

Bożenna TOCZYŁOWSKA, Elżbieta SKONECKA

*Instytut Techniki Budowlanej
Warszawa*

*Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji
w m. st. Warszawie Spółka Akcyjna
Zakład Wodociągu Centralnego
Warszawa*

SKUTECZNOŚĆ USUWANIA ZAWIESIN W PROCESIE FILTRACJI PRZESZ FILTRY POSPIESZNE ZE STAŁYM ZŁOŻEM FILTRACYJNYM

EFFICIENCY OF SUSPENDED SOLIDS REMOVAL BY FILTRATION ON CONVENTIONAL RAPID FILTERS

*The latest hygienic regulation in Poland regarding the quality of potable water recommends that, whenever the presence of bacteria of the species *Clostridium perfringens* has been detected in the water, the water supplier should find out whether or not there are any hazards to humans arising from the presence of pathogenic microorganisms, such as *Cryptosporidium*. Because of the limitation of many chemical disinfectants for inactivating *Cryptosporidium* oocyst and the fear of waterborne disease outbreaks, much attention has been directed toward filtration as the primary barrier against this pathogen. The objective of full-scale study was to determine the efficiency of suspended solids removal using conventional rapid filters. Turbidity data were collected on line using turbidimeter. Batch samples of raw and finished water were collected for turbidity and particle size distribution analyses from the beginning to the end-of-filter-run. Compared to turbidity, particle-counting was an excellent tool for monitoring treatment to determine changes in performance.*

1. Wprowadzenie

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi zaleca, aby w przypadku stwierdzenia obecności w wodzie bakterii *Clostridium perfringens* zbadać, czy nie ma zagrożenia dla zdrowia ludzi wynikającego z obecności innych mikroorganizmów chorobotwórczych, np. *Cryptosporidium* [3]. W rozporządzeniu zaleca się zwrócić szczególną uwagę na *Cryp-*

tosporidium, gdyż pasożyt ten jest traktowany jako organizm wskaźnikowy przy ocenie zagrożenia zdrowia ludzi pasożytami chorobotwórczymi przenoszonymi przez wodę do picia [1]. Wynika to z faktu, że zapewnienie wody do picia bezpiecznej dla zdrowia (a nawet życia) ludzi w przypadku ujmowania wody powierzchniowej, w której okresowo mogą występować oocysty *Cryptosporidium*, wymaga stosowania specjalnych metod uzdatniania wody, z uwagi na stosunkowo niewielkie rozmiary oocyst (ok. 4-6 μm) oraz odporność na działanie chloru w procesie dezynfekcji [1,6]. Zapewnienie, że w wodzie do picia nie będzie infekcyjnych form oocyst *Cryptosporidium* wymaga realizacji kompleksowych działań, obejmujących ochronę ujmowanej wody przed zanieczyszczeniem, stosowanie skutecznych procesów uzdatniania wody, a także sprawowanie nadzoru nad przebiegiem tych procesów oraz nad jakością wody uzdatnionej.

Zasadnicze znaczenie dla zapewnienia wody do picia wolnej od pasożytów ma proces filtracji. Cel ten zostanie osiągnięty, jeśli w procesie filtracji zostanie usunięta zawiesina w postaci cząstek stałych równych i większych niż oocysty *Cryptosporidium*. Całkowite usunięcie zawiesiny gwarantują jedynie metody membranowe [7]. Woda po filtracji pospiesznej może być pozbawiona cząstek $> 5 \mu\text{m}$, jeśli mętność wody jest nie większa niż 0,1 NTU. W praktyce w konwencjonalnym procesie uzdatniania wody, obejmującym koagulację i filtrację przez złoża stałe, taką skuteczność filtracji można osiągnąć, ale nie można jej zapewnić w całym okresie pracy filtrów między kolejnymi płukaniem [2,4]. W cyklu filtracyjnym wyróżnia się dwa etapy pracy filtrów, kiedy skuteczność filtracji się pogarsza, tj. na początku oraz pod koniec cyklu filtracyjnego. Gorsza jakość filtratu na początku cyklu filtracji związana jest ze zjawiskiem tzw. wpracowania złoża. Po zakończeniu płukania złożo charakteryzuje się maksymalną porowatością i mniejszą zdolnością do zatrzymywania zanieczyszczeń. W miarę gromadzenia zawiesin w złożu jego porowatość się zmniejsza, a skuteczność filtracji rośnie, czemu dodatkowo sprzyjają własności sorpcyjne i/lub katalityczne zatrzymanych zawiesin. Pogorszenie się jakości wody pod koniec cyklu filtracyjnego jest związane ze zmniejszaniem porowatości złoża w miarę wzrostu ilości zatrzymanych zanieczyszczeń, co może doprowadzić do tzw. przebicia złoża [2].

