

Bogdan Koczko, Anna Mossakowska, Beata Pacholec

Kierunki modernizacji Wodociągu Praskiego w Warszawie

Zakład Wodociągu Praskiego od 33 lat zaopatruje mieszkańców Warszawy w wodę do picia i na potrzeby gospodarcze. Jakość produkowanej wody oceniana jest w oparciu o około osiemdziesiąt wskaźników, na podstawie których można stwierdzić, że woda spełnia nie tylko wymagania zawarte w odpowiednich przepisach krajowych, ale także zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia. Jednakże niekorzystne cechy procesu dezynfekcji chlorem, jak np. powstawanie THM-ów oraz wyraźny zapach chlorowy wody, były przyczyną decyzji o zastosowaniu dwutlenku chloru do dezynfekcji wody. W związku z tym podjęto decyzję o takiej modernizacji technologii uzdatniania wody, aby dezynfekcyjna dawka dwutlenku chloru nie przekraczała $0,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$.

Oprócz modernizacji procesów technologicznych uzdatniania wody na Wodociągu Praskim prowadzone są także prace techniczne, mające na celu optymalizację eksploatacji ujęcia infiltracyjnego oraz systemu magazynowania i dystrybucji wody wodociągowej.

Modernizacja ujęcia infiltracyjnego

Poddenne ujęcie wody z Wisły ma zdecydowaną przewagę nad tradycyjnym sposobem poboru wody powierzchniowej. Zaletą infiltracji poddennej jest całkowite usunięcie z wody zawiesin i planktonu, a także znaczne obniżenie stężeń związków żelaza i azotu amonowego. Proces nityfikacji zachodzi w złożu przez cały rok, również w okresie zimowym. Stopień usuwania azotu amonowego zależy przede wszystkim od zachowania stabilnych warunków, tzn. określonego stężenia azotu amonowego w wodzie powierzchniowej, temperatury oraz obciążenia złoża i grubości warstwy filtracyjnej. W okresie zimowym, nawet przy temperaturze wody około 1°C , pod warunkiem jej stabilności, rozwijają się szczepy bakterii nityfikacyjnych, pozwalające osiągnąć obniżenie stężeń azotu amonowego z $1,0$ do $0,04 \text{ gN/m}^3$. Są to wyniki praktycznie nieosiągalne w innych procesach uzdatniania wody bez stosowania środków chemicznych. Takie efekty stosowania infiltracji, przy jednoczesnym ograniczeniu wielkości stacji uzdatniania, powodują znaczne obniżenie kosztów uzdatniania wody.

Z uwagi na zalety ujęć infiltracyjnych, w Miejskim Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Warszawie powstają następne ujęcia tego typu i zwiększa się udział wody infiltracyjnej w ogólnej ilości uzdatnianej wody. Prowadzone prace przy układaniu drenów pod dnem Wisły, a następnie

optymalizacja metod eksploatacji ujęć infiltracyjnych oraz prowadzone obserwacje i analizy wpływu metod wykonawstwa na późniejsze wyniki eksploatacyjne, powodują ciągłe doskonalenie metod wykonywania tych ujęć. Wprowadzona ostatnio na Wodociągu Praskim metoda polepszania właściwości złoża infiltracyjnego, już w procesie układania drenów, daje bardzo dobre wyniki, tak pod względem jakości i ilości ujmowanej wody, jak również przyspieszenia procesu odpiaszczania drenów i wpracowania złoża infiltracyjnego.

Zastosowany dwuetapowy – oryginalny – sposób układania drenów polega na połączeniu płukania złoża spulchniaczem hydraulicznym z procesem układania drenów [1,2].

Pierwszy etap polega na głębokim płukaniu przyszłego miejsca ułożenia drenów. Warstwę gruntu płucze się nieco głębiej niż będzie ułożony dren i nieco szerzej niż będzie wykonany wykop. W procesie tym następuje wypłukanie z przyszłego złoża infiltracyjnego zalegających w nim zanieczyszczeń oraz przemieszczenie do dolnej warstwy kamieni i żwiru, czyli stratyfikacja złoża. Zjawisko to zaobserwowano podczas płukania prowadzonego na średnich głębokościach. Taki sposób płukania powoduje powstanie pewnego rodzaju poziomego rusztu kamienno-żwirowego, będącego później podkładem pod układany dren. Ruszt ten umożliwia dopływ powierzchniowej wody infiltracyjnej z boków i od spodu drenu, ograniczając dopływ wód gruntowych.

