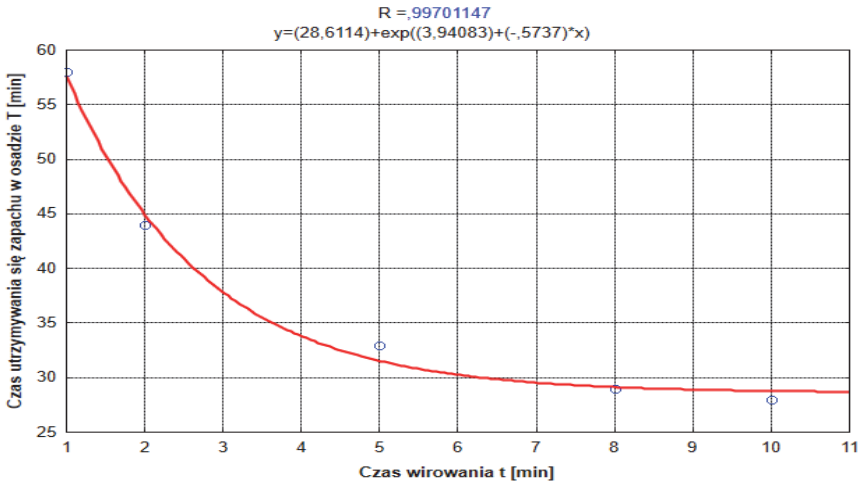
a więc w tych zakresach może być użytkowane przez projektantów.

Na rysunku 17 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania  $t$  [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie  $T$  [min].

Na rysunku 18 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie  $T$  [min].

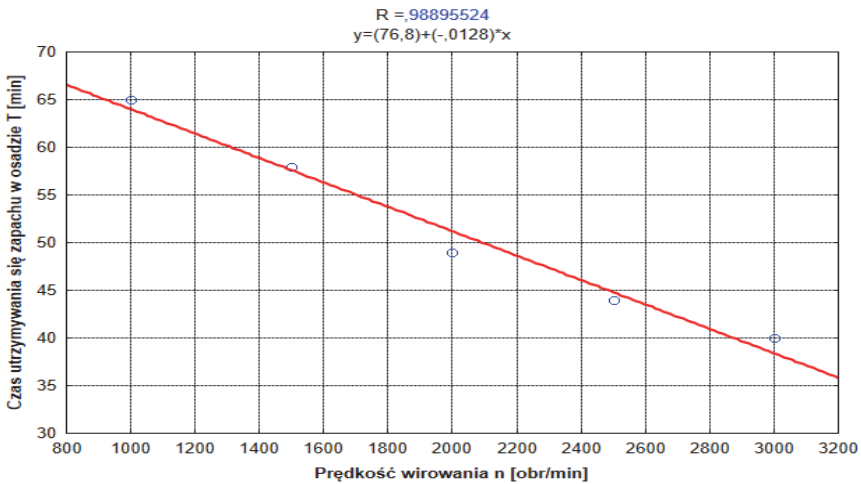
Na rysunku 19 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania  $t$  [min] i prędkości wirowania  $n$  [obr/min] dla określonej dawki olejku z pomarańczy  $C_O = 28$   $\text{ml}/\text{dm}^3$  na czas utrzymywania się zapachu w osadzie  $T$  [min].

Na rysunku 20 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki olejku z pomarańczy  $C_O$  [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie  $T$  [min].



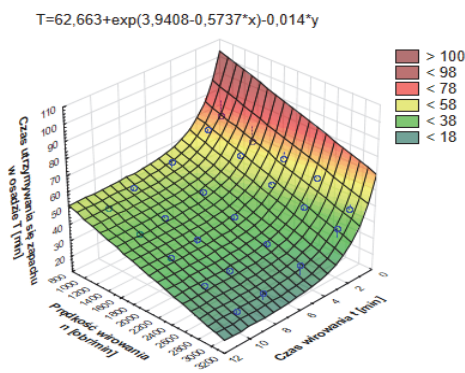
**Rys. 17.** Wpływ czasu wirowania  $t$  [min.] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie  $T$  [min.]