Poza czynnikami wynikającymi z naturalnego cyklu pracy filtrów na pogorszenie skuteczności filtracji mogą mieć wpływ różne inne zjawiska, np. związane ze stanem technicznym samych filtrów (np. kolmatacja złoża, uszkodzenie drenażu), jakością wody doprowadzanej na filtr lub warunkami pracy filtrów (nierównomierność przepływu). Wobec powyższego, zasadnicze znaczenie dla zapewnienia wymaganej jakości wody ma takie sterowanie pracą filtrów, aby wyeliminować wszystkie czynniki powodujące pogorszenie skuteczności filtracji. Podstawą do optymalizacji pracy filtrów jest ciągły nadzór nad przebiegiem procesu filtracji. Podstawowym wskaźnikiem wykorzystywanym do monitorowania skuteczności filtracji jest mętność. Do oceny zagrożenia wynikającego z obecności oocyst *Cryptosporidium* w wodzie uzdatnionej wymagane jest monitorowanie on-line mętności wody z każdego pojedynczego filtra [6]. Zalecane jest wyposażenie filtra w urządzenie alarmowe sygnalizujące wzrost mętności ponad wartość dopuszczalną, a także automatyczne wyłączanie filtra z pracy w przypadku awarii. Przepisy US EPA dotyczące ochrony wody do picia przed *Cryptosporidium* [6] zalecają, aby mętność wody po filtrach pospiesznych była nie większa niż 0,15 NTU (pomiar mętności wody po pojedynczym filtrze w odstępach co 15 minut). Dopuszcza się wzrost mętności do 0,3 NTU przez czas nie dłuższy niż 15 minut.

Spełnienie powyższych warunków nie gwarantuje jednak uzyskania wody całkowicie wolnej od oocyst *Cryptosporidium*. Jak wykazały badania, 75% próbek wody uzdatnio-

nej, w których stwierdzono obecność pasożytów, charakteryzowała się mętnością nie większą niż 0,1 NTU [6].

Cennym narzędziem wspomagającym eksploatację filtrów pośpiesznych jest pomiar liczby cząstek stałych o wielkości odpowiadającej wymiarowi oocyst *Cryptosporidium* (jako np. liczba cząstek $> 2 \mu\text{m}$ lub cząstek o wymiarach $4 - 6 \mu\text{m}$ w 1 ml wody). Liczba cząstek stałych o określonej wielkości została uznana za najlepszy wskaźnik pomocniczy do optymalizacji pracy filtrów, gdyż zapewnia uzyskiwanie informacji o możliwych zakłóceniach, takich jak np. przebicie filtra [4,5]. Zaletą tej metody jest znacznie większa czułość i powtarzalność pomiarów w porównaniu z mętnością. Wskaźnik ten nie może jednak służyć jako kryterium koncentracji oocyst w wodzie, ponieważ nie stwierdzono stałej korelacji między liczbą cząstek i liczbą oocyst o takich samych wymiarach [2,6].

W referacie przedstawiono wyniki badań, w trakcie których monitorowano pracę filtrów w pełnych cyklach filtracyjnych na podstawie pomiarów mętności i liczby cząstek stałych w zakresie wielkości od 1 do $25 \mu\text{m}$ oraz pomiaru strat ciśnienia. Uzyskane dane posłużyły do oceny warunków pracy filtrów oraz oceny czynników wpływających na jakość filtratu.

2. Przedmiot i metodyka badań

2.1. Charakterystyka filtrów

Przedmiotem badań były filtry pośpieszne, otwarte, piaskowe eksploatowane w Zakładzie Wodociągu Centralnego MPWiK w m. st. Warszawie S.A.

Do badań wybrano trzy filtry o takiej samej konstrukcji po różnym czasie eksploatacji od ostatniego remontu:

- filtr nr 12 pracujący 8 lat,
- filtr nr 13 pracujący 1 rok po remoncie (wymiana układu drenażowego i złoża filtracyjnego),
- filtr nr 14 pracujący 8 lat od ostatniego remontu, przewidziany do modernizacji.

Wszystkie filtry, pracujące w tym samym ciągu technologicznym, zasilane były wodą po procesie koagulacji w pulsatorze oraz alkalizacji przy użyciu mleka wapiennego.

Przed rozpoczęciem badań filtry eksploatowano zgodnie z następującymi założeniami:

- czas trwania cykli filtracyjnych 72 godziny lub do momentu wzrostu oporów przepływu przez filtr do 200 kPa,
- prędkość filtracji 2,87 do 3,6 m/h,
- płukanie przeciwpądowe: powietrzem przez 3 minuty, a następnie wodą przez 8 minut,
- płukanie współpądowe (spust pierwszego filtratu) 10 minut,
- płukanie filtrów wodą uzdatnioną, pobieraną ze zbiornika wody czystej.

