

Agata PAWŁOWSKA, Michał ZIELINA, Tadeusz ŻABA

*Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Politechnika Krakowska*

BADANIA NAD FILTRACJĄ POWOLNĄ ORAZ SZTUCZNĄ INFILTRACJĄ

STUDY ON SLOW FILTRATION AND BASIN INFILTRATION

Slow sand filtration is an old water treatment process used worldwide to treat surface waters by biological, physicochemical and physical removal mechanisms. The process is used in slow sand filters filled artificially by porous media as well as in infiltration basins where water flows first through artificial layer of porous media and next through natural soil layers. Slow sand filtration is still quite popular all over the world, since it is simple to operate, does not require chemical pre-treatment, functions over a wide range of influent water quality without the need for process adjustment, requires minimal maintenance and is relatively cost-effective to build and operate. However, since slow filtration process is very complex, it is still important to study it. The article presents knowledge on slow filtration run, phenomenon's description and models. At the end of the article an example of the water treatment plant consisted infiltration basins that use slow filtration process was analysed.

Filtracja powolna jest procesem znanym od wielu lat. Procesowi temu towarzyszy szereg zjawisk fizycznych, chemicznych i biologicznych pozwalających efektywnie usuwać zanieczyszczenia z wody surowej. Proces ten może być przeprowadzany w komorach wypełnionych sztucznie złożem filtracyjnym lub też zachodzić w basenach infiltracyjnych w których woda przepływa najpierw przez warstwę sztucznie zaprojektowanego złoża, a następnie przez naturalną płytką warstwę wodonośną. Ze względu na wysoką efektywność usuwania z wody zanieczyszczeń przy relatywnie niskich kosztach eksploatacyjnych oraz możliwości wyeliminowania lub znacznego zredukowania dodawanych do wody substancji chemicznych, technologie te cieszą się wciąż dużą popularnością. Niemniej jednak ze względu na złożoność procesu filtracji powolnej istnieje nadal duża potrzeba rozpoznania i matematycznego opisanie zjawisk mu towarzyszących. W artykule opisano aktualny stan wiedzy na temat przebiegu procesu filtracji powolnej i sztucznej infiltracji oraz zjawisk im towarzyszących. Przedstawiono nowe metody projektowania i eksploataowania filtrów powolnych, a także zastosowania modeli matematycznych.

1. Wprowadzenie

Filtracja powolna, jako metoda oczyszczania wody jest powszechnie i nieprzerwanie wykorzystywana od początku XIX wieku. Paradoksalnie, pomimo iż jest to najstarsza z metod oczyszczania wody wiedza dotycząca mechanizmów filtracji wciąż jest ograniczona. Prace naukowe dotyczące filtracji powolnej skupiają się głównie na aspektach ekologicznych wykorzystania filtrów powolnych, metod wstępnego oczyszczania oraz badaniem wydajności procesu filtracji, natomiast stosunkowo niewiele z nich dotyczy modelowania procesu filtracji powolnej [1]. Mimo iż w przeciągu ostatnich lat nastąpił postęp w naukowym sposobie zrozumienia podstawowych mechanizmów filtracji, aktualne modele nadal nie odzwierciedlają w stopniu zadowalającym procesów biologicznych zachodzących podczas filtracji powolnej.

2. Metody infiltracji

Wśród metod infiltracji wyróżnia się naturalne i sztuczne. Do naturalnych metod zalicza się infiltrację brzegową, gdy studnia jest zlokalizowana w dolinie rzeki, a woda dopływa do niej na skutek wytworzonej depresji przy poborze wody. Podczas przepływu przez grunt woda ulega oczyszczeniu ze względu na zachodzące procesy fizykochemiczne [2].

