

Bożenna TOCZYŁOWSKA

*Institut Techniki Budowlanej
Zakład Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska
Warszawa*

OCENA SKUTECZNOŚCI FILTRACJI PRZEZ FILTRY POŚPIESZNE ZE WZGLĘDU NA ZAGROŻENIE ZDROWIA LUDZI OOCYSTAMI *CRYPTOSPORIDIUM*

**EVALUATION OF DIRECT FILTRATION EFFICIENCY WITH REGARD
TO POTENTIAL THREAT TO HUMAN HEALTH DUE TO THE
PRESENCE OF *CRYPTOSPORIDIUM* OOCYSTS**

*In case of drawing surface waters for municipal purposes one shall reckon with the possibility of contamination these waters with pathogenic parasites among other parasites *Cryptosporidium* oocysts. The condition to reach parasites free water is to provide the efficiency filtration process, even without temporary worsening of filtrate quality. The results of research provided in five Water Treatment Plants, in which water filtration efficiency were estimated, based on turbidity measurements and measurements of quantity of particles > 1 μm , > 2 μm and > 5 μm , with special involvement of the period right after filters rinsing were presented in the paper. Possible causes of filtrate worsening in tested filtration cycles were indicated. The *Cryptosporidium* oocysts hazard in treated water was estimated based on accepted filtration efficiency criteria.*

1. Wprowadzenie

Badania środowiskowe wód powierzchniowych w Polsce wykazały bardzo wysoki odsetek prób skażonych oocystami *Cryptosporidium* [1,2]. W przypadku ujmowania na cele komunalne wód powierzchniowych lub mieszanych, konieczne jest stosowanie metod uzdatniania wody, które zapewnią wodę do picia bezpieczną dla ludzi, tzn. taką, w której nie będą obecne pasożyty chorobotwórcze w postaci inwazyjnej. Z uwagi na powyższe, w konwencjonalnych układach uzdatniania wody, obejmujących koagulację i filtrację pośpieszną, szczególnie ważne jest zapewnienie skutecznej filtracji wody w całym cyklu filtracyjnym. Filtracja pośpieszna jest procesem, który powinien być stale kontrolowany z uwagi na możliwość pogarszania się jakości filtratu. Podstawowym parametrem kontroli jakości wody przefiltrowanej jest jej mętność.

Wg wytycznych US EPA ze względu na usuwanie oocyst *Cryptosporidium* woda prefiltrowana powinna charakteryzować się mętnością nie większą niż 0,15 NTU, przy czym dopuszcza się chwilowe pogorszenie jej jakości do max. 0,3 NTU [3].

Na pogorszenie jakości wody w cyklu filtracyjnym wpływ może mieć wiele czynników [4-7]:

- duża porowatość złoża po płukaniu filtra,
- niedostateczne wypłukanie złoża filtracyjnego,
- wyczerpywanie się pojemności złoża na zanieczyszczenie,
- zaburzenie przepływu spowodowane gwałtowną zmianą wartości natężenia przepływu,
- przebicie złoża filtracyjnego,
- uszkodzenie drenażu.

Dla zapewnienia w warunkach eksploatacyjnych wody o średniej mętności nie większej niż 0,15 NTU (chwilowo wzrost maksymalnie do 0,3 NTU) konieczne jest prowadzenie stałej kontroli pracy filtrów w całym cyklu filtracyjnym i wyeliminowanie wszystkich czynników, które mają wpływ na pogarszanie jakości filtratu.

W referacie przedstawiono wyniki badań, które miały na celu ocenę skuteczności filtracji przez filtry pośpieszne ze względu na usuwanie oocyst *Cryptosporidium*.

2. Przedmiot i metodyka badań

2.1 Charakterystyka badanych obiektów

Badania przeprowadzono w pięciu Zakładach Produkcji Wody zasilanych wodą powierzchniową (oznaczone symbolem A, B, D, E, F). Przedmiotem badań było 11 różnych filtrów pośpiesznych, w tym 10 filtrów otwartych i jeden filtr ciśnieniowy. Łącznie badaniami objęto 17 pełnych cykli filtracyjnych oraz dodatkowo dwa cykle wpracowywania się filtrów po płukaniu.

Poniżej podano podstawowe dane dotyczące procesów uzdatniania wody w poszczególnych badanych ZPW.

ZPW A

Źródłem wody surowej jest rzeka nizinna I. Woda uzdatniana jest metodą filtracji wstępnej oraz koagulacji w pulsatorze przy użyciu koagulantu glinowego. Przed doprowadzeniem na filtr woda jest alkalizowana przy użyciu mleka wapiennego. Do badań wybrano trzy filtry piaskowe, pośpieszne, otwarte, o takiej samej konstrukcji, po różnym czasie eksploatacji od ostatniego remontu. Oceniono po trzy cykle filtracyjne dla każdego filtra.

