

**Paweł WIERCIK, Justyna LUDZIEJEWSKA, Magdalena KUŚNIERZ,  
Ewa BURSZTA-ADAMIAK**

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Wroclaw University of Environmental and Life Sciences

## **Charakterystyka rozkładów wielkości cząstek zawieszin zawartych w popłuczynach pochodzących z różnych faz płukania filtrów do odżelaziania i odmanganiania Characteristics of particle size distribution in suspensions contained in spent filter backwash water collected on different stages of iron and manganese removal filter backwashing**

**Słowa kluczowe:** popłuczyny, rozkład wielkości cząstek, odżelazianie i odmanganianie

**Key words:** spent filter backwash water, particle size distribution, iron removal, manganese removal

### **Wprowadzenie**

Na stacjach uzdatniania wody (SUW) w wyniku prowadzonych procesów oczyszczania powstają znaczne ilości ścieków i osadów. Ściekami nazywane są popłuczyny powstałe w czasie płukania złóż filtracyjnych, jonitów, a także popłuczyny powstające przy płukaniu membran i zbiorników. Osady pochodzą głównie ze strąceniowych procesów oczyszczania wody oraz w wyniku oczyszczania popłuczyn (Kowal i Świdorska-Bróz, 2007).

Skład chemiczny i biologiczny osadów oraz popłuczyn powstających na SUW zależy głównie od jakości i rodzaju uzdatnianej wody, użytych do tego celu złóż filtracyjnych, od całego układu technologicznego, a także zastosowanych reagentów chemicznych i ich dawek (Kuś i Koźmiński, 1993; Leszczyńska i Sozański, 2009). Ścieki w postaci popłuczyn, powstające w czasie płukania filtrów odżelaziających i odmanganiających, na stacjach oczyszczających wody podziemne różnią się składem od tych pochodzących z oczyszczania wód powierzchniowych. Tego rodzaju popłuczyny charakteryzują się dużą ilością zawieszin, które tworzą głównie tlenki i wodorotlenki żelaza i manganu, a także możliwością występowania niegroźnych bakterii autotroficznych: żelazowych,

manganowych i nitryfikacyjnych (Siwiec i Kardel, 1995).

Ze względu na dużą produkcję popłuczyn, dochodzącą nawet do 10% dobowej produkcji wody (Zimoch, 2013), istotnym problemem na SUW staje się ich zagospodarowanie. Popłuczyny najczęściej poddaje się oczyszczaniu mechanicznemu w odstojnikach popłuczyn, skąd następnie, po spełnieniu kryteriów jakościowych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju, 2015; Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2014), wody nadosadowe odprowadzane są do odbiornika. W wyniku ciągłej minimalizacji kosztów działania systemu zaopatrzenia w wodę na SUW (szczególnie tych uzdatniających wody podziemne) coraz częściej rozważa się wdrażanie systemu recyrkulacji popłuczyn (Bochnia i Żaba, 2003; Wiercik i Domańska, 2011). Wody popłuczne zawracane są poprzez wprowadzanie ich do zbiorników mających na celu wyrównanie przepływu, oczyszczanie na drodze sedymentacji, procesów koagulacji lub mikrofiltracji (Tobiason i in., 2003; Lou i Lin, 2008). Obecnie na terenie Unii Europejskiej brakuje w tym zakresie odpowiednich regulacji prawnych, jednak istnieją opracowane przez Environmental Protection Agency (EPA) zasady racjonalnego i bezpiecznego wykorzystania wód popłucznych z płukania filtrów filter backwash recycling rule (FBRR). Opracowane przez EPA zasady wskazują na możliwość ponownego wykorzystania popłuczyn o odpowiedniej jakości, czyli takich, które charakteryzują się mętnością nieprzekraczającą 5 NTU oraz zawartością zawieszin do  $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  (Zimoch, 2013). W tym zakresie istotne staje się prowadzenie badań nad składem fizyko-chemicznym popłu-

czyn. Dotychczas prowadzono badania nad rozkładem stężenia żelaza i manganu, a także zmian mętności w popłuczynach w trakcie trwania procesu płukania filtrów (Suchnicka i Apolinarski, 1977; Siwiec i Bednarczyk, 2001; Amburgey i in., 2003; Soucie i Sheen, 2007), jednak w literaturze istnieje niewiele informacji na temat badań nad charakterystyką zawieszin związków żelaza i manganu zawartych w popłuczynach (Łomotowski i in., 2013).

Celem badań była ocena właściwości fizycznych popłuczyn w zakresie charakterystyki rozkładów wielkości cząstek tworzących zawieszinę. Tego rodzaju informacje i charakterystyka mogą okazać się pomocne nie tylko w zakresie określenia sposobu postępowania z popłuczynami, ale również przy ustalaniu długości cyklów płukania, czyli ustalenia optymalnego czasu, po którym można ponownie włączyć filtr do eksploatacji.

