

Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350 oraz na przemysłowej wirówce typu Noxon DC20 – problem przeniesienia skali

*Justyna Kutryn, Tadeusz Piecuch
Politechnika Koszalińska*

1. Wstęp

Powstające w wyniku oczyszczania ścieków osady zaszeregowano do 19 grupy katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112 poz.1206, 2002 r). Ze względu na miejsce powstawania osadów można wyróżnić osady pochodzące z I. stopnia oczyszczania – czyli z oczyszczania mechanicznego (są to np. skratki, piasek, osad wstępny), osady pochodzące z II. stopnia oczyszczania – czyli z oczyszczania biologicznego (osad wtórny recykulowany, osad wtórny nadmierny) oraz osady pochodzące z III stopnia oczyszczania – czyli z oczyszczania chemicznego (osady chemiczne). W Polsce łącznie powstaje ok. 350 000 Mg s.m. komunalnych osadów ściekowych. Ilość osadów ściekowych zależy od wielu czynników m.in. od składu ścieków surowych, sposobu stabilizacji osadów, stopnia uwodnienia osadów. Osady surowe są niebezpieczne sanitarnie (zawierają organizmy chorobotwórcze, jaja pasożytów, formy przetrwalnikowe), posiadają zdolność do zagniwania oraz wysokie uwodnienie. Obróbka osadów ściekowych stanowi integralną część układu technologicznego każdej oczyszczalni ścieków, ponieważ zgodnie z prawem osady przed usunięciem ich z oczyszczalni muszą być ustabilizowane, odwodnione oraz unieszkodliwione. Odwadnianie osadów polegające na usuwaniu wody kapilarnej z osadu w celu zmniejszenia jego objętości i masy, może być naturalne i mechaniczne. Najlepiej odwadniają się osady wstępne, najgorzej osady nadmierne po stabilizacji tlenowej [1]. Do mechanicznego odwadniania osadów stosuje się wirówki oraz prasy filtracyjne. Wirówki służą do oddzielania ciał stałych od cieczy lub roz-

dzielania dwóch cieczy o różnych ciężarach właściwych za pomocą sił grawitacji oraz odśrodkowych. Ogólnie wirówki można podzielić na wirówki o działaniu periodycznym (okresowym) oraz o działaniu ciągłym. Wirówki periodyczne pracują najczęściej w układzie pionowym, zaś wirówki o działaniu ciągłym w układzie poziomym w odniesieniu do położenia osi bębna [7]. Efekt odwadniania zależy od parametrów urządzeń, np. liczby obrotów, czasu wirowania, średnicy bębna, ilości nadawy, dawki polimeru oraz od właściwości nadanego osadu [1]. Praktyka wskazuje, że nie ma dwóch absolutnie identycznych osadów ściekowych [6]. W publikacji porównano wyniki badań odwadniania ogólnie tych samych komunalnych osadów ściekowych z Oczyszczalni Jamno, w warunkach laboratoryjnych oraz w warunkach przemysłowych. Wskazano przyczyny różnic efektu odwadniania w małej i dużej skali.

W tym celu wyznaczono wilgotności osadu oraz zagęszczenia odsącza po procesie odwirowania komunalnych osadów ściekowych na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej MPW-350, produkcji MPW Med-Instruments Warszawa, w zależności od czasu wirowania t , liczby obrotów n , dawki flokulantu C , a następnie odniesiono otrzymane wyniki do wartości przemysłowych otrzymywanych po procesie odwirowania osadów w wirówce typu Noxon na obiekcie Oczyszczalni Ścieków Jamno. Jako nadawę do procesu stosowano rzeczywisty ustabilizowany w wyniku fermentacji metanowej osad czynny, pobrany z Oczyszczalni Ścieków, bezpośrednio z przewodu tłoczego podającego osad z WKF na wirówki dekantacyjne typu Noxon.

2. Zakres badań i metodyka badań w skali laboratoryjnej

Zakres badań laboratoryjnych obejmował oznaczenie parametrów nadawy (pH, temperatura, zapach, barwa, wilgotność osadu, zagęszczenie) oraz parametrów wilgotności osadu i zagęszczenia odsącza po procesie odwadniania na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej MPW-350 w zależności od zmieniających się parametrów procesu [5].

Wartościami stałymi procesu były parametry charakteryzujące nadawę. Parametrami zmiennymi niezależnymi procesu były:

- czas wirowania t min – założono: $t_1=1$ min, $t_2=2$ min, $t_3=5$ min, $t_4=10$ min,
- liczba obrotów n obr/min, założono: $n_1=1000$ obr/min, $n_2=2000$ obr/min, $n_3=2500$ obr/min, $n_4=3000$ obr/min,
- dawka dozowanego flokulantu C ml roztworu flokulantu/dm³ osadu, założono: $C_0=0$ ml/dm³, C_1 =koncentracja odpowiadająca rzeczywistej dawce dozowanej na oczyszczalni ścieków, wynoszącej średnio 480 dm³ roztworu/17 m³ osadu, tj. w przeliczeniu: $C_1=28$ ml roztworu/dm³ osadu, $C_2=120\% \cdot C_1=34$ ml roztworu/dm³ osadu.

Stosowano flokulant kationowy, używany na Oczyszczalni Ścieków Jamno, tj. rzeczywisty roztwór 0,35% flokulantu o nazwie handlowej Praestol 855BS, produkcji Ashland Deutschland GmbH Krefeld.

Parametrami zmiennymi zależnymi tj. wynikowymi procesu były:

- wilgotność osadu W%,
- zagęszczenie odsącza po procesie wirowania β g/dm³.

Bezpośrednio po pobraniu próbek w czasie do 1h od chwili pobrania, oznaczano parametry fizyczne osadu, tworzącego nadawę do procesu, to jest: pH, temperaturę, barwę, strukturę, zapach, wilgotność i zagęszczenie osadów. Próbki były przechowywane w lodówce w temp. 4°C. Badania prowadzono z wykorzystaniem laboratorium, urządzeń i sprzętu Katedry Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów Politechniki Koszalińskiej.

3. Opis i analiza wyników otrzymanych w skali laboratoryjnej

Wyniki uzyskane w trakcie prowadzenia badań laboratoryjnych zestawiono w tabelach 1, 2, 3 oraz na wykresach rys. od 1 do 3 (a,b). Do badań użyto zawsze te same ścieki zawiesinowe o następującej charakterystyce:

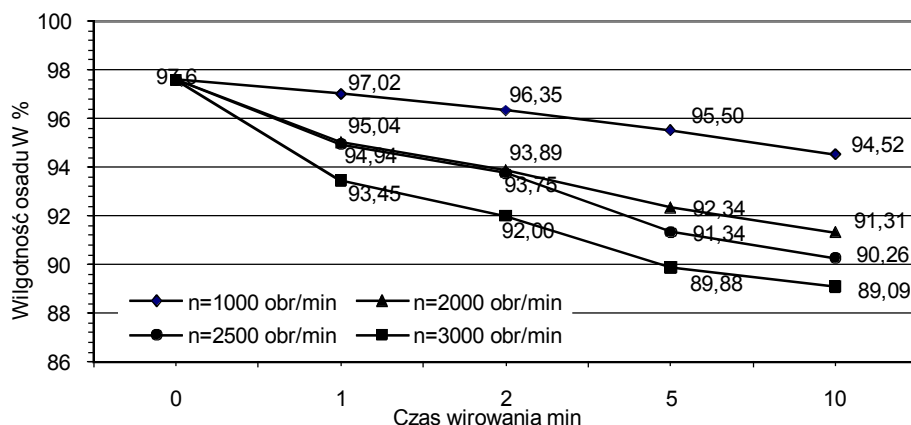
- pH=7,55,
- temp. 20°C,
- barwa: czarna,
- struktura osadu: jednolita, trudno opadający, zawiesinowy,
- zapach: gnilny,
- wilgotność: 97,6%,
- zagęszczenie: 23,749 g/dm³.

