

Bożena Misztak

Skuteczność wstępnego utleniania domieszek wody w Wodociągu Północnym w Warszawie

Wodociąg Północny o wydajności 140+180 tys. m³/d, eksploatowany od 1986 roku, zasilany jest wodą powierzchniową z Zalewu Zegrzyńskiego – zbiornika zaporowego utworzonego z wód Bugu i Narwi. Wodociąg Północny uzupełnia system zaopatrzenia Warszawy w wodę przez Wodociąg Centralny i Wodociąg Praski, pobierające wodę z Wisły.

Jakość ujmowanej wody

Charakterystyczne parametry wody ujmowanej przez Wodociąg Północny w latach 1992–1994 zawiera tabela 1. W wodzie tej dominuje wysoka barwa naturalna oraz związki organiczne o charakterze humusowym, przy jednocześnie niskiej mętności i zasoleniu oraz mało znaczącym udziale zanieczyszczeń pochodzenia przemysłowego.

Większość wskaźników jakości wody mieści się w I klasie czystości, z wyjątkiem ChZT, utlenialności i fosforu, które klasyfikują wodę do II klasy, natomiast pod względem bakteriologicznym ujmowana woda odpowiada III klasie czystości. Tendencję wzrostową w ostatnich trzech latach wykazują takie wskaźniki jak barwa, zawartość związków organicznych oraz zanieczyszczenie bakteryjne wody.

Tabela 1. Parametry jakości wody ujmowanej przez Wodociąg Północny (wartości średnie)

Parametr, jednostka	Rok		
	1992	1993	1994
Temperatura, °C	10,5	10,0	11,5
Mętność, g/m ³	12,5	11,0	12,5
Barwa, gPt/m ³	54	55	57
pH, –	8,28	8,26	8,15
Utlenialność, gO ₂ /m ³	11,2	11,5	12,2
ChZT, gO ₂ /m ³	25,0	24,8	25,8
Adsorbancja w UV (254 nm), m ⁻¹	26,19	27,94	33,75
Tlen rozpuszczony, gO ₂ /m ³	10,2	9,7	10,1
Żelazo, gFe/m ³	0,51	0,48	0,34
Mangan, gMn/m ³	0,10	0,09	0,09
Azot amonowy, gN/m ³	0,30	0,31	0,34
Azot azotanowy, gN/m ³	1,0	1,0	1,15
Chlorki, gCl/m ³	27,0	24,7	22,7
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	52,6	52,8	50,2
Fosforany rozp., gPO ₄ ³⁻ /m ³	0,11	0,10	0,17
Fosfor ogólny, gP/m ³	0,20	0,19	0,15
Przewodność el. wł., µS/cm	512	490	461
Miano coli typu kałowego, –	0,059	0,026	0,039
Fitoplankton*, org./cm ³	25.500	19.500	17.000

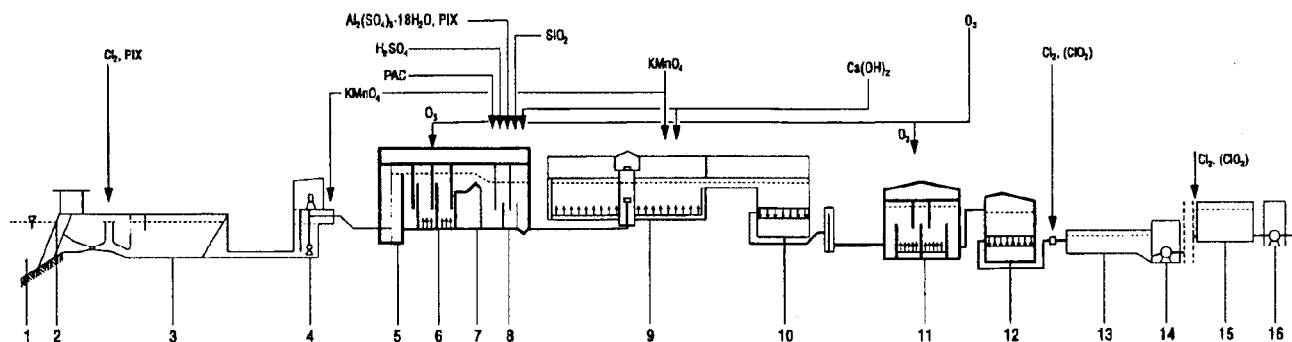
* wartości średnie z okresu od marca do października

