



Zmiana właściwości filtracyjnych flotokonzentratu węglowego poddanego filtracji wirowej po sonifikacji flokulantu

*Michał Palica, Michał Drzazga, Andrzej Gierczycki,
Agnieszka Gozdek, Jan Thullie
Politechnika Śląska, Gliwice*

1. Wprowadzenie i cel pracy

Stosowana w jednej z kopalni Jastrzębskiej Spółki Węglowej filtracja próżniowa flotokonzentratu węglowego pozwala uzyskać końcową wilgotność osadu po strefie suszenia i oddmuchu $w_{pl} \approx 27-28\%$, przy czym do zawiesiny flotu dodawany jest flokulant Magnafloc 336 w ilości 70 g flok./1 Mg such. prod. Podstawowe informacje o różnych sposobach separacji faz w postaci filtracji można znaleźć w [1-3]. Jak wykazano w [4] w testowych badaniach filtracji ciśnieniowej tej samej zawiesiny, zwiększenie dawki flokulantu do 110 g flok./1 Mg such. prod. i poddanie dodatkowej ilości flokulantu działaniu pola ultradźwięków skutkuje poprawieniem właściwości filtracyjnych, a wśród nich zmniejszeniem końcowej wilgotności placków, wzrostem stałej kinetycznej charakterystyki filtracji K

$$\frac{V}{F} = K \frac{\tau}{V/F} + C \quad (1)$$

i zmniejszeniem oporu tkaniny (PT-912).

Dlatego w niniejszej pracy podjęto badania związane z ustaleniem wpływu pola ultradźwięków o częstotliwości 20 kHz przez czas 6 s na końcową wilgotność osadów dla różnych wartości simpleksu przyspieszeń (a/g) i dla różnych czasów wirowania. Takie działanie ultradźwięków przewidują niektóre doniesienia, np. [5-7]. Natomiast pierwsze próby ba-

dań tego typu na drodze filtracji ciśnieniowej dla zagęszczonej zawiesiny z odmulnika Dorra (zawiesiny węglowej) podjęto w [8, 9] i wykazano, że sonifikacja była tam uzasadniona powodując niewielkie obniżenie końcowej wilgotności osadów pofiltracyjnych. Potwierdzenie tych danych można znaleźć w źródłowej pracy [10], w której m.in. badano tzw. efekty spagiryczne, czyli tworzenia i destrukcji agregatów powstających w wyniku flokulacji ziaren zawiesiny flotokonzentratu węgla kamiennego, przy czym flokulant poddawany był działaniu pola ultradźwięków. Przewidywany w prezentowanych badaniach zakres zmienności czasu wirowania wynosił $\tau = 300\text{--}1800$ s, współczynnika uwielokrotnienia (simpleksu przyspieszeń dośrodkowego do ziemskiego) $a/g = 251,3\text{--}1969,9$.

2. Wyniki badań

Badania prowadzono zgodnie z metodyką opisaną w [11] stosując wirówkę laboratoryjną MPW-340 adaptowaną do warunków filtracji wirowej. Testom wirowania poddano flotokonzentrat surowy, flotokonzentrat, do którego służby ruchowe dodają 70 g flokulantu Magnafloc 336/1 Mg suchego produktu, flotokonzentrat ze zwiększoną do 110 g flok./1 Mg such. prod. dawką oraz flotokonzentrat, w którym dodatkowa dawka flokulantu, czyli 40 g/1 Mg such. prod. była poddawana sonifikacji przez 6 s w polu ultradźwięków o częstotliwości 20 kHz. Zawiesina flotokonzentratu została pobrana do pojemnika 60 dm³ w sposób losowy.

Przyjęto następujące wartości τ oraz (a/g):

$\tau = 30, 20, 15, 12, 10, 7$ i 5 minut,

$a/g = 1969,9; 1368,0; 1005,1; 698,0; 446,7; 251,3$.