Po zakończeniu pierwszego etapu polepszania właściwości złoża infiltracyjnego następuje właściwy cykl umieszczania drenu w złożu, tj. wykopanie koparką ssąco-refulującą rowu do ułożenia drenu, ułożenie drenu, zasypianie drenu odpowiednią warstwą żwirową, a następnie piaskiem rzeczny, który stanowi właściwą warstwę filtracyjną.

Po zakończeniu obsypki, a przed rozpoczęciem wpracowania drenu, następuje drugi etap polepszania jakości złoża wokół drenu, który polega na jego ponownym płukaniu węglbnym przy pomocy spulchniacza hydraulicznego, z tą różnicą, że płukanie odbywa się płycej, lecz szerzej. Płukanie to ma na celu oczyszczenie zasypanego złoża z zanieczyszczeń, jakie znajdują się w materiale zasypowym, jak i z zanieczyszczeń naniesionych przez prąd rzeki w trakcie układania i łączenia drenu. Ponadto w tym procesie następuje dalsze segregowanie granulacji zasypanego kruszywa i piasku, wytwarzając dogodne warunki przepływu filtrowanej wody w szerszym pasie po obu stronach drenu.

Dodatkowym szczegółem, bardzo istotnym w drugim etapie uzdatniania złoża podczas jego płukania, jest tłoczenie czystej wody do wnętrza drenu pod niewielkim ciśnieniem. Woda wypływająca przez perforacje na zewnątrz drenu zabezpiecza bezpośrednie otoczenie drenu przed zbieraniem się piasku i drobnych żwirików, mogących spowodować w trakcie

wpracowywania drenu zasklepianie otworów perforacji. Prowadzone prace rozruchowe potwierdziły celowość takiego postępowania. Stopień zapiaszczenia drenu podczas pracowania był wielokrotnie mniejszy, a czas pracowania i osiągnięte parametry jakości i obciążeń drenu były lepsze od osiąganych przy tradycyjnych metodach wykonania i eksploatacji tego typu ujęć. Obserwacje funkcjonowania tak ułożonych drenów wykazały dużą stabilność pracy ujęcia i jego mniejsze obciążenie depresją. Uzyskano również stabilizację wydajności ujęcia w okresie zimowym.

Modernizacja technologii uzdatniania wody

Istniejący układ technologiczny uzdatniania wody, złożony z następujących procesów: ujęcie infiltracyjne spod dna Wisły, napowietrzanie oraz filtracja pospieszna, charakteryzuje się zoptymalizowanymi parametrami. Mimo to dla wody po filtrach pospiesznych wymagana dezynfekcyjna dawka dwutlenku chloru wynosiła $0,8+1,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ (średnio $0,9+1,0 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$), przy średnim stężeniu ogólnego węgla organicznego $4,0 \text{ gC}/\text{m}^3$ [2]. Infiltracja okazała się również wysoko sprawnym procesem w usuwaniu z wody wiślanej związków organicznych, wyrażonym $50+80\%$ obniżeniem stężeń OWO.

O kształcie przyszłego schematu technologicznego uzdatniania wody miały zdecydować badania modelowe, przy założeniu wprowadzenia do układu procesów ozonowania i sorpcji na granulowanym węglu aktywnym. Urządzenia stacji modelowej o wydajności około $7 \text{ m}^3/\text{h}$ zasilane były wodą po technicznych filtrach pospiesznych. Badania rozpoznawcze wykazały, że wstępne ozonowanie wody infiltracyjnej wpływało również na proces odmanganiania na filtrach pospiesznych. Problem ten został rozwiązany przez intensyfikację napowietrzania wody infiltracyjnej, po przebudowie głowic aeratorów typu haskiego [3].

Nie bez znaczenia przy opracowywaniu propozycji przyszłej technologii były ograniczenia wielkości terenu zajmowanego przez Wodociąg Praski oraz jego usytuowanie w gęstej zabudowie dzielnicy willowej. Stąd też zaproponowano przeanalizowanie alternatywy ozonowania i sorpcji na granulowanym węglu aktywnym, a mianowicie napowietrzanie wody po filtrach pospiesznych i sorpcję na węglu aktywnym. Do badań wytypowano trzy gatunki granulowanych węgli aktywnych znanych firm europejskich, w tym dwa węgle sorpcyjne i jeden o działaniu biologicznym. Na podstawie wstępnych badań przyjęto 12-minutowy czas kontaktu wody z węglem. Już po krótkim okresie badań wprowadzono wydłużony do około 17 minut czas kontaktu wody z węglem. Było to możliwe dzięki przyjęciu wysokości złóż węglowych 3 m, a nie 2 m, jak wstępnie zakładano.