Seria 1 – dawka flokulantu $C_0=0 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 1. Zestawienie wartości średnich parametrów wynikowych: wilgotności osadu W% oraz zagęszczenia osącza $\beta \text{ g/dm}^3$ w zależności od liczby obrotów n obr/min i czasu wirowania t min dla serii zerowej dawki flokulantu $C_0=0 \text{ ml/dm}^3$, temp. $t=20^\circ\text{C}$, nadawa: wilgotność 97,6%, zagęszczenie 23,749g / dm^3

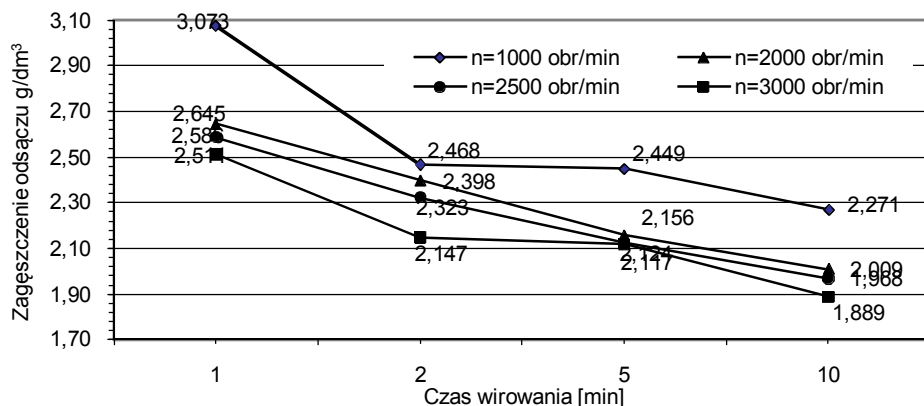
Table 1. Values of resulting parameters: water content in sediment W% and solids concentration in eluate $\beta \text{ g/dm}^3$ on rotation speed n 1/min, whirling time t min for series with zero flocculent dose $C_0=0 \text{ ml/dm}^3$, temperature $t=20^\circ\text{C}$, input parameters: water content 97.6%, solids concentration 23.749 g/dm^3

Wilgotność osadów W%				
n	$t_1=1 \text{ min}$	$t_2=2 \text{ min}$	$t_3=5 \text{ min}$	$t_4=10 \text{ min}$
1000	97,02	96,35	95,50	94,52
2000	95,04	93,89	92,34	91,31
2500	94,94	93,75	91,34	90,26
3000	93,45	92,00	89,88	89,09
Zagęszczenie osącza $\beta \text{ g/dm}^3$				
n	$t_1=1 \text{ min}$	$t_2=2 \text{ min}$	$t_3=5 \text{ min}$	$t_4=10 \text{ min}$
1000	3,073	2,468	2,449	2,271
2000	2,645	2,398	2,156	2,009
2500	2,586	2,323	2,124	1,968
3000	2,511	2,147	2,117	1,889



Rys.1a. Wilgotność osadu W% w zależności od liczby obrotów n obr/min i czasu wirowania t min dla serii zerowej dawki flokulantu $C_0=0 \text{ ml/dm}^3$, temp. $t=20^\circ\text{C}$, nadawa: wilgotność 97,6%, zagęszczenie $23,749 \text{ g/dm}^3$

Fig.1a. Water content in sediments W% depending on rotation speed n 1/min, whirling time t min for series with zero flocculent dose $C_0=0 \text{ ml/dm}^3$, temperature $t=20^\circ\text{C}$, input parameters: water content 97.6%, solids concentration 23.749 g/dm^3



Rys.1b. Zagęszczenie odsączone $\beta \text{ g/dm}^3$ w zależności od liczby obrotów n obr/min i czasu wirowania t min dla serii zerowej dawki flokulantu $C_0=0 \text{ ml/dm}^3$, temp. $t=20^\circ\text{C}$, nadawa: wilgotność 97,6%, zagęszczenie: $23,749 \text{ g/dm}^3$

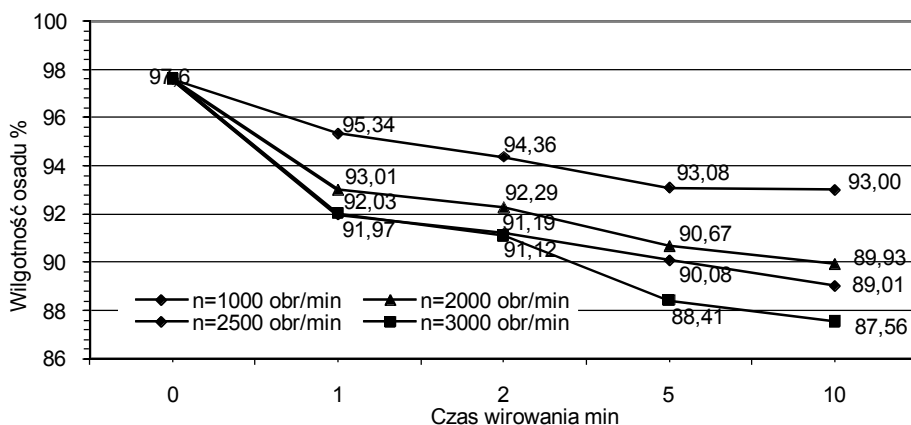
Fig.1b. Solids concentration in eluate $\beta \text{ g/dm}^3$ depending on rotation speed n 1/min, whirling time t min for series with zero flocculent dose $C_0=0 \text{ ml/dm}^3$, temperature $t=20^\circ\text{C}$, input parameters: water content 97.6%, solids concentration 23.749 g/dm^3

Seria 2 – dawka flokulantu $C_1=28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 2. Zestawienie wartości średnich parametrów wynikowych: wilgotności osadu W% oraz zagęszczenia osącza $\beta \text{ g/dm}^3$ w zależności od liczby obrotów n obr/min i czasu wirowania t min dla serii przy dozowaniu flokulantu Praestol 855BS w dawce $C_1=28 \text{ ml/dm}^3$, temp. $t=20^\circ\text{C}$, nadawa: wilgotność 97,6%, zagęszczenie $23,749 \text{ g/dm}^3$

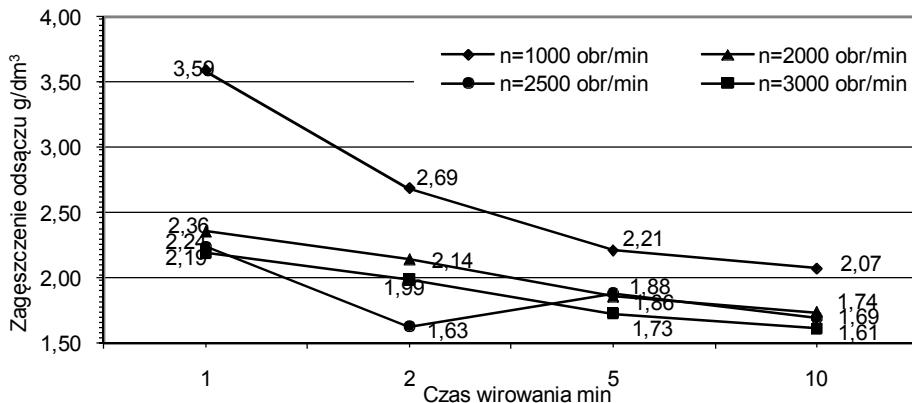
Table 2. Average values of resulting parameters: water content in sediment W% and solids concentration in eluate $\beta \text{ g/dm}^3$ depending on rotation speed n 1/min and whirling time t min for series with Praestol 855BS flocculent dose $C_1=28 \text{ ml/dm}^3$, temperature $t=20^\circ\text{C}$, input parameters: water content 97.6%, solids concentration 23.749 g/dm^3

Wilgotność osadów W%				
n	$t_1=1 \text{ min}$	$t_2=2 \text{ min}$	$t_3=5 \text{ min}$	$t_4=10 \text{ min}$
1000	95,34	94,36	93,08	93,00
2000	93,01	92,29	90,67	89,93
2500	91,97	91,19	90,08	89,01
3000	92,03	91,12	88,41	87,56
Zagęszczenie osącza $\beta \text{ g/dm}^3$				
n	$t_1=1 \text{ min}$	$t_2=2 \text{ min}$	$t_3=5 \text{ min}$	$t_4=10 \text{ min}$
1000	3,588	2,686	2,212	2,073
2000	2,357	2,145	1,857	1,737
2500	2,241	1,628	1,881	1,694
3000	2,190	1,989	1,726	1,611



Rys. 2a. Wilgotność osadu W% w zależności od liczby obrotów n obr/min i czasu wirowania t min dla serii przy dozowaniu flokulantu Praestol 855BS w dawce $C_1=28\text{ ml/dm}^3$, temp. $t=20^\circ\text{C}$, nadawa: wilgotność 97,6%, zagęszczenie $23,749\text{ g/dm}^3$

Fig. 2a. Water content in sediment W% depending on rotation speed n 1/min, whirling time t min for series with Praestol 855BS flocculent dose $C_1=28\text{ ml/dm}^3$, temperature $t=20^\circ\text{C}$, input parameters: water content 97.6%, solids concentration 23.749 g/dm^3