Parametry pracy filtrów były następujące:

- 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 powietrzem przez 3 minuty, a następnie wodą uzdatnioną przez 8 minut,
- płukanie współprądowe 10 minut (spust pierwszego filtratu).

ZPW B

Źródłem wody surowej jest rzeka nizinna I. Proces uzdatniania wody obejmuje infiltrację oraz filtrację pośpieszną. Nie stosuje się procesu koagulacji. Badaniami skuteczności filtracji objęto dwa filtry pośpieszne, otwarte, ze złożem piaskowym oraz jeden filtr ze złożem piaskowo-węglowym, pracujące równolegle.

Parametry eksploatacji filtrów były następujące:

- czas trwania cykli filtracyjnych 9 dni,
- prędkość filtracji 2,3 do 3 m/h w przypadku filtrów piaskowych i 2 m/h w przypadku filtra piaskowo-węglowego,
- wysokość warstwy filtracyjnej filtra piaskowego 1,3 m, filtra piaskowo-węglowego 0,8 m + 0,4 m,
- płukanie powietrzem (tylko filtry piaskowo-węglowe) przez 3 minuty i wodą uzdatnioną przez 8 minut, nie stosuje się płukania współprądowego (spustu pierwszego filtratu).

Dodatkowo przeprowadzono badania na stacji modelowej. Oceniono skuteczność filtracji przez filtr piaskowy z drenażem szczelinowym.

ZPW D

Stacja zasilana jest wodą z rzeki nizinnej III. Woda była uzdatniana metodą koagulacji objętościowej przy użyciu koagulantu żelazowego (zamiennie stosowany jest również koagulant glinowy), filtrowana oraz ozonowana. Przedmiotem badań były dwa filtry piaskowe: jeden filtr eksploatowany od wielu lat, natomiast drugi filtr został oddany do eksploatacji 4 m-ce przed przeprowadzeniem badań.

Parametry procesu filtracji:

- długość cyklu filtracyjnego do 5 dni, w zależności od jakości wody,
- prędkość filtracji 1,1 ÷ 1,8 m/h,
- wysokość warstwy filtracyjnej 0,6 m
- płukanie wodą ze zbiornika wody czystej przez 5 minut,
- nie stosuje się spustu pierwszego filtratu,
- filtr stary z drenażem grzybkowym, filtr nowy z drenażem szczelinowym .

ZPW E

Woda surowa ujmowana jest bezpośrednio z potoku górskiego. Uzdatnianie realizowane jest metodą koagulacji kontaktowej na złożu piaskowo-antracytowym. Koagulant dodawany jest do wody tylko w okresie podwyższonej mętności. Woda przefiltrowana jest dezynfekowana za pomocą promieniowania UV.

Parametry filtracji:

- długość cyklu filtracyjnego jest zmienna, w zależności od jakości wody,
- prędkość filtracji max. 4,8 m/h, zależna od pracy układu pompowego,
- wysokość warstwy piasku 1,2 m, wysokość warstwy antracytu 0,3 m,
- płukanie powietrzem wszystkich filtrów jednocześnie przez 4 minuty,
- płukanie wodą surową przeciwprądowo, a następnie płukanie współprądowe wodą surową z dodatkiem koagulantu. Pełny cykl płukania trwa 30 minut.

ZPW F

Woda surowa ujmowana jest z rzeki podgórskiej II.

Uzdatnianie wody obejmuje koagulację objętościową przy użyciu koagulantu glinowego, sedymentację oraz filtrację pospieszną przez filtry piaskowe, ciśnieniowe (zamknięte). Woda przefiltrowana jest dezynfekowana przy użyciu promieniowania UV.

Badania skuteczności filtracji przeprowadzono na filtrze pracującym w następujących warunkach:

- długość cyklu filtracyjnego 24 – 36 godz. w zależności od jakości wody,
- prędkość filtracji 12 m/h,
- wysokość złoża filtracyjnego bez warstwy podtrzymującej 1,5 m,
- płukanie powietrzem 5 minut i wodą uzdatnioną przez 10 – 15 minut w zależności od jakości wody,
- płukanie współprądowe (spust pierwszego filtratu) do uzyskania mętności wody < 0,2 NTU.

2.2 Metoda badania

Celem badań była ocena warunków pracy filtrów na różnych etapach cyklu filtracyjnym na podstawie pomiarów wskaźników określających skuteczność filtracji.

