

Stopień odwodnienia zneutralizowanych zawiesin pogałwanicznych na drodze dekantacji wirowej

Klaudia Chmiel, Michał Palica
Politechnika Śląska, Gliwice

1. Wprowadzenie i cel badań

Jednym z węzłów oczyszczania zneutralizowanych ścieków pogałwanicznych jest węzeł filtracji. Rozdział fazowy realizuje się w nim zwykle przy użyciu pras filtracyjnych, co jest związane z wysokimi kosztami robocizny, zwłaszcza w dużych galwanizerniach. Najczęściej filtrat zawracany jest do obiegu technologicznego lub zrzucany do ścieków, natomiast placki pofiltracyjny, stanowiący uciążliwy odpad, poddawany jest utylizacji. Koszty takiej utylizacji są w przybliżeniu proporcjonalne do masy ciała stałego (osadu). Dlatego obniżenie masy osadów pofiltracyjnych prowadzi do obniżenia tych kosztów. Można to uzyskać poprzez zmniejszenie ich wilgotności, a więc głębsze, niż po prasach, odwodnienie placków pofiltracyjnych. Wymaga to zastosowania intensywnych metod separacji fazowej, wśród których wyróżnia się dekantacja wirowa.

Celem opisywanych w pracy badań było określenie wilgotności osadów, uzyskiwanych po dekantacji wirowej zawiesin pochodzących z dwu dużych galwanizerni i porównanie uzyskanych rezultatów z wilgotnościami placków po prasach filtracyjnych przy obciążeniu jednostkowym powierzchni około 24 kg/m^2 .

2. Wyniki badań i obliczeń

Stanowisko doświadczalne zostało szczegółowo opisane m.in. w pracach [1÷8], wyboru tkaniny filtracyjnej z bibułą dokonano w oparciu o testy filtracji ciśnieniowej [9].

W badaniach skorzystano również z niektórych informacji prac [10÷12]. Podstawowe dane dot. przegród znajdują się w [13], zaś przy opraco-

wywaniu danych doświadczalnych skorzystano z monografii [14,15]. Próbki do badań zostały pobrane przez służby technologiczne losowo (autorzy nie mieli wpływu na czas, miejsce i sposób ich pobrania).

Badania prowadzono na wirówce MPW – 340 w zakresie (a/g) = 62÷2793 i τ = 60÷1800 s dla dziesięciu wartości a/g i ośmiu czasów wirowania. Jedynie dla najniższej wartości a/g = 63 i czasu wirowania 60 s nie uzyskano pełnego rozdziału fazowego, stąd zbiór danych doświadczalnych po dekantacji wirowej zawiesiny pochodzącej z jednej galwanizerni obejmuje 79 punktów, z drugiej 78 punktów (prócz punktu a/g = 63 i τ = 60 s nie określono wilgotności osadu dla a/g = 2793 i τ = 1800 s), co oznacza, że łączny zbiór składa się ze 157 punktów.

Badania wstępne pozwoliły wytypować przegrody z bibułą filtracyjną, które zapewniały klarowny przesącz i relatywnie niskie opory: dla pierwszej zawiesiny – ET-2801, dla drugiej: PT-126-145/J.

Badania dodatkowe pozwoliły w dużej mierze wyjaśnić trudności rozdziału faz. Należały do nich m.in. analizy ziarnowe i testy sedymentacyjne. Pierwsza z zawiesin zawierała flokulant Rokrysol WF-1 produkcji Nadodrzańskich Zakładów Przemysłu Organicznego „Organika – Rokita” w Brzegu Dolnym, dodany w postaci 1% roztworu wodnego w ilości 0,005 m³ roztworu/m³ zawiesiny, druga poddawana była rozdziałowi bez dodatku flokulantu. Badania prowadzono w temperaturze otoczenia w warunkach laboratoryjnych. Udział masowy ciała stałego w zawieszynie pierwszej (I) wynosił u_z = 0,0254÷0,0314, wilgotność osadu podekantacyjnego w_{pl} = 0,7350÷0,8915, gęstość zawiesiny ρ_z = 1049,7 kg/m³. Dla zawiesiny drugiej (II) u_z = 0,0453÷0,0464, w_{pl} = 0,751÷0,869, ρ_z = 1040,0 kg/m³.