Rys. 2b. Zagęszczenie odsącza $\beta\text{ g/dm}^3$ w zależności od liczby obrotów n obr/min i czasu wirowania t min dla serii przy dozowaniu flokulantu Praestol 855BS w dawce $C_1=28\text{ ml/dm}^3$, temp. $t=20^\circ\text{C}$, nadawa: wilgotność 97,6%, zagęszczenie $23,749\text{ g/dm}^3$

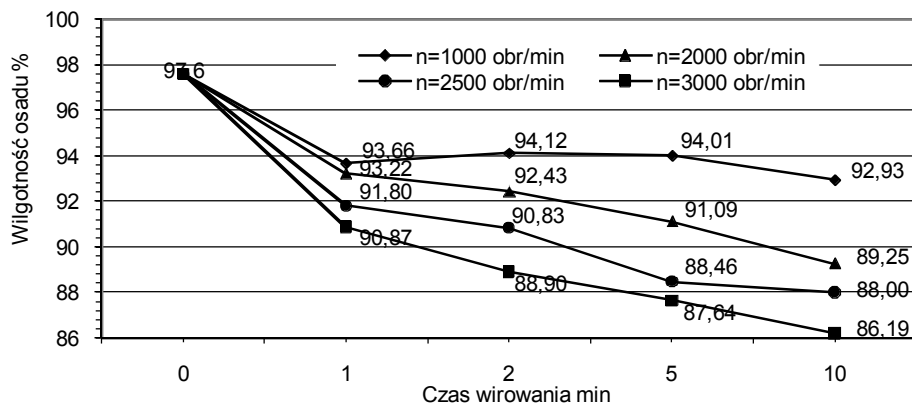
Fig. 2b. Solids concentration in eluate $\beta\text{ g/dm}^3$ depending on rotation speed n 1/min, whirling time t min for series with Praestol 855BS flocculent dose $C_1=28\text{ ml/dm}^3$, temperature $t=20^\circ\text{C}$, input parameters: water content 97.6%, solids concentration 23.749 g/dm^3

Seria 3 – dawka flokulantu $C_2=34 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 3. Zestawienie wartości średnich parametrów wynikowych: wilgotności osadu $W\%$ oraz zagęszczenia odsącza $\beta \text{ g/dm}^3$ w zależności od liczby obrotów n obr/min i czasu wirowania t min dla serii przy dozowaniu flokulantu Praestol 855BS w dawce $C_2=34 \text{ ml/dm}^3$, temp. $t=20^\circ\text{C}$, nadawa: wilgotność $97,6\%$, zagęszczenie $23,749 \text{ g/dm}^3$

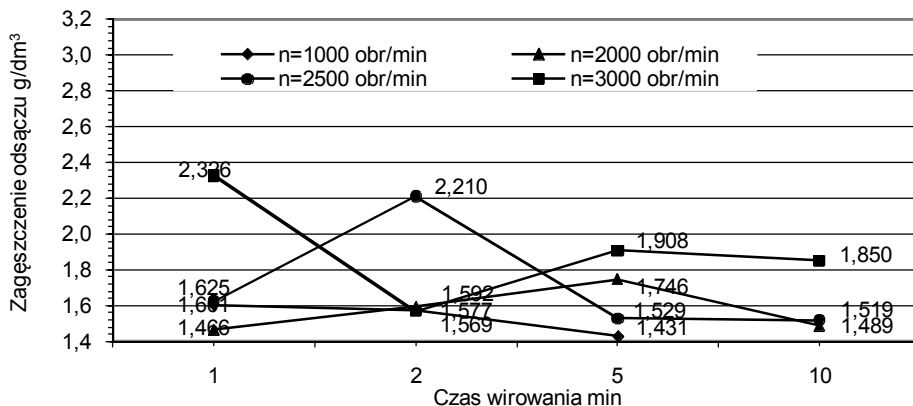
Table 3. Values of resulting parameters: water content in sediment $W\%$ and solids concentration in eluate $\beta \text{ g/dm}^3$ depending on rotation speed n l/min and whirling time t min for series with Praestol 855BS flocculent dose $C_2=34 \text{ ml/dm}^3$, temperature $t=20^\circ\text{C}$, input parameters: water content 97.6% , solids concentration 23.749 g/dm^3

Wilgotność osadów $W\%$				
n	$t_1=1 \text{ min}$	$t_2=2 \text{ min}$	$t_3=5 \text{ min}$	$t_4=10 \text{ min}$
1000	93,66	94,12	94,01	92,93
2000	93,22	92,43	91,09	89,25
2500	91,80	90,83	88,46	88,00
3000	90,87	88,90	87,64	86,19
Zagęszczenie odsącza $\beta \text{ g/dm}^3$				
n	$t_1=1 \text{ min}$	$t_2=2 \text{ min}$	$t_3=5 \text{ min}$	$t_4=10 \text{ min}$
1000	1,601	1,577	1,431	3,136
2000	1,466	1,592	1,746	1,489
2500	1,625	2,210	1,529	1,519
3000	2,326	1,569	1,908	1,850



Rys. 3a. Wilgotność osadu $W\%$ w zależności od liczby obrotów n obr/min i czasu wirowania t min dla serii przy dozowaniu flokulantu Praestol 855BS w dawce $C_2=34$ ml/dm³, temp. $t=20^\circ\text{C}$, nadawa: wilgotność 97,6%, zagęszczenie 23,749 g/dm³

Fig. 3a. Solids concentration in sediment $W\%$ depending on rotation speed n 1/min, whirling time t min for series with Praestol 855BS flocculent dose $C_2=34$ ml/dm³, temperature $t=20^\circ\text{C}$, input parameters: water content 97.6%, solids concentration 23.749g/dm³



Rys. 3b. Zagęszczenie odsącza β g/dm³ w zależności od liczby obrotów n obr/min i czasu wirowania t min dla serii przy dozowaniu flokulantua Praestol 855BS w dawce $C_2=34$ ml/dm³, temp. $t=20^\circ\text{C}$, nadawa: wilgotność: 97,6%, zagęszczenie: 23,749 g/dm³

Fig. 3b. Solids concentration in eluate β g/dm³ depending on rotation speed n 1/min, whirling time t min for series with Praestol 855BS flocculent dose $C_2=34$ ml/dm³, temperatue $t=20^\circ\text{C}$, input parameters: water content 97.6%, solids concentration 23.749 g/dm³

W warunkach przemysłowych [10] bezpośrednio do wirówki dekantacyjnej podawany jest 0,35% roztwór polimeru Praestol 855BS, w dawce ok. 480 dm³ roztworu/17 m³ osadu. Po procesie otrzymuje się osad odwodniony o wilgotności średniej poniżej 72% dla obrotów bębna w przybliżeniu $n \approx 2500$ obr/min.

W warunkach laboratoryjnych przy dawce zerowej flokulantu, zaobserwowano tendencję spadku wilgotności osadu oraz zagęszczenia odsącza wraz ze wzrostem liczby obrotów n oraz wzrostem czasu wirowania t (tabela 1, rys. 1a, rys. 1b).

Dla czasu wirowania $t_3 = 5$ min oraz $t_4 = 10$ min obserwuje się nieznaczne różnice wilgotności osadu w stosunku do prędkości wirowania (liczby obrotów n) do 2%. Zatem dalsze wydłużanie czasu wirowania nie wpływa na jakość procesu.

W warunkach laboratoryjnych dla dawki flokulantu zbliżonej do warunków przemysłowych, tj. dawki C_1 , zachowana jest tendencja spadku wilgotności osadu oraz zagęszczenia odsącza wraz ze wzrostem parametrów t oraz n (tabela 2, rys. 1a, rys. 2b). Maksymalne odwodnienie osadu tj. $W = 87,56\%$ uzyskano dla czasu wirowania $t_4 = 10$ min przy liczbie obrotów $n = 3000$ obr/min. Wartości zagęszczeń odsącza przy określonych czasach wirowania i przy prędkościach wirowania w zakresie $n = 2000 \div 3000$ obr/min są do siebie zbliżone. Największe wartości zagęszczenia uzyskano dla najmniejszej ilości obrotów. W warunkach laboratoryjnych przy dawce flokulantu równej C_2 , zachowana jest również tendencja spadku wilgotności osadu wraz ze wzrostem parametrów t i n (tabela 3, rys. 3a, rys. 3b). Maksymalne odwodnienie uzyskano dla $t_4 = 10$ min oraz $n = 3000$ obr/min, tj. $W = 86,19\%$. Wyraźniejsze (niż w przypadku serii z dawką flokulantu C_1) są różnice wilgotności osadu pomiędzy poszczególnymi seriami, tzn. przy tym samym czasie wirowania t lecz przy różnej liczbie obrotów n , do 5%.