Stąd jedna seria pomiarowa (dla danej zawiesiny) obejmowała 42 punkty, z których każdy był uśredniony z 3 oznaczeń. W obliczeniach średniej wilgotności nie uwzględniano tych oznaczeń, które znacząco odbiegały od pozostałych. Wyjaśnienie możliwości wystąpienia tego typu odstępstw podano m.in. w [12], a odstępstwa te wynikają z przyjętej metodyki badań, głównie z niewystarczającego docisku uszczelki w pobocznicy naczynia, w którym znajduje się zawiesina, do tkaniny filtracyjnej i siatki usztywniającej. Na podstawie danych [13] opracowano dla poszczególnych zawiesin empiryczne korelacje trójparametrowe w postaci:

$$w_{pl} = e^{A\left(\frac{a}{g}\right)^B \cdot \tau^C} + D \quad (2)$$

na końcową zawartość wilgoci w placku pofiltracyjnym, gdzie A-D to stałe po estymacji danych. Zestawienie współczynników A-D dla poszczególnych zawiesin podano w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości współczynników liczbowych korelacji

$w_{pl} = \exp[A(a/g)^B \cdot \tau^C] + D$ dla badanych zawiesin, τ [s]

Table 1. Values of coefficients in the correlation dependence

$w_{pl} = \exp[A(a/g)^B \cdot \tau^C] + D$ for investigated suspensions, τ [s]

Zawiesina	A	B	C	D	n	R ²
zawiesina technologiczna 70 g flok./1 Mg such. prod.	-0,5938	0,09223	0,1177	0,1119	42	0,9444
zawiesina zawierająca 110 g flok./1 Mg such. prod.	-0,1029	0,2050	0,2605	0,1362	42	0,9535
zawiesina zawierająca 110 g flok./1 Mg such. prod. po sonifikacji	-0,1011	0,2125	0,2649	0,1399	42	0,9443

Oprócz badań będących celem pracy przeprowadzono również wybrane badania dodatkowe, a wyniki niektórych danych analiz ziarnowych zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wybranych rezultatów analiz ziarnowych zawiesin

Table 2. Selected results of grain analyses

Zawiesina	Ilość ziaren (% obj.) mniejszych od [μm]								d_{32} [μm]
	0,5	1	3	5	7	10	20	50	
zawiesina technologiczna 70 g flok./1 Mg such. prod.	1,21	3,78	15,93	26,13	34,75	47,46	84,88	99,54	4,34
zawiesina zawierająca 110 g flok./1 Mg such. prod.	0,26	0,67	2,21	5,19	9,68	17,96	46,16	85,87	11,95
zawiesina zawierająca 110 g flok./1 Mg such. prod. po sonifikacji	0,20	0,63	3,46	7,44	11,77	18,87	47,42	94,01	11,16

3. Omówienie rezultatów badań

Wszystkie testy filtracji wirowej przeprowadzono przy użyciu tkaniny filtracyjnej PT-912, którą wytypowano we wcześniejszych badaniach wstępnych filtracji ciśnieniowej. Ponieważ opór hydrauliczny tkaniny jest niewspółmiernie mały w stosunku do oporu osadu, dobór tkaniny wiązał się z uzyskaniem klarownego filtratu i łatwością zdejmowania osadu z tkaniny, a ponadto tkanina PT-912 używana jest w skali przemysłowej na filtrach próżniowych do filtracji zawiesin flotokonzentratu. Nie ma przesłanek ku temu, by sądzić, że zwiększona dawka flokulantu zmieni w sposób istotny warunki hydrauliczne w tkaninie podczas filtracji zawiesiny o tej samej koncentracji ciała stałego. Dane dotyczące zmiany oporów tkaniny wraz ze wzrostem ciśnienia filtracji znajdują się w [4].