Według Heij [3] większość zanieczyszczeń ulega degradacji w pierwszych kilku centymetrach warstwy podglebia, jednakże część zanieczyszczeń jest bardziej trwała i może przemieszczać się dalej, na większe głębokości warstwy wodonośnej zanim ulegnie rozkładowi. Wyróżnia się dwie główne strefy podpowierzchniowe. W pierwszej zachodzi gwałtowny rozkład zanieczyszczeń oraz proces sorpcji. Jest to strefa aktywnej infiltracji, która ulega kolmatacji. W niej zachodzą intensywne procesy fizyczne, chemiczne oraz biochemiczne. Po przejściu do drugiej, głębiej położonej strefy woda powierzchniowa miesza się z wodą podziemną. W tej strefie zaobserwować większy wpływ procesu rozcieńczenia przy jednoczesnym spadku intensywności degradacji zanieczyszczeń oraz sorpcji. Ze względu na lepszą jakość wody podziemnej rozcieńczenie nią infiltrującej wody powierzchniowej poprawia jej jakość [4]. Po pobraniu wody przez studnie czerpne konieczne jest dalsze oczyszczanie przed dostarczeniem wody do odbiorców.

Sztuczna infiltracja polega na wprowadzaniu do gruntu wody najczęściej przez dno i brzegi specjalnie skonstruowanych basenów infiltracyjnych. W basenie infiltracyjnym woda przepływa przez warstwę sztucznie zaprojektowanego złoża, a następnie przez naturalną płytką warstwę wodonośną. Sztuczna infiltracja jest stosowana w przypadku zbyt dużego zanieczyszczenia wód powierzchniowych, gdy ich jakość do celów wodociągowych jest niezadawalająca. Podczas przepływu wody przez basen, strefę aeracji, a następnie przez strefę saturacji i do urządzeń ujmujących mieszaninę wody powierzchniowej i podziemnej zachodzi proces jej uzdatniania. Główne role w tym procesie odgrywają: błona biologiczna – warstwa osadu odłożona na dnie basenów oraz w porach przydennej warstwy gruntu oraz strefa napowietrzenia. Niekorzystnym zjawiskiem towarzyszącym powstawaniu błony biologicznej i warstwy osadu jest spadek wydajności ujęcia. Z tego powodu nie należy dopuszczać do gromadzenia się osadów,

które długo zalegając mogą powodować pogorszenie jakości wody bezpośrednio pod dnem basenu w porównaniu z wodą w basenie. Konieczne jest regularne usuwanie osadów i dekolmatacja dna [5].

2.1. Ujęcia infiltracyjne

Wymagania stawiane terenom przeznaczonym na ujęcia infiltracyjne są następujące: wartość współczynnika wodoprzepuszczalności co najmniej $2 \cdot 10^{-4}$ m/s, miąższość warstwy wodonośnej nie mniejsza niż 6m, poziom statycznego zwierciadła wody nie głębiej niż 5m pod powierzchnią terenu, odpowiednia jakość ujmowanej wody [6].

W przypadku ujęć brzegowych czas przepływu od basenu infiltracyjnego do studni wynosi ponad 30 dni.

W tym czasie zachodzą następujące procesy:

- usuwanie cząstek fazy rozproszonej z zawiesiny wodnej w cienkiej warstwie osrodka porowatego pod dnem basenów infiltracyjnych,
- rozkład części substancji organicznych podatnych na rozkład biochemiczny w błonie mikrobiologicznej pokrywającej dno basenów,
- zatrzymanie części metali ciężkich w osadach zdeponowanych w warstwie dennej basenu, a częściowo w glonach,
- utlenianie części związków organicznych podatnych na biodegradację w strefie przepływu nienasyconego pod dnem stawów
- częściowej sorpcji związków organicznych o wysokiej wartości współczynnika podziału oktanol – woda w gruncie [6].