Uzdatnianie wody

W celu usunięcia niepożądanych zanieczyszczeń wody, tj. obniżenia intensywności barwy oraz zawartości związków organicznych, planktonu i mikrozanieczyszczeń, zaprojektowano układ technologiczny oparty głównie na wstępnym chlorowaniu w zbiornikach kontaktowych, koagulacji siarczanem glinu w pulsatorach oraz filtracji pospiesznej na złożach piaskowych (rys.1). Przewidziano także możliwość stosowania reagentów wspomagających, takich jak nadmanganian potasu, pylisty węgiel aktywny, kwas siarkowy oraz woda wapienna. W fazie projektowania pozostaje układ ozonowania pośredniego, natomiast filtry węglowe są w fazie realizacji. Z uwagi na dużą odległość Wodociągu Północnego od Warszawy (ok. 1-dobowa retencja wody), woda podawana jest do miasta przez stację przesyłową, wyposażoną w chlorownię i zbiorniki do magazynowania wody. Woda czysta jest dwukrotnie dezynfekowana chlorem, przy czym w przyszłości przewiduje się zastosowanie dwutlenku chloru. Ze względu na rozmiary zbiorników kontaktowych (2×160 tys. m³) wstępne chlorowanie wody do punktu przełamania wymagało zastosowania wysokich dawek chloru, co przy znacznej retencji wody w układzie i dwukrotnej dezynfekcji końcowej prowadziło do tworzenia znacznych ilości THM-ów oraz pogarszało smak i zapach wody. Ze względu na niekorzystne następstwa chlorowania wody zdecydowano o przyspieszeniu wprowadzenia wstępnego ozonowania z zastosowaniem prototypowej instalacji Instytutu Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie o wydajności 10 kgO₃/h. Z końcem 1991 r. uruchomiono wstępne dawkowanie ozonu w sposób ciągły w ilości 1+2 gO₃/m³, utrzymując jednocześnie wstępne chlorowanie wody dawką około 3 gCl₂/m³. Od połowy maja 1993 r. wyeliminowano całkowicie wstępne chlorowanie i dawkowano do wody jedynie ozon w ilości 1+2 gO₃/m³. Koagulację domieszek wody prowadzono równolegle siarczanem glinu oraz siarczanem żelaza (PIX). W okresie od maja do lipca 1993 r. koagulowano wodę dwustopniowo, dawkując PIX do zbiornika kontaktowego zamiast chloru, a następnie ozon. Po ozonowaniu koagulowano wodę powtórnie, siarczanem glinu i PIX-em. Od września wodę z Zalewu Zegrzyńskiego podawano do stacji uzdatniania kanałem obiegowym z pominięciem zbiornika kontaktowego (odłączonego na czas remontu). W maju 1994 r. uruchomiono nową instalację do ozonowania firmy TRAILIGAZ o wydajności 40 kgO₃/h, przez co uzyskano możliwość podawania większych dawek ozonu do wody przed koagulacją.

Wstępne utlenianie w uzdatnianiu wody

Hydrofobowy charakter zanieczyszczeń humusowych obecnych w ujmowanej wodzie zmniejsza jej podatność na koagulację, natomiast wstępne utlenianie zmienia strukturę i polarność