W badaniach oceniono:

- przebieg zmian jakości filtratu w okresie wpracowywania się filtrów (2 godziny),
- przebieg zmian jakości filtratu w całym cyklu filtracyjnym, z uwzględnieniem okresu wyczerpywania się pojemności złoża, o ile było to możliwe,
- wpływ jakości wody wprowadzanej na filtr na skuteczność filtracji,
- jakość wody zmieszanej wprowadzanej do sieci wodociągowej.

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

- co 2 minuty - od momentu włączenia filtra do pracy po zakończeniu płukania przeciwprądowego przez 40 minut,
- co 5 minut - przez dalszych 30 minut pracy filtra,
- co 2 – 8 godzin – do końca badań.

Oznaczenie mętności w próbkach jednorazowych wykonywano przy użyciu mętnościomierza typu 2100 P firmy HACH.

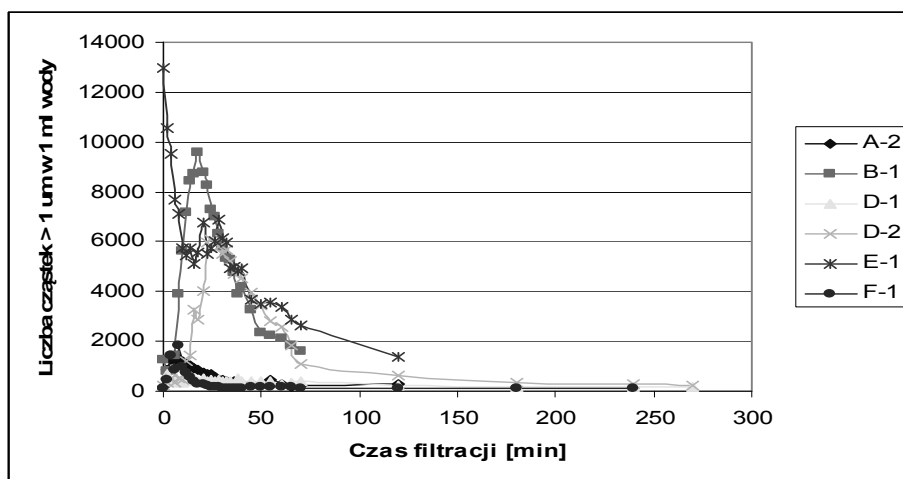
Do pomiaru liczby i wymiarów cząstek stałych użyto licznik cząstek (particles counter) typu PAMAS-SBSS-C-1. Oznaczano liczbę cząstek o wymiarach > 1 μm , > 2 μm , > 5 μm , > 10 μm , > 15 μm oraz > 25 μm w 1 ml wody.

2.3 Dyskusja wyników badań**2.3.1 Zmiana jakości wody na etapie wpracowywania filtrów**

Ogółem badaniami objęto 19 cykli filtracyjnych w pierwszym okresie po płukaniu filtrów (tzw. etap wpracowywania się filtrów). Wyniki badań procesu filtracji przedstawiono graficznie na rysunkach 1-3 na przykładzie wybranych sześciu cykli filtracyjnych.

Pierwsza litera w symbolu krzywej na wykresie oznacza obiekt, na którym prowadzono badania, a liczba – numer cyklu filtracyjnego.

Na rysunku 1 zobrazowano przebieg zmian liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody w pierwszym etapie filtracji przez badane filtry.



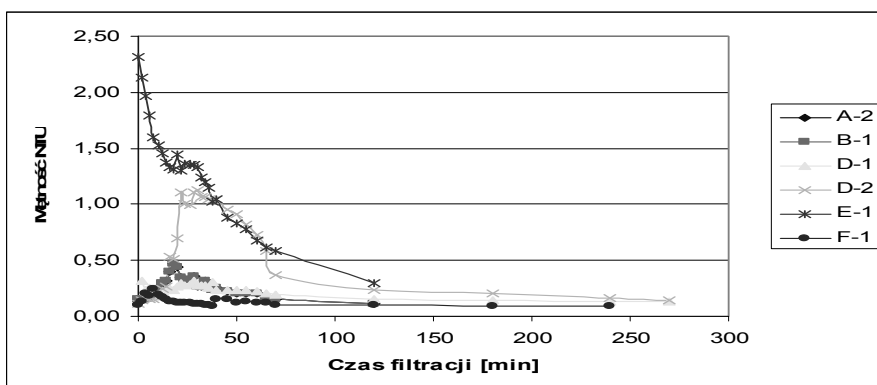
Rys. 1. Porównanie zmian liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody w okresie po płukaniu filtrów

Fig. 1. Comparison of quantity of particle $> 1 \mu\text{m}$ in 1 ml of water after filter rinsing

