

Własności filtracyjne zawiesiny po wirówkach DECANTER po dodaniu flokulantu Magnafloc 919

*Michał Palica, Andrzej Gierczycki, Marcin Lemanowicz
Politechnika Śląska, Gliwice*

1. Wprowadzenie

Konkluzją artykułów [1] i [2] było stwierdzenie, że każdą zawiesinę poddaną odwadnianiu należy traktować indywidualnie, zaś przyśpieszenia filtracji ciśnieniowej można spodziewać się po dodaniu do zawiesiny stosownie dobranego dla niej flokulantu w odpowiedniej dawce. Dla zawiesiny flotokonzentratu kierowanej na wirówki *DECANTER* pochodzącej z jednej kopalń *Jastrzębskiej Spółki Węglowej* firma *Allied Colloids* dobrała flokulant *Magnafloc 336* ([3÷5]) natomiast dane prac [1] i [2] dotyczą innej kopalni tej samej spółki, w której do flotokonzentratu dodaje się *Magnafloc 919*. Nie analizowano przy tym problemu dodawania do zrzutowych zawiesin po wirówkach innych flokulantów niż tych, jakie stosuje się dla flotokonzentratu w obydwóch kopalniach.

W związku z tym dane pracy [1] i [2] dotyczą zawiesiny rzutowej z jednej kopalni dla stosowanego w niej flokulantu, natomiast dane [3÷5] z drugiej.

W pracy [2] zaobserwowano ciekawy efekt – dodatek flokulantu *Magnafloc 919* do zawiesiny zrzutowej powoduje przy tych samych parametrach ruchowych wirówki laboratoryjnej zwiększenie końcowej wilgotności osadu po wirowaniu, więc pogorszenie efektu filtracji wirowej. Ponieważ zwykle po filtracji ciśnieniowej z towarzyszącą kompresją osadu uzyskuje się placki o niższej wilgotności m.in. prace Piecucha [10÷23], zdecydowano się określić parametry filtracyjne badanych zawiesin zawierające różne dodatki flokulantu *Magnafloc 919*, a następnie porównać wyniki tych badań z wartościami wynikającymi z modelowania procesu. Modelowanie to prowadzono zgodnie ze sposobem zaproponowanym przez Sørensen, Moldrupa i Hansena [6] i rozwiniętym w pracy [7], przy czym do opisu zmian porowatości osadu z ciśnieniem zdecy-

dowano się wykorzystać zależność Tillera i Leu [8]. Można tu wspomnieć, że teoretycznymi modelami filtracji zajmowali się m. in. Żużikow [9] oraz Piecuch [19,20,21] ale modele te nie obejmowały strefy kompresji osadów. Praktyczne aspekty wykorzystania filtracji ciśnieniowej w przemyśle wydobywczym podano m. in. w [10, 11, 13, 15, 17, 18, 22, 23].

Ponieważ teoretyczne równanie różniczkowe filtracji i tworzenia się osadu ma postać:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{F\Delta P}{\alpha_m \eta \left[\frac{W}{F} + r \right]}, \quad (1)$$

gdzie:

$$\alpha_m = \frac{128}{id^4 \pi \rho_s} \left[\frac{m}{kg} \right]. \quad (2)$$

Przyjmuje się dla niego laminarny przepływ filtratu przez osad charakteryzującym się dynamicznym współczynnikiem lepkości η , zastępczym obłożeniem tkaniny r i stałą opisującą utworzony placek α . Stała ta zawiera w sobie średnicę zastępczą umownych kołowych kanalików d oraz ilość kanalików i oraz gęstość ciała stałego ρ_s , przyjmowaną jako równą gęstości wilgotnego osadu. Wielkości d oraz i zależą przede wszystkim od uziarnienia osadu, w związku z tym jedyną wielkością opisującą własności zawiesiny poddanej rozdziałowi jest rozkład ziarnowy. Zwykle uziarnienie wynika z przebiegu procesów technologicznych, ale można je modyfikować dodatkami flokulantu. Zasadnicze równanie filtracji z tworzeniem osadu ściśliwego prowadzonej przy stałym ciśnieniu w postaci scałkowanej przyjmuje formę:

$$\frac{\tau}{V/F} = K_1 \frac{V}{F} + C_1, \quad (3)$$

gdzie:

$$K_1 = \frac{\alpha'_m \eta u_a}{2\Delta P^{1-s_s}}, \quad (4)$$

$$C_1 = \frac{\alpha'_m \eta r}{\Delta P^{1-s_s}}, \quad (5)$$

przy czym masowy opór osadu opisany jest równaniem Sperry'ego

$$\alpha_m = \alpha'_m \Delta P^{s_s}, \quad (6)$$

w którym s_s jest tzw. współczynnikiem ściśliwości osadu. Warto tu zaznaczyć, że równanie (6) nie spełnia fizykalnego warunku granicznego dla $\Delta P = 0$, ale ze względu na prostotę jest powszechnie akceptowane w literaturze dot. filtracji. Przekształcenie równania (3) do formy zamieszczonej w [3] daje:

$$\frac{V}{F} = K \frac{\tau}{V/F} + C, \quad (7)$$

gdzie:

$$K = \frac{2\Delta P^{1-s_s}}{\alpha'_m \eta C_A}, \quad (8)$$

$$C = -\frac{2r}{C_A}, \quad (9)$$

zaś C_A jest koncentracją masową ciała stałego w zawieszynie:

$$C_A = u_z \rho_z \quad (10)$$

Ponieważ

$$K \sim \frac{l}{\alpha'_m} \sim d^4, \quad (11)$$

zatem wzrost średnicy kanalików (związany z wielkością ziarna) w istotnym stopniu wpływa na stałą kinetyczną filtracji K . Jak wspomniano, pośrednio zmianę stałej K można uzyskać modyfikując zawieszinę dodatkiem flokulantu.

2. Cel i zakres badań

W prezentowanych badaniach do zawiesiny zrzutowej po wirówkach DECANter, w których odwadniano flotokonzentrat węgla koksującego jednej z kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej, dodawano flokulant *Magnafloc 919* w ilości 10÷80 g/l Mg suchego produktu (w formie odpowiednio spreparowanego żelu). Udział masowy ciała stałego w zawieszynie zrzutowej wynosił $u_z \approx 0,077 \left[\frac{kg}{kg} \right]$ zaś średnia gęstość zawiesiny $\rho_z \approx 1018 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$. Przyjęto prowadzenie testów filtracji ciśnieniowej dla dawek 10, 20, 30, 40, 60, 80 [g/l Mg], przy czym zalecaną przez firmę *Allied Colloids* dawką stosowaną w praktyce dla flotokonzentratu jest dawka 30 [g/l Mg]. Dawki przygotowywano zgodnie z procedurą opisaną w [1], zaś dawka 30 [g/l Mg] jest zbliżona do zalecanej w [24]. Zakres ciśnień filtracji zawierał się w granicach $\Delta P \approx 0,13 \div 1,64$ [MPa],

a każda seria badań dla poszczególnych dodatków flokulantu obejmowała 5÷8 kompletnych testów (wraz ze strefą kompresji).

Ponadto w fazie badań wstępnych przetestowano kilka tkanin przyjmując za najlepszą tkaninę stosowaną w praktyce, tzn. *PT 912*. Bliższe informacje na temat doboru tkaniny znajdują się w [1].

Celem badań było ustalenie czy dodatek flokulantu *Magnafloc 919* w ilości 30 [g/l Mg] jest właściwy i jaki wpływ ma ten flokulant na skład ziarnowy ciała stałego, właściwości sedymentacyjne i tzw. parametry filtracyjne, w tym na współczynnik ściśliwości osadu, porowatość, opór właściwy, przepuszczalność i opór tkaniny.

3. Wyniki badań

Analizy ziarnowe, wykonane przy użyciu laserowego analizatora *ANALYSETTE 22* firmy *FRITSCH* dotyczyły 3 pojemników, których zawartość, zwłaszcza po dodaniu flokulantu, mieszano tak aby nie spowodować destrukcji utworzonych agregatów. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że oprócz flokulantu, jako czynnika powodującego zmianę składu ziarnowego, zwiększeniu średniej średnicy ziaren sprzyja czas przechowywania zawiesiny w pojemnikach. Jak jednak stwierdzono eksperymentalnie w [1] wpływ czasu deponowania na skład ziarnowy jest mniej istotny od wpływu dodatku flokulantu. W tabeli 1 zamieszczono wybrane dane z analiz ziarnowych zawiesiny pierwotnej i zawierającej dodatki 10, 20, 40 i 80 g/l Mg suchego produktu. Jak wynika z tabeli 1 największą zmianę składu ziarnowego (w kierunku wzrostu średniej średnicy arytmetycznej) obserwuje się w zakresie dodatku flokulantu 20÷40 g/l Mg suchego produktu. Skłania to do stwierdzenia, że stosowany w kopalni dodatek *Magnafloc 919* w ilości 30 g/l Mg jest właściwy. Nadmierny dodatek niewiele wnosi, mniejszy jest niewystarczający. Niestety, ze względów technicznych nie wykonano analizy ziarnowej dla dodatku 30 g/l Mg.

