

Anna Mossakowska, Beata Pacholec, Bogdan Nowak

Wpływ stanów wody w Wiśle na jakość wody infiltracyjnej ujmowanej przez Wodociąg Praski

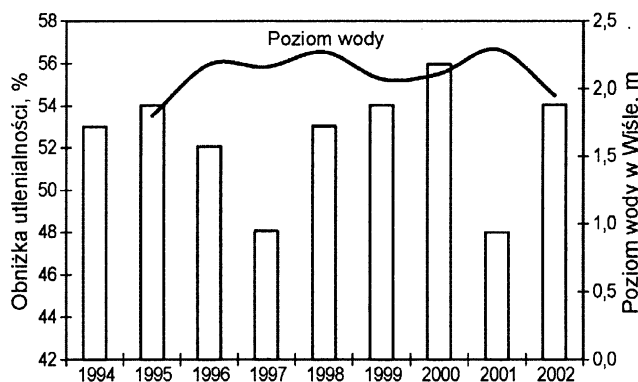
Infiltracja naturalna jest mniej rozpowszechniona w technice wodociągowej od infiltracji sztucznej. Jedną z przyczyn tego stanu jest występowanie podczas infiltracji naturalnej ściślejszej zależności pomiędzy jakością ujmowanej wody infiltracyjnej a jakością wody w rzece, zwłaszcza w sytuacjach występowania w wodzie rzecznej wysokich stężeń zanieczyszczeń. W układzie infiltracji sztucznej możliwe jest sterowanie tym procesem, np. poprzez wstrzymanie zalewania stanów infiltracyjnych w okresach, gdy ujmowana woda zawiera ponadprzeciętny ładunek zanieczyszczeń.

Podstawowymi warunkami mającymi wpływ na jakość wody infiltracyjnej ujmowanej przez Wodociąg Praski w Warszawie są jakość wody w Wiśle oraz parametry eksploatacyjne ujęć, tj. wydajność, depresja oraz grubość warstwy piasku przykrywającej drena. Wieloletnie badania potwierdziły ścisłą zależność jakości wody wiślanej od poziomu wody w rzece, przy równocześnie występujących sezonowych zmian jakości wody.

Przeciętna jakość wody w Wiśle na wysokości ujęć Wodociągu Praskiego zaliczana jest do II i III klasy czystości wód powierzchniowych. Okresowo, w czasie spływów powodziowych, większość zanieczyszczeń występuje w stężeniach charakterystycznych dla III klasy czystości, przy czym zawartość zawiesin oraz liczebność bakterii przekraczają wartości przewidziane w tej klasie czystości. Od 1997 r. obserwowane są w porze letniej, tj. w lipcu i sierpniu, gwałtowne spływy powodziowe w Wiśle, co ma istotne znaczenie dla eksploatacji ujęć oraz stacji uzdatniania wody. W połączeniu z występowaniem spływów powodziowych w typowych porach, tj. w okresie wiosny oraz na przełomie jesieni i zimy, obserwowane są co około dwa miesiące na wysokości ujęć Wodociągu Praskiego wysokie lub podwyższone stany Wisły.

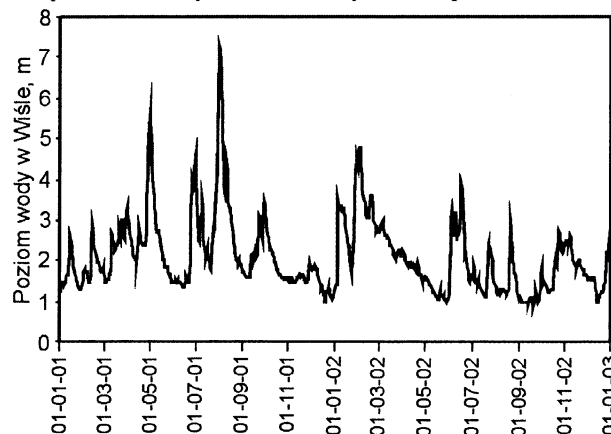
Przeciętna efektywność procesu infiltracji w ujęciach Wodociągu Praskiego wyraża się całkowitym zatrzymaniem planktonu i zmniejszeniem liczby bakterii, a także obniżeniem mętności wody, stężenia związków żelaza o ponad 99%, związków organicznych o 75% w porze letniej i około 25% w porze zimowej oraz azotu amonowego odpowiednio o około 85% i 20%. Przy długotrwałych niskich stanach wody w Wiśle obserwuje się okresowy wzrost stężeń związków manganu w wodzie infiltracyjnej. Na rysunku 1 porównano średnie roczne poziomy wody w Wiśle i skuteczność obniżania utlenialności wody w procesie infiltracji w latach 1994–2002.