Dla obydwu zawiesin badania prowadzono podobnie. W pierwszej kolejności wirowaniu poddawano zawieszinę pierwotną (przez 420 s), następnie zlewano ciecz klarowną z nad utworzonego osadu, by poddać wirowaniu sam osad. W ten sposób unika się długiego czasu przechodzenia cieczy klarownej przez utworzony osad, jak ma to miejsce podczas filtracji wirowej. Taki sposób rozdziału realizowany jest w dekanterach wirowych o działaniu ciągłym. W wyniku odpowiednich oszacowań przyjęto, że można pominąć wpływ czasu rozpędzania i hamowania wirówki na głębokość odwodnienia osadu. Dane doświadczalne dla osadu zdekantowanego opracowywano w postaci funkcji

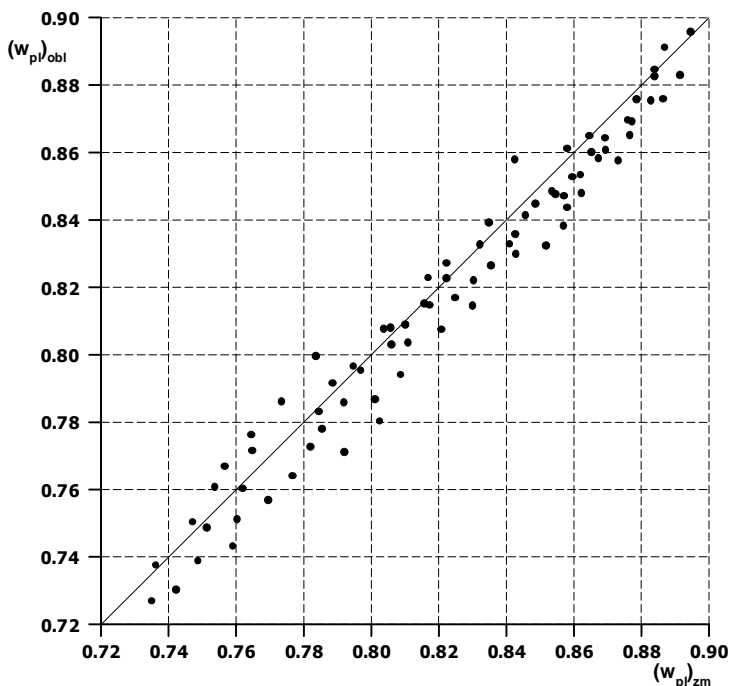
$$w_{pl} = A_1 \exp\left(\frac{a}{g}\right)^{B_1} + C_1 \quad (1)$$

$$w_{pl} = A_2 \exp\left(\frac{a}{g}\right)^{B_2} + C_2 \quad (2)$$

$$w_{pl} = A \exp \left[\left(\frac{a}{g} \right)^B \tau^C \right] + D \quad (3)$$

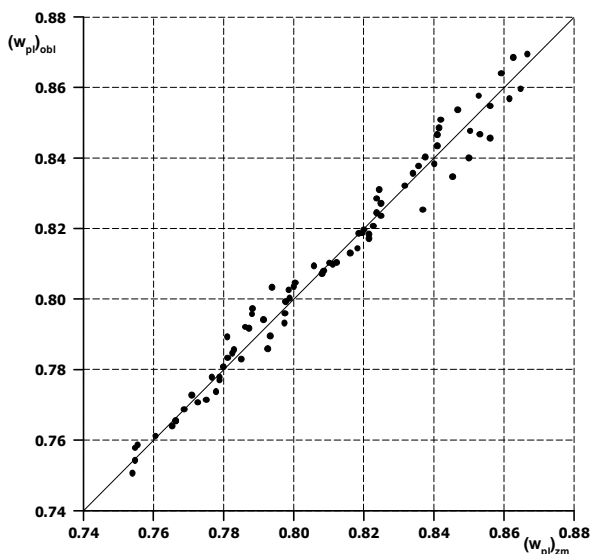
odrębnie dla zawiesiny I i II, a następnie dla obydwu zawiesin równocześnie, podając dla każdej funkcji współczynnik korelacji R.