Z wykresów wynika, że przebieg zmian jakości wody przefiltrowanej po zakończeniu płukania złoża filtracyjnego dla poszczególnych filtrów był bardzo różny, zarówno w odniesieniu do koncentracji zanieczyszczeń określonych liczbą cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody, jak też czasu dochodzenia do warunków ustalonych. W prezentowanych na wykresie pięciu cyklach filtracyjnych stwierdzono zwiększanie się liczby cząstek od wartości minimalnej, odpowiadającej ich liczbie w wodzie uzdatnionej, stosowanej do płukania filtrów, do wartości maksymalnej w danym cyklu, a następnie stopniowe obniżanie wartości tego wskaźnika do osiągnięcia wartości stałej, utrzymującej się przez cały czas trwania cyklu filtracyjnego. Przebieg prezentowanych krzywych jest typowy dla procesu wpracowywania się filtrów ze stałym złożem filtracyjnym, płukanych wodą uzdatnioną. Należy zwrócić uwagę na ogromne różnice w przebiegu krzywych w poszczególnych cyklach: w cyklu B-1 i D-2 maksymalna liczba cząstek $> 1 \mu\text{m}$ wzrastała do 6 – 10 tysięcy, podczas gdy w cyklach A-2, D-1 i F-1 maksymalna liczba cząstek nie była większa niż 1800 w 1 ml. Inny przebieg miała krzywa obrazująca zmianę jakości wody po zakończeniu płukania filtra oznaczonego symbolem E-1, do czego wykorzystywana była woda surowa. W tym przypadku maksymalne zanieczyszczenie wody stwierdzono w próbce pobranej bezpośrednio po zakończeniu płukania współprądowego. Należy również zwrócić uwagę, że czas, po którym stwierdzić można było zakończenie

procesu stabilizowania się pracy filtra był bardzo różny dla poszczególnych cykli i wahał się od kilkunastu minut do 6 – 8 godzin.

Rysunek 2 obrazuje zmiany jakości wody w tych samych cyklach filtracyjnych jak przedstawione na rysunku 3, ale wyrażone za pomocą wskaźnika mętności NTU.



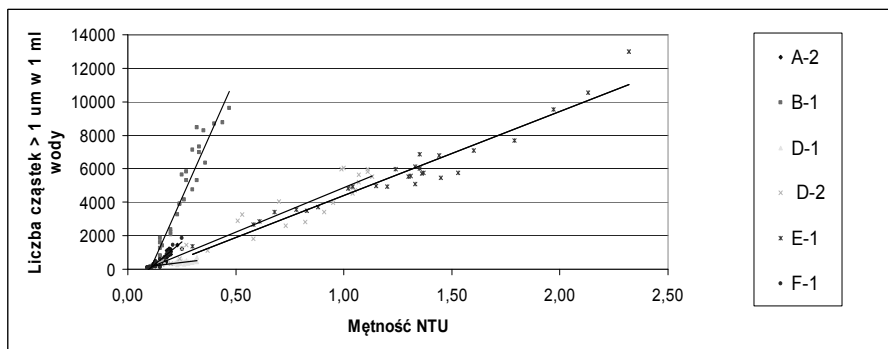
Rys.2. Porównanie zmian mętności wody w okresie po płukaniu filtrów

Fig. 2. Comparison of water turbidity NTU after filter rinsing

Przebieg zmian mętności w poszczególnych cyklach filtracyjnych był analogiczny jak w przypadku zmian liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml. Wyjątek stanowi filtr B-1. W filtracji po tym filtrze stwierdzono bardzo duży wzrost zanieczyszczenia w postaci cząstek $> 1 \mu\text{m}$ (prawie 10 000 w 1 ml) przy względnie niedużym wzroście mętności (do 0,47 NTU).

Należy podkreślić, że w przypadku dwóch filtrów B-1 i D-2, które charakteryzowały się znacznym pogorszeniem jakości wody w pierwszej fazie cyklu filtracyjnego, woda przefiltrowana była bardziej zanieczyszczona niż woda doprowadzana na filtr. Wynika z powyższego, że następowało stopniowe oczyszczanie się złoża filtracyjnego z zanieczyszczeń, które nie zostały wypłukane w procesie płukania. Proces oczyszczania złoża trwał nawet do 6 godzin.

Dla lepszego poznania mechanizmu procesu pogarszania się jakości wody po płukaniu filtrów przedstawiono graficznie na Rys.3 zależność między liczbą cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody i jej mętnością.



Rys 3. Zależność między liczbą cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody i jej mętnością dla wybranych filtrów w okresie pracy

Fig. 3. The dependence between quantity of particles $> 1 \mu\text{m}$ in 1 ml of water and their turbidity tested for selected filters after rinsing.