3. Filtracja powolna

W procesie filtracji powolnej surowa woda jest doprowadzana na filtr nad powierzchnię złoża, następnie następuje jej przesączanie przez warstwę złoża oraz odpływ przez drenaż. Ze względu na niski koszt, dużą wytrzymałość oraz łatwą dostępność najczęściej stosowanym materiałem złożowym jest piasek [1]. Podczas powolnego przesączania wody przez ośrodek porowaty mikroorganizmy osiedlają się na ziarnach piasku. Materiał organiczny i nieorganiczny jest również akumulowany, co powoduje tworzenie się warstwy schmutzdecke na powierzchni materiału złożowego filtra. Proces oczyszczania filtrującej wody jest związany głównie z biologiczną aktywnością i procesem biodegradacji zachodzącą na schmutzdecke. Istotny wpływ na proces oczyszczania ma również napięcie powierzchniowe i bioadsorpcja.

3.1. Mechanizm filtracji powolnej

Ogólnie, wśród mechanizmów filtracji wyróżnia się zjawiska transportu, przyciągania i odrywania. Dodatkowo, podczas filtracji powolnej istotne znaczenie mają zachodzące procesy biologiczne.

Cedzenie jest głównym mechanizmem podczas usuwania cząstek o średnicach większych niż średnice porów w złożu filtracyjnym. Na podstawie przeprowadzonych badań [7] przyjmuje się, że cedzenie jest istotnym zjawiskiem, gdy stosunek pomiędzy średnicami cząstek a średnicami porów jest większy od 0,2. W przypadku filtracji powolnej cedzenie jest ważnym mechanizmem ze względu na fakt, że materiał wypełniający złożo (piasek) ma niewielkie rozmiary (0,2 mm), dzięki czemu uniemożliwiają dostanie się większych cząstek do warstwy złoża. Pozwala to rozwój warstwy schmutzdecke [1].

Do zjawisk transportu zalicza się również intercepcję, sedymentację, dyfuzję, oraz inercję. Na znaczenie i wielkość poszczególnych mechanizmów transportu mają wpływ: przepływ, wielkość oraz gęstość cząstek, wielkość porów oraz temperatura. Najczęściej jednak, procesy te zachodzą równocześnie [1]. Przykładowo, przeprowadzone badania [8] potwierdzają, że parametrem mającym znaczny wpływ na efektywności usuwania zanieczyszczeń podczas filtracji powolnej jest temperatura. Z badań tych wynika, że w wyższej temperaturze usuwanie bakterii zachodzi skuteczniej. Na przykład wskaźnik usuwania drobnoustrojów był 2,5 razy większy w temperaturze 21°C niż w temperaturze 5,5°C. W wyższej temperaturze ten proces zachodził szybciej, co świadczyć może o obecności biomasy o większej aktywności [8].

Zjawisko przyciągania jest spowodowane siłami oddziaływania międzycząsteczkowego. Zalicza się do nich siły elektrostatyczne, Van der Waalsa oraz adhezji. Oddziaływanie elektrostatyczne zależy od wartości oddziałujących ładunków i jest odwrotnie proporcjonalne do odległości między nimi. Kwarc, będący głównym minerałem budującym piasek, posiada ujemny ładunek powierzchniowy, co powoduje jego zdolność do przyciągania dodatnio naładowanych cząstek roztworu koloidalnego (węglany, flokuły żelaza oraz innych metali), jak również kationów żelaza, manganu, aluminium i innych metali. Cząstki koloidalne pochodzenia organicznego, w tym bakterie, zazwyczaj posiadają ujemny ładunek powierzchniowy, co powoduje że nie są zatrzymywane przez ziarna złoża, w pierwszym etapie eksploatacji, gdy złożo jest wypełnione czystym piaskiem kwarcowym o tym samym ładunku powierzchniowym [9].

Siły Van der Waalsa mają niewielkie znaczenie w procesie wychwytywania cząstek, natomiast utrzymują one zanieczyszczenia na powierzchni ziaren złoża, gdy już dojdzie do kontaktu między nimi [9].