Dla funkcji (1), (2) i (3) dla każdej z zawiesin uzyskano bardzo wysokie R, w wypadku równoczesnego opracowania wyników badań dla obydwu zawiesin nieco niższe. Porównanie $(w_{pl})_{zm}$ i $(w_{pl})_{obl}$ dla każdej z zawiesin zamieszczono na rysunkach 1 i 2, dla obydwu równocześnie – na rysunku 3. Zaznaczono na nim odrębnie rezultaty $(w_{pl})_{zm}$ dla zawiesiny I i II, opracowane wspólną korelacją. Różnice $(w_{pl})_{zm}$ dla zawiesin I i II wynikają głównie z nieco innych składów ziarnowych i własności fizycznych obydwu zawiesin. Zawiesina II ma mniejsze uziarnienie niż I, co potwierdzają też testy sedymentacyjne; czas krytyczny sedymentacji zawiesiny I jest znacząco niższy, niż dla zawiesiny II.



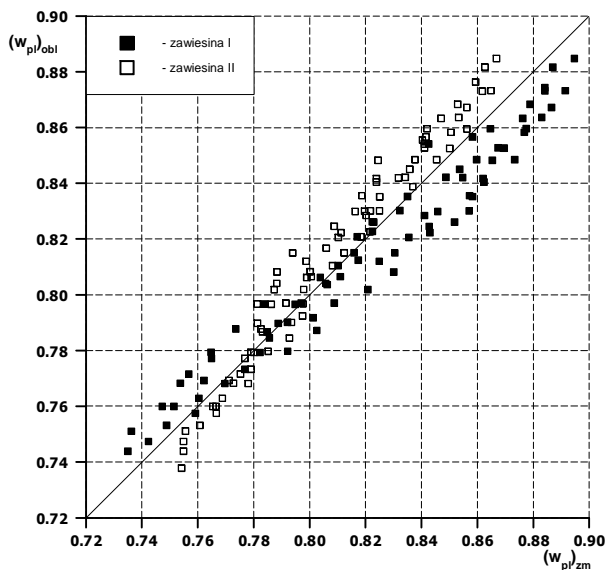
Rys. 1. Porównanie $(w_{pl})_{zm}$ i $(w_{pl})_{obl}$ zależnością (3) dla zawiesiny I (stałe znajdują się w tabeli 1)

Fig. 1. Comparison of $(w_{pl})_{zm}$ and $(w_{pl})_{obl}$ using Eq. (3) for suspension I (constans in Table 1)



Rys. 2. Porównanie $(w_{pl})_{zm}$ i $(w_{pl})_{obl}$ zależnością (3) dla zawiesiny II (stałe znajdują się w tabeli 1)

Fig. 2. Comparison of $(w_{pl})_{zm}$ and $(w_{pl})_{obl}$ using Eq. (3) for suspension II (constans in Table 1)



Rys. 3. Porównanie $(w_{pl})_{zm}$ i $(w_{pl})_{obl}$ zależnością (3) dla całego zbioru (stałe znajdują się w tabeli 1)

Fig. 3. Comparison of $(w_{pl})_{zm}$ and $(w_{pl})_{obl}$ using Eq. (3) for all data (constans in Table 1)

Tabela 1. Zestawienie liczbowych wartości stałych równania (3)

Table 1. Compilation of values of constants in Eq. (3)

Zawiesina	A	B	C	D	Ilość punktów	R
I	-0,01331	0,07671	0,06490	0,98717	79	0,9832
II	-0,03531	0,05942	0,03439	1,03132	78	0,9894
I + II	-0,01956	0,07054	0,05144	0,99420	157	0,9520

3. Analiza wyników

Jak wskazują dane tabeli 1 oraz rysunków 1÷3, zaproponowany w pracy sposób opisu odwadniania zawiesin pogalwanicznych daje dobrą zgodność pomiarów i obliczeń i pozwala przewidzieć końcową wilgotność osadu podekantacyjnego dla a/g w zakresie 63÷2793 oraz τ w zakresie 60÷1800 s. Dodatkową zaletą takiego opracowania wyników badań jest możliwość oszacowania dodatkowego odwodnienia zawiesiny w stosunku do powszechnie stosowanej filtracji na prasach, kiedy to końcowa wilgotność osadów sięga 80÷90%. Biorąc pod uwagę bardziej korzystny wariant ($w_{pl} = 80\%$) dla najlepszego rezultatu uzyskanego w niniejszych badaniach ($w_{pl} = 0,735$ przy $a/g = 2793$ i $\tau = 1500$ s), dodatkowe odwodnienie można obliczyć z zależności [12]:

$$\frac{G_f}{G_s} = \frac{1}{u_z} - \frac{1}{1 - w_{pl}} \quad (4)$$

Dla założonej wartości $u_z = 0,04$ przy $w_{pl} = 0,8$ $G_f/G_s = 20$

Dla $w_{pl} = 0,735$ $G_f/G_s = 21,23$

Zatem dodatkowe odwodnienie w stosunku do wartości po prasach wynosi $(21,23 - 20)/20 = 6,15\%$