Od 1996 r. średni roczny poziom wody w Wiśle na wysokości ujęć Wodociągu Praskiego wzrósł o około 10÷20%. Równocześnie stwierdzono w latach 1997 i 2001 wyraźnie



Rys. 1. Zmiany poziomu wody w Wiśle oraz skuteczności usuwania związków organicznych podczas infiltracji w latach 1994–2002 (wartości średnie roczne)

niższe efekty usuwania związków organicznych (oznaczonych jako utlenialność) w procesie infiltracji. W tych latach odnotowano w lipcu bardzo wysokie stany wody w rzece, połączone ze spływami powodziowymi. Do analizy przeprowadzonej w niniejszej pracy wykorzystano wyniki badań z lat 2001 i 2002, charakteryzujących się odmiennymi warunkami hydrologicznymi w Wiśle i w istotny sposób różniących się efektywnością procesu infiltracji w zakresie usuwania związków organicznych z wody. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki pomiarów poziomu wody w Wiśle w latach 2001 i 2002. W 2001 r. poziom wody układał się w stanach średnich i wysokich, z tendencją do spadku poniżej 120 cm w drugiej połowie grudnia. Od lutego do października średni miesięczny poziom wody w Wiśle wynosił powyżej 200 cm, czego przyczyną było wystąpienie w każdym miesiącu fali wezbraniowej, a na przełomie lipca i sierpnia po raz pierwszy od 60 lat odnotowano maksymalny poziom wody 730 cm. Spadek poziomu wody w rzece odbywał się powoli – średnio



Rys. 2. Wahania poziomu wody w Wiśle na wysokości ujęć Wodociągu Praskiego w latach 2001–2002 (wartości średnie dobowe)

Tabela 1. Jakość wody w Wiśle na wysokości ujęć Wodociągu Praskiego w latach 2001 i 2002

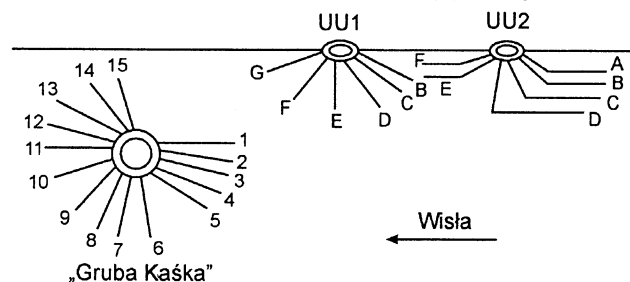
Wskaźnik, jednostka	2001	2002
Poziom wody, cm	97-730 śr. 229	88-476 śr. 195
Barwa, gPt/m ³	16-120 śr. 24,2	15-43 śr. 22,8
Mętność, NTU	42-62 śr. 23,3	2,8-91,3 śr. 19,5
Żelazo og., gFe/m ³	0,13-2,40 śr. 0,78	0,21-2,80 śr. 0,78
Mangan, gMn/m ³	0,07-0,52 śr. 0,15	0,06-0,47 śr. 0,16
Azot amonowy, gN/m ³	0,15-1,36 śr. 0,41	0,09-1,42 śr. 0,36
Utlenialność, gO ₂ /m	5,0-3,8 śr. 7,9	3,6-3,4 śr. 8,0
Absorbancja w UV _{254nm} , -	0,125-0,530 śr. 0,201	0,103-0,307 śr. 0,156