Dodatek flokulantu powoduje również zmianę przebiegu charakterystyk sedymentacyjnych [16]. Na podstawie przedstawionego w [1] wykresu można wnioskować o czasie krytycznym sedymentacji i o możliwościach odbioru cieczy klarownej do recyrkulacji. Otóż sedymentacja ciała stałego zachodzi stosunkowo wolno i niezależnie od dodatku flokulantu można przyjąć, że czas krytyczny jest mniejszy niż ok. 1500 min (25 godz.). Czas ten i strumień zrzutu stanowi o pojemności ewentualnego osadnika, z którego kierowano by szlam sedymentacyjny do flotownika przy zamianie obecnie stosowanej technologii. Okazuje się, że taka sedymentacja zawiesiny zrzutowej pozwala ponad 3-krotnie zmniejszyć strumień zawrotu kierowany do flotownika, a w konsekwencji do wirówek *DECANTER*. Pozwala to również na zamknięcie obiegu

wodno–mułowego i uzupełnianie strat jedynie o ciecz zawartą w wilgotnym cieple stałym odwirowanym z wirówek.

Tabela 1. Wybrane dane z analiz ziarnowych wg [15]

Tabela 1. Selected data from grain size analysis [15]

Parametr	Zawiesina pierwotna	Zawiesina z dod. 10 g/l Mg	Zawiesina z dod. 20 g/l Mg	Zawiesina z dod. 40 g/l Mg	Zawiesina z dod. 80 g/l Mg
Ilość ziarna [%]					
< 1,0 μm	2,06	1,56	1,31	0,17	0,57
< 3,0 μm	16,75	11,88	6,11	1,24	2,42
< 5,0 μm	30,15	24,55	13,79	3,69	5,77
<7,0 μm	46,30	37,95	22,42	8,01	10,02
< 10 μm	61,33	57,11	35,57	18,74	18,87
< 20 μm	90,32	92,80	70,88	65,01	60,10
< 30 μm	99,05	100,00	88,92	91,08	87,75
< 40 μm	100,00	100,00	96,41	99,17	98,05
< 50 μm	100,00	100,00	99,24	100,00	99,99
< 100 μm	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Sr. arytmetyczna średnica ziarna [μm]	9,494	9,787	15,766	17,557	18,424
Powierzchnia jednostkowa [m ² /cm ³]	1,41	1,12	0,84	0,48	0,56

Dodatek flokulantu wpływa ponadto na wilgotność osadów uzyskiwanych podczas filtracji ciśnieniowej z towarzyszącą kompresją osadów. W tabeli 2 zestawiono stałe i wykładniki równania

$$w = \exp[A\Delta P^B] + D \quad (12)$$

Dla zawiesiny bez i z dodatkiem flokulantu *Magnafloc 919* przy użyciu tkaniny *PT 912*, przy czym w ostatnim wierszu tabeli 2 zamieszczono obliczoną wilgotność osadu dla $\Delta P = 1 \text{ MPa}$.

Należy tu zaznaczyć, że dobór stałych i wykładnika funkcji (12) ma charakter rachunkowy i wynika z wyrównywania danych doświadczalnych. Stąd przy logicznej konsekwencji wzrostu wilgotności osadu z dodatkiem flokulantu występują pewne odstępstwa od tej reguły (np. dla dodatku *60 g/l Mg* w stosunku do *40 g/l Mg*). Odstępstwa te są jednak niewielkie.

Tabela 2. Stałe i wykładniki równania (12)

Table 2. Constants and exponents of eq. (12)

Wielkość	Zawiesina zrzutowa pierwotna	Zaw. z dod. 10 g/l Mg	Zaw. z dod. 20 g/l Mg	Zaw. z dod. 30 g/l Mg	Zaw. z dod. 40 g/l Mg	Zaw. z dod. 60 g/l Mg	Zaw. z dod. 80 g/l Mg
<i>A</i>	-3,598	-0,2139	-1,277	-3,795	-0,1002	-2,9346	-1,666
<i>B</i>	0,2102	0,1536	0,0821	0,2525	0,4134	0,1863	0,0994
<i>D</i>	0,3055	-0,4694	0,673	0,3199	-0,5526	0,2922	0,1651
<i>R</i> ²	0,9216	0,9608	0,9952	0,9966	0,9563	0,9667	0,9128
<i>w</i> dla $\Delta P = 1 \text{ MPa}$	0,3329	0,3380	0,3424	0,3424	0,3520	0,3454	0,3541

W kolejnej tabeli 3 pokazano obliczone na podstawie indywidualnych korelacji (dla poszczególnych dodatków flokulantu przy ciśnieniu 1 MPa) wartości porowatości osadu, oporu właściwego osadu oraz współczynników ściśliwości wg Spery'ego oraz Tillera – Leu [8]. Odpowiednie zależności służące do obliczeń α wg [8] znajdują się w [28,29].