W oparciu o otrzymane wyniki laboratoryjne, wyznaczono wzór empiryczny na wilgotność osadu w zależności od parametrów ruchowych: czasu wirowania t [min], liczby obrotów [s^{-1}], dla dawki C [ml/dm^3 osadu] 0,35% roztworu flokulantu Praestol.

$$W [\%] = 99,83 - 0,36 t - 0,141 n - 0,065 C \quad (1)$$

4. Zakres badań i metodyka badań w skali przemysłowej

Zakres badań w skali przemysłowej obejmował oznaczenie parametrów nadawy [5] oraz parametrów wilgotności osadu i zagęszczenia odsącza po procesie odwadniania na wirówce przemysłowej w zależności od parametrów ruchowych procesu. Na obiekcie przemysłowym dozuje się flokulant kationowy o nazwie handlowej Praestol 855BS o stężeniu rzeczywistym roztworu 0,35%.

Dawka flokulantu kształtuje się na stałym poziomie i jest uzależniona od innych parametrów hydraulicznych, które zostały dobrane przez producenta wirówek Noxon (Szwecja) dla tej zawiesziny jako quasi optymalne.

Parametrami zmiennymi niezależnymi procesu były obroty wirówki dekantacyjnej Noxon DC20. Obroty wirnika są sprzężone z obrotami bębna, w ten sposób, że dla zadanych warunków pracy różnica obrotów wirnika i bębna jest stała i kształtuje się na poziomie 1,5 do 4. Wartości liczby obrotów wirówki n obr/min, podane w tabelach 4÷8 oraz na rysunkach 4a, 4b, 6 są wartościami liczby obrotów bębna, natomiast liczba obrotów wirnika jest większa maksymalnie o 0,2% od liczby obrotów bębna. Założono prędkość wirowania na poziomie zbliżonym do wartości n obr/min równej 1900, 2100, 2200, 2300, 2400. Parametrami zmiennymi zależnymi, czyli wynikowymi procesu były wilgotność osadu $W\%$ oraz zagęszczenie osądcu po procesie wirowania β g/dm³. Po pobraniu próbek w czasie do 1h od chwili pobrania, oznaczano parametry fizyczne osadu tj.: pH, barwę, strukturę, zapach, wilgotność i zagęszczenie osadów. Próbkę były przechowywane w lodówce w temp. 4°C. Próbkę pobrano z wylotu osadu na wirówce dekantacyjnej Noxon, będącej własnością Oczyszczalni Ścieków Jamno. Badania oznaczania parametrów osadu przeprowadzono z wykorzystaniem laboratorium, urządzeń i sprzętu Katedry Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów.

Wirówka przemysłowa Noxon jest typową wirówką dekantacyjną o działaniu przeciwwąadowym; budowę i zasadę działania takich wirówek opisano w pracy [9]. Centralną częścią maszyny jest wirujący bęben, posiadający wewnątrz wirujący ślimak. Bęben i ślimak wirują niezależnie od siebie – bęben do 2200 obr/min, ślimak o 1÷15 obr/min szybciej od bębna – w zależności od rodzaju osadu. Osad dostarczany jest poprzez rurę dolotową do komory mieszania, w której następuje zmieszanie go z roztworem polielektrolitu. Osad na skutek wirowania zostaje wyrzucony poprzez otwory w komorze mieszania w kierunku ścianek wewnętrznych bębna i rozpoczyna się proces odwadniania. Odwodniony osad transportowany jest na zewnątrz maszyny przy pomocy zwojów ślimaka. Na skutek ciśnienia odciek wypychany jest przez otwory we flanszy bębna od strony dolotu osadu. Wzajemne przemieszczanie się osadu i odcieku w wirówce jest przeciwwąadowe – osad przesuwany jest po wewnętrznej powierzchni bębna przez ślimak od miejsca w którym osad wyrzucany jest z komory mieszania do gardzieli wysypu osadu. Odciek przemieszcza się w kierunku przeciwnym, opuszczając bęben przez 6 otworów we flanszy bębna [11].

5. Opis i analiza wyników otrzymanych w skali przemysłowej

Wyniki uzyskane w trakcie prowadzenia badań zestawiono w tabelach zbiorczych oraz na wykresach.

Charakterystyka nadawy:

- pH=7,09,
- barwa: czarna,
- struktura osadu: jednolita, trudno opadający, zawieszinowy,
- zapach: gnilny,
- wilgotność: 97,33%,
- zagęszczenie: 28,565 g/dm³.

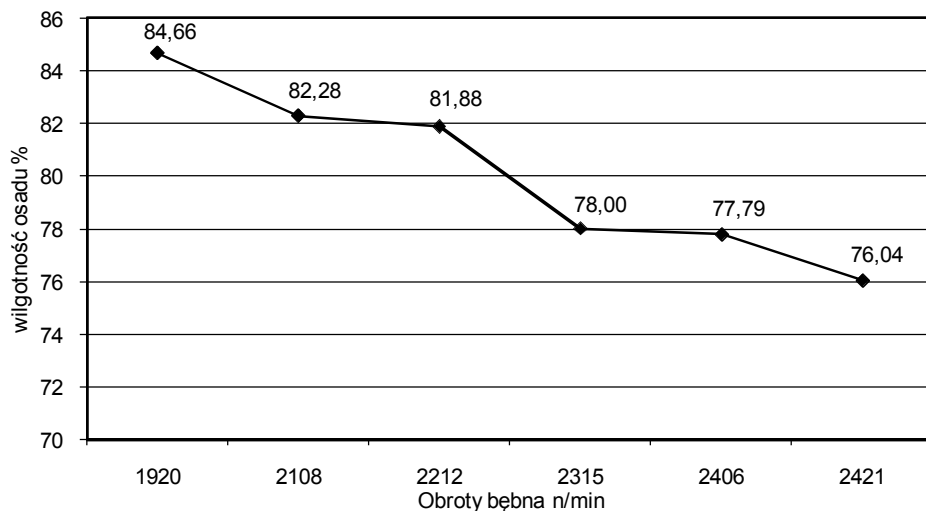
Tabela 4. Zestawienie wartości średnich wilgotności osadu W% oraz zagęszczenia odsącza β g/dm³ w zależności od liczby obrotów wirówki oraz ciśnienia odśrodkowego w warunkach przemysłowych

Table 4. Average values of water content in sediment W% and solids concentration in eluate β g/dm³ depending on rotation speed n 1/min and centrifugal pressure in industrial centrifuge

Lp.	Liczba obrotów wirówki n/min	Ciśnienie wewnątrz przestrzeni wirowania bar	Wilgotność osadu W%	Zagęszczenie odsącza β g/dm ³
1	1920	13÷14	84,66	1,778
2	2108	17÷18	82,28	1,694
3	2212	17÷18	81,88	1,874
4	2315	18÷19	78,00	1,852
5	2406	19÷20	77,79	1,764
6	2421	19÷20	76,04	1,710

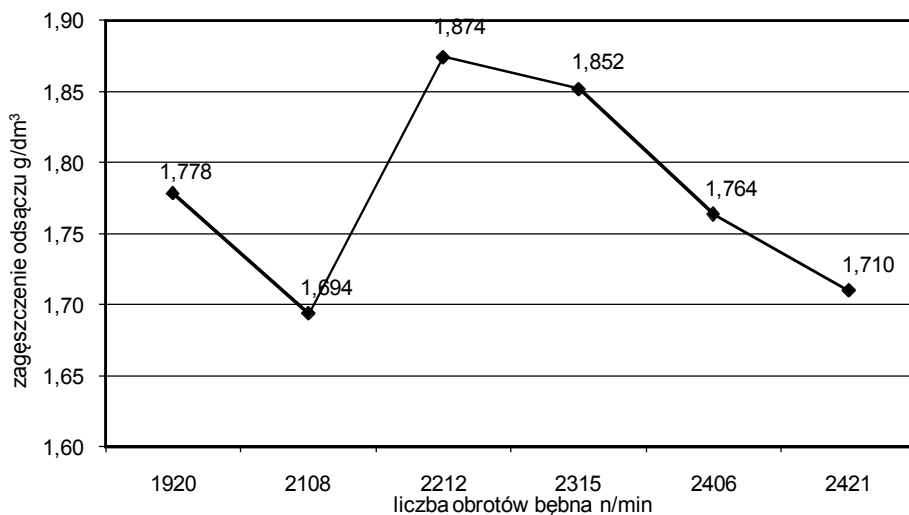
W warunkach przemysłowych bezpośrednio do wirówki dekantacyjnej dozowany jest 0,35% roztwór polimeru Praestol 855BS, w dawce przybliżonej 480÷520 dm³roztworu/17 m³ osadu, tworząc układ statyczny. Wartości dozowanych dawek flokulantu oraz ciśnienie wewnątrz przestrzeni roboczej można odczytać w raporcie pracy urządzenia (rys. 5). Maksymalna prędkość wirowania nie przekracza w warunkach przemysłowych 2500 obrotów/min.

