

Anna Mossakowska

Wpływ wybranych parametrów pracy filtrów węglowych na jakość wody z Wodociągu Praskiego w Warszawie

Zakład Wodociągu Praskiego w Warszawie uruchomiono we wrześniu 1964 r. Schemat technologiczny uzdatniania wody ujmowanej z Wisły tworzą następujące procesy:

– infiltracja poprzez ujęcia szczytowe nr 1 i 2 oraz ujęcie zasadnicze, z którego woda kierowana jest do Zakładu Wodociągu Centralnego,

– napowietrzanie otwarte w aeratorach typu haskiego, przy czasie kontaktu około 3 min,

– filtracja pospieszna z prędkością nominalną 6 m/h (wysokość złoża 1,5 m, piasek filtracyjny frakcji 0,5+1,0 mm),

– dezynfekcja równocześnie chlorem i dwutlenkiem chloru, okresowo tylko dwutlenkiem chloru (dawki chloru od ok. 1,0 gCl₂/m³ do 3,5 gCl₂/m³, dawki dwutlenku chloru od 0,7 gClO₂/m³ do 1 gClO₂/m³).

Nominalna wydajność Wodociągu Praskiego wynosi 100 tys. m³/d, natomiast rzeczywista – z powodu prowadzonej modernizacji – do 60 tys. m³/d. Jakość wody kierowanej do sieci spełnia, w badanym zakresie, wymagania określone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 4 września 2000 r. Okresowo oznaczane są THM w stężeniach zbliżonych do dopuszczalnych oraz podwyższone ilości związków organicznych.

Cel badań

Celem badań było takie rozszerzenie technologii Wodociągu Praskiego, aby można było spełnić następujące kryteria:

– dezynfekcyjna dawka dwutlenku chloru do 0,4 gClO₂/m³, tj. maksymalnie dopuszczona decyzją Państwowego Wojewódzkiego Inspektora Sanitarnego,

– wymagania jakości wody do picia i celów gospodarczych wg poprzedniego rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z 4 maja 1990 r.

Badania technologiczne w Zakładzie Wodociągu Praskiego prowadzono już w latach 70. Głównym problemem, oprócz podwyższonych stężeń związków organicznych, były w tym czasie niezadowalające efekty w zakresie obniżania intensywności barwy, usuwania mętności, związków żelaza i manganu, azotu amonowego oraz bakterii. Przyczyną tego stanu była niższa skuteczność procesu infiltracji (przeciążenie procesu, inne rozwiązania techniczne), brak napowietrzania, prędkość filtracji 8÷10 m/h, krótki czas kontaktu w zbiornikach wody czystej (wyższa produkcja ok. 200 tys. m³/d oraz strugowy przepływ wody).

Rozważano wprowadzenie do układu technologicznego Wodociągu Praskiego procesów ozonowania wstępnego wody infiltracyjnej, koagulacji powierzchniowej, innego rodzaju złożów filtrów pospiesznych, ozonowania pośredniego oraz filtracji przez złoża węglowe. W latach 90. rozpoczęła się tendencja zmniejszania zapotrzebowania aglomeracji warszawskiej na wodę. Ten fakt oraz doświadczenia eksploatacyjne pozwoliły na optymalizację procesów infiltracji, napowietrzania oraz filtracji pospiesznej, skorygowano także hydraulikę zbiorników wody czystej. Stwierdzono wówczas zdecydowaną poprawę jakości wody uzdatnionej. Od czerwca 1997 r. wprowadzono do dezynfekcji wody dwutlenek chloru, celem obniżenia stężeń THM, poprawy skuteczności dezynfekcji w czasie zimowych spływów powodziowych, poprawy cech organoleptycznych wody oraz jakości wody w sieci. Z kilkuletniej perspektywy można powiedzieć, że cele te zostały osiągnięte. Nadal pozostał jednak do rozwiązania problem efektywniejszego usuwania związków organicznych z wody, w stopniu pozwalającym na dezynfekcję wody dwutlenkiem chloru dawką do 0,4 gClO₂/m³, co było podstawowym celem przeprowadzonych badań.

Zakres i metodyka badań

Przyjęto następujące założenia badawcze:

– rozszerzenie istniejącej technologii uzdatniania wody o procesy ozonowania lub natleniania pośredniego i filtracji przez złożo węgla aktywnego; do badań wytypowano trzy gatunki granulowanych węgla aktywnych, tj. dwa o dobrych właściwościach sorpcyjnych i jeden tzw. węgiel biologicznie aktywny,

– zasilanie stacji modelowej wodą po pospiesznych filtrach technicznych.