Tabela 3. Parametry filtracyjne zawiesin i osadów dla $\Delta P = 1 \text{ MPa}$

Table 3. Filtration parameters of suspensions and deposits for $\Delta P = 1 \text{ MPa}$

Wielkość	Zawiesina zrzutowa pierwotna	Zaw. z dod. 10 g/l Mg	Zaw. z dod. 20 g/l Mg	Zaw. z dod. 30 g/l Mg	Zaw. z dod. 40 g/l Mg	Zaw. z dod. 60 g/l Mg	Zaw. z dod. 80 g/l Mg
ε	0,3650	0,3861	0,4101	0,4020	0,4275	0,4209	0,4286
$\alpha \cdot 10^{-13} \left[\frac{1}{m^2} \right]$	3,118	3,613	2,285	1,796	2,239	2,554	3,450
s_s	0,2710	0,2944	0,3184	0,2840	0,2833	0,2763	0,2948
s_{T-L}	0,3120	0,3699	0,3797	0,2984	0,3588	0,3463	0,4199

Dane z tabeli 3 wskazują na pewną tendencję zmian ε i s_{T-L} mianowicie z dodatkiem flokulantu obserwuje się wzrost ε i s_{T-L} . Tendencja ta jest zrozumiała – uzyskane flokuły sprzyjają większej porowatości, ale równocześnie możliwa się staje większa kompresja osadu. Do obserwacji tej nie stosują się te parametry dla dodatku 30 g/l Mg. Można sądzić, że ma to związek z błędami pomiarowymi (zawiesinę z dodatkiem 30 g/l Mg mierzono w pierwszej kolejności, kiedy to sprawdzano przyjętą metodykę).

W kolejnej tabeli 4 zamieszczono rezultaty testów filtracji ciśnieniowej (stałych K i K'), prowadzonych przy różnych ΔP dla zadanych dodatków flokulantu.

Tabela 4. cd.
Tabela 4. cont.

Lp.	Zawiesina z dodatkiem flok. 40 g/1 Mg			Zawiesina z dodatkiem flok. 60 g/1 Mg			Zawiesina z dodatkiem flok. 80 g/1 Mg		
	$\rho_z = 1024,62$ [kg/m ³]	$u_z = 0,076$ [kg/kg]	$u_s = 0,0063$ [kg/kg]	$\rho_z = 1024,62$ [kg/m ³]	$u_z = 0,077$ [kg/kg]	$u_s = 0,0067$ [kg/kg]	$\rho_z = 1024,62$ [kg/m ³]	$u_z = 0,079$ [kg/kg]	$u_s = 0,0069$ [kg/kg]
	ΔP [MPa]	$K \cdot 10^5$ [m ² /s]	$K' \cdot 10^3$ [kg/ms]	ΔP [MPa]	$K \cdot 10^5$ [m ² /s]	$K' \cdot 10^3$ [kg/ms]	ΔP [MPa]	$K \cdot 10^5$ [m ² /s]	$K' \cdot 10^3$ [kg/ms]
1	0,1276	1,727	1,344	0,1278	1,703	1,336	0,1221	1,722	1,388
2	0,2434	3,278	2,553	0,2511	2,446	1,919	0,2423	3,215	2,592
3	0,3221	3,536	2,754	0,3386	2,98	2,339	0,4385	4,938	3,981
4	0,4209	4,658	3,627	0,4424	3,877	3,043	0,595	6,039	4,869
5	0,6171	5,276	4,108	0,6282	5,35	4,199	0,8264	7,609	6,135
6	0,8465	6,44	5,015	0,8481	6,393	5,017	1,009	9,317	7,511
7	0,962	8,977	6,99	1,0092	7,239	5,681	1,1864	9,513	7,67
8	1,1655	9,406	7,324	1,1402	8,059	6,325	1,3238	9,721	7,838
9	1,5593	10,713	8,342	1,3889	8,349	6,552	1,5581	9,963	8,033
10				1,5367	9,828	7,713			