2.2. Cel i zakres badań

Celem badań była ocena warunków pracy filtrów na różnych etapach cyklu filtracyjnego na podstawie pomiarów wskaźników określających jakość filtratu oraz opory przepływu przez filtr.

Na podstawie danych uzyskanych z pomiarów oceniono:

- przebieg zmian jakości filtratu w okresie wpracowywania się filtrów,
- przebieg zmian jakości filtratu w całym cyklu filtracyjnym, ze szczególnym uwzględnieniem okresu wyczerpywania się pojemności złoża,
- wpływ procesu płukania na jakość filtratu,
- zależność między jakością filtratu a wielkością strat ciśnienia na filtrze.

Dla każdego filtra przeprowadzono badania trzech cykli filtracyjnych. W poszczególnych cyklach filtracyjnych danego filtra utrzymywano stałą prędkość filtracji.

W procesie płukania stosowano dwa różne czasy płukania wodą: standardowy 8 minut (od 7 do 8,5 minut) oraz skrócony do 4-5 minut.

Warunki pracy badanych filtrów zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Podstawowe dane o badanych procesach filtracyjnych

Tab. 1. Basic data of filtration processes

Nr filtra	Nr cyklu filtracyjnego	Czas trwania cyklu filtracyjnego w godz.	Opory przepływu w kPa	Czas płukania w minutach		Prędkość filtracji v w m/h
				powietrzem	wodą	
12	I	24	30÷200	3	5,0	3,2
	II	72	25÷114	3	8,5	3,6
	III	100	35÷175	3	7,0	3,6
13	I	72	25÷54	3	8	2,87
	II	72	26÷60	3	8	2,87
	III	96	27÷63	3	4	2,87
14	I	72	10÷64	3	8	3,2÷3,6
	II	64	20÷197	3	4	3,2
	III	54	10÷200	3	4	3,2

2.3. Metodyka badania

Jakość filtratu określano na podstawie pomiarów mętności oraz liczby cząstek o wymiarach od 1 do 25 μm . Probki wody do analiz pobierano z następującą częstotliwością:

- co 2 minuty - od momentu włączenia filtra do pracy po zakończeniu płukania przeciwpłukowego przez 40 minut,
- co 5 minut - przez dalszych 30 minut pracy filtra,
- co 2 godziny - począwszy od poboru dwie godziny po zakończeniu płukania do końca cyklu filtracyjnego.

W momencie pobierania próbek jednorazowych odczytywano wartość mętności mierzonej on-line oraz spadek ciśnienia na filtrze.

Do pomiaru mętności on-line stosowano mętnościomierz typu CONTURB firmy HACHLANGE. Oznaczenie mętności w próbkach jednorazowych wykonywano przy użyciu mętnościomierza typu 2100 P firmy HACH.

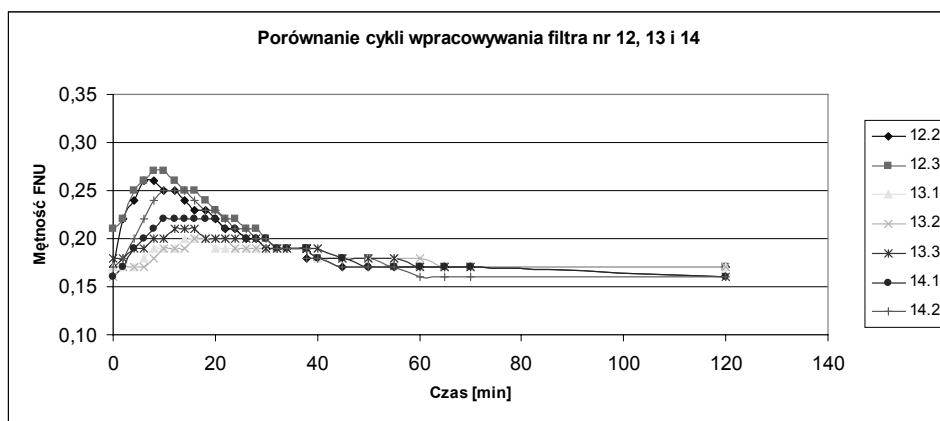
Do pomiaru liczby i wymiarów cząstek stałych użyto licznik cząstek (particles counter) typu PAMAS-SBSS-C-1, działający na zasadzie ekstynkcji światła emitowanego przez diodę laserową, wyposażony w sondę pomiarową typu HCB-LB-LB-25/25-CS, z możliwością pomiaru wielkości cząstek w zakresie od 1 do 25 μm . Oznaczano liczbę cząstek o wymiarach $> 1\mu\text{m}$, $> 2\mu\text{m}$, $> 5\mu\text{m}$, $> 10\mu\text{m}$, $> 15\mu\text{m}$ oraz $> 25\mu\text{m}$. Każdy podany wynik liczby cząstek jest wartością średnią z siedmiu pomiarów.