Dla wariantu niekorzystnego efekt taki jest zdecydowanie lepszy, bowiem przy tym samym u_z , ale $w_{pl} = 0,9$ $G_f/G_s = 15$

Dla $w_{pl} = 0,735$ $G_f/G_s = 21,23$, zatem dodatkowe odwodnienie wynosi $(21,23 - 15)/15 = 41,53\%$

Oznacza to, że utylizacji można poddać mniejsze ilości placka po wirowaniu, a dodatkowym efektem takiego sposobu odwadniania jest możliwość wykorzystania odzyskanego filtratu w procesie technologicznym.

Przeprowadzono również dla obydwu zawiesin ograniczone testy filtracji wirowej, używając tego samego sprzętu i metodyki. Dla zawiesiny I zestawiono rezultaty w tabeli 2, dla II w tabeli 3.

Tabela 2. Wyniki testów filtracji wirowej zawiesiny I
Table 2. Centrifugal filtration tests results for suspension I

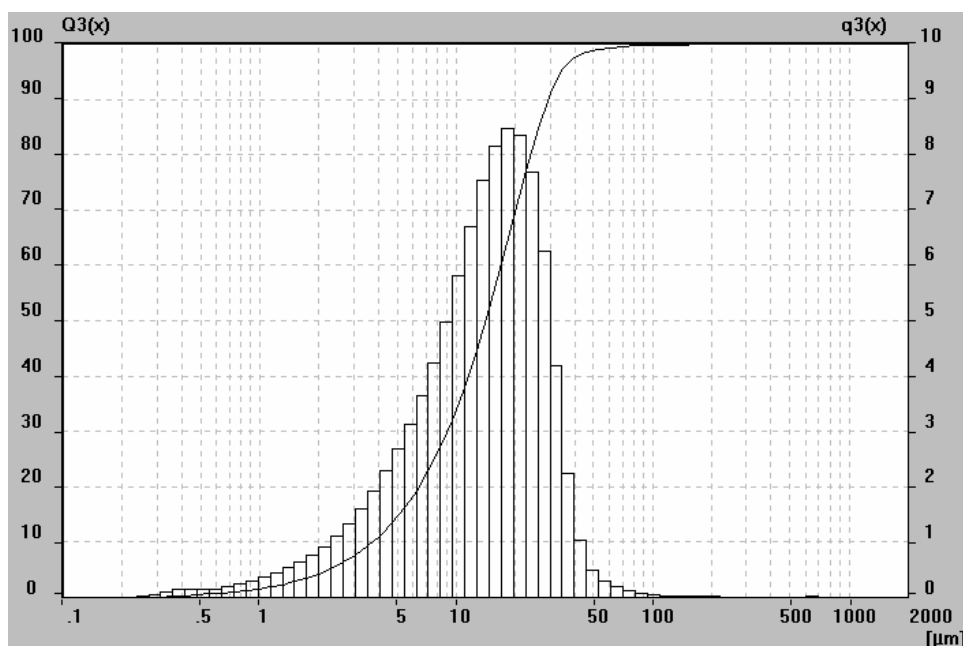
L.p.	a/g	τ	u_z [kg/kg]	w_{pl} [kg/kg]	u_f [kg/kg]
1	1787	4200	0,0245	0,7673	0,0067
2		4800		0,7761	0,0074
3		5400		0,7653	0,0099
4		6000		0,7562	0,0070
5		6600		0,6978	0,0071
6		7200		0,6758	0,0071
1	2793	4200	0,0250	0,7286	0,0070
2		4800		0,7167	0,0071
3		5400		0,7192	0,0092
4		6000		0,7105	0,0071
5		6600		0,7260	0,0064
6		7200		0,6542	0,0128

Tabela 3. Wyniki testów filtracji wirowej zawiesiny II
Table 3. Centrifugal filtration tests results for suspension II