20-50 cm w ciągu doby, a następnie po kilkanaście centymetrów do połowy września. Wahające się w ciągu całego roku stany, kilkukrotne wezbrania rzeki, zmienna dynamika jej spływu oraz długa fala wezbraniowa z kulminacją do maksymalnego poziomu 730 cm, miały zasadniczy wpływ na ruch rumowiska rzeki oraz miąższość warstwy infiltracyjnej w obszarze filtracji nad drenami ujęć wody. W 2002 r. poziom wody w Wiśle układał się w stanach średnich i niskich, praktycznie przez cały rok. Maksymalne roczne wahania poziomu wody wystąpiły w styczniu, natomiast w lutym maksymalny poziom wyniósł 476 cm, a w czerwcu – 390 cm. Ogólnie – w porównaniu z rokiem poprzednim – był to rok suchy, bez charakterystycznych wezbrań i fal powodziowych, z tendencją do niewielkich wahań poziomu wody w dłuższym czasie.

Jakość wody w Wiśle jest wypadkową stanu wody w rzece oraz pory roku. W tabeli 1 porównano wybrane wskaźniki jakości wody w latach 2001 i 2002. W 2002 r., w porównaniu z 2001 r., jakość wody w Wiśle charakteryzowała się niższymi stężeniami podstawowych wskaźników zanieczyszczeń. Największe różnice odnotowano w zakresie maksymalnych wartości barwy i mętności, czego przyczyną były odnotowane w 2001 r. wyższe i gwałtowniejsze przybory Wisły.

Parametry eksploatacyjne procesu infiltracji

Schemat ujęć infiltracyjnych Wodociągu Praskiego przedstawiono na rysunku 3, natomiast ich podstawowe parametry zawiera tabela 2. Ujęcie uzupełniające nr 2 (UU2), zlokalizowane na prawym brzegu rzeki w linii opaski brzegowej na 507,3 km Wisły, wyposażone jest w 6 drenów ułożonych w kierunku promienisto-równoległym do jej brzegów, na rzędnej -7,5 m (wg zera wodociągowego), co pozwala na utrzymanie średniego przykrycia drenów w granicach wartości optymalnej 4-6 m.



Rys. 3. Schemat ujęć infiltracyjnych Wodociągu Praskiego

Tabela 2. Przeciętne parametry ujęć Wodociągu Praskiego

Parametr, jednostka	„Gruba Kaśka”	UU2
Wydajność nom. tys. m ³ /d	118	123
Wydajność śr. tys. m ³ /d	75-90	60-80
Liczba drenów,-	15	6
Długość drenów, m	ok. 1900	ok. 1890
Wydajność z jednego metra bieżącego drenu, dm ³ /s·m	0,6-0,8	0,6-0,8
Depresja, m	≤2	≤2
Przykrycie drenów, m	4,0-6,0	4,0-6,0

Dreny A, B, C i D ułożone są w górę rzeki, zaś dreny E i F w dół rzeki, z zachowaniem odległości od brzegu oraz pomiędzy drenami około 30 m. Należy podkreślić, że główny nurt rzeki w rejonie UU2 układa się nad drenami A, B i C oraz E i F, zaś dren D leży poza nurtem, w obszarze powolnego spływu rzeki, z tendencją do powstawania wysp piaskowych i przykrycia nad drenem miejscami do 6,9 m. Przykrycie nad drenami w całym obszarze infiltracji UU2 w okresie od stycznia do maja 2001 r. układało się w górnej granicy optymalnego i nieco powyżej, tj. 5,6-6,6 m. W kolejnych miesiącach, zwłaszcza na przełomie czerwca i lipca, jak również lipca i sierpnia, odnotowano kolejne wezbrania wody z maksymalnym rocznym poziomem 730 cm, kiedy to 31 lipca 2001 r. pojawiła się gwałtowna fala powodziowa o dużej dynamice spływu i długim okresie opadania wody do stanów średnich, trwająca praktycznie do 21 sierpnia. W wyniku tego wezbrania nastąpiło znaczące zmniejszenie przykrycia drenów w całym obszarze infiltracji, nawet nad drenem D, w tym nad drenami nurtowymi (A, B, C, E, F) grubość warstwy filtracyjnej zmniejszyła się o 1,6-3,6 m, zaś nad drenem D o 0,7-1,9 m. W związku z tym wystąpiło zmniejszenie grubości przykrycia nad drenami do wartości poniżej 4,0 m (3,0-3,8 m) z wyjątkiem drenu D, gdzie miejscami miąższość warstwy filtracyjnej wynosiła 4,5 m oraz drenu A – miejscami poniżej 3 m. Zjawisko to miało zasadnicze znaczenie dla eksploatacji złoża infiltracyjnego w zakresie prowadzenia płukania, które wykonuje się przy grubości przykrycia w granicach optymalnych, tj. powyżej 4,0 m. W pozostałym okresie roku odnotowano stany średnie i niskie wody, z wyjątkiem wezbrania pod koniec września do 346 cm. Ogólnie obserwowano powolną odbudowę przykrycia nad drenami UU2 w całym obszarze infiltracji, do przykrycia o grubości 4,1-5,8 m.