Siły adhezji powodują deponowanie cząstek organicznych na powierzchni filtra, na ziarnach w górnej części warstwy filtracyjnej. Ten materiał staje się pożywieniem dla bakterii i mikroorganizmów, które tworzą warstwę biofilmu. Przepływające cząstki zanieczyszczeń ulegają adhezji i są zatrzymywane w warstwie schmutzdecke aż do momentu ewentualnego czyszczenia filtra [9].

3.2. Modele matematyczne filtracji powolnej

Ogólnie równanie ciągłości jest opisywane wzorem [10]:

$$v \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial \sigma}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

gdzie:

x – grubość złoża,

C – stężenie zawiesiny,

v – prędkość filtracji,

σ – stężenie osadu (masa cząstek do objętości ośrodka).

Powszechnie stosowane równanie wyrażające efektywność filtracji z uwzględnieniem współczynnika efektywności filtrowania zaproponowane przez Iwasakiego w 1937 jest następujące [10]:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = -\lambda C \quad (2)$$

gdzie:

λ – współczynnik efektywności filtrowania zawiesin opisujący kinetykę zatrzymywania cząstek z złożu filtracyjnym.

Kolejne modele matematyczne dotyczące filtracji powolnej zostały zaproponowane przez Ojha i Grahama [11]. Zgodnie z tym modelem usuwanie obumarłego materiału oraz biodegradowalnych cząstek, które przyczyniają się do rozbudowy biomasy jest addytywne i wyraża się wzorem:

$$\Delta\sigma = \frac{\beta v i C_o [1 - \exp(-\lambda_o x)] \Delta t}{\Delta x} + \frac{\gamma \beta v (1 - i) C_o [1 - \exp(-\lambda_o x)] \Delta t}{\Delta x} \quad (3)$$

gdzie:

i – zawartość obumarłego materiału w dopływie,
 β – współczynnik objętościowy zdeponowanego materiału,
 γ – współczynnik mikrobiologicznej aktywności

Pierwszy człon dotyczy procesu usuwania obumarłego materiału, natomiast drugi usuwania zanieczyszczeń związanego z biologiczną aktywnością [10].

Zgodnie z inną teorią, filtracja powolna jest podobna do filtracji pospiesznej z punktu widzenia akumulacji biomasy i obumarłego materiału głównie w górnych warstwach. Z tego względu Retamoza [12] zaproponował symulację procesu filtracji powolnej z wykorzystaniem modeli dotyczących filtracji pospiesznej. Wtedy wzór jest następujący:

$$\Delta\sigma = \frac{v(C_o - C_e)\Delta t}{\Delta x} + \frac{vY(S_o - S_e)\Delta t}{\Delta x} = 0 \quad (4)$$

gdzie:

$$C_e = C_o \exp(-\lambda x) \quad \text{oraz} \quad S_e = S_o \exp(-K_{rem} x) \quad (5)$$

Y – współczynnik przyrostu,
 K – współczynnik usuwania substratu.

Powyższy wzór łączy równanie zachowania masy oraz dwa kinetyczne równania – pierwsze dotyczy usuwania substratu, natomiast drugie wychwytywania cząstek [10].

3.3. Zalecenia dotyczące konstrukcji filtrów powolnych

Filtracja powolna jest uznawana za odpowiednią i efektywną metodę oczyszczania wody, w przypadku gdy mętność wody surowej nie przekracza 10 NTU a barwa jest niższa niż 5 CU [1]. Ponadto filtracja powolna nie powinna być stosowana do oczyszczania wód wyjątkowo ubogich w substancje organiczne, gdyż są one niezbędne jako pożywienie w procesie biologicznego oczyszczania wody. Ze względu na potrzebę utrzymania błony biologicznej w dobrym stanie, filtry powolne powinny być eksploatowane w sposób ciągły [13]. W przeciwieństwie do filtracji pospiesznej, filtracja powolna nie wymaga dawkowania koagulatna. Nie stosuje się również płukania filtrów powolnych. Zalecenia projektowe dotyczące konstrukcji filtrów powolnych zestawiono w tabeli poniżej.