## **Material i metody**

### **Obiekt badawczy**

Badania nad składem granulometrycznym popłuczyn przeprowadzono na próbkach wód podziemnych pochodzących ze SUW w Gołędzinowie, miejscowości położonej w gminie Oborniki Śląskie w województwie dolnośląskim. Woda podziemna zaopatrująca SUW ujmowana jest naprzemiennie z głębokości 25 m przez dwie studnie głębinowe o wydajności  $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Rzeczywisty pobór wody jest jednak mniejszy i wynosi około  $4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Oczyszczanie wody na SUW odbywa się z wykorzystaniem następujących procesów technologicznych:

napowietrzania, filtracji pospiesznej dwustopniowej oraz dezynfekcji.

W budynku technologicznym SUW znajdują się dwa filtry odżelaziające o średnicy 800 mm, dwa filtry odmanganiające o średnicy 800 mm, zestaw hydroforowy oraz dwa chloratory. Wypełnione złożem żwirowym filtry płukane są z częstotliwością raz na dwa tygodnie jednocześnie wodą surową i powietrzem. Czas płukania jednego filtra wynosi 30–40 min (do czasu uzyskania właściwej klarowności wody), a zużycie wody do płukania każdego z filtrów wynosi około 8 m<sup>3</sup> na jedno płukanie. Popłuczyny powstałe z procesu płukania filtrów odprowadzane są do odstojuńki popłuczyn, skąd po oczyszczeniu trafiają do odbiornika, którym jest potok Lubnówka (prawobrzeżny dopływ Odry).

### **Pobór i metody analizy próbek**

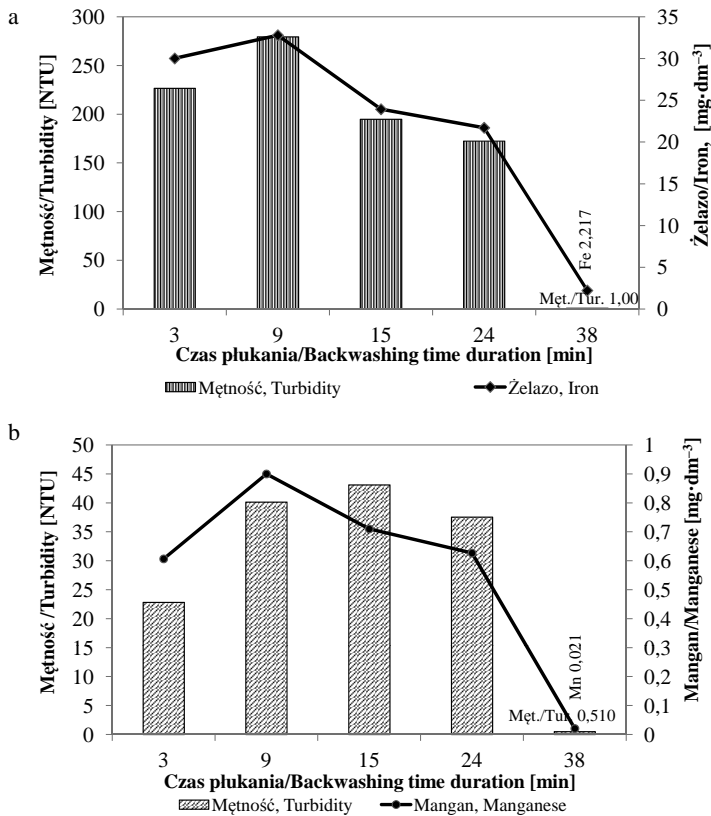
Próbki popłuczyn pobierano w trakcie płukania filtrów do odżelaziania i odmanganiowania w okresie od 20 sierpnia 2013 do 6 marca 2014 roku. W trzech seriach badawczych pobierano po 10 próbek popłuczyn z płukania filtra odżelaziającego i odmanganiającego z częstotliwością co 3 min. Ostatnie (11.) próbki pochodziły z 8. min procesu dopłukiwania. Dopłukiwanie na SUW odbywa się poprzez wsteczne płukanie samą wodą surową i trwa około 10 min. Po płukaniu filtr zostaje bezpośrednio włączony do eksploatacji. Pobrane próbki przewożono do laboratorium, gdzie poddawano je badaniom rozkładów wielkości cząstek zawiesin oraz zawartości manganu, żelaza, a także oznaczeniu mętności. Zawartość manganu określono metodą emisyjnej spektrometrii atomowej (AAS) według materiałów aplikacyjnych firmy

Spektro-lab, a zawartość żelaza oznaczono metodą spektrofotometryczną według normy PN-ISO 6332:2001. Metodą nefelometryczną według normy PN-EN ISO 7027:2003 ustalono mętność próbek.