Z powyższych zależności widać, że korelacja między liczbą cząstek i mętnością dla poszczególnych wód była bardzo różna. Np. porównując korelację dla cyklu D-1 i B-1 można stwierdzić, że przy takiej samej mętności 0,24 NTU w wodzie D-1 jest 10 razy mniej cząstek niż w wodzie B-1 (odpowiednio ok. 700 i 7000 w 1 ml).

Z tych korelacji można wnioskować o przyczynach gorszej jakości wody po płukaniu filtra.

W trakcie badań zaobserwowano w niektórych cyklach filtracyjnych chwilowe pogarszanie jakości filtratu. Można sądzić, że przyczyny mogły być następujące:

- przebicia filtrów w wyniku uszkodzenia drenażu,
- zaburzenia przepływu spowodowane zakłóceniami w pracy armatury regulacyjnej,
- nierównomierna praca układu pompowego.

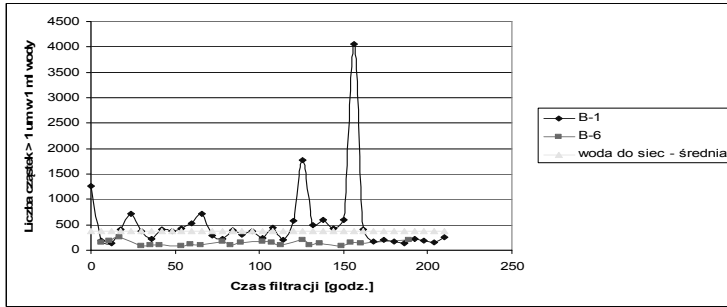
Ponadto oceniono, że spuszczenie pierwszego filtratu w dwóch ZPW (A i F) było nieuzasadnione z punktu widzenia jakości wody przefiltrowanej.

2.3.2 Zmiana jakości wody w cyklu filtracyjnym

Badaniami objęto łącznie 11 filtrów w pięciu Zakładach Produkcji Wody. Łącznie przebadano 17 pełnych cykli filtracyjnych, trwających od 24 godzin do 9 dni. Na obiekcie A dla trzech filtrów badania przeprowadzono trzykrotnie. Wyniki badań skuteczności filtracji w ZPW A omówiono szczegółowo w pracy [8].

Na kolejnych trzech rysunkach od 4 do 6 przedstawiono zmianę liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody w wybranych cyklach filtracyjnych badanych w ZPW B, D, E i F. Na wykresach porównano zmianę jakości wody po pojedynczym filtrze w czasie trwania cyklu filtracyjnego, po ustabilizowaniu się jakości wody po płukaniu, z jakością wody zmieszanej wprowadzanej do sieci wodociągowej (wartość średnia liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody oznaczona w trakcie prowadzenia badań).

Na Rys. 4 przedstawiono zmiany wskaźnika jakości wody po filtrze piaskowym B-1, eksploatowanym w Zakładzie Produkcji Wody B, oraz po filtrze piaskowym B-6 z drenażem szczelinowym, eksploatowanym w stacji modelowej w tym Zakładzie.



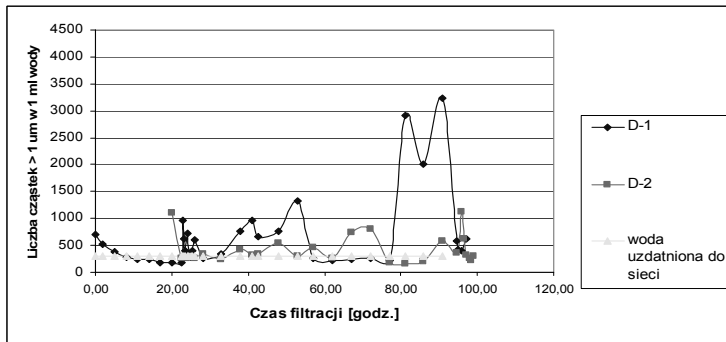
Rys 4. Zmiana liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody w cyklach filtracyjnych - ZPW B, cykle B-1 i B-6

Fig. 4. The change of quantity of particles $> 1 \mu\text{m}$ in 1 ml of water in filtration cycle - object B, cycle B-1, B-6

Oceniając zmiany jakości wody na podstawie krzywych przedstawionych na rys. 4 można stwierdzić, że:

- praca filtra na stacji modelowej w cyklu B-6 była stabilna, wartości wskaźnika jakości wody znacznie poniżej średniej dla wody uzdatnionej,
- praca filtra w cyklu B-1 charakteryzowała się dużą nierównomiernością, wartości wskaźnika jakości wody często powyżej średniej dla wody uzdatnionej,
- w próbce wody, w której stwierdzono znaczny wzrost liczby cząstek nie stwierdzono zwiększenia mętności wody powyżej 0,3 NTU.