W opinii Zakładu Wodociągu Praskiego odtwarzanie w skali modelowej procesów napowietrzania i filtracji pospiesznej było niewskazane, co potwierdziły m.in. wcześniejsze doświadczenia ze skali modelowej. Obecny układ techniczny jest efektywny w zakresie odmanganiania wody, nityfikacji oraz klarowania wody. Decydujące znaczenie ma tu sposób napowietrzania, tj. konstrukcja aeratorów oraz naturalnie uaktywnione złożo piaskowe.

Wyniki analiz fizyczno-chemicznych potwierdzały, że woda po filtrach pospiesznych, pozbawiona podstawowych zanieczyszczeń, może być kierowana na filtry węglowe [1]. Równocześnie wyniki pracy układu technicznego oraz przewidywanie niekorzystnych zmian jakości wody były podstawą do rezygnacji z ozonowania wstępnego wody infiltracyjnej. W opinii Wodociągu Praskiego funkcję technologiczną

we właściwym stopniu spełnia sprawny proces napowietrzania wody infiltracyjnej.

W związku z powyższym do badań przyjęto dwa podstawowe układy technologiczne:

– układ 1: infiltracja–napowietrzanie–filtracja pospieszna (skala techniczna) i kontynuacja w skali modelowej: ozonowanie pośrednie z czasem kontaktu do 12,5 min, równoległa filtracja przez trzy filtry węglowe (FW2, FW3, FW4) zasypane trzema różnymi gatunkami granulowanego węgla aktywnego o wysokości złoża 2,5 m i czasach kontaktu wody ze złożem 12 min oraz 17 min i 34 min, dezynfekcja chlorem lub dwutlenkiem chloru w skali laboratoryjnej,

– układ 2: infiltracja–napowietrzanie–filtracja pospieszna (skala techniczna) i kontynuacja w skali modelowej: napowietrzanie (natlenianie) z czasem kontaktu 5+8 min, filtracja przez złożo węglowe (FW1) o wysokości 2,5 m (filtr zasypany tym samym gatunkiem węgla aktywnego co filtr FW4) i czasach kontaktu wody ze złożem 12 min i 17 minut, dezynfekcja chlorem lub dwutlenkiem chloru w skali laboratoryjnej.

W trakcie badań wprowadzono układy pochodne, tzn. okresowo dawkowano nadtlenek wodoru przy procesach ozonowania i natleniania oraz zastosowano recyrkulację części filtratu z filtru FW3 przed kolumnę do ozonowania [1,4].

Wydajność stacji modelowej wynosiła 7 m³/h. Praca stacji odbywała się w systemie ciągłym, z całodobową obsługą. Po pierwszym roku badań zakupiono generator tlenu. Proces napowietrzania zastąpiono natlenianiem, a ozon wytwarzano z tlenu w ozonatorze Sander. Średnica kolumny do ozonowania wody wynosiła 630 mm, natomiast średnica filtrów modelowych 450 mm, a ich wysokość 4580 mm. Stację wyposażono w destruktor ozonu oraz instalację powietrzno-wodną do płukania filtrów.

Stacja modelowa została wykonana systemem zleconym, jak również pierwszy rok badań prowadzony był przez wykonawcę stacji we współpracy z Wodociągiem Praskim [3]. Dalsze etapy badań kontynuowane były przez Wodociąg Praski przy udziale Politechniki Warszawskiej [2] (okresowe badania dezynfekcyjnych dawek ClO₂) oraz Politechniki Śląskiej (oznaczanie bromianów).

Wyniki badań

Badania prowadzono w latach 1995–2000, z roczną przerwą na modernizację stacji.

Ozonowanie pośrednie lub natlenianie

Układy 1 i 2 różniły się w sposób zasadniczy z powodu alternatywnego stosowania pośredniego ozonowania lub natleniania wody przed filtrami węglowymi. W wodzie z Wisły, na wysokości ujęcia dla Wodociągu Praskiego, okresowo stwierdza się znaczące stężenia bromków, co czyni prawdopodobnym powstawanie bromianów w procesie ozonowania. Decydującym wskaźnikiem przy ustalaniu parametrów ozonowania było więc stężenie bromianów w wodzie po procesie utleniania. Według wówczas obowiązujących zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia, maksymalne dopuszczalne stężenie bromianów w wodzie do picia określono na 0,025 g/m³. Warunek ten był dotrzymany przy dawce ozonu ograniczonej do 2,0 gO₃/m³ i czasach kontaktu 10 min i 12,5 min. Dawka ozonu zmieniała się od 0,5 gO₃/m³ do 2,0 gO₃/m³, przy ożonie reszkowym do 0,15 gO₃/m³.