Badania rozkładów wielkości cząstek popłuczyn przeprowadzono na granulometrze laserowym Mastersizer 2000 firmy Malvern o zakresie pomiarowym od 0,02 do 2000 μm, w którym za średnicę umowną cząstki uważa się średnicę szklanej kuli, jaka daje ten sam efekt rozproszenia światła, co badana rzeczywista cząstka zawiesin. Natężenie rozpraszanego światła jest następnie przeliczane na wielkość cząstek, co pozwala określić ich liczbę ( $n_i$ ), objętość ( $v_i$ ) oraz powierzchnię ( $s_i$ ) o średnicy zastępczej ( $d_i$ ). Na podstawie uzyskanych wyników badań ustala się funkcje zmienności liczby cząstek  $n_i = f(d_i)$ , ich objętości  $v_i = f(d_i)$  i powierzchni  $s_i = f(d_i)$  w zależności od średnicy zastępczej ( $d_i$ ). Na podstawie analiz objętościowych i ilościowych rozkładów wielkości cząstek określone zostały charakterystyczne średnie średnice zbioru cząstek, a także średnice odpowiadające medianie oraz zadanyemu percentylom 10% i 90%. Sposoby wyznaczania średnich średnic zbioru cząstek opisano między innymi w pracy Łomotowskiego i innych (2008).

### **Wyniki badań**

Na rysunku 1 przedstawiono uśrednione wartości pomiarów fizyko-chemicznych ustalone dla próbek popłuczyn pobranych z płukania filtrów odżelaziających i odmanganiających. Oznaczenia zostały wykonane dla wybranych próbek badawczych pobranych w 3., 9., 15., 24.



RYSUNEK 1. Mętności oraz zawartości żelaza w popłuczynach pochodzących z procesu płukania filtra odżelaziającego na SUW w Gołędzinowie (a), mętność oraz zawartość manganu w popłuczynach pochodzących z procesu płukania filtra odmanganiającego na SUW w Gołędzinowie (b)

FIGURE 1. Turbidity and content of iron in spent filter backwash water from the iron removal filter backwashing process at the water treatment plant in Gołędzinów (a), turbidity and content of manganese in spent filter backwash water from the manganese removal filter backwashing process at the water treatment plant in Gołędzinów (b)

min płukania właściwego i w 8. min procesu dopłukiwania (na rysunkach i w tabelach jako 38. min). Stężenia żelaza i manganu w popłuczynach pochodzących z procesu płukania filtra odżelaziającego i odmanganiającego wahały się w granicach od 1,03 do 45,01 mg·dm<sup>-3</sup> w przypadku żelaza oraz od 0,002 do 1,09 mg·dm<sup>-3</sup> dla manganu. Największe wartości stężeń, zarówno żelaza, jak i manganu, występowały w 3. i 9. min

płukania, a najmniejsze w popłuczynach pochodzących z dopłukiwania filtra. Mętność osiągała maksymalne wartości 372 NTU w próbkach pobranych po płukaniu filtra odżelaziającego oraz 65,1 NTU po płukaniu filtra odmanganiającego. Najniższy poziom mętności miały próbki w popłuczynach pochodzących z dopłukiwania filtra. Przedstawiony rozkład stężeń żelaza i manganu wykazuje typowy dla tak prowadzonego

sposobu płukania przebieg, czyli wzrost stężeń w początkowej fazie płukania, a następnie stopniowe klarowanie i zmniejszenie stężenia.

W tabeli 1 zestawiono wartości średnic minimalnych, maksymalnych, mediany oraz percentyli 10% i 90% ustalone na podstawie wybranych krzywych udziału procentowego w objętości i ilości cząstek o danym zakresie średnic zastępczych

z dnia 20 sierpnia 2013 roku. Pomiar wykazywały duże zróżnicowanie wielkości cząstek zawiesin w zależności od etapu płukania, a przede wszystkim w zależności od rodzaju płukanego filtra – odżelaziacza lub odmanganiacza. Dla filtra odmanganiającego we wszystkich fazach płukania uzyskiwano większe wartości wielkości cząstek niż w przypadku filtra odżelazającego. Duże roz-

TABELA 1. Wielkości cząstek w  $\mu\text{m}$  ustalone na podstawie funkcji zmian objętości cząstek zawiesiny w popłuczynach pobranych 20 sierpnia 2013 roku z płukania filtrów odżelazającego i odmanganijącego na SUW w Gołędzinowie