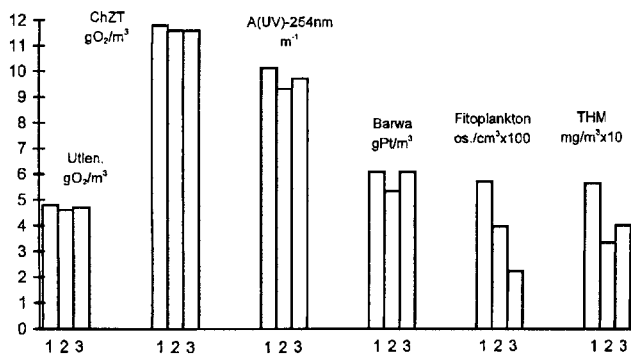


Rys. 1. Schemat układu technologicznego Wodociągu Północnego (1 – Zalew Zegrzyński, 2 – ujęcie wody, 3 – zbiornik kontaktowy, 4 – pompownia I°, 5 – komora wlotowa, 6 – komora ozonowania wstępnego, 7 – komora pomiarowo-przelewowa, 8 – komora mieszania, 9 – pulsatory, 10 – filtry pospieszne, 11 – komora ozonowania pośredniego (projekt), 12 – filtry węglowe (realizacja), 13 – zbiornik wody czystej, 14 – pompownia II°, 15 – zbiornik magazynowy wody czystej (stacja przesyłowa Białoleka), 16 – pompownia III°)

związków organicznych, na skutek czego są one bardziej podatne na usuwanie w procesach koagulacji i filtracji [1,2]. Skuteczne jest chlorowanie wody do punktu przełamania, gdyż następuje wówczas radykalne obniżenie w wodzie po koagulacji barwy, zawartości fitoplanktonu oraz związków organicznych. Do ujemnych aspektów chlorowania wody surowej należą znaczne koszty retencji potrzebne do przebiegu reakcji, a także tworzenie THM-ów oraz innych chlorowcopochodnych organicznych, a w efekcie pogorszenie jakości wody uzdatnionej [3,4].

Wstępne ozonowanie wody jest korzystniejsze od chlorowania z uwagi na wyższy potencjał utleniający ozonu w porównaniu z chlorem (niższe dawki ozonu), krótkie czasy kontaktu (kilkanaście minut) wystarczające do utlenienia związków organicznych, zwiększenie efektywności koagulacji umożliwiające obniżenie dawek koagulantów oraz radykalne ograniczenie powstawania chlorowcowych pochodnych metanu [2,3].

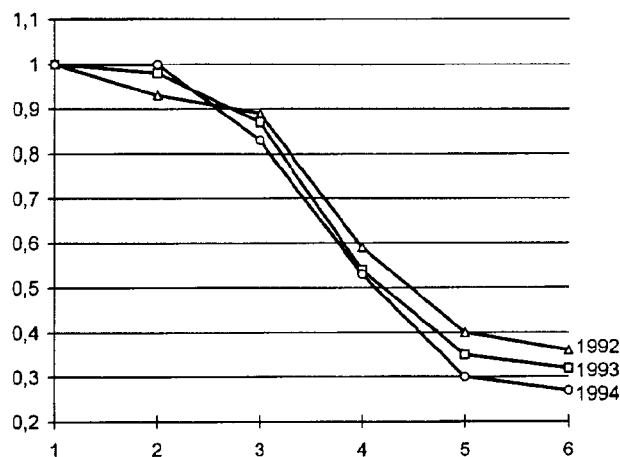
Na rysunku 2 zestawiono ważniejsze parametry jakościowe wody uzdatnionej w okresach od marca do października w latach 1992–1994, odpowiadających sezonom wegetacyjnym planktonu i wyższym stężeniom substancji organicznych w wodzie. Zawartość związków organicznych w wodzie uzdatnionej (utlenialność, ChZT) w kolejnych latach była zbliżona, podobnie jak w wodzie surowej (tab.1), natomiast najniższymi wartościami absorbancji i barwy charakteryzowała się woda uzdatniona w 1993 r. Stężenia powstających THM-ów w latach 1993 i 1994 były zdecydowanie niższe niż w 1992 r. (najniższe wartości zanotowano w 1993 r.). Średnia liczebność fitoplanktonu w wodzie po filtrach malała w kolejnych latach, przy czym najwyższy stopień usuwania planktonu w odniesieniu do wody surowej wystąpił w 1994 r.



Rys. 2. Średnie parametry jakościowe wody uzdatnionej w okresie od marca do października (1 – 1992 r., 2 – 1993 r., 3 – 1994 r.)