L.p.	a/g	τ	u_z [kg/kg]	w_{pl} [kg/kg]	u_f [kg/kg]
1	1787	20	0,0460	0,7806	0,0134
2		30		0,7523	0,0136
3		40		0,7544	0,0139
1	2793	20	0,0460	0,7956	0,0149
2		30		0,7694	0,0143
3		40		0,7697	0,0144

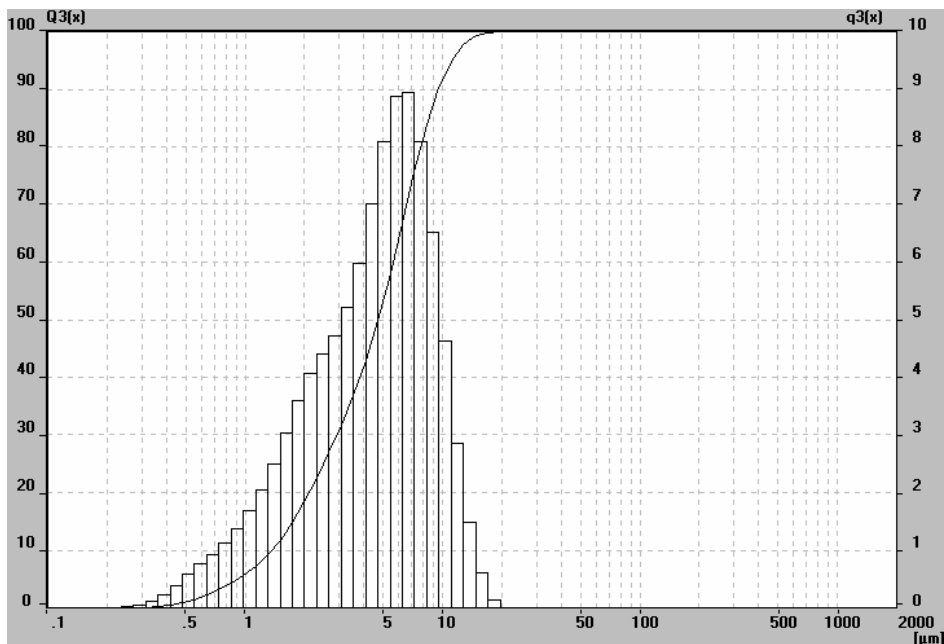
Zwraca w nich uwagę zdecydowanie większy, niezbędny do odwodnienia, czas wirowania dla zawiesiny I, niż dla II, skutkujący m.in. niższymi w_{pl} dla zawiesiny I. Stwierdzono jednak, że długie czasy wirowania, jakie stosowano dla zawiesiny I, nie mają uzasadnienia technicznego, zwłaszcza, że różnice w odwodnieniu między w_{pl} z tabeli 2 i 3 nie są aż tak widoczne, jak można by oczekiwać. Należy tu również wspomnieć, że dla zawiesiny I grubości placków zawierały się w granicach 3÷4 mm, dla II wynosiły 7,5÷9,5 mm, co wynikało głównie z różnych koncentracji ciała stałego w zawiesinach poddanych wirowaniu.

Kolejnym elementem służącym wyjaśnieniu przebiegu procesu odwodnienia były analizy ziarnowe. Dla zawiesiny I skład ziarnowy pokazano na rysunku 4, dla II na rysunku 5. Obydwa wykresy wskazują na drobne uziarnienie zawiesin pogalwanicznych, a więc możliwość blokowania porów utworzonego osadu przez drobne ziarna.



Rys. 4. Skład ziarnowy zawiesiny I
Fig. 4. PSD of suspension I

Potwierdzeniem tego spostrzeżenia były testy sedymentacyjne. W wypadku zawiesiny I oszacowano czas krytyczny sedymentacji na około 142 godziny, dla II na około 407 godzin. Dane te pośrednio wyjaśniają trudności rozdziału fazowego zneutralizowanych zawiesin pogalwanicznych.