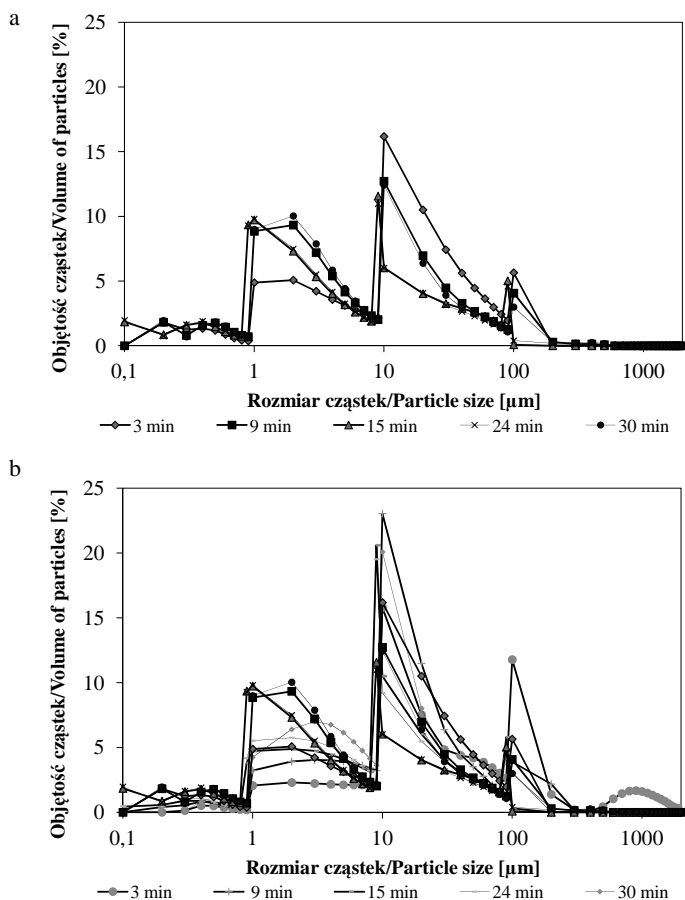
TABLE 1. Particle sizes in  $\mu\text{m}$ , determined pursuant to the function of volume changes of suspension particles in spent filter backwash water obtained on 20 August 2013 during the backwashing of iron removal filter and manganese removal filter at the water treatment plant in Gołędzinów

Czas poboru Sampling time	Rodzaj filtra Filter type	Minimum Minimum	Percentyl Percentile 10%	Mediana Median	Percentyl Percentile 90%	Maksimum Maximum
3 min	odżelazający	0,200	1,373	16,166	80,220	219,296
	odmanganiający	0,348	4,579	41,054	96,284	200,000
6 min	odżelazający	0,200	0,567	6,718	59,278	381,092
	odmanganiający	0,264	3,265	20,537	107,762	2000,000
9 min	odżelazający	0,200	0,688	6,613	67,082	603,990
	odmanganiający	0,200	2,629	14,614	73,996	381,092
12 min	odżelazający	0,200	0,619	6,057	63,049	219,296
	odmanganiający	0,264	3,081	17,504	99,939	1150,880
15 min	odżelazający	0,200	0,664	6,333	73,827	240,453
	odmanganiający	0,200	2,312	13,171	77,059	263,651
18 min	odżelazający	0,200	0,721	8,328	91,197	219,296
	odmanganiający	0,348	1,864	8,782	30,548	60,399
21 min	odżelazający	0,200	0,646	6,429	71,932	219,296
	odmanganiający	0,200	2,827	17,131	92,659	603,000
24 min	odżelazający	0,200	0,612	5,904	72,828	662,262
	odmanganiający	0,200	2,07	11,105	67,453	219,296
27 min	odżelazający	0,200	0,601	5,594	69,051	726,156
	odmanganiający	0,200	2,026	10,337	62,412	662,262
30 min	odżelazający	0,200	0,619	5,755	61,055	662,262
	odmanganiający	0,348	2,239	9,203	59,185	166,353
38 min	odżelazający	1,050	777,957	1140,931	1532,997	2000,000
	odmanganiający	0,662	35,184	851,393	1342,318	2000,000

miary cząstek określono również w przypadku popłuczyn pobranych z okresu dopłukiwania filtrów. Taka sytuacja miała miejsce, gdyż w trakcie dopłukiwania filtrów mogło zachodzić zjawisko wynoszenia ziaren złoża filtracyjnego. Procedura płukania złoża odżelaziającego i odmanganiającego wodą i powietrzem jest stosunkowo trudna, gdyż wówczas złożo zachowuje się niestabilnie i poza

filtr mogą być wymywane lekkie cząstki nie zawsze mające możliwości sedymentacji (Siwiec, 2011). W przypadku procedury płukania wodą i powietrzem do popłuczyn szybciej wynoszone są ziarna złoża niż w przypadku innych procedur, takich jak płukanie wyłącznie wodą.

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki procentowego udziału cząstek o średnicy  $d_i$  w całkowitej objętości cząstek zawie-