Aby zorientować się, czy dodatkowa dawka flokulantu i jej sonifikacja skutkuje obniżeniem wilgotności osadu dokonano porównania końcowej wilgotności placków dla skrajnych i średnich wartości (a/g) i τ stosowanych w badaniach, przy czym wilgotności te obliczano korelacją (2) dla stałych A-D z tabeli 1 (nie są to dane wynikające z doświadczeń bezpośrednio). Stwierdzono, że dla wysokich a/g i τ można oczekiwać $w_{pl} \approx 15,5-17,0\%$ przy $\tau = 1800$ s oraz $w_{pl} \approx 15,8-18,4\%$ przy $\tau = 1200$ s. Dla najniższych a/g i τ użytych w badaniach, wilgotności te wynoszą $w_{pl} = 34-44\%$, natomiast dla średnich a/g i τ (stosowanych m.in. w filtracyjnych wirówkach przemysłowych) dla $a/g \approx 1000$ i $\tau = 300-420$ s $w_{pl} = 21,8-24,9\%$. Praktycznie we wszystkich przypadkach obserwowano, że dodatkowa dawka flokulantu powodowała zmniejszenie w_{pl} (dla niskich a/g i τ zmniejszenie to było znaczne), co potwierdzają dane pracy [10]. Najistotniejszym stwierdzeniem wynikającym z tych badań jest fakt dużego obniżenia w_{pl} podczas filtracji wirowej badanych zawiesin flotokonzentratu w stosunku do filtracji próżniowej obejmującej strefę suszenia osadu. Aby jednak ten efekt był widoczny, konieczne jest użycie dość dużych wartości a/g i τ . Stwierdzono również, że sonifikacja flokulantu powoduje niewielkie obniżenie w_{pl} . Wyjaśnienie fizykalne tego efektu wynika z faktu, że większa dawka flokulantu zmniejsza znacząco ilość najmniejszych ziaren. Natomiast sonifikacja zmniejsza wielkość flokuł. Można więc oczekiwać wówczas niewielkiej zmiany składu ziarnowego w kierunku zwiększenia udziału mniejszych aglomeratów, a w efekcie

wilgotności placków mogą być nieco niższe niż dla flokulantu, którego nie poddano działaniu pola sił odśrodkowych. Wszystkie te przesłanki wskazują, że ilość dodawanego flokulantu wpływa na wilgotność końcową placków podczas separacji i winna być ona dobierana indywidualnie dla każdej zawiesiny, podobnie jak rodzaj flokulantu. Ponadto pewien dodatni choć niewielki efekt daje sonifikacja flokulantu, zalecana m.in. dlatego, że nie wymaga wysokich kosztów. Można więc stwierdzić, że badania laboratoryjne filtracji wirowej zawiesiny flotokonzentratu wykazały celowość dodawania flokulantu poddanego sonifikacji, przy czym dobór dawki wymaga szczegółowych badań optymalizacyjnych. Warto tu również zauważyć, że podawanie flokulantu w postaci odpowiednich mieszanin i sekwencyjne, tzn. bez sonifikacji i sonifikowanych dla poszczególnych części, w porównaniu do klasycznego sposobu dodawanie flokulantu może wiązać się z dodatkowym efektem odwadniania, czyli z niższą wilgotnością osadu, przy czym część flokulantu poddawana jest sonifikacji [10]. Inną sugestią wynikającą z [10] jest dobór dawki flokulantu – w niniejszej pracy dawka ta wynosiła 110 g/1 Mg such. prod., zaś w badaniach Lemanowicza [10] zakres zmienności dawki wynosił 43–360 g/1 Mg, przy osiągnięciu najlepszych efektów dla dawki nieco wyższej od 110 g/ 1 Mg, ale dane te dotyczyły flokulantu Magnafloc 1011 podawanego sekwencyjnie. Jak wykazał autor [10] kluczowym zagadnieniem w procesie odwadniania i uzyskania osadu o niskiej wilgotności jest możliwie mała ilość agregatów o rozmiarach poniżej 10 μm , a więc agregatów najmniejszych. Należy również zaznaczyć, że uzyskane rezultaty odnoszą się tylko do badanego flotokonzentratu, natomiast kierunki zmian mogą dotyczyć szerokiej grupy zawiesin o zbliżonych koncentracjach i składzie ziarnowym, a więc m.in. flotokonzentratów pochodzących z innych kopalń węgla kamiennego.