Równocześnie w wodzie po procesie napowietrzania oznaczono bromiany w stężeniach do 0,01 g/m³. Dawka tlenu przy natlenianiu pośrednim wody zmieniała się od 10 gO₂/m³ do 30 gO₂/m³.

Oznaczony w wodzie po ozonowaniu formaldehyd w stężeniach do 0,06 g/m³ był potwierdzeniem ograniczenia dawki ozonu, a w efekcie niepełnego utlenienia przez ozon związków organicznych do formy przyswajalnej.

Tabela 1. Skuteczność procesów ozonowania i natleniania wody

Parametr	Obniżenie wartości parametru, %	
	ozonowanie w układzie 1	natlenianie w układzie 2
Barwa	śr. 75	śr. 5
Utleniałość	śr. 12	śr. 2
OWO	śr. 10	śr. 1
Absorbancja (λ=254 nm)	śr. 25	≤10
Potencjał tworzenia THM	10+30	≤6
Dawka ClO ₂	ok. 30	–

Uzyskane wyniki (tab.1) były technologicznym uzasadnieniem dla ozonowania pośredniego wody dawką ozonu nawet ograniczoną do 2,0 gO₃/m³, a nie natleniania pośredniego, pomimo powstawania w procesie ozonowania bromianów w stężeniach okresowo od 0,015 g/m³ do 0,020 g/m³.

W układzie 2 efekt uzdatniania wody był równy efektowi pracy złoża węglowego, ponieważ proces natleniania w minimalnym stopniu zmienił jakość wody. Okresowo stwierdzono w wodzie po układzie 2 bromiany w stężeniach od 0,010 g/m³ do 0,015 g/m³.

Filtracja przez złoża węglowe

Woda po procesie ozonowania pośredniego kierowana była równoległe do trzech filtrów węglowych:

- filtru FW2, wypełnionego węglem aktywnym o działaniu biologicznym,
- filtrów FW3 i FW4, wypełnionych węglem aktywnym o dobrych właściwościach sorpcyjnych.

Na podstawie wytycznych z wcześniejszych badań początkowo zastosowano czas kontaktu wody ze złożem 12 min, który po trzech miesiącach zwiększono do 17 min z powodu obserwowanego szybkiego wyczerpywania się właściwości sorpcyjnych węgla. W II etapie badań, dla węgla aktywnego po regeneracji, zastosowano równoległe czasy kontaktu wody ze złożem 17 min (FW2 i FW4) oraz 34 min (FW3). Woda po procesie napowietrzania (natleniania) zasilala filtr FW1, zasypany tym samym gatunkiem węgla aktywnego co FW4. Stosowano te same czasy kontaktu co dla filtru FW4, tzn. 12 min i 17 min.

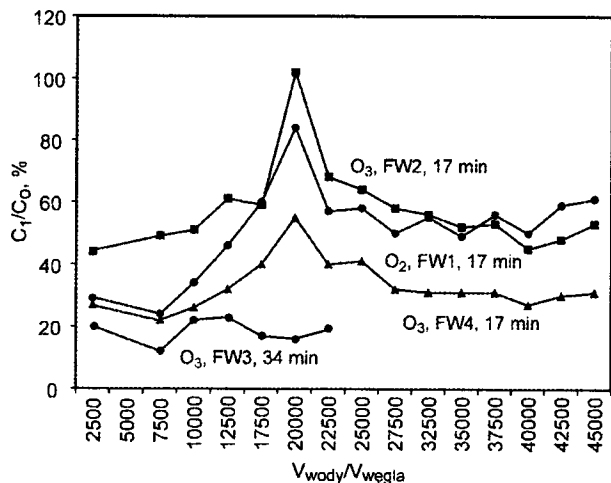
Płukanie filtrów węglowych prowadzono powietrzem i wodą według wytycznych producentów węgla aktywnego. Cykle dla filtrów zasypanych węglami sorpcyjnymi trwały od 8 d do 14 d w układzie z pośrednim ozonowaniem wody, a 10 d do 18 d przy uprzednim natlenieniu wody. Częstość płukania filtru wypełnionego węglem biologicznym wynosiła od 3 d do 9 d i była uzależniona od temperatury wody.