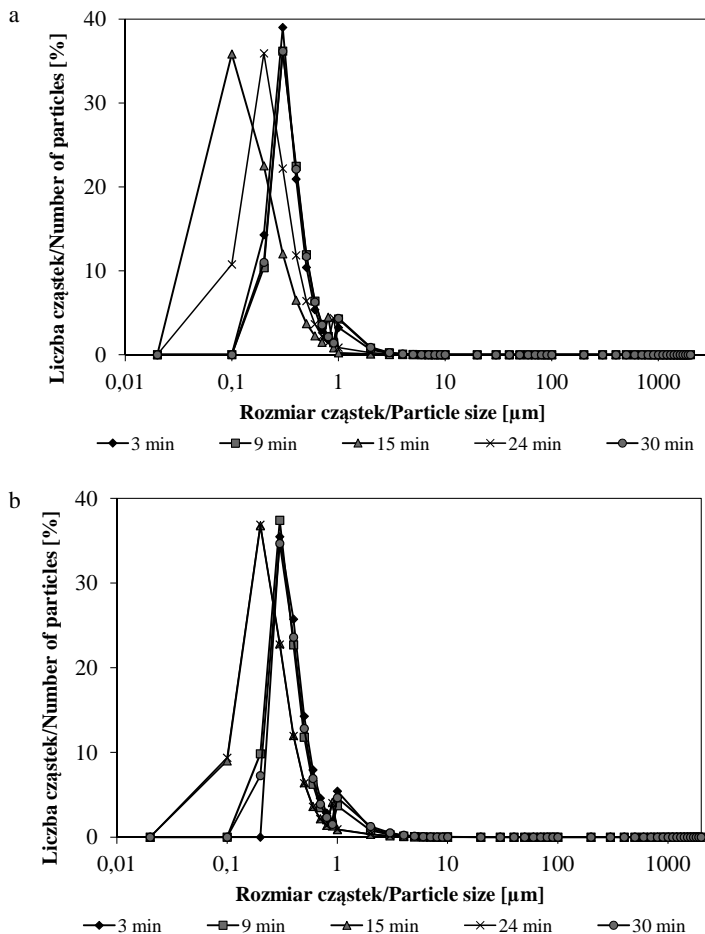


RYSUNEK 2. Procentowy udział cząstek o średnicy  $d_i$  w całkowitej objętości cząstek zawiesin występujących w popłuczynach pobranych 20 sierpnia 2013 roku w czasie płukania filtra odżelaziającego (a) oraz filtra odmanganiającego (b) na SUW w Gołędzinowie

FIGURE 2. Percentage share of particles of the diameter  $d_i$  in the total volume of suspension particles present in spent filter backwash water collected on 20 August 2013 during the backwashing of iron removal filter (a) and manganese removal filter (b) at the water treatment plant in Gołędzinów

siny, a na rysunku 3 w całkowitej liczbie cząstek zawiesiny uzyskane dla próbek pobranych w trakcie płukania odżelaziacza i odmanganiacza 20 sierpnia 2013 roku. W całkowitej objętości cząstek zawiesiny w początkowych minutach płukania odżelaziacza (3., 9. min) dominowały cząstki z przedziału 10–100  $\mu\text{m}$  (sumaryczny ich udział objętościowy

w tym przedziale wyniósł ok. 55%). W kolejnych minutach płukania procentowy udział cząstek w przedziale 10–100  $\mu\text{m}$  zmniejszył się do około 25–35%, a zwiększył się w przedziale 1–10  $\mu\text{m}$ . W przypadku popłuczyn pochodzących z odmanganiacza udział cząstek w przedziale 10–100  $\mu\text{m}$  był dominujący w całym okresie płukania filtra. Procento-



RYSUNEK 3. Procentowy udział cząstek o średnicy  $d_i$  w całkowitej liczbie cząstek zawiesin występujących w popłuczynach pobranych 20 sierpnia 2013 roku w czasie płukania filtra odżelaziającego (a) oraz filtra odmanganiającego (b) na SUW w Gołędzinowie

FIGURE 3. Percentage share of particles of the diameter  $d_i$  in the total quantity of suspension particles present in spent filter backwash water collected on 20 August 2013 during the backwashing of iron removal filter (a) and manganese removal filter (b) at the water treatment plant in Gołędzinów

wy udział cząstek w całkowitej ich ilości okazał się największy w przedziale 0,1–1,0  $\mu\text{m}$  (sumaryczny ich udział ilościowy w tym przedziale wyniósł ok. 90%) w kolejnych fazach płukania obu filtrów.

Po zagęszczeniu przedziałów określających rozmiary cząstek największy udział w objętości, w przypadku obu filtrów, stanowiły cząstki z zakresu 10–20  $\mu\text{m}$  (ok. 9–12% w zawieszynie popłuczyn z płukania odżelaziacza i ok. 10–20% z płukania odmanganiacza), a największy udział w ilości, również w przypadku obu filtrów, stanowiły cząstki z przedziału 0,3–0,5  $\mu\text{m}$  (ok. 30–40%). Cząstki o rozmiarach mniejszych od 1  $\mu\text{m}$  zaliczane są do mikrozwiesin i jak wykazały przedstawione badania, ich ilość w popłuczynach jest znaczna i wynosi około 90% całkowitej ilości cząstek tworzących zawieszinę. Powoduje to, że obecność tych niepodlegających sedymentacji cząstek w odstojnikach popłuczyn często nie pozwala na skuteczne oczyszczenie popłuczyn.