Dla każdej z zawiesin (bez i z dodatkiem *Magnafloc 919*) mierzono niezależnie ρ_z , u_z oraz u_s , natomiast stałe K wyrównywano z prostoliniowego odcinka charakterystyki (3) metodą najmniejszych kwadratów. Nachylenia prostych pozwoliły wyznaczyć stałe kinetyczne filtracji K w poszczególnych testach, zbiór stałych K przeliczano na K' zgodnie z zależnością:

$$K' = K \rho_z u_z, \quad (13)$$

a zbiór ten służył do wyznaczenia współczynnika ściśliwości osadu s_s , jako że:

$$K' = A \Delta P^{1-s_s}, \quad (14)$$

stąd w układzie podwójnie logarytmicznym:

$$\log K' = \log A + (1 - s_s) \log \Delta P \quad (15)$$

Dane z wyrównania funkcji (15) znajdują się w materiałach źródłowych [28, 29].

W tabeli 5 zamieszczono obliczone przy użyciu s_s orientacyjne wartości stałych kinetycznych K' dla ciśnienia filtracji $\Delta P = 1 \text{ MPa}$.

Tabela 5. Obliczone wartości K' dla $\Delta P = 1 \text{ MPa}$

Tabela 5. Calculated values of K' for $\Delta P = 1 \text{ MPa}$

Zawiesina	Pierwotna	Z dod. 10 g/1 Mg	Z dod. 20 g/1 Mg	Z dod. 30 g/1 Mg	Z dod. 40 g/1 Mg	Z dod. 60 g/1 Mg	Z dod. 80 g/1 Mg
$K' \cdot 10^3$ [kg/ms]	4,446	4,644	4,965	4,982	5,806	5,700	6,799

Zgodnie z oczekiwaniem obserwuje się wzrost K' z dodatkiem floku-lantu (niewielkie odstępstwa od te reguły mają związek z niedoskonałą metody-ką pomiarową a zwłaszcza z możliwością rozbijania dużych flokuł podczas mieszania zawiesiny przed wlaniem jej do cylindra filtru ciśnieniowego).

Natomiast dodatek floku-lantu praktycznie nie wpływa na takie parametry, jak gęstość zawiesiny, udział masowy ciała stałego w zawieszynie, gęstość filtratu, udział masowy soli w filtracie. Są to bowiem wielkości związane z zawiesziną lub filtratem, a dodatek floku-lantu jest tak mały, że nie zmienia tych parametrów, które są niezbędne w modelowaniu procesu rozdziału. Modelowanie filtracji ciśnieniowej sposobem zaproponowanym w [6] i [28] przeprowadzono w [29] i wykazało ono bardzo dobrą zgodność danych obliczeniowych z pomiarowymi zarówno w strefie filtracji jak i kompresji osadów dla zawiesiny bez i z dodatkiem floku-lantu *Magnafloc 919* w ilości 10÷80 g/1 Mg suchego produktu.

4. Wnioski i podsumowanie

1. Badania eksperymentalne odwadniania zawiesiny zrzutowej po wirówkach *DECANTER* pozwoliły wyznaczyć tzw. parametry filtracyjne, niezbędne przy modelowaniu filtracji ciśnieniowej z towarzyszącą kompresją osadu. Dotyczyły one zarówno pewnych wielkości fizycznych (gęstości, udziałów masowych, wilgotności, porowatości, oporów przegrody), jak i kinetycznych (stałych filtracji K i K'). Dane takie zebrano dla zawiesiny pierwotnej, czyli cieczy odprowadzanej z wirówek *DECANTER*, jak również dla zawiesin zawierających dodatek stosowanego dla flotokonzentratu flokulantu *Magnafloc 919* w zakresie $10 \div 80$ g/l Mg suchego produktu, przy praktycznej dla flotokonzentratu dawce 30 g/l Mg.
2. Stwierdzono, że dodawanie flokulantu wpływa na wzrost porowatości osadu pofiltracyjnego i współczynnik ściśliwości osadu liczonego zależnością Tillaera i Leu. Równocześnie w niewielkim stopniu dodatek ten powoduje wzrost wilgotności osadu po filtracji ciśnieniowej, co jest efektem niekorzystnym. Natomiast dodatek flokulantu podwyższa stałą kinetyczną K i K' w porównywalnych warunkach, zwiększa średnią arytmetyczną średnicę ziaren i przyspiesza sedymentację.
3. Stosowana przez służby ruchowe dawka 30 g/l Mg wydaje się być właściwa, podobnie jak używana tkanina *PT 912*.
4. Konkluzją badawczą pracy było stwierdzenie, że po filtracji ciśnieniowej z towarzyszącą kompresją osadu można oczekiwać niższej wilgotności osadu, niż po filtracji wirowej co też wynika z wcześniejszych prac Piecucha i Anielak [10,11,12,13,15], a obserwacja ta dotyczy zarówno pierwotnej zawiesiny zrzutowej, jak i zawierającej dodatek flokulantu.
5. Należy zaznaczyć, że o ile w zakresie $10 \div 30$ g/l Mg flokulantu, *Magnafloc 919* znacząco wpływa na zmianę własności filtracyjnych zawiesiny zrzutowej, to powyżej 30 g/l Mg wpływ ten staje się bardzo słaby, zatem stosowanie nadmiernego dodatku jest z technicznego punktu widzenia niecelowe.
6. Porównanie parametrów filtracyjnych dla zawiesiny zrzutowej bez i z dodatkiem flokulantu sugeruje też, że zmiana technologii odwadniania polegająca na wykorzystaniu osadnika dla zawiesiny zrzutowej, zawrotu cieczy klarownej i mieszaniu szlamu ze strumieniem flotokonzentratu nie powinno nastęrczać problemów eksploatacyjnych w procesie filtracji; zaletą takiego rozwiązania jest zamknięcie obiegu wodno – mułowego, ale wiąże się z większym obciążeniem wirówek *DECANTER* lub dodaniem do układu dodatkowej wirówki.