Zaobserwowano podobną jak dla wirówki laboratoryjnej tendencję spadku wilgotności osadu wraz ze wzrostem liczby obrotów n, czemu odpowiada zmiana wartości ciśnienia. Przy maksymalnej liczbie obrotów wirówki n =2421 obr/min, tj przy ciśnieniu 19÷20 bar uzyskano osad, w którym zawartość wilgoci była o 21% mniejsza niż wilgotność osadu nadawy (W_N=97,3%).



Rys. 4a. Wilgotność osadu $W\%$ w zależności od liczby obrotów wirówki n obr/min, dla wirówki dekantacyjnej przemysłowej

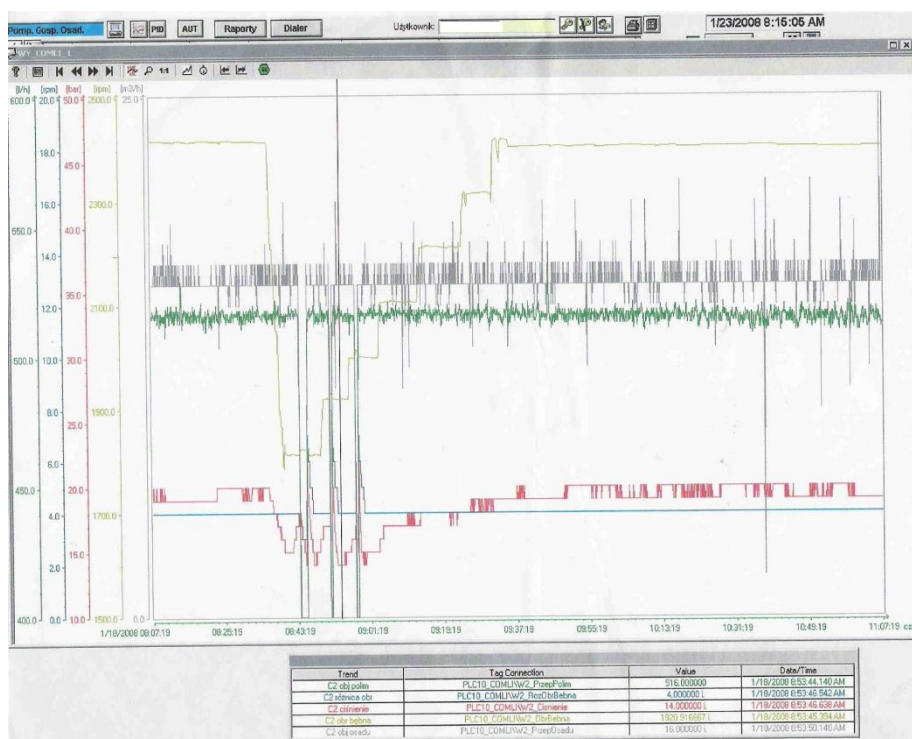
Fig. 4a. Water content in sediment $W\%$ vs. rotation speed n 1/min in industrial centrifuge



Rys. 4b. Zagęszczenie odsącza β g/dm³ w zależności od liczby obrotów wirówki n obr/min, dla wirówki dekantacyjnej przemysłowej

Fig. 4b. Solids concentration in eluate β g/dm³ vs. rotation speed n 1/min in industrial centrifuge

Zagęszczenie osadzu wykazuje tendencję spadkową w przedziale obrotów wirówki 2100÷2400. Dwa pierwsze pomiary ($n=1920$, $n=2108$) są związane z wyłączeniem i alarmem pracy pomp osadu na skutek niskiego ciśnienia w komorze bębna (co spowodowane było niskimi obrotami). Układ statyczny urządzenia nie pozwala również na dokładne zaprogramowanie liczby obrotów wirówki na poziomie np. 2000 obr/min; można jedynie zmieniając inne parametry, zbliżyć obroty wirówki do pożądanej wartości. Dozowanie flokulantu uzależnione jest od całego układu i dla tych dwóch pomiarów również było zaniżone. Powyższe widoczne jest na wykresach pracy urządzenia (rys. 5). Stąd najprawdopodobniej występują takie rozbieżności w pomiarach zawartości zawiesiny w odcieku (rys. 4a, rys. 4b).



Rys. 5. Raport pracy urządzenia – wirówka dekantacyjna Noxon

Fig. 5. Work register of Noxon centrifuge

6. Porównanie otrzymanych wyników skali laboratoryjnej i przemysłowej

W warunkach laboratoryjnych maksymalne odwodnienie uzyskano dla czasu wirowania $t_4=10$ min oraz liczby obrotów wirówki $n=3000$ obr/min ($W=87,56\%$). Przy żadnym z założonych w warunkach laboratoryjnych czasów wirowania (1 min, 2 min, 5 min, 10 min) nie uzyskano wartości wilgotności osadu zbliżonej do warunków przemysłowych na poziomie 76% (dla $n=2412$ obr/min). Wartości zagęszczeń odsącu przy określonych czasach wirowania i przy różnych prędkościach wirowania były do siebie zbliżone. Istnieje zatem problem przeniesienia skali rezultatów badań laboratoryjnych na możliwe do przewidzenia i zaprogramowania rezultaty jakości odwadniania zawiesin w wirówce przemysłowej. Oczywiście ten problem przeniesienia skali jest niezmiernie trudny, gdyż możliwości badań procesu odwadniania w sedymentacyjnej wirówce laboratoryjnej o działaniu periodycznym są inne niż w wirówce sedymentacyjnej o działaniu ciągłym.

W warunkach laboratoryjnych można ustalić czas wirowania porcji zawiesiny. Natomiast w warunkach przemysłowych jest to bardzo trudne [8]. Aby ustalić czas przebywania np. umownego ziarna zawiesiny w warunkach przemysłowych, należy do wirówki wprowadzić na wlocie tzw. ziarno znaczone, a więc takie, które po określonym czasie jego wirowania można łatwo zauważyć w osadzie, który wypada z wirówki. Słowo „łatwo” jest tu pojęciem względnym, gdyż przecież odwodniony osad jest szaro-czarny, błotnisty i ziarno znaczone oblepia. Każdy więc taki pomiar będzie trudny w realizacji i zapewne obarczony błędem (m.in. dokładne oznaczenie wlotu ziarna znaczonego do wirówki). Niemniej jednak takie badania powinny być podjęte w aspekcie oszacowania czasu przebywania w wirówce, np. ziarna węglowego lub innego o większych rozmiarach. Przeprowadzono próbę zmierzenia czasu przebywania ziarna osadu ściekowego w wirówce typu Noxon w normalnych warunkach jej pracy (wirówka jest wpracowana po rozruchu) dla różnych liczb obrotów wirówki. Pomiar z ziarnem znaczonego odrzucono, gdyż niezmiernie trudny do uchwycenia był moment pojawienia się tego ziarna na wylocie osadu z wirówki. Pomiar czasu przebywania osadu w wirówce w normalnym trybie pracy oparto na założeniu, że czas przebywania umownego ziarna jest równy czasowi przepływu osadu przez wypełniony osadem bęben wirówki. Założono, że jest on równy czasowi, jaki upłynie od otwarcia dolnej pokrywy wylotu osadu (co oznacza, że utworzył się już tzw. kożuch, czyli pierścień osadu wewnątrz bębna oraz bęben wirówki jest prawie całkowicie wypełniony osadem) do pojawienia się w otworze wylotowym osadu o pożądanych parametrach i konsystencji. Słowo „pożądany” jest względne, oznacza ocenę wzrokową jakości struktury osadu. Jeśli była ona zbliżona do zazwyczaj występującej, pomiar czasu zakoń-

czono, jeśli osad był zbyt wilgotny, niż dla przeciętnych warunków pracy, pomiar kontynuowano do momentu uzyskania pożądanej struktury osadu. Oszacowany czas przebywania osadu na podstawie takich pomiarów w wirówce sedimentacyjnej typu Noxon pracującej na Oczyszczalni Ścieków Jamno, zestawiono w tabeli 5.