Tab. 1 Zalecenia dotyczące konstrukcji filtrów powolnych [14] [15]

Tab. 1 Design summary of Slow Sand Filters [14] [15]

Parametr projektowy	
Obciążenie hydrauliczne	0,1 – 0,4 m ³ /(m ² /h)
Powierzchnia jednego filtra	5 – 200 m ²
Grubość złoża filtracyjnego	1– 1,3 m (co najmniej 0,7 m piasku)
Uziarnienie piasku	Średnica miarodajna: 0,15 – 0,35 mm Wsp. nierównomierności uziarnienia: 2 - 3
Wysokość warstwy wody nad filtrami	0,7 – 1 m (maksymalnie 1,5 m)
Grubość warstwy drenażowej	0,3 – 0,5 m
Czas pracy filtra	30 – 300 dni
System drenażu	
Z cegieł Prefabrykowane płyty Prefabrykowane bloki	Nie wymagają obliczeń hydraulicznych
Rury perforowane	Prędkość w przewodach: < 3 m/s Odległość pomiędzy przewodami bocznymi 1,5 m Odległość pomiędzy perforacjami 0,15 m Średnica otworów 3 mm

3.4. Różnice pomiędzy filtracją pospieszną a powolną

Podczas modelowania filtracji pospiesznej uwzględnia się siły działające na przepływającą cząstkę, pomija się natomiast procesy biologiczne, które z kolei ogrywają główną rolę podczas filtracji powolnej. Ta istotna różnica pomiędzy filtracją pospieszną a powolną wynika z wielokrotnie mniejszych prędkości filtracji podczas filtracji powolnej, co wiąże się z mniejszymi wartościami naprężeń ścinających na granicy ziarno – woda. Skutkuje to rozrostem błony biologicznej, która może odgrywać zasadniczą rolę podczas zatrzymywania zanieczyszczeń przepływającej wody. Narastanie błony biologicznej jest możliwe ze względu na fakt, że filtry powolne nie są płukane podczas eksploatacji oraz nie stosuje się koagulanta, który mógłby spowodować jej zanieczyszczenie. Kolejną różnicą między filtracją pospieszną a powolną jest sekwencja ułożenia ziaren. W filtrach powolnych możliwe jest ułożenie zaczynając od dużych ziaren u góry a kończąc na mniejszych ziarnach na dole. W przypadku filtracji pospiesznej taka sekwencja jest niemożliwa ze względu na

zachodzącą fluidyzację, której skutkiem jest ułożenie najmniejszych ziaren na górze złoża. Jest to zjawisko niekorzystne, gdyż ziarna o najmniejszej średnicy znajdują się w miejscu, gdzie dopływa zawiesina o największym stężeniu zanieczyszczeń, co powoduje szybką kolmatację filtrów pospiesznych [13].

3.5. Efektywność oczyszczania wody przy wykorzystaniu filtracji powolnej

Wyniki zmian parametrów fizyko-chemicznych oraz wyniki usuwania poszczególnych mikroorganizmów przy użyciu filtracji powolnej zostały zestawione w poniższej tabeli.

Tab. 2 Efektywność usuwania zanieczyszczeń podczas filtracji powolnej [14], [15]

Tab. 2 Slow Sand filtration treatment performance [14], [15]

Parametr	Uzyskiwany efekt redukcji
Mętność	< 1 NTU
Bakterie coli	1 – 3 log
Enterowirusy	1 – 4 log (2 – 4 log)
Cysty <i>Giardia</i>	> 2 – 4 log
Oocysty <i>Cryptosporidium</i>	> 4 log
Rozpuszczony węgiel organiczny	5 – 40% (5 – 25%)
Biodegradow. rozpuszczony węgiel organ.	40 – 80 % (< 50%)
Prekursory trihalometanów	< 20 – 30 % (< 20 – 35%)
Cynk, miedź, kadm, ołów	> 95 – 99%
Żelazo, mangan	> 67 %
Arsen	< 47 %
Bakterie i wirusy	90 – 99%
Absorpcyjność UV254 [nm]	5 – 35%
Barwa	30%