Literatura

1. **Palica M., Salasowicz M., Spyрка W., Szczepańska J.:** *Zmiana właściwości filtracyjnych kopalnianej zawiesiny zrzutowej po dodaniu flokulantu MAGNAFLOC 919.* Karbo, (zgłoszenie publikacyjne), 2009.
2. **Palica M., Dolina A., Gierczycki A., Kolorz S.:** *Wpływ dodatku flokulantu MAGNAFLOC 919 na przebieg filtracji wirowej podekantacyjnej zawiesiny odpadowej.* Rocznik Ochrony Środowiska, T. 11, Koszalin 2009.
3. **Palica M., Grotek A., Gruca M., Niemirowski J.:** *Opis odwadniania zawiesiny zrzutowej po wirówce filtracyjno-sedymentacyjnej BIRDa modelem SORENSENA.* Rocznik Ochrony Środowiska, T. 9, s. 133, Koszalin 2007.
4. **Palica M., Dęciek K., Kurowski L., Niemirowski J.:** *Periodyczna filtracja wirowa zawiesiny po wirówkach BIRD'a, zawierającej dodatek flokulantu MAGNAFLOC 336.* Rocznik Ochrony Środowiska, T. 10, s. 275, Koszalin 2008.
5. **Palica M., Kocy G., Kurowski L., Plawecka A.:** *Wpływ zawartości flokulantu MAGNAFLOC 336 na przebieg filtracji ciśnieniowej kopalnianej zawiesiny zrzutowej po wirówkach BIRD'a.* Rocznik Ochrony Środowiska, T. 10, s. 301, Koszalin 2008.
6. **Sørensen P. B., Moldrup P., Hansen J.:** Chem. Eng. Sci., **51**, s. 967, 1996.
7. **Palica M., Kocurek J.:** *Wybrane zagadnienia teorii filtracji i kompresji osadów,* Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2001.
8. **Tiller F. M., Leu W. F.:** J. Chinese Ins. Chem. Enf., **11**, s. 61, 1980.
9. **Żużikow W. A.:** *Filtracja. Teoria i praktyka rozdzielania zawiesin,* tłum. z j. ros., WWT, Warszawa, 1985.
10. **Anielak A.M., Piecuch T.:** *Analityczno-empiryczne kryterium filtracji ciśnieniowej i odśrodkowej zawiesiny poflotacyjnych odpadów rud miedzi.* Rudy i Metale Nieżelazne Nr 3/1984.
11. **Anielak A.M., Piecuch T.:** *Analityczno-empiryczne kryterium filtracji ciśnieniowej i odśrodkowej zawiesiny poflotacyjnych odpadów rud cynku i ołowiu.* Zeszyty Naukowe Archiwum Górnictwa PAN, Zeszyt Nr 3, Rok 1984.
12. **Anielak A.M., Piecuch T.:** *Vergleich der Entwässerung bei Druck und Zentrifugalfiltration mit Statistischen Modellen.* Vhemische Technik-Leipzig Nr 3/1987.
13. **Anielak A.M.:** *Analityczno-empiryczne kryterium filtracji ciśnieniowej i rotacyjnej.* Praca doktorska. Politechnika Śląska, promotor prof. dr hab. inż. Tadeusz Piecuch, 1983.
14. **Piecuch T., Anielak A.M.:** *Zentrifugalsedimentation der Flotatronsuspension von Kupferabfällen.* 16. Diskussionstagung Mechanische Flüssigkeitabtronnung. Magdeburg, Oktober 1979.
15. **Piecuch T., Anielak A.M.:** *Vielstufige Druckfiltration.* 17. Diskussionstagung Mechanische Flüssigkeitabtronnung. Drezno, Oktober 1980.
16. **Piecuch T., Sówka R., Smyk A.:** *Filtracja próżniowa zawiesin poflotacyjnych odpadów miedziowych z użyciem flokulantów.* Rudy i Metale Nieżelazne Nr 6/1976.
17. **Piecuch T.:** *Ciśnieniowa filtracja koncentratów zawiesinowych flotacyjnych miedzi.* Rudy i Metale Nieżelazne Nr 10/1978.