Przyjęto następujące kryteria oceny badanych węgla aktywnych:

- ocena technologiczna, której wyznacznikiem była wysokość dezynfekcyjnej dawki dwutlenku chloru do 0,4 gClO₂/m³,
- ocena hydrauliczna, tj. długość cykli filtracji,

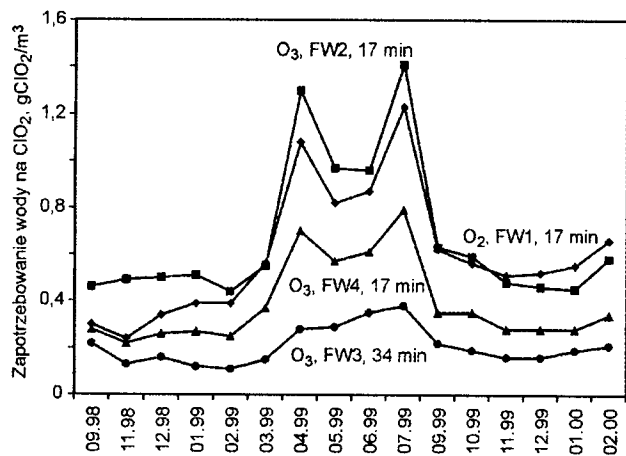
– ocena zmian właściwości fizyczno-chemicznych węgla aktywnego, a głównie liczby jodowej.

Na rysunku 1 przedstawiono objętościowe krzywe przebiecia dla zapotrzebowania wody na ClO_2 dla badanych wariantów pracy filtrów węglowych.



Rys. 1. Krzywe przebiecia dla zapotrzebowania wody na ClO_2 po filtrach węglowych

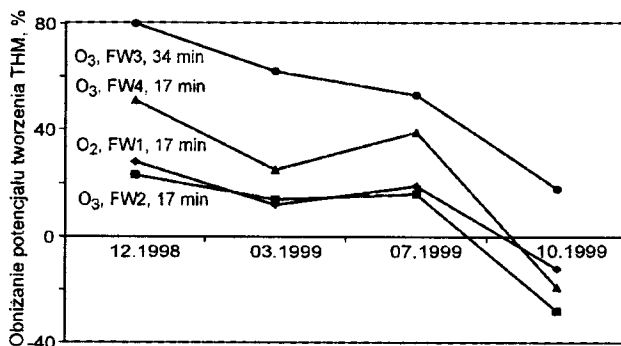
Najgorsze efekty stwierdzono dla węgla FW2. Przebieg krzywych dla filtrów FW1 i FW4 potwierdził celowość ozonowania pośredniego wody przed filtrami, co pozwoliło – w stosunku do układu z natlenianiem – zwiększyć efekt uzdatniania wody o około 20%. Zastosowanie ozonowania i wydłużonego do 34 min czasu kontaktu wody ze złożem węgla aktywnego zmieniło charakter krzywej, nie odnotowano jednak w porze wiosenno-letniej niższych efektów uzdatniania. Istotny był fakt dotrzymania warunku wysokości dezynfekcyjnej dawki dwutlenku chloru do $0,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$, co zostało spełnione jedynie przy czasie kontaktu wody z węglem aktywnym 34 min (rys.2).



Rys. 2. Zapotrzebowanie wody na ClO_2 po filtrach węglowych

Kontrola analityczna wody po układzie z ozonowaniem, w zakresie stężeń metali i pestycydów, wykazała najwyżej ich śladowe ilości. Pomiar potencjału tworzenia THM potwierdził najwyższe efekty przy wydłużonym do 34 min czasie kontaktu wody z węglem aktywnym. W pozostałych wypadkach stwierdzono tzw. przebiecia złoża po roku pracy filtrów (rys.3).