3. Wyniki badań

3.1. Zmiana jakości wody na etapie wpracowywania filtrów

Wyniki badań procesu filtracji na etapie wpracowywania się filtrów przedstawiono graficznie na rysunkach 1 i 2. Pierwsza liczba w symbolu krzywej na wykresie oznacza numer filtra, a druga liczba – numer cyklu filtracyjnego.

Na rysunku 1 zobrazowano przebieg zmian mętności oznaczanej on-line FNU w siedmiu cyklach filtracyjnych.



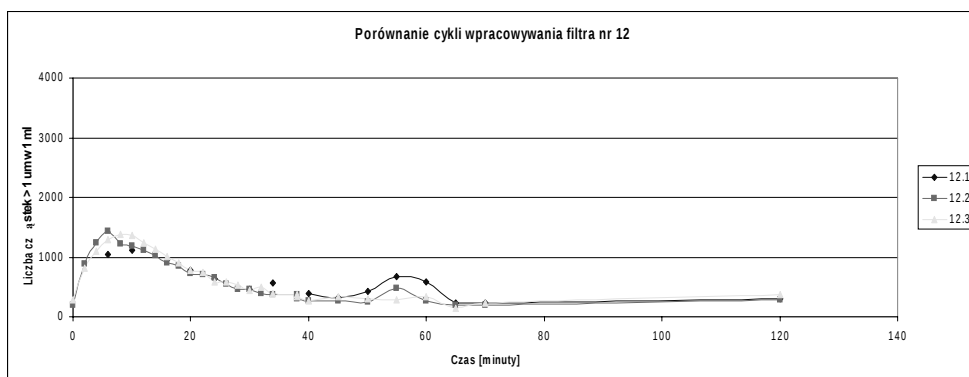
Rys. 1. Porównanie mętności wody podczas wpracowywania filtrów

Fig. 1. Comparison of turbidity changes in water during filters ripening

We wszystkich cyklach filtracyjnych stwierdzono zmianę mętności wody mierzonej on-line od wartości minimalnej, odpowiadającej mętności wody uzdatnionej, do wartości maksymalnej w danym cyklu, a następnie stopniowe obniżanie mętności do osiągnięcia wartości stałej, utrzymującej się przez cały czas trwania cyklu filtracyjnego. Przebieg

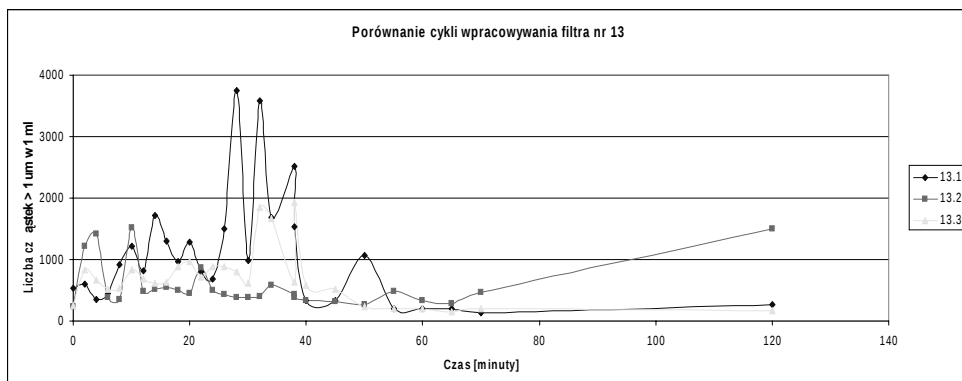
prezentowanych krzywych był typowy dla procesu wpracowywania się filtrów ze stałym złożem filtracyjnym. Zasadniczy wpływ na pogorszenie jakości wody w początkowym okresie pracy filtrów miała prędkość filtracji. Przy najmniejszej prędkości filtracji 2,87 m/h mętność wzrosła od 0,16 do 0,21 FNU, natomiast przy największej prędkości filtracji 3,6 m/h zaobserwowano wzrost mętności od 0,16 do 0,27 FNU. Należy również zwrócić uwagę, że czas po którym stwierdzić można było poprawę jakości wody wydłużył się od ok. 10 minut przy największych prędkościach filtracji do ok. 22 minut przy najmniejszych prędkościach.

Na rysunkach od 2 do 4 zobrazowano zmiany jakości wody w tych samych cyklach filtracyjnych jak przedstawione na rysunku 1, ale wyrażone za pomocą wskaźnika określającego liczbę cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody.