W każdym z analizowanych lat stosowano odmienny sposób wstępnego przygotowania wody przed koagulacją w pulsatorach. I tak w 1992 r. zastosowano wstępne utlenianie chlorem, a następnie ozonem. W 1993 r. okresowo (od 10 V do 18 VII) testowano ozonowanie wody uprzednio koagulowanej PIX-em podawanym zamiast chloru. W 1994 r. wstępnie ozonowano wodę dawkami średnio o 50% przewyższającymi dawki ozonu z lat 1992 i 1993. Średnie dawki koagulantów (glinowego i żelazowego) stosowane w latach 1992 i 1994 były niemal identyczne, natomiast w 1993 r. były wyższe odpowiednio o 10 i 20%. Zastosowanie wariantu: koagulacja PIX-em – niskie dawki ozonu – koagulacja w pulsatorach w 1993 r. dawało lepsze efekty obniżania zawartości prekursorów THM-ów i samych THM-ów niż następujące warianty: niskie dawki chloru – niskie dawki ozonu – koagulacja (1992 r.) oraz wysokie dawki ozonu – koagulacja (1994 r.). Średnie stężenia THM-ów w okresach od marca do października trzech analizowanych lat wynosiły odpowiednio 56,7 oraz 33,6 i 40,3 mg/m³.

Na dobre efekty usuwania planktonu z wody w 1994 r. prawdopodobnie miała wpływ prowadzona przy pomocy wody wapiennej alkalizacja wody przed filtrami do pH=7,5 (w 1992 r. wody nie alkalizowano, a w 1993 r. alkalizację prowadzono jedynie w czwartym kwartale). Stwierdzono, że dawkowanie



Rys. 3. Zmiany zawartości związków organicznych w wodzie (absorbancja w UV-254 nm) na różnych etapach jej uzdatniania (1 – woda surowa, 2 – woda po zbiorniku kontaktowym, 3 – woda po ozonowaniu wstępnym, 4 – woda po koagulacji, 5 – woda po filtracji, 6 – woda czysta)

chloru do wody ujmowanej w 1992 r., w stosunku do jej utlenialności, w ilości średnio $0,3 \text{ gCl}_2/\text{gO}_2$ (ok. $3 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ i do $5 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ latem) nie było wystarczające do uzyskania zadowalającego stopnia usuwania planktonu (pozostającego w filtracie w ilości śr. 600 org./cm^3), powodowało natomiast niepożądany wzrost stężenia THM-ów w wodzie uzdatnionej w miesiącach letnich i trudności z utrzymaniem zawartości chloroformu na poziomie wartości dopuszczalnej.

Zawartość związków żelaza i manganu w ujmowanej wodzie nie przekraczała wartości dopuszczalnych (tab.1). W okresie dwustopniowej koagulacji w 1993 r. oraz podczas stosowania zwiększonych dawek ozonu w 1994 r. mangan był usuwany do ilości śladowych. Także pozostałe stężenia żelaza i glinu po koagulacji były niskie ($0,02+0,1 \text{ gFe/m}^3$ i $0,04 \text{ gAl/m}^3$), a stosowanie zwiększonych dawek ozonu od maja 1994 r. wyraźnie polepszyło usuwanie reszkowego żelaza z wody.

Usuwanie związków organicznych

Na rysunku 3 porównano zmiany zawartości związków organicznych w wodzie na kolejnych etapach uzdatniania, na przykładzie absorbancji UV-254 nm, odniesionej do wartości dla wody surowej.