4. Podsumowanie

Separacja fazowa flotokonzentratów węgla kamiennego dotyczy zwykle dużych strumieni zawiesin, stąd nawet niewielkie obniżenie wilgotności osadów poflotacyjnych pozwala uzyskać znaczący efekt finansowy, wynikający m.in. ze zmniejszenia wężła suszenia, niższych opłat emisyjnych i wyższej ceny produktu. W nowoczesnych zakładach przerobczych generalnie zastępuje się filtrację próżniową dekantacją (lub

filtracją) wirową. Modyfikację składu ziarnowego ciała stałego w zawiesinach prowadzi się dodając do zawiesiny flokulanty (zwykle dobierane indywidualnie przez wyspecjalizowane firmy). Jak wykazano w pracy, dla badanego flotokoncentratu dawka flokulantu Magnafloc 336 okazała się niewystarczająca. Wynika stąd sugestia przeprowadzenia w tym kierunku badań optymalizujących dawkę. Ponadto stwierdzono, że sonifikacja dodatkowej, w stosunku do obecnie stosowanej, dawki powoduje niewielkie obniżenie końcowej wilgotności osadu uzyskiwanego podczas periodycznej filtracji wirowej. Sugeruje to również podjęcie badań związanych z ustaleniem odpowiedniego czasu działania pola ultradźwięków na flokulant, tym bardziej, że koszty takiej sonifikacji są bardzo małe. W najkorzystniejszych warunkach prowadzenia filtracji wirowej, tzn. przy $a/g \approx 1970$ i $\tau = 1800$ s uzyskano końcową wilgotność osadu $w_{pl} \approx 16,5\%$, podczas gdy w czasie filtracji próżniowej wraz ze strefą suszenia placka wilgotności te są znacząco wyższe ($w_{pl} \approx 27-28\%$).

Oznaczenia

A, B, C, D	-	stałe równania (2)
	-	<i>coefficients of equation (2)</i>
C	-	stała filtracji, m
	-	<i>filtration constant, m</i>
F	-	powierzchnia filtracji, m^2
	-	<i>filtration area, m^2</i>
V	-	objętość filtratu, m^3
	-	<i>filtrate volume, m^3</i>
a	-	przyspieszenie dośrodkowe, m/s^2
	-	<i>centripetal acceleration, m/s^2</i>
g	-	przyspieszenie ziemskie, m/s^2
	-	<i>acceleration due to gravity, m/s^2</i>
w_{pl}	-	udział masowy filtratu w placku, kg/kg
	-	<i>mass fraction of a filtrate in a cake, kg/kg</i>
τ	-	czas filtracji, s
	-	<i>filtration time, s</i>