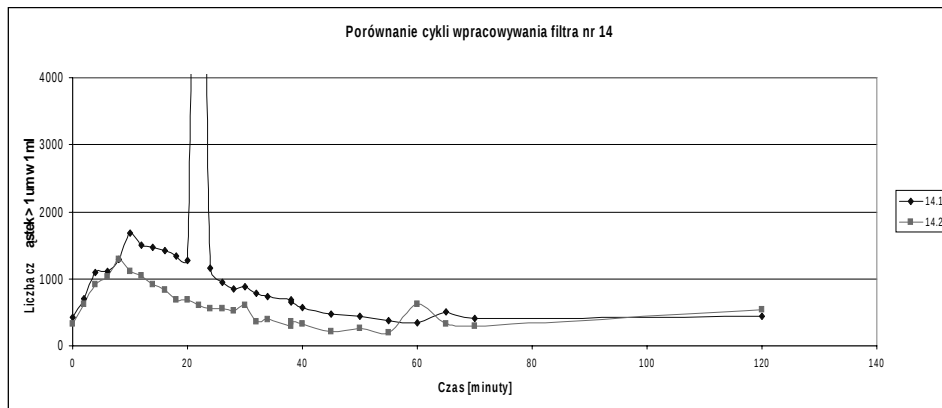
Rys. 2. Porównanie liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w wodzie podczas wpracowywania filtra nr 12

Fig. 2. Comparison of particle counts $> 1 \mu\text{m}$ changes in water during ripening filter No. 12



Rys. 3. Porównanie liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w wodzie podczas wpracowywania filtra nr 13

Fig. 3. Comparison of particle counts $> 1 \mu\text{m}$ changes in water during ripening filter No. 13



Rys. 4. Porównanie liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w wodzie podczas wpracowywania filtra nr 14

Fig. 4. Comparison of particle counts $> 1 \mu\text{m}$ changes in water during ripening filter No. 14

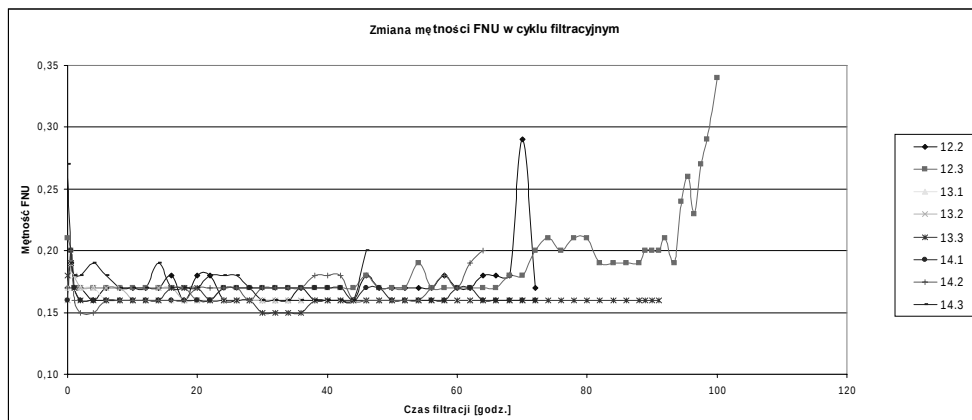
Stwierdzono w cyklu wpracowywania poszczególnych filtrów następujące prawidłowości:

- Filtr nr 12 - linie obrazujące zmiany mętności on-line i liczbę cząstek $> 1 \mu\text{m}$ mają podobny przebieg (współczynnik korelacji pomiędzy wartościami tych wskaźników wyniósł $R^2 = 0,95$).
- Filtr nr 13 - wyznaczona liczba cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w kolejnych próbkach wody po filtracji wahała się w dużym zakresie wartości. Nie ma korelacji między mętnością i liczbą cząstek. Wyniki pomiarów liczby cząstek w wodzie po filtrze wskazują na dużą niestabilność procesu filtracji, zwłaszcza podczas pierwszych 40 minut pracy filtra. Nie zaobserwowano żadnych wahań wartości mętności on-line w tym okresie.
- Filtr nr 14 – przebieg zmian mętności on-line i liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ jest podobny, analogicznie jak w filtrze nr 12, z wyjątkiem jednej próbki wody, w której stwierdzono 10-krotnie większą liczbę cząstek niż w próbkach pobranych dwie minuty wcześniej i dwie minuty później (wzrost liczby cząstek od około 1200 w 1 ml wody do 10808). Wynik badania wskazuje na przebicie filtra. Badana próbka charakteryzowała się również 10-krotnie większą mętnością oznaczoną za pomocą mętnościomierza laboratoryjnego (wzrost z 0,14 do 2,02 NTU). Turbidymetr zamontowany na przewodzie nie wykazał żadnych wahań mętności wody.

3.2. Zmiana jakości wody w cyklu filtracji

Badaniami objęto łącznie 9 cykli filtracyjnych, po 3 cykle dla jednego filtra. Pięć cykli zakończono po 72 lub 96 godzinach, nie osiągając dopuszczalnego poziomu strat ciśnienia na filtrze. Cztery cykle filtracyjne zostały zakończone z uwagi na osiągnięty poziom strat (ok. 200 kPa), przy czym długość poszczególnych cykli była bardzo zróżnicowana i wahała się od 24 do 100 godzin (skrajne wartości dotyczyły tego samego filtra).