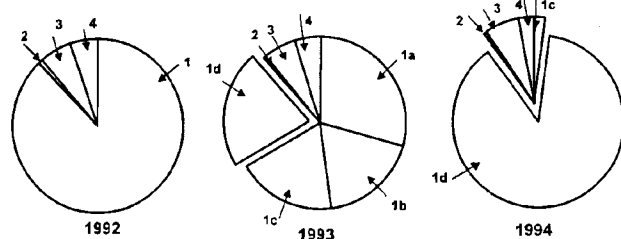
Porównując rok 1993 z 1992 można zauważyć, że rezygnacja z wstępnego chlorowania w 1993 r. spowodowała obniżenie efektywności procesu wstępnego utleniania, co nie miało jednak wpływu na efektywność kolejnych procesów, tj. koagulacji i filtracji. W 1993 r. lepsze efekty usuwania związków organicznych w koagulacji i filtracji uzyskano dla niskich dawek ozonu i równocześnie podwyższonych dawek koagulantów (żelazowego i glinowego), m.in. okresowo przez dodatkowe podawanie PIX-u do zbiornika kontaktowego zamiast chloru. W 1994 r. uzyskano najwyższą efektywność usuwania związków organicznych z wody, stosując średnio o 50% wyższe dawki ozonu, bez zwiększania dawek koagulantów. Aby ocenić w pełni wzrost efektywności uzdatniania wody w ostatnim roku należy zaznaczyć, że od października 1993 r. został wyłączony z układu buforowy zbiornik kontaktowy, a woda dopływała z ujęcia do pompowni I^o kanałem obiegowym.

Na rysunku 4 przedstawiono porównanie czasów przetrzymywania wody w urządzeniach do wstępnego utleniania (chlorowania i ozonowania) oraz koagulacji (za 100% przyjęto sumaryczny czas przepływu wody od ujęcia do odpływu z pulsatorów) w latach 1992, 1993 i 1994. Specyfika uzdatniania wody w 1994 r. polegała na:

- skróceniu czasu przepływu wody przez stację uzdatniania o około jedną dobę,
- podwyższeniu średnio około dwukrotnie dawek ozonu (w odniesieniu do lat 1992 i 1993),
- zwiększeniu udziału wody koagulowanej PIX-em do 70%, z równoczesnym obniżeniem dawek siarczany glinu, którym koagulowano około 30% wody (w latach 1992 i 1993 udziały obu koagulantów w uzdatnianiu wody były bliskie 50%),
- prowadzeniu stałej alkalizacji wody wapnem przed filtrami do $\text{pH} \approx 7,5$.

Podsumowanie

W latach 1992–1994 w Wodociągu Północnym prowadzono wstępne utlenianie domieszek wody chlorem i ozonem w celu wspomaganie procesów koagulacji i filtracji. Do koagulacji stosowano równolegle siarczan glinu i PIX. W 1992 r. wstępne



Rys. 4. Średnie czasy przetrzymywania wody w urządzeniach do wstępnego utleniania i koagulacji (1 – zbiornik kontaktowy, 1a – wstępne chlorowanie, 1b – dawkowanie PIX-u, 1c – czas przetrzymania bez reagentów, 1d – zbiornik wyłączony, 2 – ozonowanie wstępne, 3 – koagulacja PIX-em, 4 – koagulacja siarczany glinu)

chlorowanie niskimi dawkami (ok. $3 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ z ok. 1-dobowym czasem przetrzymania) i następnie ozonowanie ($1+2 \text{ gO}_3/\text{m}^3$) wody były wystarczające do efektywnego obniżania stężenia związków organicznych w procesach koagulacji i filtracji. W okresie wegetacyjnym planktonu (od marca do października) woda po filtrach charakteryzowała się niską barwą (śr. ok. 6 gPt/m^3) i utlenialnością ($4,8 \text{ gO}_2/\text{m}^3$), jednak liczebność planktonu była podwyższona (600 org./cm^3) oraz okresowo (latem) pojawiały się zwiększone stężenia THM-ów w wodzie po końcowej dezynfekcji.

W roku 1993, po rezygnacji z wstępnego chlorowania (wodę surową po 1-dobowej retencji ozonowano dawką $1+2 \text{ gO}_3/\text{m}^3$), uzyskano znaczne obniżenie stężenia THM-ów, utrzymywanych w wodzie czystej na poziomie wartości dopuszczalnej. Ponieważ stosowane dawki ozonu nie pokrywały zapotrzebowania na utleniacz, więc deficyt środka utleniającego kompensowano wzrostem zużycia koagulantów, do 10% siarczany glinu oraz do 20% PIX-u, w porównaniu z rokiem poprzednim (lata 1992–1993 odznaczały się podobną jakością ujmowanej wody).