Ujęcie zasadnicze („Gruba Kaśka”) położone jest na 509,9 km biegu Wisły w korycie wody średniej rocznej, w odległości około 186 m od lewego brzegu rzeki. Piętnaście drenów tego ujęcia ułożono promieniście na rzędnej -7,0 m (wg 0 wodociągowego), ze średnim przykryciem nad drenami 4,0-6,0 m. W rejonie tego ujęcia główny nurt rzeki układa się po stronie lewego brzegu nad drenami 2-10 w pasie 60-160 m od studni w stronę lewego brzegu. Dreny 13-15 w przeważającej części roku znajdują się w zastoinie z ograniczonym przepływem rzeki, w wyniku czego obserwuje się odkładanie piasku i znaczne wypływanie rzeki (głębokość miejscami do 70 cm). Dlatego rejon ten wymaga stałego eksploatacyjnego rozplukiwania złoża na głębokości do 3 m oraz zbierania nadkładu piasku sprzętem refulacyjnym.

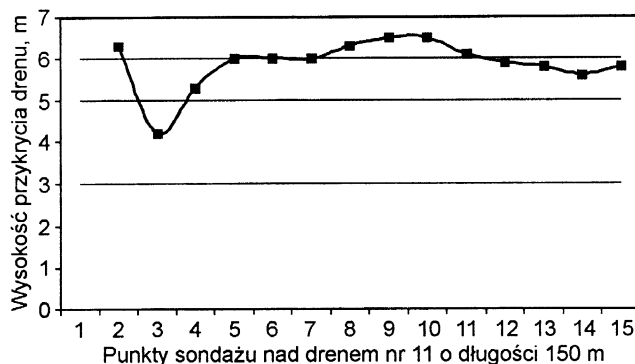
W styczniu 2001 r. przykrycie nad drenami ujęcia zasadniczego było optymalne i wahało się od 4,2 m do 5,8 m w całym obszarze infiltracji. Po przejściu pierwszych wezbrań wody (marzec-maj) nastąpiło zmniejszenie złoża filtracyjnego

w granicach od 0,3 m do 1,4 m praktycznie nad wszystkimi drenami, z niewielkim odkładem piasku na końcówce drenu 13 w kierunku prawego brzegu. Po przejściu maksymalnego rocznego wezbrania na przełomie lipca i sierpnia, przykrycie nad drenami było różne i w pasie drenów nurtowych od 60 m do 120 m od studni w kierunku lewego brzegu ubytek piasku wyniósł 0,6+1,2 m, przy zachowaniu przykrycia 3,6+4,5 m. Nad pozostałymi drenami warstwa złoża zmalała o 0,3+1,4 m, lecz grubość warstwy filtracyjnej utrzymała się średnio w granicach 4,4+6,0 m. Jedynie nad drenami 14 i 15 bezpośrednio za studnią stwierdzono zmniejszenie warstwy piasku o 1,4+0,8 m i przykrycie w granicach 3,0+4,3 m. W następnym okresie odnotowano powolny wzrost przykrycia nad drenami w całym obszarze filtracji, średnio do 5,4+6,2 m, jedynie nad drenem 6 na odcinku pomiędzy 120 m a 160 m od studni przykrycie wynosiło 5,0 m.