Na rysunku 5 przedstawiono zmianę mętności on-line w 8 cyklach filtracyjnych.

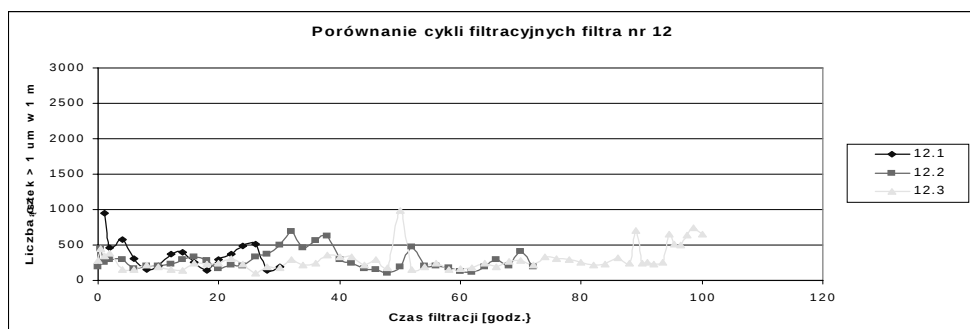


Rys. 5. Porównanie zmian mętności wody uzdatnionej na filtrze nr 12, 13 i 14

Fig. 5. Comparison of turbidity changes in treated water on filter No. 12, 13 and 14

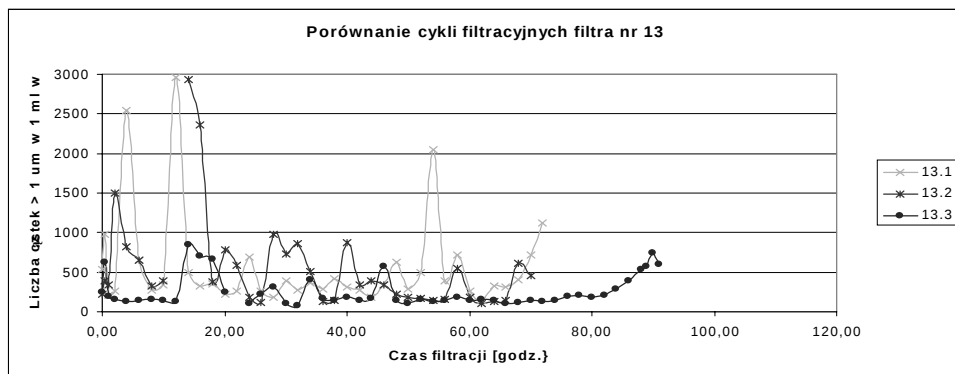
Wartości mętności mierzone on-line w poszczególnych cyklach charakteryzują się dużą stabilnością i wahają się w granicach 0,15 – 0,18 FNU. Nieoczekiwany wzrost mętności odnotowano tylko raz pod koniec drugiego cyklu filtracji przez filtr nr 12 (przy mniejszych oporach przepływu niż założone jako dopuszczalne – 114 kPa). Stały wzrost mętności rejestrowano również przy wydłużaniu cyklu filtracyjnego do 100 godzin (trzeci cykl filtracyjny przez filtr nr 12), osiągając ostatecznie wartość mętności dwukrotnie większą niż optymalna dla tego cyklu (odpowiednio 0,17 i 0,34 FNU), nie osiągając jednak dopuszczalnej wartości spadku ciśnienia.

Na rysunkach od 6 do 9 zobrazowano przebieg zmian jakości wody przefiltrowanej w poszczególnych cyklach filtracyjnych, określonej liczbą cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody.



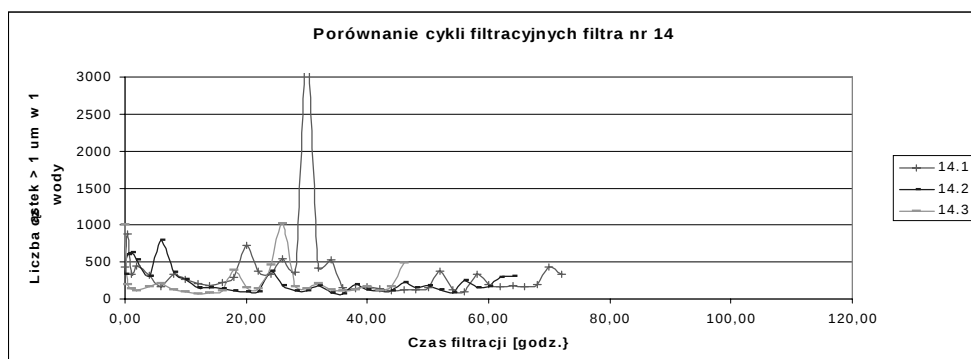
Rys. 6. Porównanie liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w wodzie uzdatnionej po filtrze nr 12