W tabeli 2 przedstawiono wartości wybranych średnich średnic zbioru cząstek ustalonych na podstawie funkcji zmian objętości cząstek zawiesziny w próbkach popłuczyn pochodzących z płukania filtrów odżelazającego i odmanganiającego. Wartość średniej średnicy  $D(1,0)$ , wyliczanej na podstawie liczby cząstek i ich średnic, w próbkach pochodzących z płukania odżelaziacza wynosiła od 0,19 do 0,55  $\mu\text{m}$ , a w próbkach popłuczyn pochodzących z płukania odmanganiacza od 0,32 do 0,67  $\mu\text{m}$ .

Analiza wyników średniej średnicy  $D(3,2)$  wykazała, że zarówno w popłuczynach z płukania filtra odżelazającego

go, jak i odmanganiającego przyjmowała największe wartości w pierwszych minutach płukania filtrów i nie przekraczała wartości 10  $\mu\text{m}$ . Średnica  $D(3,2)$  jest miarą powierzchni czynnej ziaren tworzących zawieszinę. W miarę zmniejszania się średnicy  $D(3,2)$  wzrasta powierzchnia czynna cząstek, które wykazują większą skuteczność katalizowania procesów chemicznych, na skutek wzrostu powierzchni kontaktu międzyfazowego. W przypadku popłuczyn pochodzących z płukania filtra odmanganiającego średnica  $D(3,2)$  cząstek była większa niż w popłuczynach z płukania odżelaziacza i wynosiła od około 3,5 do 9,3  $\mu\text{m}$ . W procesie dopłukiwania wartości średnicy  $D(3,2)$  znacznie przekraczały 10  $\mu\text{m}$  (za wyjątkiem próbki z płukania odmanganiacza pobranej 6 marca 2014 roku).

Wartość średniej średnicy  $D(4,3)$  pokazuje, gdzie w danym układzie skoncentrowana jest masa, stąd cząstki o dużych średnicach decydują o jej wartości. W większości analizowanych przypadków średnica  $D(4,3)$  była mniejsza od 40  $\mu\text{m}$ , wyjątki (szczególnie w trakcie dopłukiwania) mogą świadczyć o możliwości wynoszenia ziaren złoza filtracyjnego poza filtr.

Wartości średnic  $D(1,0)$ ,  $D(3,2)$  i  $D(4,3)$  w trakcie dopłukiwania filtrów były większe niż w procesie właściwego płukania za wyjątkiem próbki z płukania odmanganiacza 6 marca 2014 roku. W procesie płukania odmanganiacza w tym dniu mógł być zastosowany mniejszy strumień powietrza, przez co siły hydrodynamiczne były mniejsze od sił kohezji, w wyniku czego nie następowało odrywanie zawieszin z ziaren złoza odmanganiającego.



TABELA 2. Średnie średnice D(1,0), D(3,2) oraz D(4,3) ustalone na podstawie funkcji zmian objętości cząstek zawiesiny w popłuczynach pochodzących z procesu płukania filtra odżelaziającego i filtra odmanganiającego na SUW w Gołędzinowie

TABLE 2. Mean diameters D(1.0), D (3.2) and D (4.3), determined pursuant to the function of volume changes of suspension particles in spent filter backwash water obtained during the backwashing of iron removal filter and manganese removal filter at the water treatment plant in Gołędzinów

Czas poboru Sampling time	Data Date	Średnie średnice cząstek Mean diameters [ $\mu\text{m}$ ]					
		filtr odżelaziający iron filter			filtr odmanganiający manganese filter		
		D(1,0)	D(3,2)	D(4,3)	D(1,0)	D(3,2)	D(4,3)
3 min	20.08.2013	0,27	2,95	29,66	0,61	9,32	217,58
6 min		0,19	1,51	20,95	0,49	6,54	74,14
9 min		0,20	1,75	22,79	0,34	4,90	31,07
12 min		0,20	1,63	19,83	0,50	6,07	54,13
15 min		0,20	1,74	22,70	0,34	4,48	27,61
18 min		0,21	1,93	29,31	0,64	4,03	12,85
21 min		0,20	1,70	21,49	0,40	5,58	127,94
24 min		0,19	1,61	24,68	0,32	4,01	23,85
27 min		0,20	1,57	23,10	0,48	4,29	24,39
30 min		0,19	1,60	21,92	0,67	4,59	20,19
38 min		1,99	202,61	1116,91	1,19	37,30	712,56
3 min	14.10.2013	0,50	3,79	26,23	0,56	6,04	34,98
6 min		0,46	1,93	14,90	0,52	4,40	23,25
9 min		0,47	2,06	13,58	0,50	5,48	82,62
12 min		0,47	1,90	16,34	0,53	3,87	18,95
15 min		0,48	1,98	13,22	0,51	3,91	19,98
18 min		0,49	1,80	14,54	0,52	3,73	21,72
21 min		0,47	2,00	15,22	0,52	3,65	22,87
24 min		0,46	1,93	15,75	0,52	3,45	19,61
27 min		0,47	1,68	13,81	0,52	3,77	57,87
30 min		0,47	1,76	12,69	–	–	–
38 min		10,13	542,56	974,86	–	–	–
3 min	6.03.2014	0,55	2,72	28,33	0,54	5,74	34,87
6 min		0,54	2,55	18,42	0,55	5,21	27,30
9 min		0,52	2,25	47,00	0,55	4,82	25,51
12 min		0,51	2,07	15,19	0,55	4,68	25,40
15 min		0,51	2,08	15,48	0,57	4,63	23,93
18 min		0,51	2,01	15,20	0,55	4,18	24,88
21 min		0,51	1,96	13,32	0,55	5,36	28,62
24 min		0,51	1,94	14,17	0,56	3,90	22,35
27 min		0,50	1,97	13,67	0,59	4,37	22,22
30 min		0,50	1,85	13,79	0,54	3,83	23,16
38 min		0,65	20,58	37,84	0,38	3,54	32,59