Początkowo realizowany szeroki zakres analiz fizyczno-chemicznych badanych gatunków węgla aktywnych został ograniczony do oznaczenia liczby jodowej. Po 17 miesiącach badań II etapu liczba jodowa dla poszczególnych gatunków węgla aktywnych wynosiła odpowiednio: FW1 – 457 mg/g,

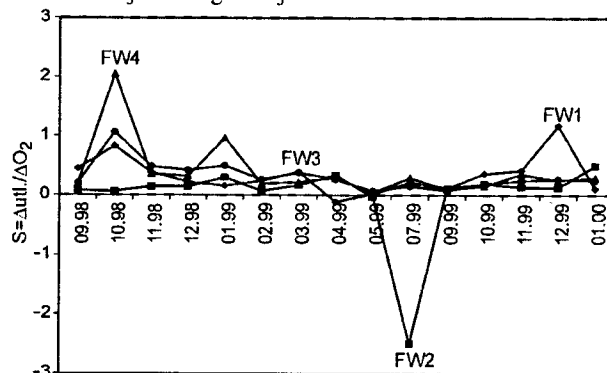


Rys. 3. Obniżanie potencjału tworzenia THM w wodzie po filtrach węglowych

FW2 – 500 mg/g, FW3 – 651 mg/g i FW4 – 535 mg/g. Dla filtrów FW3 i FW4 stwierdzono równocześnie wysokie efekty uzdatniania wody. Fakt ten wskazywał na uruchomienie procesów biologicznych w złożu filtrów, zwłaszcza przy wydłużonym czasie kontaktu. Na rysunku 4 podano wyniki testu EMS na określenie charakteru pracy złoża węglowego wg zależności:

$$S = \frac{\Delta \text{utl.}}{\Delta \text{O}_2} \quad (1)$$

Dla $S=1$ adsorpcja i biodegradacja przebiegają z jednakową intensywnością, przy $S>1$ dominuje adsorpcja, natomiast przy $S<1$ dominuje biodegradacja.



Rys. 4. Aktywność biologiczna filtrów węglowych

Uzyskane wyniki wskazują, że dla węgla o dobrych właściwościach sorpcyjnych (FW1=FW4, FW3) tylko w początkowym okresie pracy filtrów przeważyły procesy adsorpcji, a następnie dominowała biodegradacja, nawet w czasie niskich temperatur wody. Dla biologicznego węgla aktywnego (FW2) oczywiście procesy biodegradacji były przeważające w całym okresie badań. Oznaczenie liczby bakterii w złożu było wykonywane okresowo m.in. z powodu nieustalanej metodyki. Dla węgla sorpcyjnych wartości te były rzędu kilkudziesięciu tysięcy bakterii w 1 cm^3 węgla, a dla węgla biologicznego rzędu kilkuset tysięcy bakterii w 1 cm^3 węgla.

Wnioski

♦ Do rozbudowy technologii uzdatniania wody w Wodociągu Praskim wytypowano układ 1, z ozonowaniem pośrednim i czasem kontaktu wody z węglem aktywnym 34 min oraz dezynfekcją wody dwutlenkiem chloru.

♦ Badania wykazały, że podstawowym warunkiem uzyskania założonego efektu technologicznego, przy konieczności ograniczenia dawki ozonu, jest wydłużony czas kontaktu wody z węglem aktywnym do minimum 30 min.

◆ W układzie technologicznym uzdatniania wody należy zastosować granulowany węgiel aktywny o dobrych właściwościach sorpcyjnych, stwarzając jednocześnie warunki do uruchomienia w złożu węgla procesów biologicznych.

LITERATURA

1. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 1996.
2. J. WĄSOWSKI: Badania nad zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru wody uzdatnionej na Wodociągu Praskim w Warszawie. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w m. st. Warszawie, Warszawa 1996 (praca nie publikowana).
3. Badania na stacji pilotowej Wodociągu Praskiego w okresie od 03.1995 do 04.1996. ELIMP, Warszawa 1996 (praca nie publikowana).
4. Sprawdzające badania technologiczne dla przyszłościowej modernizacji Zakładu Wodociągu Praskiego. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w m. st. Warszawie, Warszawa 1997 (praca nie publikowana).

Effect of Some GAC Filter Parameters on Water Quality: A Case Study

The results of technological investigations into the Praski Water Treatment Plant were presented. The decision was made to include ozonation or indirect oxidation, as well as filtration on GAC bed, into the existing treatment train. The fundamental criterion for the systems under study was that the disinfecting chlorine dioxide dose must not exceed 0.4 g/m^3 . For the purpose of engineering design, the treatment train was extended by the inclusion of indirect ozonation and GAC filtration with a contact

time of 34 minutes. The investigations showed that, considering the requirement of limiting the ozone dose, the prerequisite to achieve the treatment effects desired is to extend the time of water-GAC contact to at least 30 minutes. The GAC to be used should display a high sorbing capacity, and the GAC bed should provide favourable conditions for the occurrence of biological processes.