Kolejny rysunek (Rys. 5) obrazuje cykle pracy dwóch filtrów piaskowych eksploatowanych w Zakładzie Produkcji Wody D. Filtr D-1 pracuje od wielu lat, złożone ma właściwości sorpcyjne dzięki warstwie osadu złożonego z produktów koagulacji, trwale związanego z powierzchnią ziaren. Filtr D-2 jest filtrem nowym, z drenażem szczelnym i nie wykazuje własności sorpcyjnych.

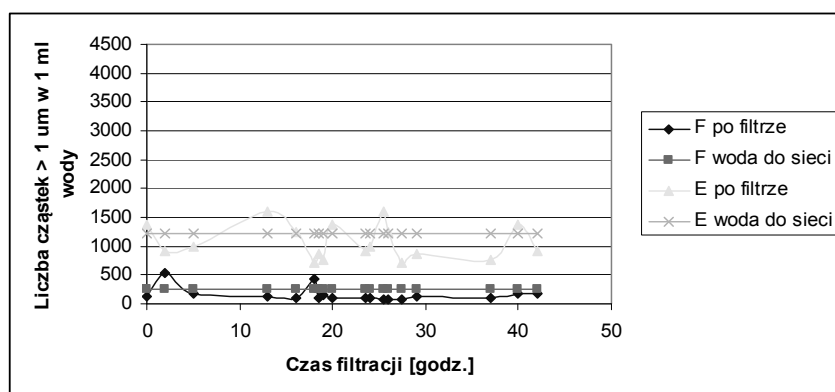


Rys 5. Zmiana liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody w cyklach filtracyjnych - ZPW D, cykl D-1 i D-2

Fig. 5. The change of quantity of particles $> 1 \mu\text{m}$ in 1 ml of water in filtration cycle - object D, cycle D-1, D-2

Pracujące równolegle dwa filtry D-1 i D-2 zasadniczo różniły się ze względu na stabilność pracy: wahania wartości wskaźnika jakości wody po filtrze z drenażem szczelnym (przy takiej samej wysokości złoża) są znacznie mniejsze niż w przypadku filtra D-1. Należy zwrócić uwagę, że średnia wartość liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody zmieszanej, po filtracji i ozonowaniu, wprowadzanej do sieci wodociągowej jest niższa niż wody po pojedynczych filtrach. Prawdopodobnie ta dotyczy również wskaźnika mętności. Można sądzić, że skuteczność filtrowania przez inne filtry w ZPW D jest lepsza niż przez badane filtry. Nie stwierdzono korelacji między natężeniem przepływu i jakością filtratu. Zdaniem operatorów wpływ na gwałtowne zmiany jakości wody ma armatura regulacyjna.

Na Rys. 6 zobrazowano zmiany jakości wody przefiltrowanej po pojedynczym filtrze w Zakładzie Produkcji Wody E oraz w Zakładzie Produkcji Wody F. Filtr E pracuje okresowo, sterowany układem pompowym, natomiast filtry F pracują ze stałą wydajnością.



Rys 6. Zmiana liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ w 1 ml wody w cyklach filtracyjnych - ZPW E i F

Fig. 6. The change of quantity of particles $> 1 \mu\text{m}$ in 1 ml of water in filtration cycle – object E and F

Z przedstawionych danych wynika:

- praca filtra w ZPW F była bardzo stabilna, jakość wody była porównywalna z jakością wody zmieszanej wprowadzanej do sieci wodociągowej,
- praca filtra w ZPW E była niestabilna, ale wahania liczby cząstek $> 1 \mu\text{m}$ nie były znaczące. Średnia wartość wskaźników zanieczyszczenia wody zmieszanej wprowadzanej do sieci była większa niż średnia tych wskaźników dla badanego filtra. Można sądzić, że woda po pozostałych filtrach jest gorszej jakości niż po filtrze badanym (filtry mogą pracować przy różnym obciążeniu).

2.3.3 Podsumowanie

Badania skuteczności filtracji wody przez filtry pośpieszne umożliwiły:

- określenie charakteru zmian jakości wody w okresie po płukaniu filtra (w okresie wpracowywania), tj. zakres zmian jakości filtratu i czas stabilizacji,
- wychwycenie zjawiska krótkotrwałego pogarszania się jakości wody przefiltrowanej,
- ocenę stabilności pracy filtrów,
- ocenę wpływu płukania na jakość wody.