Fig. 6. Comparison of particle counts $> 1 \mu\text{m}$ changes in treated water on filter No. 12



Rys. 7. Porównanie liczby cząstek >1 µm w wodzie uzdatnionej po filtrze nr 13

Fig. 7. Comparison of particle counts >1 µm changes in treated water on filter No. 13



Rys. 8. Porównanie liczby cząstek >1 µm w wodzie uzdatnionej po filtrze nr 14

Fig. 8. Comparison of particle counts >1 µm changes in treated water on filter No. 14

Na podstawie analizy próbek wody pobieranych w trakcie poszczególnych cykli filtracyjnych pod kątem zawartości cząstek > 1 µm stwierdzono:

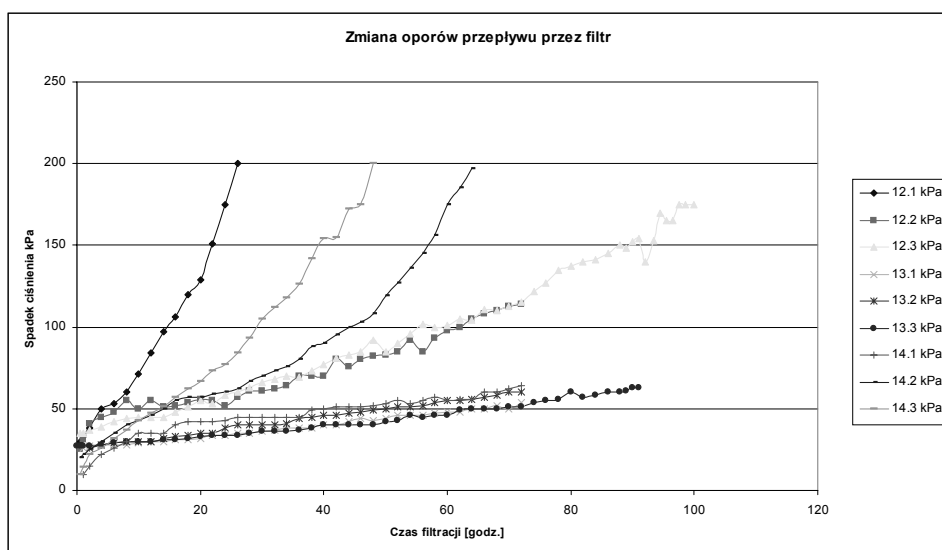
- Woda po filtrze nr 12 we wszystkich cyklach filtracyjnych charakteryzowała się dużą stabilnością z uwagi na zawartość cząstek. Stopniowe zwiększanie liczby cząstek odnotowano, podobnie jak wzrost mętności, przy wydłużaniu cyklu filtracyjnego, ale dopiero po przekroczeniu 90 godzin pracy filtra.
- Woda po filtrze nr 13 charakteryzowała się dużą zmiennością liczby cząstek, podobnie jak miało to miejsce na etapie wpracowywania się filtra. Szczególnie duże wahania odnotowano w pierwszym cyklu filtracyjnym. Podobny wzrost liczby cząstek odnotowano w drugim cyklu filtracyjnym, co było związane było z awarią, która spowodowała zatrzymanie pracy pulsatora i znaczne pogorszenie jakości wody doprowadzanej na filtr.

- Woda po filtrze nr 14 charakteryzowała się stabilną jakością mierzoną liczbą cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody, z wyjątkiem jednej próbki, w której stwierdzono wielokrotnie większą liczbę cząstek niż w pozostałych próbkach. Zjawisko takie stwierdzono również na etapie wpracowywania się filtra. Wzrostowi liczby cząstek odpowiadał wzrost mętności mierzonej mętnościomierzem laboratoryjnym, ale nie zaobserwowano wzrostu mętności mierzonej on-line.

3.3. Zmiana oporów przepływu w cyklu filtracji

Równoległe z pomiarami zmian jakości wody w cyklach filtracyjnych odnotowywano zmiany spadku ciśnienia przy przepływie przez filtr.

Uzyskane dane zobrazowano na rysunku 9.