3.6. Filtracja powolna a infiltracja brzegowa

Badania przeprowadzone na Uniwersytecie w Durham, New Hampshire [16] wykazują znaczące podobieństwo między procesem filtracji powolnej a infiltracji brzegowej. Mechanizmy obydwu procesów są podobne, opierają się na procesie biologicznej filtracji, wiążącej się z biodegradacją oraz bioadsorpcją. Na podstawie wyników badań stwierdzono podobieństwo w możliwości usuwania patogenów bakteryjnych, jako że ilości usuniętych bakterii *Coli* oraz tlenowych bakterii zarodnikujących w obydwu przypadkach była zbliżona. Również niewielką różnicę otrzymano w wynikach dotyczących usuwania mętności (odpowiednio 82,9% oraz 82,8%). Jednakże w przypadku usuwania prekursorów biodegradowalnych substancji organicznych wyrażonych ilościowo przez rozpuszczony węgiel organiczny oraz absorpcyjność UV znacznie lepszą skuteczność odnotowano w przypadku sztucznej infiltracji (69,8% oraz 71,5%) niż powolnej filtracji (17,9% oraz 35%). Jest to związane z niższym współczynnikiem filtracji, dłuższą drogę filtracji oraz możliwym rozcieńczeniem wodami gruntowymi [16]. Szczegółowe wyniki zostały zestawione w poniższej tabeli.

Tab. 3 Zestawienie wyników dotyczących efektywności usuwania zanieczyszczeń podczas infiltracji brzegowej oraz filtracji powolnej [16]

Tab. 3 Summary of Weighted Removal Averages Achieved by Riverbank Filtration in Comparison to Slow Sand Filtration [16]

Parametr	Infiltracja brzegowa	Filtracja powolna	Filtracja powolna – dane literaturowe
Bakterie Coli [CFU/100ml]	> 1,9 log	2,2 log	0,92 – 2 log
Pałeczki kałowe [CFU/100ml]	> 0,6 log	1,34 log	0,8 – 1,97 log
Tlenowe bakterie zarodnikujące [CFU/100mL]	>2,4 log	2,3 log	-
Mętność [NTU]	82,8%	82,9%	95%
Liczba cząstek	84,8%	93,4%	-
Rozpuszczony węgiel organiczny [mg/l]	69,8%	17,3%	5-20%
Absorpcyjność UV254 [nm]	71,5%	35%	17-40%

4. Wykorzystanie filtracji powolnej w Zakładzie Uzdantnia Wody Bielany

Zakład Uzdantnia Wody Bielany został uruchomiony w 1901 roku, jako pierwszy zakład uzdatniania wody w Krakowie. Początkowo wykorzystywana była woda z Wisły, jednakże ze względu na pogarszającą się jakość w 1988 r. zrezygnowano całkowicie z poboru wody z Wisły opierając się wyłącznie na wodzie z Sanki. Obecnie zdolność produkcyjna wynosi ok. 24 tys m³/dobę, co zapewnia ok. 10% całkowitego zapotrzebowania na wodę w mieście Kraków.