Wyniki badań nad skutecznością procesu filtracji wykazały, że największe zagrożenie dla jakości filtratu jest związane z procesem płukania.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że pogarszanie się jakości filtratu po uruchomieniu filtrów po płukaniu przebiegało na trzy różne sposoby:

1. Zakład Produkcji Wody A (9 cykli) oraz F (1 cykl) - Wystąpiło jedno maksimum pogorszenia jakości filtratu, ale pomijalnie małe (mętność wody w żadnym punkcie nie przekroczyła wartości 0,3 NTU). Wartości maksymalne wskaźników stwierdzono 10 – 15 minut po uruchomieniu filtracji (czas potrzebny na przepływ wody przez złożę filtracyjne), ale jakość filtratu była zawsze lepsza niż wody zasilającej filtr. Stabilizacja jakości filtratu następowała 30 - 60 minut po uruchomieniu przepływu. Taki przebieg zmian jakości wody po płukaniu był charakterystyczny dla filtrów piaszkowych, zasilanych wodą wstępnie uzdatnioną metodą koagulacji objętościowej przy użyciu koagulantów glinowych, płukanych wodą uzdatnioną. Wszystkie badane filtry były płukane współprądowo (spust pierwszego filtratu przez ok. 10 minut). Ponieważ jednak maksimum pogorszenia jakości filtratu występowało już w czasie normalnej pracy filtra, to ten etap płukania nie miał żadnego znaczenia dla jakości wody uzdatnionej.
2. Zakład Produkcji Wody B (6 cykli) i D (D-2) – Wystąpiło bardzo znaczące pogorszenie jakości filtratu (wzrost mętności nawet > 1 NTU) z jednorazowym maksimum 15-25 minut po uruchomieniu filtracji (filtrat zanieczyszczony bardziej niż woda zasilająca filtry). Zjawisko takie występowało po płukaniu filtrów zasilanych wodą po infiltracji zanieczyszczoną związkami żelaza i manganu oraz po koagulacji przy użyciu koagulantu żelazowego, płukanych wodą uzdatnioną. Pogorszenie jakości filtratu trwało do 6 – 8 godzin.
3. Zakład Produkcji Wody E - Bardzo silne pogorszenie jakości filtratu z dwoma lokalnymi maksimami: pierwsze bezpośrednio po uruchomieniu przepływu, drugie po ok. 30 minutach filtracji. Jakość filtratu od samego początku pracy filtra była lepsza niż wody zasilającej.

Z powyższego widać, że największe zagrożenie dla jakości filtratu miało miejsce tam, gdzie zanieczyszczenia zatrzymane na złożu nie były usuwane skutecznie w procesie płukania, a oczyszczanie złoża odbywało się stopniowo przez kilka godzin po włączeniu filtra do pracy. Opisany powyżej przebieg zmian jakości filtratu wskazuje, że zanieczyszczenia zatrzymane na złożu nie tylko gromadziły się w przestrzeni między ziarnami, ale oblepiały ziarna osadem, tworzącym warstwę podobną do błony biologicznej, ściśle związaną z powierzchnią ziaren. Osad ten nie był usuwany w procesie płukania. Przyczepność zanieczyszczeń zależała w dużym stopniu od materiały filtracyjnego i była mniejsza na złożu o własnościach sorpcyjnych w porównaniu ze złożem piaskowym.

Zależności dotyczące warunków filtracji (np. przebieg procesu wpracowywania się złoża), ustalone w trakcie prowadzenia 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.

3. Ocena skuteczności filtracji ze względu na zagrożenie oocystami *Cryptosporidium*

Do oceny wpływu parametrów technologicznych procesu filtracji na ryzyko skażenia filtratu oocystami *Cryptosporidium* przyjęto, że nie ma zagrożenia przedostania się oocyst do wody uzdatnionej, jeśli stosowane wskaźniki jakości wody spełniają następujące kryteria [9]:

- średnia wartość mętności wody nie większa niż 0,15 NTU,
- maksymalna chwilowa mętność wody nie większa niż 0,3 NTU,
- liczba cząstek > 2 μm nie większa niż 250 w 1 ml wody,
- liczba cząstek > 5 μm nie większa niż 50 w 1 ml wody.

Średnie i maksymalne wartości liczby cząstek > 2 μm i > 5 μm w 1 ml wody oraz mętności dla poszczególnych badanych cykli filtracyjnych zestawiono w Tabeli 1–3.

Tab. 1. Jakość filtratu

Tab. 1. Filtrate quality

Wskaźniki jakości filtratu	Liczba cząstek w 1 ml				Mętność NTU	
	> 2 μ		> 5 μm			
	max	średnia	Max	średnia	Max	średnia
Wart. dop.	250	-	50	-	0,3	0,15
Jakość filtratu w okresie 2 godzin po płukaniu						
ZPW A	3377	77	903	17	2,02	0,14
ZPW B	329	100	94	18	0,53	0,28
ZPW B stm	137	49	34	13	0,52	0,31
ZPW D-1	130	74	34	20	0,32	0,24
ZPW D-2	65	41	13	7	1,13	0,59
ZPW E	294	115	43	19	2,32	1,26
ZPW F	349	43	61	7	0,67	0,13
Jakość filtratu w cyklu filtracyjnym po ustabilizowaniu się procesu						
ZPW A	1537	76	469	20	0,27	0,11
ZPW B	539	59	143	14	0,46	0,11
ZPW stm	57	33	22	10	0,09	0,08
ZPW D-1	483	134	88	31	0,43	0,19
ZPW D-2	193	78	38	18	0,24	0,15
ZPW E	77	56	18	12	0,36	0,29
ZPW F	104	27	18	5	0,20	0,11