Rys. 5. Skład ziarnowy zawiesiny II

Fig. 5. PSD of suspension II

Wreszcie dla obydwu zawiesin wykonano zdjęcia mikroskopowe zawiesin przy 100-krotnym powiększeniu i stwierdzono drobne uziarnienie (rzędu mikronów). W wypadku zawiesiny II dysponowano ponadto takimi zdjęciami bezpośrednio po pobraniu próbek i po zakończeniu badań (czyli po okresie około 4 miesięcy), obserwując istotne różnice uziarnienia – większe aglomeraty dla zawiesiny deponowanej. W ten sposób potwierdzono dane eksperymentalne pracy [16], że poddawanie filtracji zawiesiny przechowywanej wiąże się z łatwiejszym przebiegiem procesu, niż zawiesiny świeżej.

4. Wnioski

Z analizy danych literaturowych i badań własnych wynika, że:

1. do opisu separacji fazowej zneutralizowanych zawiesin pogalwanicznych na drodze dekantacji wirowej dobrze nadaje się empiryczna funkcja (3),
2. przebadane zawiesiny pogalwaniczne pochodzące z dwu różnych źródeł charakteryzują się drobnym uziarnieniem i długim czasem krytycznym sedymentacji, co wskazuje na trudności separacji fazowej takich zawiesin,

3. dobre odwodnienie zawiesin pogalwanicznych wymaga dużych a/g i τ dla dekantacji wirowej (albo użycia wysokich ciśnień filtracji podczas filtracji ciśnieniowej). Stosowanie filtracji wirowej jest niewskazane ze względu na długi czas przejścia cieczy klarownej przez utworzony osad,
4. wśród sposobów, które mogą przyspieszyć rozdział fazowy, można wymienić:
 - poddanie rozdziałowi zawiesiny stabilizowanej, charakteryzującej się większym uziarnieniem, niż zawiesiny świeżej,
 - dodanie do zawiesiny flokulantów, sprzyjających powstawaniu aglomeratów, przy czym rodzaj i ilość flokulantu należy określić w odrębnych badaniach,
 - poddaniu dekantacji wirowej zawiesiny zagęszczonej, np. na drodze filtracji dynamicznej zawiesiny świeżej,
5. głębokie odwodnienie zawiesin pogalwanicznych wiąże się z powstaniem mniejszej, niż podczas filtracji na prasach, ilości osadów oraz możliwością wykorzystania odzyskanego filtratu w procesie technologicznym.

Na zakończenie Autorzy pragną podziękować Panu mgr inż. Kamilowi Nowakowi za wyrażenie zgody na skorzystanie z wyników Jego pracy dyplomowej magisterskiej [17].

Literatura

1. **Palica M., Skiba P., Tatarczuk A.:** *Intensywne odwadnianie zneutralizowanej zawiesiny pogalwanicznej, cz. I. Dekantacja wirowa.* Inż. Ap. Chem., 5, 10. 2002.
2. **Palica M., Dynda A., Dzido G.:** *Filtracja wirowa periodyczna zawiesin gipsu technicznego w skali laboratoryjnej.* Inż. Ap. Chem., 5, 19. 1995.
3. **Palica M., Dynda A.:** *Intensywne metody mechanicznego odwadniania produktów kopalnianych, cz. II. Filtracja wirowa w skali laboratoryjnej.* Karbo–Energochemia–Ekologia, 7, 233. 1996.
4. **Palica M., Kocur A.:** *Wpływ wybranych parametrów ruchowych wirówki na końcową wilgotność osadów gipsów podczas periodycznej filtracji wirowej.* Zesz. Nauk. Pol. Łódzkiej, 21, 149. 1997.
5. **Palica M.:** *Owadnianie flotokonzentratu węgla kamiennego przy użyciu periodycznej filtracji wirowej.* Karbo–Energochemia–Ekologia, 11, 355. 1997.
6. **Palica M., Jaschik M., Waluś J., Buzek J.:** *Owadnianie zawiesin gipsów poneutralizacyjnych otrzymanych w różnych stanach technologicznych procesu, cz. II. Filtracja wirowa.* Ochr. Pow. i Probl. Odp., 4, 119. 1999.
7. **Palica M., Falecki A., Mróz W.:** *Filtracja wirowa zawiesiny gipsu po hydrocyklo-nie.* Chem. Inż. Ekol., T6, 2-3, 239. 1999.
8. **Dzido G., Kocurek J., Palica M., Raczek J.:** *Wpływ flokulantu CARBAFLOCK F-106 na stopień odwodnienia wybranych zawiesin odpadowych w czasie periodycznej filtracji wirowej.* Zesz. Nauk. Pol. Śl., Seria „Górnictwo”, 245, 67. 2000.
9. **Palica M., Skiba P., Tatarczuk A.:** *Intensywne odwadnianie zneutralizowanej zawiesiny pogalwanicznej, cz. II. Filtracja ciśnieniowa.* Inż. Ap. Chem., 6, 15. 2002.