**Fig. 17.** Impact of centrifugation time  $t$  [min.] on time of persistence of scent in sediment  $T$  [min.]



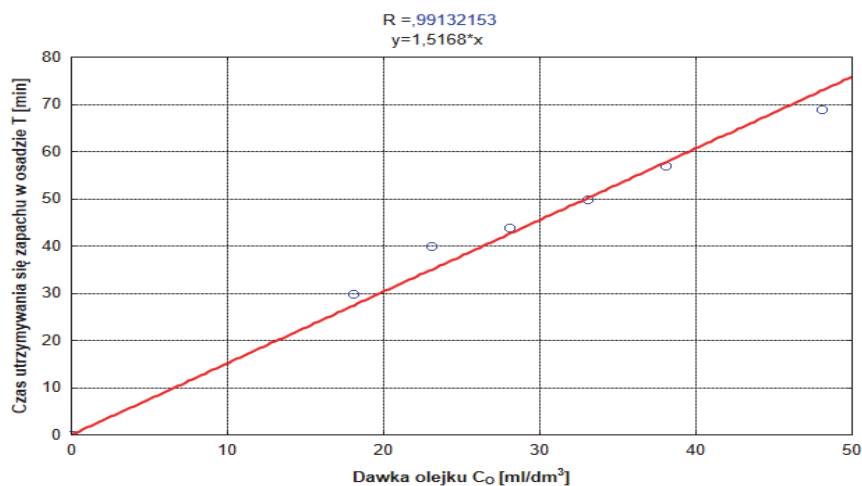
**Rys. 18.** Wpływ prędkości wirowania  $n$  [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie  $T$  [min.]

**Fig. 18.** Impact of centrifugation speed  $n$  [rot./min.] on time of persistence of scent in sediment  $T$  [min.]



**Rys. 19.** 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 olejku z pomarańczy  $C_0 = 28 \text{ ml/dm}^3$

**Fig. 19.** Impact of centrifugation time  $t$  [min.] and speed  $n$  [rot./min.] on time of persistence of scent in sediment  $T$  [min.] for dose of orange essential oil  $C_0 = 28 \text{ ml/dm}^3$



**Rys. 20.** Wpływ dawki olejku z pomarańczy  $C_0$  [ $\text{ml/dm}^3$ ] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie  $T$  [min]

**Fig. 20.** Impact of orange essential oil dose  $C_0$  [ $\text{ml/dm}^3$ ] on time of persistence of scent in sediment  $T$  [min.]

Równanie aproksymacyjne metodą punktu centralnego wg Piecucha przyjmuje następującą postać:

$$T(t, n, C_0) = 18,66 + \exp(3,94 - 0,57 \cdot t) - 0,01 \cdot n + 1,52 \cdot C_0 \quad (5)$$

gdzie:

$T(t, n, C_0)$  – parametr wynikowy – czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],

$t$  – czas wirowania [min],

$n$  – prędkość wirowania [obr/min],

$C_0$  – dawka olejku z pomarańczy [ $\text{ml}/\text{dm}^3$ ].

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1-10$  min,

$n \in 1000-3000$  obr/min,

$C_0 \in 0-48$   $\text{ml}/\text{dm}^3$ ,

a więc w tych zakresach może być użytkowane przez projektantów.

#### 4. Opis i analiza wyników

##### **Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem flokulanta Praestol 855BS**

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. Analiza wyników badań przedstawionych na rysunku 1 wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać zmniejszenie zawartości wody w osadzie o 3,49%. Najniższą wartość zawartości wody w osadzie, tj. 87,58% uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt krzywej pokazuje, 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 (Kowalczyk & Piecuch 2016).

Drugim 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 wzrost prędkości obrotowej powoduje zmniejszenie zawartości wody w osadzie. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min otrzymano zmniejszenie zawartości wody w osadzie o 3,8%. Najniższą wartość zawartości wody w osadzie, tj. 89,35% uzyskano przy prędkości obrotowej równej 3000 obr/min. Kształt krzywej pokazuje, że największy spadek zawartości wody w osadzie następuje do około 1500 obr/min, od 1500 do 3000 obr/min spadek jest już nieco mniejszy i mniej więcej na tym samym poziomie. 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 (Kowalczyk & Piecuch 2016).