Czas przebywania osadu w wirówce dekantacyjnej przemysłowej można wyliczyć, znając parametry urządzenia ze wzoru:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

gdzie:

- Q – wydajność m³/h,
- V – objętość robocza wirnika (bębna),
- t – czas przepływu przez wirnik.

Tabela 5. Czas przebywania ziarna komunalnego osadu ściekowego z Oczyszczalni Ścieków Jamno w wirówce dekantacyjnej typu Noxon. Pomiar z dn. 17-18.10.2008 r.

Table 5. Residence time of municipal sewage sludge from Jamno Wastewater Treatment Plant (JWTP), Noxon centrifuge. Measurement date 17-18.10.2008.

Lp	Liczba obrotów wirówki n/min	Pomiar empiryczny czasu przebywania osadu w wirówce, s
1	1892	81
2	1893	50
3	1985	57
4	1986	56
5	2080	32
6	2080	37
7	2185	44
8	2204	45
9	2297	49
10	2311	49
11	2312	44
12	2420	18
13	2425	12

Dla zadanych obrotów wirówki n, wydatek mieścił się w przedziale Q=16÷17m³/h. Zwiększanie i zmniejszanie różnicy obrotów zmienia czas przebywania osadu wewnątrz bębna wirówki. Czas ten jest decydujący dla dobrego odwodnienia osadu. Zwiększenie liczby obrotów wirówki powoduje większą siłę odśrodkową działającą na osad i w rezultacie uzyskuje się bardziej suche

osad jako produkt końcowy. Przy zbyt dużej sile odśrodkowej kłaczkę osadu mogą ulec zniszczeniu, co może spowodować pogorszenie rezultatów. Przy wyborze różnicy obrotów można przyjąć w przybliżeniu następujące prognozy dla jakości i wydajności osadu:

1. Mniejsza różnica obrotów – bardziej odwodniony osad;
Większa różnica obrotów – bardziej wilgotny osad;
2. Większa różnica obrotów – większa wydajność;
Mniejsza różnica obrotów – mniejsza wydajność;
3. Większa różnica obrotów – lepsza jakość odcieku.

Im mniejsza jest średnica pierścienia wodnego utworzonego na bębnie wirówki Noxon, tym osad będzie bardziej wilgotny. Zbyt mała średnica pierścienia może spowodować ponowne łączenie się suchego osadu z wodą w przewodzie odprowadzającym osad. Podsumowując powyższe należy stwierdzić, że większa średnica pierścienia wodnego daje pogorszenie jakości odcieku i niższą wydajność, jednakże bardziej suchy osad [11].

Z uwagi na ograniczone możliwości techniczne prowadzenia pomiarów w skali laboratoryjnej, przyjęto czas wirowania osadów ściekowych dla różnych prędkości obrotowych równy 1 min. Jest to najniższy możliwy do uzyskania czas procesu wirowania na wirówce laboratoryjnej MPW-350. Przeprowadzono badania w skali laboratoryjnej, wykorzystując tę samą nadawę, która kierowana jest do procesu przemysłowego oraz dodając tę samą dawkę roztworu flokulantu, otrzymano wyniki, zestawione w tabeli 6 i na rys. 6.

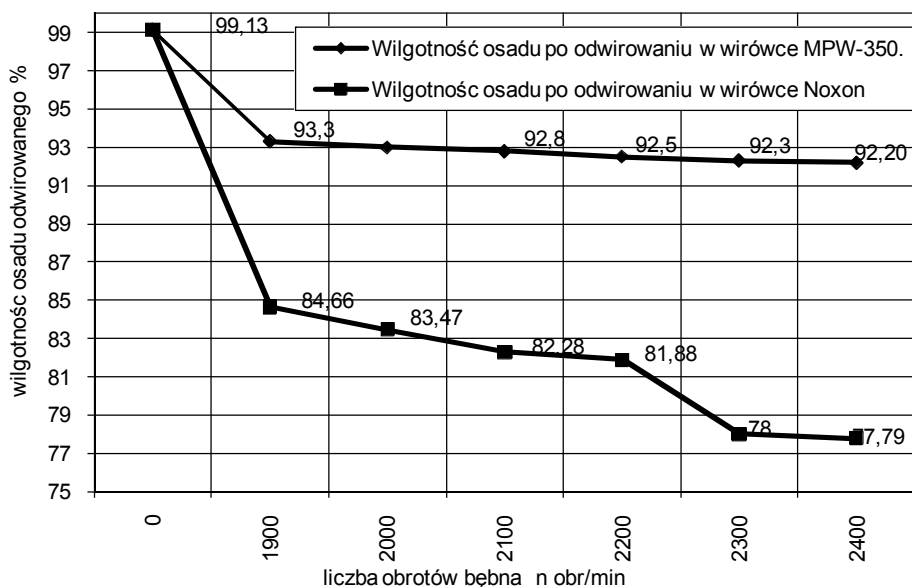
Tabela 6. Wilgotność komunalnego osadu ściekowego z Oczyszczalni Ścieków Jamno po procesie odwadniania na wirówce dekantacyjnej typu Noxon oraz na wirówce laboratoryjnej typu MPW-350. Czas wirowania dla wirówki przemysłowej jak w tabeli 5, dla wirówki laboratoryjnej równy 1 min

Table 6. Water content W% in municipal sewage sludge from JWTP, after dewatering in Noxon centrifuge and laboratory MPW-350 centrifuge. Whirling time for industrial centrifuge as in table 5, for laboratory centrifuge 1 min

Lp	Noxon n, obr/min	Noxon W, %	MPW-350 n, obr/min	MPW-350 W, %
1	1920	84,66	1900	93,30
2	2000	-	2000	93,01
3	2108	82,28	2100	92,80
4	2212	81,88	2200	92,50
5	2315	78,00	2300	92,30
6	2406	77,79	2400	92,20

Charakterystyka nadawy:

- pH=8,12 przy temp. 20°C,
- barwa: czarna,
- struktura osadu: jednolita, trudno opadający, zawieszinowy,
- zapach: gnilny,
- wilgotność: 99,13%,
- zagęszczenie: 28,857 g/dm³.



Rys. 6. Wilgotność komunalnego osadu ściekowego z Oczyszczalni Ścieków Jamno po procesie odwadniania w wirówce dekantacyjnej typu Noxon oraz wirówce laboratoryjnej typu MPW-350. Czas wirowania dla wirówki przemysłowej jak w tabeli 5, dla wirówki laboratoryjnej równy 1 min. Dawka flokulantu Praestol dla wirówek ok. 28 ml/dm³ osadu

Fig. 6. Water content W% in municipal sewage sludge from JWTP, after dewatering in Noxon centrifuge and laboratory MPW-350 centrifuge. Whirling time for industrial centrifuge as in table 5, for laboratory centrifuge 1 min. Praestol flocculent dose ca. 28 ml/dm³

Potwierdzają one poprzednie badania, iż wilgotność osadu uzyskana po procesie wirowania w warunkach laboratoryjnych jest znacznie wyższa, niż uzyskana w procesie wirowania w wirówce dekantacyjnej przemysłowej.

7. Moment pędu

Odnosząc się do powyższej sugestii badawczej oznaczania czasu przebywania ziarna w wirówce jako metody obciążonej określonym błędem, można podejść do tego zagadnienia inaczej. Otóż można przyjąć (w uproszczeniu), że rezultat odwadniania zawiesiny w wirówce laboratoryjnej jak i w wirówce przemysłowej zależy od wartości momentu pędu (czyli krętu), który można porównać dla odwadniania w wirówce laboratoryjnej periodycznej oraz w wirówce przemysłowej o pracy ciągłej. Wartość momentu pędu M_p można obliczyć z równania:

$$M_p = m \cdot \omega_{sr} \cdot r_{sr}^2, \quad (3)$$

gdzie:

- m – masa drobin,
- ω_{sr} – średnia prędkość wirowania, prędkość kątowa,
- r_{sr} – średni promień wirowania.

Tak więc r_{sr} dla wirówki laboratoryjnej jest stały, natomiast dla wirówki dekantacyjnej przemysłowej należałoby doprecyzować.

Przyjęto przypadek, w którym założono stałe wartości n obrotów wirówki oraz czasy t przebywania osadów w wirówce przemysłowej i laboratoryjnej, czyli $n = \text{const.}$, $t = \text{const.}$ Wówczas:

- masy osadu są różne $m_{lab} \neq m_{przemysl.}$
- siły odśrodkowe są różne $P_{odśrod. lab} \neq P_{odśrod. przemysl.}$

Nasuwa się zatem pytanie jaka jest zależność pomiędzy wilgotnością osadu, odwirowanego w wirówce laboratoryjnej i przemysłowej, dlaczego $W_{lab} \neq W_{przemysl.}$? Czy jest to błąd w doświadczeniu, czy też jest to związane z przeniesieniem skali z tytułu bezwładności układu?