ZUW Bielany wykorzystuje filtrację powolną do oczyszczania wody. Woda pobierana jest z rzeki Sanki, przepływając przed kraty i piaskownik dwukomorowy doprowadzana jest grawitacyjnym rurociągiem $\Phi 1000$ mm do studni zbiorczej o pojemności ok. 30 tys m³. Stamtąd przepompowywana jest rurociągiem tłocznym do otwartego osadnika. Z osadnika woda jest doprowadzana grawitacyjnie do basenów infiltracyjnych. Na terenie ZUW zlokalizowanych jest 11 basenów infiltracyjnych, liczba pracujących basenów zmienia się w zależności od potrzeb. Baseny wypełnione są piaskiem, grubość tej warstwy wynosi ok. 1,5 m. Woda infiltrowuje przez warstwę złoża oraz naturalnie występujące w gruncie żwiry z prędkością ok. 10 – 40 mm/h. Prędkość filtracji jest mierzona co najmniej raz w tygodniu. Gdy jej wartość spadnie poniżej 10 mm/h, oznacza to, że konieczne jest przeprowadzenie czyszczenia. Średnio raz w roku maszyna czyszcząca zbiera wierzchnią warstwę piasku o grubości kilku cm (w zależności od stopnia zakolmatowania), na miejsce której dosypywany jest piasek granulowany. Ze względu na wysoki koszt czyszczenia (praca sprzętu, koszt złoża) szczególnie istotne jest odpowiednie eksploataowanie basenów polegające na ich naprzemiennej pracy. Dodatkowo raz na kilka lat konieczne jest dosypanie warstwy złoża nie przekraczającej 50 cm.

Po pokonaniu odległości 15 do 25 m przefiltrowana woda jest ujmowana za pomocą 93 studni znajdujących się po obydwu stronach basenów. Następnie woda jest czerpana za pomocą lewarów i pomp próżniowych. Dezynfekcja wody odbywa się dzięki elektrolitycznemu systemowi wytwarzania podchlorynu sodu. Następnie oczyszczona woda trafia do zbiorników na czas ok. 1 – 1,5 h, później jest kierowana do sieci.

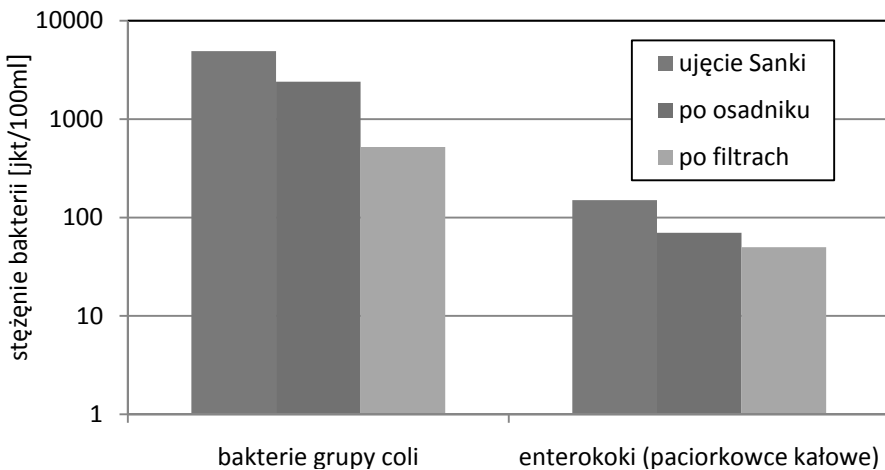
4.1. Analiza danych z Zakładu Uzdatniania Wody Bielany

Na podstawie danych dotyczących ZUW Bielany [17] zostały sporządzone wykresy obrazujące zmiany badanych parametrów na poszczególnych etapach oczyszczania wody.

Poniższy wykres przedstawia zmiany parametrów bakteriologicznych - ilość bakterii grupy coli oraz paciorkowców kałowych na ujęciu, po opuszczeniu osadnika oraz basenów infiltracyjnych. Jak widać, porównując wartości na odpływie z osadnika oraz odpływie z basenów infiltracyjnych ich zastosowanie pozawala na redukcję 78% bakterii coli. Natomiast w przypadku enterokoków ich ilość w basenach infiltracyjnych została zredukowana o ponad 28%.