18. **Piecuch T.:** *Ciśnieniowa filtracja poflotacyjnych zawiesin odpadów miedzi.* Rudy i Metale Nieżelazne Nr 12/1978.
19. **Piecuch T.:** *Studium teoretyczne procesu filtracji grawitacyjnej.* Monografia Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk o Ziemi. Częstochowa, 1984.
20. **Piecuch T.:** *Analiza teoretyczna przepływu medium przez modelowe wirówki sito-we.* Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Nauk o Ziemi. Częstochowa 1984.
21. **Piecuch T.:** *Równanie czasu przepływu rotacyjnego ścieku przez wirówkę filtracyjną.* Zeszyty Naukowe Archiwum Ochrony Środowiska PAN. Zeszyt Nr 3÷4.
22. **Piecuch T., Opielka J.:** *Kontrola procesu pracy filtracyjnej typu ROW.* Zeszyty Naukowe AGH Seria Górnictwo, XI Krakowska Konferencja Przeróbki Kopalni, Kraków, materiały konferencyjne, 1976.
23. **Piecuch T., Opielka A.:** *Stan techniki w zakresie konstrukcji ciśnieniowej maszyn filtracyjnych.* Rudy i Metale Nieżelazne Nr 8/1976.
24. **Machej J., Trefler U.:** Inż. Ap. Chem., 3, 1970.
25. **Gierczycki A.:** *Powstawanie i rozpad agregatów ciała stałego zawieszzonego w cieczy,* Monografia habilitacyjna, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2005.
26. **Dolina A.:** *Testy filtracji wirowej zrzutu po sedymentacji zawiesin węglowych pochodzących z KWK Borynia.* Prace Kat. Inż. Chem. Proc., Pol. Śl., (do użytku wewn.). Gliwice 2008.
27. **Bandrowski J., Merta H., Ziolo J.:** *Sedymentacja. Zasady i projektowanie.* Wyd. Pol. Śl., Wyd. II, Gliwice 2001.
28. **Szczepańska J.:** *Testy filtracji ciśnieniowej zrzutu po sedymentacji zawiesin węglowych pochodzących z KWK Borynia.* Prace Kat. Inż. Chem. Proc., Pol. Śl., (do użytku wewn.), Gliwice 2008.
29. **Salasowicz M.:** *Modelowanie filtracji wybranych zawiesin zrzutowych z KWK Borynia na bazie parametrów filtracji.* Prace Kat. Inż. Chem. Proc., Pol. Śl., (do użytku wewn.), Gliwice 2008.

Oznaczenia – Symbole

- A* – stała empiryczna równania (12) i (14)
– empirical constant in Eqs. (12) and (14)
- B* – stała empiryczna równania (12)
– empirical constant in Eq. (12)
- C* – stała filtracji, *m*
– filtration constant, *m*
- C_l* – stała filtracji w równaniu (3)
– filtration constant in Eq. (3)
- C_A* – koncentracja masowa ciała stałego w zawiesinie, [kg/m³]
– mass concentration of solid phase in suspension, [kg/m³]
- D* – stała empiryczna równania (12)
– empirical constant in Eq. (12)
- F* – powierzchnia filtracji, [m²]
– filtration area, [m²]