8. Moment pędu wirówki laboratoryjnej

Dla zadanych obrotów wirówki n można z panelu sterowania wirówki lub z nomogramu załączonego do instrukcji urządzenia, odczytać względne przyspieszenie odśrodkowe, wyrażone wzorem $RCF = 11,18 \cdot r \cdot (n/1000)^2$ [12], z którego można wyliczyć promień wirowania $r = 14,57$ cm. W doświadczeniu stosowano naważkę 50 ml osadu o gęstości $1,0027$ g/cm³, masa użyta do doświadczenia wynosiła zatem $M = 50,135$ g = $0,050135$ kg porcji zawiesiny. Można obliczyć moment pędu dla porcji osadu ściekowego, umieszczonego w wirówce laboratoryjnej wg wzoru:

$$M_{p \text{ lab}} = M \cdot \omega \cdot r^2 = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r^2 \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}} \right], \quad (4)$$

gdzie:

- ω – $2 \pi n$ – prędkość kątowna,
- n – liczba obrotów s^{-1} ,
- r – promień wirowania = 14,57 cm = 0,1457 m,
- M – masa porcji zawiesiny kg.

Dla przypadku pojedynczego ziarna, należy do obliczeń przyjąć masę ziarenka zawiesiny. Założono, że ziarno umowne ma kształt kuli, zatem masę ziarna obliczono ze wzoru:

$$m = \rho \cdot 4 \cdot \pi \cdot \frac{R^3}{3}, \quad (5)$$

gdzie:

- R – promień ziarna $m = 50 \mu\text{m} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$,
- ρ – gęstość ziarna = $1,0027 \text{ g/cm}^3 = 1002,7 \text{ kg/m}^3$.

Przyjęto, że średnica ziarna osadu wynosi maksymalnie $D = 2R = 100 \mu\text{m}$, zatem $m = 524,75 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$. Wyniki obliczeń podano w tabeli 7.

Tabela.7. Moment pędu dla wirówki MPW-350, dla porcji zawiesiny $M=50,135 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ oraz dla ziarna umownego $m=524,75 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$

Table 7. Angular momentum of laboratory MPW-350 centrifuge for suspension solid batch $M=50.135 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ and for contractual grain $m=524.75 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$

Lp.	Liczba obrotów wirówki, n obr/min	Współczynnik RCF względne przyspieszenie odśrodkowe	Moment pędu $\text{kg m}^2/\text{s}$ dla nadawy $M=50,135 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	Moment pędu $\text{kg m}^2/\text{s}$ dla ziarna umownego $m=524,75 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$
1	1900	588	0,212	$2,21 \cdot 10^{-9}$
2	2000	652	0,223	$2,33 \cdot 10^{-9}$
3	2100	718	0,234	$2,45 \cdot 10^{-9}$
4	2200	788	0,245	$2,56 \cdot 10^{-9}$
5	2300	826	0,256	$2,68 \cdot 10^{-9}$
6	2400	938	0,267	$2,80 \cdot 10^{-9}$

9. Moment pędu wirującej masy medium a ciśnienie robocze sedimentacji odśrodkowej

Przyjmuje się, tu upraszczając, że wirówka jest urządzeniem o równych prędkościach bębna i zawiesiny. Pomija się działanie sił ciężkości, wyporu, bowiem są one małe w stosunku do siły odśrodkowej [7]. Podstawiając do równania:

$$M_p \text{ przemysł} = M \cdot \omega \cdot R'^2 = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot R'^2 \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}} \right], \quad (6)$$

gdzie:

- M – masa porcji zawiesiny w wirówce przemysłowej kg, $M = V \cdot \rho$,
- V – pojemność bębna wirówki,
- ρ – gęstość osadu,
- $\omega = 2 \pi n$ – prędkość kątowna,
- n – liczba obrotów wirówki,
- R' – promień wirowania.

Można obliczyć wartości momentów pędu dla zadanych obrotów wirówki n. Niestety bardzo trudno jest możliwie dokładnie określić w warunkach przemysłowych promień wirowania R', który odpowiada promieniowi wirowania środka masy medium znajdującego się w wirówce.

Moment pędu (kręt) można określić dla wirówki laboratoryjnej (tabela 7), dla której promień wirowania r jest zbliżony do faktycznego promienia wirowania środka masy medium.

Istnieje zatem trudność praktycznego porównania krętów dla procesu sedimentacji odśrodkowej zawiesiny w urządzeniu przemysłowym (wirówka Noxon) i laboratoryjnym (wirówka MPW-350).

Ponieważ o skuteczności odwadniania osadu decyduje w bardzo dużym stopniu ciśnienie wewnątrz przestrzeni roboczej wirówki (obok parametrów technologicznych zawiesiny), a takie ciśnienie jest w sposób ciągły monitorowane na stanowisku przemysłowym oraz w granicach błędu dopuszczalnego zdaniem autorów, można określić dla wirówki laboratoryjnej, w tabeli 8 przedstawiono wartości ciśnień roboczych dla obydwu wirówek.

Tabela 8. Ciśnienie robocze p, bar w zależności od liczby obrotów wirówki n obr/min
Table 8. Working pressure p, bar vs. rotation speed l/min of centrifuge

Lp.	Noxon n, obr/min	Noxon p _{przemysł} , bar	MPW-350 n, obr/min	MPW-350 p _{lab} , bar
1	1920	13÷14	1920	2,35
2	2000	15÷16	2000	2,55
3	2108	17÷18	2108	2,83
4	2212	17÷18	2212	3,12
5	2315	18÷19	2315	3,41
6	2406	19÷20	2406	3,69

10. Analiza porównawcza

Jak widać, z tabeli 8 wartości ciśnień w przestrzeni roboczej wirówki dekantacyjnej przemysłowej oraz laboratoryjnej są różne. Iloraz ciśnienia w przestrzeni roboczej wirówki laboratoryjnej do ciśnienia w przestrzeni roboczej wirówki przemysłowej wynosi $p_{lab}/p_{przemysł} = 0,17 \div 0,19$. Ponieważ masy są różne $M_{lab} \ll M_{przemysł}$, ciśnienia wewnątrz przestrzeni roboczej wirówek są różne $p_{lab} \ll p_{przemysł}$, momenty pędu (czyli kręty) są różne $M_p_{lab} \ll M_p_{przemysł}$, zatem również siły odśrodkowe są różne $P_{odśr lab} \ll P_{odśrod. przemysł}$; z tego wynika, że wilgotność osadu po procesie odwirowania $W_{lab} > W_{przemysł}$.

Zatem wyraźną różnicę w wilgotności osadu po procesie wirowania w wirówce Noxon oraz MPW-350 nie można uznać jako błędu w doświadczeniu; jest to problem związany z przeskalowaniem, czyli tzw. bezwładnością układu.

Można uznawać iloraz momentów pędu jako dodatkowy parametr wskaźnikowy [7], dotyczący transformacji skali. Podążając za [7] i przytoczonymi tam badaniami Goesele [2, 3, 4], można zapisać to w następującej proporcji:

$$\frac{M_{p lab}}{M_{p przemysł}} = \frac{m_{lab} \cdot r_{lab}^2 \cdot \omega_{lab}}{m_{przemysł} \cdot r_{przemysł}^2 \cdot \omega_{przemysł}} =$$

$$= \frac{m_{lab} \cdot r_{lab}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{lab}}{m_{przemysł} \cdot r_{przemysł}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{przemysł}}, \quad (7)$$

gdzie:

- $M_{p lab}$ – moment pędu wirówki laboratoryjnej,
- $M_{p przemysł}$ – moment pędu wirówki przemysłowej,
- m_{lab} – masa nadawy wirówki laboratoryjnej,
- $m_{przemysł}$ – masa nadawy wirówki przemysłowej,
- r_{lab} – promień wirowania wirówki laboratoryjnej,

$r_{\text{przemysł}}$ – promień wirowania wirówki przemysłowej,
 ω_{lab} – prędkość kątowna wirówki laboratoryjnej,
 $\omega_{\text{przemysł}}$ – prędkość kątowna wirówki przemysłowej,
 n_{lab} – liczba obrotów wirówki laboratoryjnej,
 $n_{\text{przemysł}}$ – liczba obrotów wirówki przemysłowej.