10. **Palica M.:** *A method of investigate filtration by the use of a pressure test filter.* Chem. Engng and Proc., 35, 333. 1996.
11. **Palica M.:** *Sposoby testowych badań filtracji.* Zesz. Nauk. Pol. Śl., Seria „Chemia”, 139, 113. 1999.
12. **Palica M., Zacharski G., Thullie J.:** *Określenie parametrów modelu i obliczenia numeryczne filtracji ciśnieniowej z towarzyszającą kompresją osadu zawiesiny pogalwanicznej.* Chem. Inż. Ekol., zgłoszenie publikacyjne
13. **Palica M., Raczek J.:** *Testowanie tkanin filtracyjnych pod względem ich przydatności do filtracji ścieków potrawiennych.* Inż. Ap. Chem., 1, 15. 1995.
14. **Żużik W. A.:** *Teoria i praktyka rozdzielania zawiesin.* tłum. z jęz. ros., WNT, Warszawa 1985.
15. **Piecuch T.:** *Analiza studialna procesu rozdziatu w wirówce sedymentacyjnej.* Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Seria Monografie Nr 39, ss. 102. Koszalin 1992.
16. **Palica M., Waluś J.:** *Zmiana własności filtracyjnych zawiesin pogalwanizacyjnych wskutek ich deponowania.* Inż. Ap. Chem., 2, 10. 1998.
17. **Nowak K.:** *Odwadnianie zawiesiny pogalwanicznej na drodze dekantacji wirowej.* Kat. Inż. Chem. i Proc. Pol. Śl., praca dyplomowa magisterska (do użytku wewnętrznego), Gliwice 2003.

Spis oznaczeń Symbols

a	- przyspieszenie dośrodkowe, m/s^2
a	- centripetal acceleration, m/s^2
g	- przyspieszenie dośrodkowe, m/s^2
g	- acceleration due to gravity, m/s^2
w_{pl}	- wilgotność osadu podekantacyjnego, kg/kg
w_{pl}	- moisture content of post decantation cake, kg/kg
u_f	- udział masowy ciała stałego w filtracie, kg/kg
u_f	- mass concentration of solid phase in filtrate, kg/kg
u_z	- udział masowy ciała stałego w zawieszynie, kg/kg
u_z	- mass concentration of solid phase in suspension, kg/kg
A_1, B_1, C_1	- stałe równania (1)
A_1, B_1, C_1	- constants in Eq. (1)
A_2, B_2, C_2	- stałe równania (2)
A_2, B_2, C_2	- constants in Eq. (2)
A, B, C, D	- stałe równania (3)
A, B, C, D	- constants in Eq. (3)
G_f	- masa filtratu, kg
G_f	- mass of filtrate, kg

G_s	- masa ciała stałego, kg
G_s	- mass of solid phase, kg
ρ_z	- gęstość zawiesiny, kg/m ³
ρ_z	- density of suspension, kg/m ³
τ	- czas dekantacji wirowej, s
τ	- centrifugal decantation time, s

Indeksy

Indexes

obl	- wielkość obliczona
obl	- calculated quantity
zm	- wielkość zmierzona
zm	- measured quantity

Degree of Dewatering in Centrifugal Decantation of Neutralized Post-galvanic Suspensions

The final moisture contents in cakes obtained in centrifugal decantation of neutralized post-galvanic suspensions originated from two different sources have been analysed in the paper. Those two suspensions are characterized by small granulation and long critical sedimentation time, which shows the difficulties of the phase separation of such suspensions. It has been stated that good dewatering required a high value of acceleration simplex and a long centrifugal time. The empirical dependence in a form:

$$w_{pl} = A \exp\left(\frac{a}{g}\right)^B \tau^C + D$$

describes sufficiently well the final moisture content of a post-galvanic cake.

Application of centrifugal filtration is not advisable because of the long time of clarified liquid coming through formed cake.

Deep dewatering of post-galvanic suspensions is connected with creation of smaller amount of sediments than during filtration of presses. It also makes possible to use gained filtrate in the technological process.