W 2002 r. poziom wody w Wiśle układał się w stanach średnich i niskich, praktycznie przez cały rok. Analizując przykrycie nad drenami ujęcia uzupełniającego nr 2 można stwierdzić, że po przejściu wezbrań w okresie od stycznia do marca 2002 r. nastąpiło zmniejszenie przykrycia w całym obszarze infiltracji, w tym nad drenami A i B o 0,3+0,7 m, nad drenami C i D o 1,1+2,3 m, zaś nad drenami E i F o 0,7+1,2 m. Grubość złoża filtracyjnego wynosiła 3,8+4,1 m nad drenem A i 4,1+3,7 m nad drenem F. Nad pozostałymi drenami praktycznie warstwa przykrycia wahała się w zakresie 4,3+5,2 m. Następnie, w trakcie niskich stanów wody w kwietniu i maju, przy znacznym spowolnieniu dynamiki zmian poziomu wody w rzece, nastąpiło odbudowanie przykrycia przez naniesienie przez rzekę piasku praktycznie nad wszystkimi drenami, średnio 0,7+1,8 m, na skutek czego grubość złoża nad drenem D wynosiła 4,5+6,3 m. Po przejściu wezbrania w czerwcu (maks. poziom wody 390 cm) obserwowano ruch rumowiska rzecznoego w górnym biegu rzeki, efektem czego było niewielkie zmniejszenie przykrycia w granicach 0,4+0,9 m, co spowodowało wyrównanie grubości warstwy filtracyjnej praktycznie na całym obszarze do 5,0+5,9 m. W kolejnych miesiącach obserwowano niewielkie ruchy rumowiska rzecznoego z tendencją do nanoszenia piasku w granicach 0,1+0,9 m nad drenami A–F, przy czym następowało zabieranie piasku w granicach 0,3+1,3 m w części promienistej drenu D oraz nad drenami E i F. Miąższość złoża filtracyjnego nad drenami A–D wynosiła 5,3+6,2 m, zaś nad drenami E i F na końcówkach grubość przykrycia wynosiła około 4,6 m.

Również nad drenami ujęcia zasadniczego, po przejściu wezbrań wody w okresie zimowym 2001/2002, nastąpiło zmniejszenie przykrycia o 0,1+1,0 m na całym obszarze infiltracyjnym, jedynie nad drenami 14 i 15 na końcówkach (w pobliżu brzegu) wystąpiło odkładanie się piasku do 2,0 m. Grubość przykrycia wynosiła 4,3+5,9 m, z wyjątkiem końcówki drenu nr 6, gdzie przykrycie wyniosło 3,7 m oraz na końcówce drenu 13 – 6,5 m. Po przejściu wezbrania w czerwcu nastąpiły niewielkie zmiany w grubości przykrycia z tendencją do jego wzrostu do 5,8+6,7 m. Ujęcie zasadnicze, z uwagi na prowadzoną modernizację, było praktycznie wyłączone z eksploatacji do września 2002 r. Przed rozruchem drenów oraz zespołowo zmodernizowanego ujęcia przeprowadzono płukanie całego rejonu infiltracyjnego do głębokości dna około 3 m, zwłaszcza nad drenami 10–15. Po przejściu wezbrania na przełomie października i listopada przykrycie nad tymi drenami zmniejszyło się o 0,7+1,0 m, zaś nad drenami 12–13 o 1,4+2,2 m, przy czym grubość złoża wynosiła 5,1+6,0 m,

z wyjątkiem drenów 14 i 15, gdzie grubość warstwy filtracyjnej wahała się od 3,6 do 6,3 m (rys. 4).



Rys. 4. Wyniki sondażu grubości przykrycia drenów ujęcia zasadniczego (dren 11)

Analizując zmienność warstwy przykrycia nad drenami ujęcia uzupełniającego nr 2 oraz ujęcia zasadniczego, w zależności od poziomów wody w Wiśle należy stwierdzić, że:

- zmiana miąższości przykrycia nad drenami była uzależniona od dynamiki przepływu rzeki, częstości występowania wezbrań wody w ciągu roku oraz od czasu ich trwania (czasu gwałtownego przyboru rzeki jak również okresu jej opadania),

- fale wezbraniowe i powodziowe, z uwagi na dużą dynamikę przepływu, nanosiły rozmyty piasek z przykos znajdujących się powyżej ujęć wody, który odkładał się nad drenami w obszarze infiltracji; jednocześnie porywany był piasek znad drenów ujęć i przenoszony wraz z prądem rzeki – miejscami maksymalnie 2,4+3,6 m znad drenów UU2 oraz maksymalnie 0,9+2,2 m znad drenów ujęcia zasadniczego; po przejściu wezbrania obserwowano powolną odbudowę złoża do warstwy optymalnej, tj. 4,0+6,0 m,