Badania procesu ozonowania końcowego wykazały konieczność ograniczenia dawki ozonu do $2 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, przy czasie kontaktu $10,0+12,5 \text{ min}$ (czas 5 min okazał się niewystarczający). Podstawowym powodem ograniczenia dawki ozonu było powstawanie bromianów w ilości około $0,025 \text{ gBrO}_3/\text{m}^3$.

W tej sytuacji zintensyfikowano proces ozonowania przez zastosowanie produkcji ozonu z tlenu, przez co uzyskano zwiększenie stężenia ozonu w mieszaninie tlenowo-ozonowej do $75 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, z pierwotnej wartości około $20 \text{ gO}_3/\text{m}^3$. Dotychczasowe obserwacje wykazały, że zwiększenie stężenia ozonu nie spowodowało podwyższenia zawartości bromianów w wodzie.

Równocześnie obserwacje procesu napowietrzania, a następnie natleniania wody (tlenem z butli, a potem z generatora tlenu) wykazały jego minimalny udział w usuwaniu związków organicznych z wody po filtracji pospiesznej. Efektywność układu tlen-węgiel aktywny była wynikiem działania złoża węglowego. Potwierdziły się korzystne efekty układu ozon-węgiel aktywny.

Ocenę 26-miesięcznego okresu pracy filtrów węglowych dokonano w oparciu o kryterium efektów technologicznych oraz parametrów eksploatacyjnych. Uzupełniającymi danymi były zmiany właściwości fizyczno-chemicznych węgli aktywnych. Zdecydowanie lepsze efekty uzyskano dla węgli typowo sorpcyjnych. Po trzech miesiącach pracy kolumn sorpcyjnych stwierdzono przebieg procesów biologicznych na węglu, przy czym w okresie niskich temperatur wody procesy te ulegały naturalnemu zahamowaniu. Przy określonej dla danej pory roku jakości wody wiślanej, efekt pracy układu uzdatniania był wystarczający, nawet przy znacznie obniżonych zdolnościach sorpcyjnych węgli.

Węgiel o działaniu typowo biologicznym pozwalał na uzyskanie równomiernych efektów, poza okresem zimowym, ale na znacznie niższym poziomie. W okresie zimy obserwowano zahamowanie procesów biologicznych. Po 26 miesiącach pracy odnotowano wyczerpanie zdolności sorpcyjnych węgla w ponad 80%. Wynika stąd, że w celu wydłużenia okresów międzyregeneracyjnych węgli do kilku lat należy stworzyć optymalne warunki do przebiegu procesów biologicznych. W sytuacji obniżenia się zdolności sorpcyjnych węgla aktywnego efekt filtracji był sumarycznym wynikiem procesów sorpcji i biodegradacji przebiegających na węglu aktywnym. Ten schemat pracy filtrów węglowych jest prawie powszechnie stosowany w celu ograniczenia zbyt częstej regeneracji węgla.

Stwierdzono, że woda z ujęcia infiltracyjnego poddawana napowietrzaniu i filtracji pospiesznej z prędkością do 6 m/h oraz ozonowaniu dawką do $2 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ w czasie 10 min (ozon resztkowy $\leq 0,15 \text{ gO}_3/\text{m}^3$), a następnie sorpcji na złożach węglowych (czas kontaktu 17 min), wymagała, poza okresem letnim, dezynfekcyjnej dawki dwutlenku chloru do $0,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$. W okresie letnim dawka ta wzrosła do około $0,5 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$. Dla alternatywnego układu z natlenianiem wody dawka dwutlenku chloru wynosiła $0,6+0,75 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$.