Literatura

1. **Wakerman R., Tartleton S.:** *Solid/Liquid Separation: Principles of Industrial Filtration*. Elsevier 2005.
2. **Sutherland K.:** *Filters and Filtration Handbook*. 5th ed., Elsevier 2008.
3. **Żużikow W.A.:** *Filtracja. Teoria i praktyka rozdzielania zawiesin*. tłum. z j. ros., WNT, Warszawa 1985.
4. **Palica M., Gozdek A., Pohl Ł.:** *Właściwości filtracyjne zawiesiny flotokonzentratu węgla o różnych dodatkach flokulantu*. Karbo, 2, 110 (2011).
5. **Bień J.B., Kempa E., Bień J.D.:** *Influence of ultrasonic field on structure and parameters of sewage sludge for dewatering process*. Water Sci. Technol., 36, 287 (1997).
6. **Yen H.J., Yang M.H.:** *The ultrasonic degradation of polyacrylamide solution*. Polymer Testing, 22, 129 (2003).
7. **Bień J.B., Wolny L., Jabłońska A.:** *Sewage sludges preparation for dewatering with ultrasonic field application*. Inż. Ochr. Środ., 4, 9 (2001).
8. **Lemanowicz M., Jach Z., Kilian E., Gierczycki A.:** *Ultra-fine coal flocculation using dual-polymer systems of ultrasonically conditioned and unmodified flocculant*. Chem. Eng. J., 168, 159 (2011).
9. **Palica M., Gierczycki A., Berny K., Wojtowicz M.:** *Filtracja ciśnieniowa zagęszczonej zawiesiny węglowej z odmulnika Dorra*. Karbo, 3, 146 (2010).
10. **Lemanowicz M.:** *Spagiryiczne procesy zachodzące w układach dyspersyjnych ciała stałe-ciecz w polu ultradźwięków*. Rozprawa doktorska, Pol. Śl., Wyd. Chem., Gliwice 2011 (praca niepublikowana).
11. **Palica M., Wątor K., Thullie J., Kurowski Ł.:** *Odwadnianie szlamu węglowego na drodze periodycznej filtracji wirowej*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 12. 489 (2010).
12. **Adamczyk M.:** *Wpływ ultradźwięków na wilgotność osadów po filtracji ciśnieniowej zawiesiny węglowej z dodatkiem flokulantu*. Praca dypl. mag., Kat. Inż. Chem. i Proc., Pol. Śl. Gliwice 2010 (do użytku wewnętrznego).
13. **Pohl Ł.:** *Wpływ ultradźwięków na wilgotność osadów po filtracji wirowej zawiesiny węglowej z dodatkiem flokulantu*. Praca dypl. mag., Kat. Inż. Chem. i Proc., Pol. Śl. Gliwice 2010 (do użytku wewnętrznego).
14. **Bandrowski J., Merta H., Ziolo J.:** *Sedymentacja zawiesin. Zasady i projektowanie*. Wyd. II, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2001.

Change of Filtration Properties of Coal Flotoconcentrate Subjected to the Centrifugal Filtration after Flocculant Sonication

Abstract

Vacuum filtration is widely used in dehydration of the coal flotoconcentrate. In spite of the application of flocculants, it gives post-filtration suspension humidity of ca. 27–28%. Suspension humidity may be significantly decreased as a result of the centrifugal filtration. Investigated flotoconcentrate suspension contained ca. 31% of solids and its density was ca. 1087 [kg/m³]. Flocculant Magnafloc 336 was added to the suspension in a proportion 70 g/1 Mg of dry product. During the simultaneously performed investigation on vacuum filtration ([4]) it was shown that applied dosage is too small. Therefore, an additional flocculant portion of 40 g/1 Mg of dry product is advisable. It enables one to obtain a product of less humidity. It was also stated that, in comparison to a nonsonicated flocculant, a treatment of the additional dosage by an ultrasound field of 20 [kHz] for 6 [s] results in an additional effect of dehydration. Investigations of the centrifugal filtration were carried out for the following parameters of a laboratory centrifuge: $\tau = 5\text{--}30$ min, $a/g = 251.3\text{--}1969.9$. Investigation series for given suspension (without additional flocculant, addition of 40 g/1 Mg and sonicated addition of 40 g/1 Mg) included 7 centrifugation times and 6 values of the multiplication coefficient. It means 42 measurement points. All examinations were carried out for the same filtration cloth PT-912. Empirical triparametric correlations $w_{pl} = f(a/g, \tau)$ were developed. The value of R^2 of the correlation is not lower than 0.9443 for investigated suspensions. Moreover, particle size distribution as well as sedimentation tests of examined suspensions were performed. It was stated that although addition of the extra flocculant dosage causes the decrease of humidity of the filtration cake significantly as a result of centrifugal filtration, the sonication of the flocculant was beneficial for final dehydration, however the changes were less noticeable. For the most important working parameters of the centrifuge, i.e. $a/g = 1970$ and $\tau = 1800$ s, for sonicated flocculant Magnafloc addition $w_{pl} \approx 16.5\%$ was obtained. Physical explanation of the flocculant sonication effect is a formation of smaller but more stable aggregates and the considerably lower amount of micrograins in comparison to a technological suspension. This suggestion is confirmed not only by sedimentation tests and grain analyses, but also by other coal flotoconcentrate investigations published in [7, 10], considering an influence of the flocculate sonication on w_{pl} during the pressure filtration.