- niskie i średnie stany rzeki sprzyjały odkładaniu się piasku filtracyjnego równomiernie, nawet nad drenami nurtowymi ujęcia uzupełniającego oraz ujęcia zasadniczego,

- długie czasy trwania niskich stanów wody, zwłaszcza w rejonie studni zasadniczej, wymagały prowadzenia płukania złoża oraz refulacji sprzętem pogłębiarskim w celu rozplukania płyczn i wysp piaskowych, jak również pogłębienia rzeki w celu zwiększenia dynamiki jej przepływu (rejon drenów 13–15 ujęcia zasadniczego),

- w celu utrzymania optymalnej miąższości warstwy piasku nad drenami ujęć infiltracyjnych w trakcie występowania gwałtownych przyborów wody, należy zwiększyć wydajność studni do 1,0 dm³/s na każdy metr bieżący perforowanego drenu, przy maksymalnej depresji do 4 m.

Jakość wody infiltracyjnej

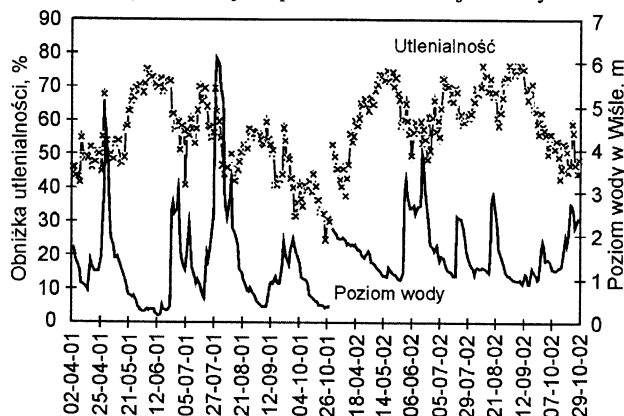
Wskaźniki jakości wody infiltracyjnej w analizowanym okresie porównano w tabeli 3, z której wynika, że najistotniejsze różnice w jakości wody infiltracyjnej w latach 2001 i 2002 wystąpiły dla maksymalnych wartości mętności oraz w mniejszym stopniu dla średnich rocznych wartości utlenialności. W okresie splotu powodziowego w lipcu i sierpniu 2001 r. zachowany był wysoki, bo aż ponad 98% efekt obniżenia mętności wody w procesie infiltracji. Mimo to przez kilka dób występowała wyższa od przeciętnej (0,2+0,3 NTU) mętność wody infiltracyjnej.

Tabela 3. Jakość wody infiltracyjnej ujmowanej przez Wodociąg Praski w latach 2001 i 2002

Wskaźnik, jednostka	2001	2002
Barwa*, gPt/m ³	10÷28 śr. 15	8÷20 śr. 13
Mętność, NTU	0,2÷5,8 śr. 0,4	0,1÷1,0 śr. 0,3
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,00÷0,30 śr. 0,03	0,03÷0,30 śr. 0,02
OWO, gC/m ³	3,15÷7,55 śr. 4,6	2,94÷5,12 śr. 4,6
Utlenialność, gO ₂ /m ³	3,0÷7,5 śr. 4,2	3,07,5 śr. 3,8
Azot amonowy, gN/m ³	0,00÷0,58 śr. 0,15	0,00÷0,71 śr. 0,15

* – próbki nie sączone

Bardzo istotna dla układu technologicznego Wodociągu Praskiego jest efektywność usuwania związków organicznych z wody wiślanej w procesie infiltracji. Na rysunku 5