## Wnioski

Na stacjach uzdatniania wody stale poszukuje się metod i rozwiązań konstrukcyjnych, które pozwoliłyby na poprawę efektywności prowadzenia procesu płukania złożeń filtracyjnych, i sposobów zagospodarowania popłuczyn, a ocena właściwości fizycznych popłuczyn w zakresie charakterystyki rozkładów wielkości cząstek może okazać się pomocna w określeniu lepszych sposobów postępowania z popłuczynami.

Przedstawione w artykule badania z wykorzystaniem granulometru laserowego pozwoliły uzyskać cenne informacje na temat rozkładów wielkości i właściwości cząstek tworzących zawiesinę w popłuczynach i sformułować następujące wnioski:

1. Próbkę popłuczyn pobrane podczas płukania filtra odżelaziającego wykazały objętościową dominację cząstek z przedziału 10–100  $\mu\text{m}$  w pierwszych minutach płukania oraz 1–10  $\mu\text{m}$  w kolejnych etapach płukania filtrów. W przypadku popłuczyn pochodzących z filtra odmanganiącego dominujący we wszystkich fazach płukania filtra był udział cząstek w przedziale 10–100  $\mu\text{m}$ .
2. Największy udział ilościowy zarówno w przypadku filtra odżelaziającego, jak i odmanganiącego, stanowiły cząstki z przedziału 0,3–0,5  $\mu\text{m}$ . Obecność tych niepodlegających sedymentacji cząstek utrudnia proces mechanicznego oczyszczania popłuczyn w ostojnikach.
3. Dla filtra odmanganiącego we wszystkich fazach płukania uzyskiwano większe wartości wielkości cząstek niż w przypadku filtra odże-

laziącego. Oznacza to, iż zawiesina powstała z wytrącania związków żelaza charakteryzuje się mniejszą objętością niż zawiesina wmywana ze złożeń filtracyjnych usuwających związek manganu.

4. Wartość średniej średnicy  $D(3,2)$  zarówno w popłuczynach pochodzących z płukania filtra odżelaziającego, jak i odmanganiącego nie przekraczała 10  $\mu\text{m}$ . Świadczy to o dobrych właściwościach sorpcyjnych i katalitycznych cząstek tworzących zawiesinę popłuczyn. Takich właściwości nie posiadały cząstki tworzące zawiesinę w popłuczynach pochodzących z procesu dopłukiwania filtrów.
5. W większości analizowanych próbek średnica  $D(4,3)$  była mniejsza od 40  $\mu\text{m}$ , z tego względu wypłukiwane ze złożeń filtracyjnych zawiesiny można zaliczyć do trudno sedymentujących.

## Literatura

- Amburgey, J.E., Amirtharajah, A., Brouckaert, B.M. i Spivey, N.C. (2003). An enhanced backwashing technique for improved filter ripening. *Journal AWWA*, 95/12, 81-94. Pobrano z lokalizacji: <http://www.awwa.org/publications/journal-awwa/abstract/articleid/14937.aspx>.
- Bochnia, T. i Żaba, T. (2003). Zasady recyklingu wód w popłuczynach w aspekcie mikrobiologicznej jakości wody do spożycia. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 10, 324-326.
- Kowal, A.L. i Świdarska-Bróż, M. (2007). *Oczyszczanie wody*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kuś, K. i Koźmiński, G. (1993). Zastosowanie pulsatorów do oczyszczania popłuczyn. *Ochrona Środowiska*, 51/4, 65-67.