Kolejnym badanym parametrem zmiennym była dawka roztworu flokulanta Praestol 855BS o stężeniu 0,3%, która zmieniała się w zakresie od 0 do 48 ml/dm<sup>3</sup>. Analiza wyników badań przedstawionych na rysunku 4 wskazuje, że wzrost dawki flokulanta Praestol 855BS wpływa na zmniejszenie zawartości wody w osadzie. Im większa dawka flokulanta, tym mniejsza zawartość wody w osadzie. Ze wzrostem dawki flokulanta Praestol 855BS od 0 do 48 ml/dm<sup>3</sup> uzyskuje się zmniejszenie zawartości wody w osadzie o 2,89%. Najniższą wartość zawartości wody w osadzie, tj. 89,63% uzyskano przy dawce flokulanta Praestol 855BS równej 48 ml/dm<sup>3</sup>. Kształt krzywej pokazuje, że dawka flokulanta Praestol 855BS 28 ml/dm<sup>3</sup> jest dawką optymalną. Powyżej tej dawki spadek zawartości wody w osadzie nie jest istotny. Flokulant łączy drobne cząstki koloidalne zawiesiny w większe aglomeraty, tzw. kłaczkę, które znacznie lepiej podlegają oddziaływaniu siły odśrodkowej, gdyż mają większą masę ( $m \propto r^2$ ) przyspieszając w ten sposób proces sedymentacji odśrodkowej (Kowalczyk & Piecuch 2016).

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. Analizując wyniki badań można zauważyć, że wzrost czasu wirowania powoduje spadek zawartości suchej masy w odcieku. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać zmniejszenie zawartości suchej

masy w odcieku o  $349,34 \text{ mg/dm}^3$ . Najniższą wartość zawartość suchej masy w odcieku, tj.  $1616,22 \text{ mg/dm}^3$  uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że dalszy wzrost czasu wirowania będzie zmniejszał zawartość suchej masy w odcieku, ale spadek ten nie będzie już tak wyraźny. Zatem, wraz ze wzrostem czasu wirowania wydłuża się czas tworzenia osadu, którego jest coraz więcej, a tym samym coraz mniej cząstek stałych może przechodzić do odcieku (Kowalczyk & Piecuch 2016).

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na zawartość suchej masy w odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej, przedstawione na rysunku 6 wskazują, 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 z  $2247,61 \text{ mg/dm}^3$  do wartości  $1667,76 \text{ mg/dm}^3$ , czyli o  $579,85 \text{ mg/dm}^3$ . Kształt przebiegu zależności wskazuje, że wraz ze wzrostem prędkości do 1500 obr/min następuje szybkie obniżanie zawartości suchej masy w odcieku. Wzrost prędkości powyżej 1500 obr/min powoduje już mniejszy spadek. Otóż, wzrost siły odśrodkowej spowodowany wzrostem prędkości wirowania, zmusza nawet najmniejsze ziarna zawiesiny do sedymentacji, a więc usuwa je z odcieku (Kowalczyk & Piecuch 2016).

Wyniki badań wpływu dawki roztworu flokulanta Praestol 855BS o stężeniu 0,3% na zawartość suchej masy w odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono na rysunku 8. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost dawki flokulanta Praestol 855BS powoduje spadek wartości zawartości suchej masy w odcieku. Ze wzrostem dawki flokulanta Praestol 855BS od 0 do  $48 \text{ ml/dm}^3$  można uzyskać zmniejszenie zawartości suchej masy w odcieku o  $1928,49 \text{ mg/dm}^3$ . Najniższą wartość zawartości suchej masy w odcieku, tj.  $1489,92 \text{ mg/dm}^3$  uzyskano przy dawce flokulanta Praestol 855BS równej  $38 \text{ ml/dm}^3$ . Kształt krzywej pokazuje, że dawka flokulanta Praestol 855BS  $33 \text{ ml/dm}^3$  jest dawką optymalną. Powyżej tej dawki spadek zawartości suchej masy w odcieku jest niewielki, a nawet następuje pogorszenie warunków odwadniania, o czym świadczy wzrost zawartości suchej masy w odcieku przy dawce flokulanta Praestol 855BS równej  $48 \text{ ml/dm}^3$ ; prawdopodobnie zaczęła negatywnie dominować lepkość przy dalszym wzroście dawki flokulanta (Kowalczyk & Piecuch 2016).

## **Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy**

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 9. 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 z 92,58% do wartości 88,87%, czyli o 3,71%. Najniższą wartość zawartości wody w osadzie, tj. 88,87% 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 8 minut. Powyżej tego czasu spadek zawartości wody w osadzie jest zdecydowanie mniejszy.