Rys. 9. Porównanie zmian oporów przepływu przez filtry

Fig. 9. Comparison of filter resistance changes

Analizując zmiany oporów przepływu w poszczególnych cyklach filtracyjnych można zauważyć duże zróżnicowanie w przebiegu procesów filtracyjnych przez poszczególne filtry:

- W badaniach filtra nr 12 stwierdzono jeden cykl bardzo krótki (spadek ciśnienia do 200 kPa już po 24 godzinach) i dwa cykle bardzo stabilne, z których żaden nie osiągnął wartości dopuszczalnej nawet po 100 godzinach pracy. Wiadomo, że drastyczne skrócenie pierwszego cyklu filtracyjnego spowodowane było dużą zawartością powietrza w wodzie i zapowietrzeniem złoża.
- Filtr nr 13 charakteryzował się dużą stabilnością pracy (trzy cykle filtracyjne miały niemal identyczny przebieg zmian oporów) i bardzo małym przyrostem oporów do końca trwania cyklu filtracyjnego (max. do 63 kPa po 96 godzinach).

- W badaniach filtra nr 14 zaobserwowano jeden cykl filtracyjny charakteryzujący się bardzo małym przyrostem ciśnienia (max. do 64 kPa), natomiast dwa następne cykle filtracyjne zostały skrócone ze względu na szybki wzrost oporów przepływu do wartości granicznej 200 kPa. Należy zauważyć, że stwierdzone dwa przypadki przebicia filtra miały miejsce w pierwszym cyklu filtracyjnym.

Nie stwierdzono żadnej korelacji między wielkością oporów przepływu przez filtry w poszczególnych cyklach filtracyjnych i jakością wody.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania skuteczności usuwania zawiesiny z wody w procesie filtracji przez trzy filtry pośpieszne wykazały, że:

- woda uzdatniona charakteryzowała się bardzo niską mętnością oznaczaną on-line (wartość mediany) 0,16 – 0,17 FNU i spełnia wymagania określone ze względu na zapobieganie kryptosporidiozie (wartość dopuszczalna 0,15 NTU),
- w okresie wpracowywania się filtrów skuteczność filtracji była mniejsza (wzrost mętności do max. 0,27 FNU), ale nie stwierdzono przekroczenia maksymalnej wartości dopuszczalnej (max. 0,30 NTU),
- zwiększenie mętności w okresie wpracowywania filtrów jak i przedział czasu, w którym zjawisko to miała miejsce, zależały od prędkości filtracji,
- w procesie filtracji przez jeden z filtrów (nr 14) na podstawie pomiarów liczby cząstek stwierdzono dwa przypadki przebicia złoża, którym towarzyszyło znaczne pogorszenie jakości wody, przy czym zjawiska te nie były rejestrowane przez pomiar mętności on-line, natomiast zostały potwierdzone pomiarem mętności w warunkach laboratoryjnych,
- nie stwierdzono jednoznacznego związku między wzrostem oporów na filtrze do wartości granicznej 200 kPa, a jakością wody przefiltrowanej.

Wyniki badań potwierdziły potrzebę ciągłego monitorowania pracy filtrów na podstawie pomiarów mętności on-line.

Zastosowanie pomiarów liczby cząstek umożliwiło wychwycenie zjawisk takich jak przebicie złoża filtracyjnego oraz niestabilne warunki pracy filtra, co nie było możliwe do ustalenia innymi metodami, a miało wpływ na skuteczność filtracji. Zebrane w trakcie badań informacje mogą być wykorzystane do optymalizacji pracy filtrów, dotyczących procesu płukania przeciwprowodowego i współprzewodowego czy sterowania długością cyklu filtracyjnego, a także mogą stanowić uzasadnienie przy podejmowaniu decyzji dotyczących remontu czy modernizacji filtrów.

Zależności dotyczące warunków filtracji (np. przebieg procesu wpracowywania się złoża), ustalone w trakcie zaprezentowanych badań, dotyczą wyłącznie badanych filtrów. Optymalne parametry pracy filtrów należy ustalać zawsze indywidualnie w zależności od jakości wody doprowadzanej na filtr, wymagań stawianych wodzie uzdatnionej oraz warunków pracy filtrów.

Bibliografia

- [1] Guidelines for Drinking-water Quality. First Addendum to Third Edition, Vol. 1 Recommendations, WHO, 2006.3, 25-28
- [2] Harrington G.W., Xagorarakis I., Assavasilavasukul P., Standridge J.H. Effect of Filtration Conditions on Removal of Emerging Waterborne Pathogens. *Journal AWWA*, 2003, 95(12), 95-104
- [3] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 61, poz. 417)
- [4] Toczyłowska B. Skuteczność usuwania zawiesin w złożach filtrów DynaSand i DYNAMIC. *OCHRONA ŚRODOWISKA*, 2005, 3, 51-54
- [5] Toczyłowska B. Rola wskaźników pomocniczych w ocenie zagrożenia zdrowia ludzi obecnością oocyst *Cryptosporidium* w wodzie. *OCHRONA ŚRODOWISKA*, 2007, 3, 25-28
- [6] US EPA National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule, 40 CFR Part 9, 141, and 142, 2006
- [7] US EPA Membrane Filtration Guidance Manual. EPA 815-R-06-009, Nov. 2006