Wskaźniki jakości filtratu	Liczba cząstek w 1 ml				Mętność NTU	
	> 2 μ		> 5 μ			
	max	średnia	Max	średnia	Max	średnia
Wart. dop.	250	-	50	-	0,3	0,15
Jakość wody wprowadzanej do sieci wodociągowej						
ZPW A	172	72	33	14	0,11	0,08
ZPW B	144	52	36	12	0,20	0,11
ZPW D	60	42	16	10	0,16	0,13
ZPW E	278	176	62	50	0,33	0,29
ZPW F	119	46	31	10	0,14	0,11

Wyniki pomiarów wskazują, że w czterech na pięć badanych Zakładów Produkcji Wody woda wprowadzana do sieci spełniała kryteria określone ze względu na ryzyko przejścia oocyst *Cryptosporidium* przez układ uzdatniania.

Obserwowano jednak okresowe pogorszenie jakości filtratu ze względu na mętność i/lub liczbę cząstek stałych w czterech ZPW. Tylko w jednym ZPW nie stwierdzono żadnego przekroczenia wartości wskaźników. Największe pogorszenie jakości filtratu występowało w okresie bezpośrednio po płukaniu filtrów.

Niebezpieczne z uwagi na możliwość skażenia wody wprowadzanej do sieci wodociągowej oocystami *Cryptosporidium* mogą być nawet chwilowe pogorszenia jakości filtratu. Stwierdzona w badaniach niestabilność pracy poszczególnych filtrów mogła mieć różne przyczyny związane z warunkami pracy stacji lub stanem technicznych filtrów czy armatury regulacyjnej. Zastosowana metoda oceny pracy filtrów pozwoliła na wskazanie prawdopodobnych przyczyn pogarszania się jakości filtratu.

Uzupełnieniem oceny zagrożenia zdrowia ludzi pasożytami chorobotwórczymi na podstawie wskaźników skuteczności filtracji powinny być badania w kierunku wykrywania oocyst *Cryptosporidium* w wodzie wprowadzanej do sieci.

Bibliografia

- [1] Bajer A.: *Cryptosporidium* and *Giardia* spp. infections in humans, animals and the environment in Poland, *Parasitology Research* doi 10.1007/s00436-008-1179-x, 2007
- [2] Toczyłowska B., Kostyrko K., Bajer A., Siński E., Rutkiewicz A.: "Opracowanie metod technicznych obniżenia ryzyka zakażenia wody wodociągowej pasożytami *Cryptosporidium parvum*". Raport końcowy projektu badawczego rozwojowego N R 04 0002 04, 2009
- [3] US EPA National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule, 40 CFR Part 9, 141, and 142, 2006.
- [4] Dąbrowski W., Korczak P.: *Eksploatacja stacji filtrów w aspekcie płukania*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2008
- [5] Pietkiewicz D., Dąbrowski W.: *Wpływ zaburzeń przepływu na mętność filtratu*. Praca zbiorowa pod redakcją Izabeli Zimoch i Waldemara Sawiniaka. Gliwice 2009, ss. 107-114
- [6] Walczak R.: *Badania efektywności płukania filtrów zwirowych na stacji uzdatniania wody powierzchniowej w Straszynie*. Praca zbiorowa pod redakcją Izabeli Zimoch i Waldemara Sawiniaka. Gliwice 2009, ss.173-180
- [7] Siwiec T.: *Warunki płukania filtrów jednowarstwowych i wielowarstwowych wybranych złóż filtracyjnych*, Wydawnictwo SGGW, 2007
- [8] Toczyłowska B., Skonecka E.: *Skuteczność usuwania zawiesin w procesie filtracji przez filtry pospieszne ze stałym złożem filtracyjnym*. *Mat. konf. XX Jubileuszowej Krajowej Konferencji, VII Międzynarodowej Konferencji „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*, Poznań-Gniezno, 2008, ss.725-736
- [9] Toczyłowska B.: *Rola wskaźników pomocniczych w ocenie zagrożenia dla zdrowia ludzi wynikającego z obecności w wodzie oocyt *Cryptosporidium**. *Ochrona Środowiska*, Nr 3, 2007