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 10. 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 3,99%. Najniższą wartość zawartości wody w osadzie, tj. 90,36% uzyskano przy prędkości obrotowej równej 3000 obr/min. Kształt krzywej pokazuje, że spadek zawartości wody w osadzie następuje liniowo. Można powiedzieć, że dalszy wzrost prędkości powyżej 3000 obr/min pozwoli na obniżenie zawartości wody w osadzie.

Ostatnim badanym parametrem zmiennym była dawka olejku eterycznego z pomarańczy, która zmieniała się w zakresie od 0 do 48 ml/dm<sup>3</sup>. Analiza wyników badań przedstawionych na rysunku 12 wskazuje, że wzrost dawki olejku z pomarańczy wpływa na zmniejszenie zawartości wody w osadzie. Ze wzrostem dawki olejku z pomarańczy od 0 do 48 ml/dm<sup>3</sup> można uzyskać zmniejszenie zawartości wody w osadzie z 92,52% do wartości 90,48%, czyli o 2,04%. Najniższą wartość zawartości wody w osadzie, tj. 90,48% uzyskano przy dawce olejku z pomarańczy równej 48 ml/dm<sup>3</sup>. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że największy spadek zawartości wody w osadzie ma miejsce przy dawce olejku eterycznego z pomarańczy do 18 ml/dm<sup>3</sup>, od 18 ml/dm<sup>3</sup> do



38 ml/dm<sup>3</sup> spadek jest już dużo mniejszy i praktycznie nie jest zauważalny, a powyżej 38 ml/dm<sup>3</sup> następuje zwiększenie spadku zawartości wody w osadzie. Podsumowując, dawka olejku z pomarańczy 48 ml/dm<sup>3</sup> nie jest optymalną i dalszy jej wzrost pozwoli na obniżenie wartości zawartości wody w osadzie.

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 13. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje zawartość suchej masy w odcieku. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać spadek zawartości suchej masy w odcieku o 1098,2 mg/dm<sup>3</sup>. Najniższą wartość zawartości suchej masy w odcieku, tj. 3185,93 mg/dm<sup>3</sup> uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu krzywej wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania do 8 minut następuje szybkie obniżanie zawartości suchej masy w odcieku, a powyżej 8 minut spadek jest zdecydowanie mniejszy.

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na zawartość suchej masy w odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono na rysunku 14, które wskazują, 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 z 6089,66 mg/dm<sup>3</sup> do wartości 3635,41 mg/dm<sup>3</sup>, czyli o 2454,25 mg/dm<sup>3</sup>. 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 powoduje coraz mniejszy spadek.

Wyniki badań wpływu dawki olejku eterycznego z pomarańczy na zawartość suchej masy w odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono na rysunku 16. Analiza wyników badań wskazuje, że wzrost dawki olejku z pomarańczy wpływa na zmniejszenie zawartości suchej masy w odcieku. Najniższą wartość zawartości suchej masy w odcieku, tj. 2862,93 mg/dm<sup>3</sup> uzyskano przy dawce olejku eterycznego z pomarańczy równej 48 ml/dm<sup>3</sup>. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że przy dawce olejku z pomarańczy do 18 ml/dm<sup>3</sup> następuje wzrost zawartości suchej masy w odcieku, po czym od 18 ml/dm<sup>3</sup> do 28 ml/dm<sup>3</sup>

ma miejsce gwałtowny spadek, od 28 ml/dm<sup>3</sup> do 38 ml/dm<sup>3</sup> spadek jest zdecydowanie mniejszy, a powyżej 38 ml/dm<sup>3</sup> następuje gwałtowne zwiększenie spadku zawartości suchej masy w odcieku. Reasumując dawka olejku z pomarańczy 48 ml/dm<sup>3</sup> nie jest dawką optymalną i dalszy jej wzrost przyczyni się do obniżenia wartości zawartości suchej masy w odcieku. Ten nietypowy przebieg zależności w przypadku zastosowania olejku eterycznego można tłumaczyć tym, iż prawdopodobnie pierwsza, a więc ta najniższa dawka olejku jako flokulanta  $C_0 = 18 \text{ ml/dm}^3$  nie spowodowała jeszcze utworzenia flokuł, a więc na tyle dużych kłaczków, dla których siła odśrodkowa przy danych obrotach umożliwiłaby już ich sedymentację z jednej strony oraz niestety równocześnie ta najniższa dawka olejku eterycznego była na tyle duża, że zwiększyła lepkość cieczy na tyle, że małe bardzo niewielkie zbliżone do rzędu mikronowych cząstki zawiesiny nie były w stanie szybko sedymentować. W następnych seriach doświadczenia zwiększane dawki olejku eterycznego, mimo oczywistego wzrostu lepkości były na tyle wystarczające, że zaistniało efektywne tworzenie się flokuł, czyli kłaczków.