- Leszczyńska, M. i Sozański, M.M. (2009). Szkodliwość i toksyczność osadów i popłuczyn z procesu uzdatniania wody. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 575-585.
- Lou, J.C. i Lin, Y.C. (2008). Assessing the feasibility of wastewater recycling and treatment efficiency of wastewater treatment units. *Environmental Monitoring and Assessment*, 137, 471-479. doi:10.1007/s10661-007-9782-3.
- Lomotowski, J., Burszta-Adamiak, E., Kęszycka, M. i Jary, Z. (2008). *Metody i techniki optyczne w badaniach zawiesin. Monografia*. Warszawa: Wydawnictwo PAN Instytut Badań Systemowych.
- Lomotowski, J., Wiercik, P. i Burszta-Adamiak, E. (2013). Wpływ zawartości związków żelaza i manganu na skład granulometryczny zawiesin w popłuczynach z filtrów do oczyszczania wód podziemnych. *Ochrona Środowiska*, 35/4, 43-46.
- PN-ISO 6332:2001. Jakość wody. Oznaczanie żelaza. Metoda spektrometryczna z 1,10-fernantroliną.
- PN-EN ISO 7027:2003. Jakość wody. Oznaczanie mętności.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 2014, poz. 1800).
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 25 sierpnia 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych (Dz.U. 2015, poz. 1456).
- Siwiec, T. (2011). Badanie skuteczności filtrów odżelaziających. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 53, 226-236.
- Siwiec, T. i Bednarczyk, L. (2001). Badania efektywności oczyszczania wód pochodzących z płukania filtrów odżelaziających i odmanganiających. *Gospodarka Wodna*, 5, 200-205.
- Siwiec, T. i Kardel, I. (1995). Hydrauliczne i technologiczne warunki pracy odstożników wód popłucznych. *Gospodarka Wodna*, 6, 136-143.
- Soucie, W.J. i Sheen, B.J. (2007). Filter-to-waste optimization. *Journal AWWA*, 99/5, 148-157. Pobrano z lokalizacji: <http://www.awwa.org/publications/journal-awwa/abstract/articleid/15655.aspx>.
- Suchnicka, M. i Apolinarski, M. (1977). Badania laboratoryjne nad oczyszczaniem wód po płukaniu odżelaziaczy i odmanganiaaczy. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 7, 204-210.
- Tobiason, J.E., Edzwald, J.K., Levesque, B R., Kaminski, G.K., Dunn, H.J. i Gallan, P.B. (2003). Full-Scale Assessment of Waste Filter Backwash Recycle. *Journal AWWA*, 95/7, 80-93. Pobrano z lokalizacji: <http://www.awwa.org/publications/journal-awwa/abstract/articleid/14844.aspx>.
- Wiercik, P. i Domańska, M. (2011). Wpływ recykulacji popłuczyn na jakość wody uzdatnionej-przegląd literatury. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 54, 333-343.
- Zimoch, I. (2013). Celowość zwracania popłuczyn z filtrów pospiesznych w układach oczyszczania wody powierzchniowej. *Ochrona Środowiska*, 35/4, 17-22.

## Streszczenie

### Charakterystyka rozkładów wielkości cząstek zawiesin zawartych w popłuczynach pochodzących z różnych faz płukania filtrów do odżelaziania i odmanganiania.

W artykule przedstawione zostały wyniki pomiarów rozkładów wielkości cząstek zawiesin zawartych w popłuczynach pochodzących ze stacji uzdatniania wód podziemnych w Gołędzinowie. Próbkę popłuczyn pobierano w trzech seriach badawczych w trakcie płukania filtrów do odżelaziania i odmanganiania w okresie od 20 sierpnia 2013 do 6 marca 2014 roku. Do oznaczenia składu granulometrycznego zawiesin użyto granulometr laserowy Mastersizer 2000. Badania wykazały, że w trakcie płukania filtrów rozkład wielkości cząstek zawiesin był zmienny. W zawiesinie w ujęciu objętościowym dominowały cząstki o wielkościach 1–100 µm, a w ujęciu ilościowym – 0,1–1,0 µm.

Dodatkowo dla filtra odmanganiającego we wszystkich fazach płukania uzyskiwano większe wartości wielkości cząstek niż w przypadku filtra odżelaziającego.

## Summary

**Characteristics of particle size distribution in suspensions contained in spent filter backwash water collected on different stages of iron and manganese removal filter backwashing.** The study presents the results of measurement of particle size distribution in suspensions contained in spent filter backwash water obtained from the water treatment plant in Golędzinów. Spent filter backwash water samples were collected in three test series during the backwashing of iron and manganese removal filters, during the period from 20 August 2013 to 6 March

2014. Granulometric composition was determined by means of Mastersizer 2000 laser granulometer. The tests have proven that during the backwashing of filters the particle size distribution in suspensions was subject to changes. In terms of volume, particles of a size of 1–100  $\mu\text{m}$  were dominant in the suspension, while in quantitative terms particles of a size of 0.1–1.0  $\mu\text{m}$ . Additionally, for the manganese removal filter higher particle size values were obtained in all stages of backwashing than for the iron removal filter.

### Author's address:

Paweł Wiercik  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Instytut Inżynierii Środowiska  
50-363 Wrocław, ul. Plac Grunwaldzki 24,  
Poland  
e-mail: pawel.wiercik@up.wroc.pl