Jeżeli $n_{\text{lab}} = n_{\text{przemysł}}$ oraz $r_{\text{lab}} = r_{\text{przemysł}}$, to:

$$\frac{M_{\text{p lab}}}{M_{\text{p przemysł}}} \approx \frac{m_{\text{lab}}}{m_{\text{przemysł}}}, \quad (8)$$

na co wskazał prof. M. Palica, jeden z recenzentów.

Zatem o wartości sił odśrodkowych decydują w tych porównaniach masy nadawy w obydwu typach wirówek.

Określona różnica ciśnień daje odpowiedź, na pytanie, dlaczego efekt odwadniania w warunkach przemysłowych jest lepszy niż w warunkach laboratoryjnych.

11. Wnioski

Przeprowadzone badania oraz ich analiza pozwalają na przedstawienie pewnych ogólnych wniosków.

1. Efekt odwadniania tych samych osadów ściekowych w procesie sedymentacji odśrodkowej w wirówkach sedymentacyjnych przy założeniu tych samych czasów odwadniania i liczbie obrotów wirówki, będzie wyraźnie lepszy w warunkach przemysłowych, niż w warunkach laboratoryjnych.
2. Lepszy efekt odwadniania osadów w wirówkach przemysłowych jest wynikiem większej wartości siły odśrodkowej – głównej siły odwadniającej, działającej na osad, która determinuje wartość ciśnienia sedymentacji odśrodkowej.
3. Realizacja ekspertyz badawczych dla przemysłu dotycząca mechanicznego odwadniania osadów w polu sił odśrodkowych nie wystarcza do obiektywnej oceny skuteczności odwirowania osadów tylko na podstawie oceny prób w warunkach laboratoryjnych, gdy efektem takiej ekspertyzy ma być wdronienie (np. zakup i zastosowanie wirówki przemysłowej).
4. Wykorzystanie badań laboratoryjnych mechanicznego odwadniania osadów w polu sił odśrodkowych może mieć znaczenie dla praktyki jedynie wówczas, gdy istnieją wytyczne dotyczące tzw. przeniesienia skali badań, czy też prognozowania w oparciu o takie badania, jak to przedstawiono w niniejszej publikacji.
5. Jeżeli istnieją możliwości przeprowadzenia badań w skali przemysłowej dla danych osadów pod kątem aplikacyjnym (zakupu wirówki i uruchomienia), to należy je wykonać dla prawidłowej oceny efektywności odwadniania.

6. Przeprowadzone w niniejszej publikacji badania wskazują, że różnica zawartości wilgoci osadu po procesie odwadniania w wirówce przemysłowej, w porównaniu do procesu odwadniania w wirówce laboratoryjnej, jest wynikiem tego, że ciśnienie wewnątrz wirówki przemysłowej było 5÷6 krotnie wyższe od ciśnienia wewnątrz wirówki laboratoryjnej; oczywiście zależy to także od szeregu innych parametrów charakteryzujących proces.

Wykaz symboliki:

- s.m. – sucha masa;
– *dry matter D.M.*,
- n – liczba obrotów wirówki na minutę;
– *rotation speed*,
- t – temperatura osadu, przyjęto $t \cong 20^{\circ}\text{C}$;
– *sediments temperature, assumed $t \cong 20^{\circ}\text{C}$* ,
- C – dawka flokulantu, ml/dm^3 osadu;
– *flocculent dose, ml/dm^3 of sediment*,
- t – czas wirowania;
– *whirling time*,
- W – wilgotność osadu, %;
– *water content in sediments, %*,
- β – zagęszczenie odsączu;
– *solids concentration in eluate*,
- M_p – moment pędu;
– *angular momentum*,
- m – masa;
– *mass*,
- ω – prędkość kątowna;
– *angular velocity*,
- r_{sr} – średni promień wirowania, m;
– *average whirling radius, m*,
- RCF – względne przyspieszenie odśrodkowe;
– *relative centrifugal acceleration*,
- ρ – gęstość zawiesiny;
– *suspension density*,
- r_{lab} – promień wirowania wirówki laboratoryjnej;
– *whirling radius of laboratory centrifuge*,
- $r_{\text{przemysł}}$ – promień wirowania wirówki przemysłowej;
– *whirling radius of industrial centrifuge*,
- p_{lab} – ciśnienie sedymentacji odśrodkowej w wirówce laboratoryjnej;
– *centrifugal sedimentation pressure of laboratory centrifuge*,
- $p_{\text{przemysł}}$ – ciśnienie sedymentacji odśrodkowej w wirówce przemysłowej;
– *centrifugal sedimentation pressure of industrial centrifuge*.

Literatura

1. **Bojanowska I.:** *Wykład Przeróbka Osadów Ściekowych*. Uniwersytet Gdański, www.chem.univ.gda.pl/~bojirka/#osady, ładowanie strony z dnia 28.11.2008.
2. **Goesele W., Alt Ch.:** *Einsatzkriterien für Dekanter*. Verlag Chemie GmbH, Weinheim, Chem.-Ing.-Tech. 54, Nr 5, 425-430, 1982.
3. **Goesele W.:** *Scale-up of Helical Conveyor Type Decanter Centrifuges*. Verlag Chemie GmbH, Weinheim, 3, 353-359, 1980.
4. **Goesele W.:** *Wissenschaftliche Forschungsarbeit, Auslegungsversuche und Maßstabsübertragung bei Dekantern*. Verlag Chemie GmbH, Weinheim, Chem.-Ing.-Tech. 52, Nr 2, 178-179, 1980.
5. **Hermanowicz W., Dożańska W., Sikorowska C., Kelus J.:** *Fizyczno-chemiczne badania ścieków miejskich i osadów ściekowych*. Wydanie I Warszawa, Arkady. 1967.
6. **Malej J.:** *Wybrane problemy przeróbki osadów ściekowych*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 2, 39-69, 2000.
7. **Piecuch T.:** *Analiza studialna procesu rozdziału w wirówce sedymentacyjnej*. Monografia Politechnika Koszalińska, Koszalin 1992.
8. **Piecuch T.:** *Równanie czasu przepływu rotacyjnego ścieku przez wirówkę filtracyjną*. Archiwum Ochrony Środowiska, 3-4, 27-45, 1985.
9. **Piecuch T.:** *Technika Hydroszlamowa*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, wyd. III, Koszalin 2002.
10. Informacje uzyskane podczas wywiadu 03.09.2007. od kierownika obiektu Oczyszczalni Ścieków Jamno, mgr inż. Mariusza Kozaka.
11. Instrukcja obsługi wirówki NOXON® typ DC20 FC HS CC LM Claes Gustafson.
12. Instrukcja obsługi wirówki MPW-350.

Municipal Sewage Sludge Dewatering in Laboratory MPW-350 Centrifuge and Industrial Noxon DC20 Centrifuge – Scale Transfer Issue

Abstract

The paper presents results of municipal sewage sludge from Jamno Wastewater Treatment Plant (JWTP) dewatering, through whirling in laboratory centrifuge MPW-350 and industrial Noxon DC20 centrifuge, made in Sweden with operating efficiency 8-25 m³/h. The examinations has been conducted within parameters range: whirling time 1 to 10 min, rotation speed 1800÷2400 1/min, flocculent dose: 0, 28, 34 ml/dm³ (only laboratory centrifuge). Discussed issue was difference of water content value of sediment W% after whirling in laboratory centrifuge MPW-350 and in industrial Noxon centrifuge.

The effect of whirling of the same sludge in laboratory centrifuge MPW-350 and industrial Noxon centrifuge, assuming the same whirling time, rotation speed, was better for industrial centrifuge.

Better effect of municipal sewage sludge dewatering in industrial centrifuge was a result of centrifugal force value, main dewatering force, which determines the centrifugal sedimentation pressure.

The realization of investigative evaluations for the industry related with mechanical dewatering of sediments in the field of centrifugal forces is not enough for objective assessment of sediments whirling efficiency only on the basis of the opinion of tests in laboratory conditions, when the result of such evaluation is application (e.g. purchase and the use of industrial centrifuge).

Utilisation of laboratory examinations on mechanical dewatering of sediments in the field of centrifugal forces can only be useful for the practice, when there are directives relating to so-called transfer of scale of investigations, or also prediction based on such investigations, which was introduced in the paper.

If it is possible to conduct investigations in the industrial scale for given sediments in order to apply results (purchase and application), then they should be conducted for the correct assessment of dewatering efficiency.

Investigations described in the paper show that the difference of water content in sediments after dewatering process in the industrial centrifuge, in comparison to dewatering process in laboratory centrifuge, is the result of the pressure inside the industrial centrifuge 5-6 times higher than pressure inside the laboratory centrifuge; this obviously also depends on the sequence of other parameters characterizing the process, which answers with those assumptions, quotient of pressure.