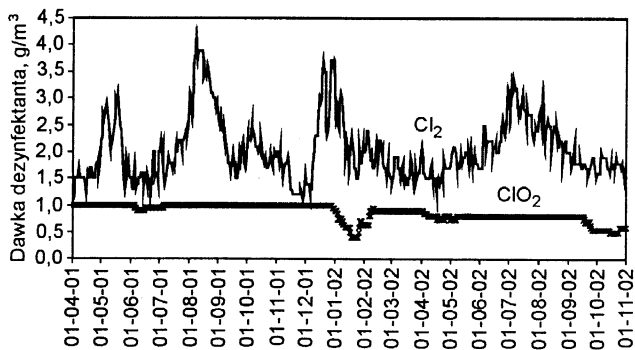


Rys. 5. Zmiany poziomu wody w Wiśle oraz skuteczności usuwania związków organicznych podczas infiltracji w latach 2001–2002

widać wyraźny wpływ zmian poziomu wody w rzece na efekt usuwania związków organicznych (oznaczonych jako utlenialność) w procesie infiltracji. Już po kwietniowym splotwie w 2001 r. nastąpiło obniżenie skuteczności infiltracji o około 20%, przy czym do czerwca 2001 r. przy niskich stanach, nastąpił powrót do skuteczności 70÷75%, natomiast po czerwcowej i lipcowej fali powodziowej w sierpniu i wrześniu stwierdzono około 45% efekt zmniejszania utlenialności wody wiślanej. W porze niskich temperatur typowe było zmniejszenie stężeń związków organicznych w wodzie powierzchniowej i obniżenie w tym zakresie efektu infiltracji nawet do 25%. W 2002 r. jedynie w maju i czerwcu nastąpiło równocześnie z wyższymi poziomami wody w Wiśle obniżenie

skuteczności infiltracji w tym zakresie. Pozostała część roku charakteryzowała się średnimi i niskimi poziomami wody w rzece i w okresie od czerwca do września stopień obniżenia utlenialności wody wynosił 60÷75%. Krótkotrwałe okresy nieco obniżonej skuteczności procesu infiltracji pokrywały się ze wzrostem poziomu wody w Wiśle do około 250÷300 cm.

Na rysunku 6 przedstawiono zmiany dawek chloru i równocześnie dawkowanego dwutlenku chloru w procesie dezynfekcji wody. Wartości te można traktować również jako element efektywności infiltracji w zakresie usuwania związków organicznych z wody. Proces filtracji pospiesznej, usytuowany pomiędzy infiltracją a dezynfekcją, miał w tym zakresie minimalne znaczenie.



Rys. 6. Zmiany dawek chloru i dwutlenku chloru podczas dezynfekcji wody w latach 2001–2002

Wnioski

◆ Wzrost poziomu wody w Wiśle powyżej 200 cm, połączony ze wzrostem stężeń zanieczyszczeń i zmniejszeniem miąższości warstwy infiltracyjnej, powodował obniżenie efektywności procesu infiltracji, co było równoznaczne z obniżeniem efektywności całego układu technologicznego Wodociągu Praskiego.

◆ Wykazano wyraźną współzależność pomiędzy wysokimi stanami wody w Wiśle oraz niższą skutecznością infiltracji, a co za tym idzie – wyższymi dawkami reagentów chemicznych stosowanych w procesie uzdatniania wody infiltracyjnej.

◆ Stwierdzone zależności wykazały potrzebę rozbudowy układu technologicznego Wodociągu Praskiego o sprawdzone w badaniach procesy ozonowania pośredniego oraz filtracji przez złoża granulowanego węgla aktywnego.

Mossakowska, A., Pacholec, B., Nowak, B. Effect of the Water Level in the River Vistula on the Quality of the Infiltration Water Taken in by the Warsaw Waterworks. Ochrona Środowiska 2003, Vol. 25, No. 3, pp. 77–80.

Abstract: The quality of the infiltration water taken in via a natural infiltration system from under the river bottom depends to a great extent on the quality of the riverine water. This paper presents data on the quality of the infiltration water taken in by the Warsaw Waterworks (Wodociąg Praski) in the summer season of 2001 (with flood runoff) and 2002 (with no flood runoff). The study showed that a rise in the water level above

200 cm, combined with the increase in the concentrations of the river water pollutants, reduced the thickness of the infiltration layer, thus decreasing the efficiency of the natural infiltration process, which is equivalent to the decrease in the efficiency of the existing water treatment system. The analyzed variations in the quality of both riverine and infiltration water substantiate the need of developing the technological train made use of in the water treatment system by introducing intermediate ozonation and activated carbon filtration.

Keywords: Natural infiltration, water quality, flood runoff, water treatment.