Rys. 1 Zmiany parametrów bakteriologicznych w ZUW Bielany

Fig. 1 Changes in bacteriological parameters in Bielany water treatment plant



Na podstawie danych dotyczących wartości barwy oraz mętności na ujęciu a także na wyjściu z zakładu uzdatniania wody, można wnioskować, że redukcja tych parametrów nie spada poniżej 75% w przypadku barwy oraz 97% w przypadku mętności. W analizowanym okresie (styczeń 2013 – styczeń 2014) największą redukcję barwy, wynoszącą 95%, zaobserwowano we wrześniu. Na podstawie danych trudno jednoznacznie określić czy na największą efektywność usuwania barwy decydujący wpływ miały warunki atmosferyczne czy też było to związane z renowacją filtrów, która miała miejsce we wrześniu 2013 roku. W przypadku mętności największa redukcja

miała miejsce w lipcu i wynosiła ona 98,95%. Można przypuszczać, że jest to związane z wysoką temperaturą panującą w okresie letnim.

Bibliografia

- [1] Cintra Campos, L. Modelling and Simulation of the Biological and Physical Processes of Slow Sand Filtration, 2002
- [2] Partinoudi, V. Riverbank Filtration as a Viable Pretreatment and Treatment Method M.S.Thesis, University of New Hampshire, Durham, NH, 2004
- [3] Heij, G.J., River – Groundwater Relationships in the Lower Parts of the Netherlands, 1989
- [4] New England Water Treatment Technology Assistance Center, Report: Riverbank Filtration Process Description, <http://www.unh.edu/erg/wttac-reports-and-publications>
- [5] Miałczewicz, E.W., Hotłoś, H., Kotowski, A., Łomotowski J. Zasady projektowania obiektów sztucznej infiltracji wody, 1984
- [6] Dąbrowski, W., Infiltracja, Część I, Efekty uzdatniania. Gospodarka Wodna 3.2013
- [7] Herzig, J.P., Leclerc, D.M., LeGoff, P., Flow of Suspensions through Porous Media: Application to Deep Filtration. Industrial Engineering Chemistry, 1970
- [8] New England Water Treatment Technology Assistance Center, Project Summary Report: Assessing Temperature Influences on Slow Sand Filtration Treatment Performance, <http://www.unh.edu/erg/wttac-reports-and-publications>
- [9] Huisman, L., Wood, W.E., Slow Sand Filtration. World Health Organization, 1974
- [10] Adin, A., Mingelgrin, U., Kanarek, A., Slow Granular Filtration for Advanced Wastewater Treatment: Design, Performance and Operation. Annual Scientific Report. Granted by BMFT, Germany through NCRC. Jerusalem, Israel, 1995
- [11] Ojha, C.S.P., Graham, N.J.D., Computer – Aided Modelling of Slow Sand Filtration: Preliminary assessment. *Proc. Int. Slow Sand Filtration Workshop*, Durham, USA, 1991
- [12] Retamoza, J.G., Martinez, P. Adin, A., Mathematical Models of Sand Filtration. *Proc. 24 Inter. Am. Congress of Sanitary and Environmental Engineering*. Buenos Aires, Argentina, 1994
- [13] Dąbrowski, W., Projekt: KLIMAT. Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. Ocena warunków stosowania wybranych metod usuwania organizmów patogennych, 2010

- [14] Tech Brief, Slow Sand Filtration, a National Drinking Water Clearinghouse Fact Sheet, 2010
- [15] DeLoyde J. L., Removal of MS2 Bacteriophage, *Cryptosporidium*, *Giardia* and Turbidity by Pilot – Scale Multistage Slow Sand Filtration, 2007
- [16] New England Water Treatment Technology Assistance Center, Project Summary Report: Comparison of Riverbank Filtration to Slow Sand Filtration, <http://www.unh.edu/erg/wttac-reports-and-publications>
- [17] Materiały źródłowe z Centralnego Laboratorium MPWiK SA w Krakowie