Jako docelowy układ technologiczny Wodociągu Praskiego przyjęto wariant z ozonowaniem. Podjęto również próbę optymalizacji tego układu dla zwiększenia jego efektywności w okresie letnim. W tym celu przeprowadzono badania dla układu rozszerzonego o recyrkulację 50% filtratu po złożu węglowym przed proces ozonowania oraz wprowadzenie nadtlenu wodoru podczas ozonowania. Rozważana była również możliwość wydłużenia czasu kontaktu wody z węglem aktywnym do 30 min, dla intensyfikacji procesów biochemicznych przebiegających na węglu. Badania recyrkulacji wskazywały na możliwość zwiększenia efektów uzdatniania wody o około 10% przez ozonowanie recyrkulacyjne. Efekty zasilania filtru węglowego w 50% wodą po ozonowaniu recyrkulacyjnym i w 50% wodą po ozonowaniu podstawowym okazały się gorsze o kilka procent niż dla ozonowania recyrkulacyjnego. Próby te były prowadzone w 23. i 24. miesiącu pracy złoża węglowego, przy wyczerpaniu jego zdolności sorpcyjnych w około 80%. Można przypuszczać, że przy mniejszym stopniu wyczerpania zdolności sorpcyjnych złoża węglowego prowadzenie recyrkulacji dałoby lepszą jakość wody po procesie sorpcji.

Osobny cykl badań dotyczył warunków wprowadzenia nadtlenu wodoru podczas procesu ozonowania. Sprawdzono trzy punkty jego dawkowania, tj. przed, w połowie lub po kolumnach do ozonowania wody. Wielkość dawek nadtlenu wodoru określono wstępnie w testach laboratoryjnych. Przyjęto dawki 0,5, 5,0 i 10,0 gH₂O₂/m³, przy których stwierdzono skokowy wzrost stężenia przyswajalnego węgla organicznego w wodzie po procesie. Dotychczasowe badania modelowe wykazały nieco niższą efektywność układu z nadtlaniem wodoru w usuwaniu związków organicznych z wody. Ponadto podczas dawkowania nadtlenu wodoru stwierdzono wyższe stężenia bromianów w wodzie niż w układzie bez jego dawkowania, lecz były to wartości poniżej 0,025 gBrO₃/m³. Stąd też brak jest uzasadnienia dla wprowadzenia nadtlenu wodoru do układu uzdatniania wody.

Modernizacja techniczna Zakładu

Równocześnie z modernizacją technologii uzdatniania wody prowadzona jest modernizacja techniczna Wodociągu Praskiego. Przy określonej pojemności zbiorników wody czystej, która jest zbyt mała do magazynowania wody, musi być zapewniona elastyczna wydajność urządzeń, dostosowana do rozbiórów wody. Jest to możliwe pod warunkiem zachowania odpowiedniej rezerwy wydajności ujęć infiltracyjnych,

filtrów pospiesznych, a także zastosowania płynnej regulacji pomp na ujęciach oraz w pompowni II^o. Regulacja i automatyzacja pracy pomp, filtrów, urządzeń do dawkowania chloru i dwutlenku chloru, uzależniona będzie od przyjętego ciśnienia wyjściowego.

Wdrożenie dwutlenku chloru do dezynfekcji wody planowane jest w połowie czerwca 1997 r., przy czym proces ten w okresie przejściowym będzie prowadzony równocześnie dwutlenkiem chloru i chlorem, a następnie dawka dwutlenku chloru będzie stopniowo zwiększana i jednocześnie obniżana dawka chloru. Przyczyną takiego sposobu wprowadzania dwutlenku chloru do dezynfekcji wody jest uzasadniona obawa przed wystąpieniem niekorzystnych zjawisk w sieci wodociągowej.

LITERATURA

1. Sposób układania drenów w złożu infiltracyjnym z ulepszeniem złoża. Zgłoszenie patentowe nr P-311911, Warszawa 1997.
2. J. WĄSOWSKI: Badania nad zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru wody uzdatnianej na Wodociągu Praskim w Warszawie. Warszawa 1996 (praca nie publikowana).
3. Wielostopniowa głowica napowietrzająca. Zgłoszenie patentowe nr P-306741, Warszawa 1995.

On the Modernization of the Praga Waterworks in Warsaw

The benefits from removing organic and mineral pollutants (especially ammonia nitrogen) by riverine filter beds are discussed. A two-stage method of laying drains in the river bottom is proposed, which makes it possible to upgrade not only the yield of the intake, but also the quality of the taken-in water. The experience gained from the operation of such an intake has substantiated the utility of the adopted system. The operation of the intake has been failure-free so far, and it has been possible to maintain a stable yield in the winter season as well.

The quality of the water supplied by the Praga Waterworks and the potentiality for its upgrading were analyzed. Making use of the results of model investigations, it was suggested that the treatment train should be added two more unit processes – ozonation and sorption on GAC beds. This modernization option allows application of chlorine dioxide to water disinfection at doses equal to, or lower than, 0.4 g/m³, thus providing potable water of desired quality. Investigated was also the potentiality of using hydrogen peroxide for the purpose of ozonation.