Ostatnim 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 olejku w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono na rysunku 17. Analiza wyników badań wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje czas utrzymywania się zapachu olejku eterycznego w osadzie. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut zanotowano spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie o 30 minut. Najniższą wartość, tj. 28 minut uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że największy spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie następuje przy wzroście czasu wirowania do pięciu minut. Dalsze wydłużenie czasu wirowania nie wpływa w znaczący sposób na zmniejszenie czasu utrzymywania się zapachu 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 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 18. Analiza wyników badań wskazuje, 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 25 minut. Najniższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 40 minut uzyskano przy prędkości wirowania 3000 obr/min. Kształt przebiegu krzywej pokazuje, że wzrost prędkości wirowania będzie powodował dalszy spadek czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie. Spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie można tłumaczyć tym, 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 powierzchnie odcieku.

Wyniki badań wpływu dawki olejku eterycznego z pomarańczy na czas utrzymywania się zapachu w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono na rysunku 20. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost dawki olejku z pomarańczy powoduje wzrost czasu utrzymywania się zapachu w osadzie. Najwyższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 69 minut uzyskano przy dawce olejku z pomarańczy 48 ml/dm<sup>3</sup>. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że dalsze zwiększanie dawki olejku z pomarańczy 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.

## 5. Wnioski

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

- Proces odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy przebiegał prawidłowo, w związku z tym może on stanowić substytut flokulanta Praestol 855BS.
- Olejek z pomarańczy wpływa na zmniejszenie parametrów wynikowych procesu, tj. zawartość wody w osadzie oraz zawartość suchej masy w odcieku.
- Efektywność procesu odwadniania z zastosowaniem olejku z pomarańczy jako środka wspomagającego ten proces jest nieco gorsza w porównaniu do flokulanta Praestol 855BS.
- Dawka olejku powoduje znaczną poprawę warunków pracy, tzn. w dużym stopniu zmniejsza nieprzyjemne zapachy, które emitowane są z osadów podczas ich mechanicznego odwadniania w wirówce.
- Biorąc pod uwagę zarówno skuteczne obniżenie parametrów wynikowych procesu odwadniania i znaczne zmniejszenie uciążliwości zapachowych, przyjmuje się i zaleca do aplikacji dawkowanie równoczesne obydwu środków wspomagających, tj. flokulanta Praestol 855BS 50% oraz olejku eterycznego z pomarańczy także 50% udziału objętościowego, co zostało udowodnione w artykule (Kowalczyk & Piecuch 2016).

## Literatura

- Abu-Orf, M.M., & Dentel, S.K. (1997). Polymer dose assessment using the streaming current detector. *Water Environment Research*, Vol. 69, No. 6, 1075-1085.
- 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.

- ASHLAND Karta charakterystyki flokulanta Praestol 855BS, Nr karty: R0308409.
- Bień, J., Bień, J., Matysiak, B. (1999). *Gospodarka odpadami w oczyszczalniach ścieków*. Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej.
- Bień, J., Bień, J., Wystalska, K. (1998). *Problemy gospodarki osadowej w ochronie środowiska*. Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej.
- Bojanowicz-Bablok, A. (2012). Disamenity externalities of municipal solid waste landfill. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 14 (1), 11-20.
- 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.
- Ciborowski, M. (2006). Możliwości zastosowania koagulantów nieorganicznych do kondycjonowania osadów ściekowych przed zagęszczaniem lub odwadnianiem. *Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Wszelchstronność zastosowań chemikaliów na obiektach gospodarki wodno-ściekowej: nowe aplikacje 2005-2006*, Szczecin-Berlin-Poczdami-Brandenburg, 108-119.
- Kośmider, J., & Krajewska, B. (2007). Determining Temporary Odour Concentration under Field Conditions – Comparison of Methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16 (2), 215-225.
- Kośmider, J., Mazur-Chrzanowska, B., Wyszynski, B. (2012). *Odory*. Warszawa: PWN.
- 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.
- Kulig, A. (2005). Źródła i oddziaływanie odorantów emitowanych z obiektów gospodarki ściekowej. *Przegląd Komunalny, Zeszyty Komunalne*, 11, 99-103.
- Kulig, A., Lelicińska-Serafin, K., Podedworna, J., Sinicyń, G., Heidrich, Z., Czyżkowski, B. (2010). Identyfikacja, inwentaryzacja i charakterystyka źródeł odorantów w gospodarce komunalnej w Polsce, [w:] Szyńkowska, M., Zwoździak, J. *Współczesna problematyka odorów*. WNT, Warszawa, 14-53.
- Kulig, A., Sinicyń, 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.
- Lee, C.H., & Liu, J.C. (2001). Sludge dewaterability and floc structure in dual polymer conditioning. *Advances in Environmental Research*, Vol. 5, 129-136.