- K – stała kinetyczna filtracji w równaniu (7), $[m^2/s]$
– *filtration kinetic constant in Eq. (7), $[m^2/s]$*
- K_1 – stała kinetyczna filtracji w równaniu (3), $[s/m^2]$
– *filtration kinetic constant in Eq. (3), $[s/m^2]$*
- K' – zmodyfikowana stała kinetyczna filtracji, $[kg/ms]$
– *modified kinetic constant of filtration, $[kg/ms]$*
- ΔP – ciśnienie filtracji, $[MPa]$
– *pressure difference, $[MPa]$*
- W – obciążenie przegrody osadem, kg/m^2 , $W = V u_A$, $[kg]$
– *amount of cake on the filter medium, kg/m^2 , $W = V u_A$, $[kg]$*
- V – objętość filtratu
– *filtrate volume*
- d – średnia średnica kanalików między ziarnami osadu, $[m]$
– *mean diameter of channels between cake grains, $[m]$*
- i – ilość kanalików
– *number of channels*
- r – zastępcze obciążenie przegrody osadem, $[kg/m^2]$
– *equivalent amount of cake on the filter medium, $[kg/m^2]$*
- s_s – współczynnik ściśliwości osadu wg Sperry'ego
– *cake compressibility coefficient acc. to Sperry*
- s_{T-L} – współczynnik ściśliwości osadu wg Tillera i Leu
– *cake compressibility coefficient acc. to Tiller and Leu*
- u_A – zawartość ciała stałego odniesiona do objętości filtratu, $[kg/m^3]$
– *mass concentration of solid phase in filtrate, $[kg/m^3]$*
- u_S – udział masowy soli w filtracie, $[kg/kg]$
– *mass fraction of salt in filtrate, $[kg/kg]$*
- u_Z – udział masowy ciała stałego w zawieszynie, $[kg/kg]$
– *mass fraction of solid phase in suspension, $[kg/kg]$*
- w – wilgotność osadu, $[kg/kg]$
– *cake moisture content, $[kg/kg]$*
- α – opór właściwy osadu, $[1/m^2]$
– *specific resistance of the cake, $[1/m^2]$*
- α_m – współczynnik proporcjonalności w zależności (6), $[m/(kgMPa^{S_s})]$
– *proportionality coefficient in Eq. (6), $[m/(kgMPa^{S_s})]$*
- ε – porowatość osadu, $[m^3/m^3]$
– *cake porosity, $[m^3/m^3]$*
- ρ_s – gęstość ciała stałego, $[kg/m^3]$
– *solid phase density, $[kg/m^3]$*
- ρ_Z – gęstość zawiesiny, $[kg/m^3]$
– *suspension density, $[kg/m^3]$*
- η – dynamiczny współczynnik lepkości filtratu, $[kg/ms]$
– *filtrate dynamic viscosity coefficient, $[kg/ms]$*
- τ – czas filtracji, $[s]$
– *time of filtration, $[s]$*

Filtering Properties of Suspension from the *DECANTER* Centrifuge with Magnafloc 919 Flocculant Addition

Abstract

The results of an experimental research on dewatering of dump suspension from the *DECANTER* centrifuge are presented in this paper. The suspension was taken from one of mines of the Jastrzębska Spółka Węglowa. This research allowed one to determine so called filtration parameters needed for the modeling of pressure filtration with cake compression. Some physical properties (density, mass fractions, moisture content, porosity, resistance of filter medium) as well as the kinetic constant coefficients (K and K') were concerned. The data was collected for the original suspension, i.e. liquid from the *DECANTER* centrifuge, and for the suspension with an addition of *Magnafloc 919*, flocculant used for flotoconcentrate, in the amount range between $10\div 80$ g/l Mg of dry product, while the used dosage is 30 g/l Mg.

It was found that the addition of flocculant caused the increase of cake porosity and cake compressibility coefficient calculated according to the Tiller and Leu equation. Simultaneously, in small extends, the addition of flocculant resulted in increased cake's moisture content after the pressure filtration which is an unfavorable effect. On the other hand, it increased the constant kinetic coefficients K and K' in comparable conditions, enlarged mean arithmetic diameter of grains and accelerated the sedimentation process.

The dosage of 30 g/l Mg used by the maintenance personnel appears to be correct as well as the used filter cloth *PT 912*.

One of the most interesting conclusion from this work is that the cake moisture content was lower after the pressure filtration than after the centrifuge filtration – this observation applies to the original dump suspension as well as to the one with the addition of flocculant. It is worth to emphasize that in case of the flocculant addition between $10\div 30$ g/l Mg, *Magnafloc 919* significantly influenced filtration properties of dump suspension. In case of the addition above 30 g/l Mg that influence became very weak, therefore the application of the excessive addition is pointless from the technical point of view.

The comparison of filtration parameters for dump suspension without and with the addition of flocculant suggests that there should not be any operating difficulties with the filtration process after a change of dewatering technology based on the usage of a settling tank for the dump suspension, recirculation of clear liquid and mixing of sludge with flotoconcentrate. One of advantages of this solution is the water – sludge circulation closure but it is connected with a greater *DECANTER* centrifuge load or with the addition of a supplementary centrifuge to the system.