- Podedworna, J., & Umiejewska, K. (2007). *Ćwiczenia laboratoryjne z technologii osadów ściekowych*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Podedworna, J., & Umiejewska, K. (2008). *Technologia osadów ściekowych*. Warszawa : Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse*. Metcalf & Eddy 4th edition. New York: Mc Graw-Hill Inc.

## **Application of Essential Oil as a Substitute of Flocculant in the Process of Mechanical Dewatering of Municipal Sewage Sludge**

### **Abstract**

An attempt to find optimal conditions for dewatering of municipal sewage sludge in a centrifuge with use of orange essential oil instead of Praestol 855BS flocculant and to reduce unpleasant odors emitted during this process are presented in the paper.

The process of dewatering of municipal sewage sludge was carried out using laboratory sedimentation centrifuge of type MPW-350. Sewage sludge, stabilized in the process of anaerobic digestion in the Wastewater Treatment Plant Jamno, was used as a substrate during laboratory experiments.

Parameters characterizing sewage sludge were constants in the experiment: pH, temperature, color, texture, scent, water and dry matter content.

Parameters of the dewatering process were independent variables: centrifugation time (1-10 min.), centrifugation speed (1000-3000 rot./min.), dose of Praestol 855BS flocculant (0-48 ml/dm<sup>3</sup>) and dose of orange essential oil (0-48 ml/dm<sup>3</sup>). Following parameters were assessed: water content in sediment, dry residue content in effluent and time of persistence of scent in sediment.

Results of experiment prove that orange essential oil may be used instead of Praestol 855BS flocculant in the process of centrifugal sedimentation.

Dosage of orange oil also causes a significant improvement of conditions – odours emitted during dewatering of sewage sludge are much less noxious.

Taking into account effective reduction of resulting parameters of dewatering process and a significant decrease of odour nuisance, authors recommended application of both agents: 50% of volume of Praestol 855BS flocculant and 50% of volume of orange essential oil.

## Streszczenie

W pracy podjęto próbę znalezienia optymalnych warunków prowadzenia procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych w wirówce z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy jako substytutu flokulanta Praestol 855BS 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, 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, barwa, struktura, zapach, zawartość wody oraz zawartość suchej masy.

Parametrami zmiennymi niezależnymi procesu odwadniania były czas wirowania w zakresie 1-10 min, prędkość wirowania 1000-3000 obr/min, dawka flokulanta Praestol 855BS 0-48 ml/dm<sup>3</sup> oraz dawka olejku eterycznego z pomarańczy 0-48 ml/dm<sup>3</sup>. 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 stanowić substytut flokulanta Praestol 855BS w procesie sedymentacji odśrodkowej. Dawka olejku powoduje znaczną poprawę warunków pracy, tzn. w dużym stopniu zmniejsza nieprzyjemne zapachy, które emitowane są z osadów podczas ich mechanicznego odwadniania w wirówce.

Biorąc pod uwagę zarówno skuteczne obniżenie parametrów wynikowych procesu odwadniania i znaczne zmniejszenie uciążliwości zapachowych, przyjmuje się i zaleca do aplikacji dawkowanie równoczesne obydwu środków wspomagających, tj. flokulanta Praestol 855BS 50% oraz olejku eterycznego z pomarańczy także 50% udziału objętościowego.

### Słowa kluczowe:

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

### Keywords:

sewage sludge, dewatering, water content in sediment, dry residue content in effluent, orange essential oil, flocculant