Badania skuteczności koagulacji dwustopniowej wykazały, że ozon wprowadzany do wody wstępnie podczyszczonej znacznie podwyższał efektywność wtórnej koagulacji w pulsatorach (dla obu koagulantów, a szczególnie dla PIX-u). W okresie od marca do października 1993 r. uzyskano wodę po filtrach o najniższych wartościach barwy (ok. 5 gPt/m^3) i utlenialności ($4,6 \text{ gO}_2/\text{m}^3$), natomiast liczebność planktonu utrzymywała się na poziomie 400 org./cm^3 .

W roku 1994 zastosowano zwiększone dawki ozonu (średnio $3 \text{ gO}_3/\text{m}^3$) w układzie bezpośredniego zasilania stacji z ujęcia (czas przepływu wody od ujęcia do filtrów uległ skróceniu o ok. 90% w odniesieniu do lat poprzednich, w wyniku odłączenia buforowego zbiornika kontaktowego). Około 70% wody koagulowano PIX-em, a 30% siarczany glinu, dawkami porównywalnymi ze stosowanymi w 1992 r. Wodę przed filtrami alkalizowano wapnem do $\text{pH} \approx 7,5$. W porównaniu z latami 1992–1993, w wyniku zwiększenia dawek ozonu, uzyskano wzrost efektywności usuwania związków organicznych w kolejnych etapach uzdatniania wody: wstępne ozonowanie – koagulacja – filtracja. Ponadto stwierdzono zdecydowaną poprawę smaku i zapachu wody przed i po dezynfekcji końcowej.

W żadnym z analizowanych lat 1992–1994 nie osiągnięto zadowalającego stopnia usuwania planktonu, którego liczebność w wodzie czystej w okresach letnich wynosiła $200+600 \text{ org./cm}^3$. Wstępne utlenianie domieszek wody niskimi dawkami chloru oraz wstępne ozonowanie nie powodowały unieszkodliwiania planktonu w stopniu niezbędnym do jego skutecznego usuwania w procesach koagulacji i sedymentacji. Problem eliminacji planktonu z wody wymaga dalszych badań w celu opracowania satysfakcjonującego rozwiązania.

LITERATURA

1. N.J.D. GRAHAM, S.D. LAMBERT: Great Britain: Colour and humic substances removal by preozonation and activated alumina adsorption. Materiały X Kongresu Ozonowego, Monako 1991.
2. A. BRICCOLA, V. BRENNI, R. SERFASS: Ozone in the treatment of drinking water. Mat. X Kongresu Ozonowego, Monako 1991.
3. A.L. KOWAL: Technologia wody. Arkady, Warszawa 1977.
4. M. PAWLACZYK-SZPIŁOWA: Wpływ chlorowania na jakość zdrowotną wody do picia. Ochrona Środowiska, 1992, nr 1(45), ss. 13-14.

Preoxidation of Water Pollutants in the Northern Waterworks of Warsaw

The Northern Waterworks draw surface water from the Żegrzyn Impoundment Lake (which is fed by two rivers – the Bug and the Narew), thus increasing the volume of water supplied to the Municipality of Warsaw by 140,000 to 180,000 m³/day. The impoundment water is characterized by a very high coloured matter content with dominating humic substances. A variant system developed for the treatment of this water includes coagulation with alum or iron as flocculants and rapid filtration on sand beds. Since the polluting species are difficult to remove, preoxidation is required as a prior step. Prechlorination or preozonation, made use of in the timespan of 1992 to 1994, yielded good efficiencies of colour and organic matter removal. Prechlorination with low chlorine doses (3 g/m³) in 1992 was not very effective – plankton removal was insufficient, and (at an over 48-hour

flow from the intake to the user) THM concentration in the water after final disinfection increased considerably in the summer season. In 1993 and 1994, after prechlorination had been replaced by preozonation, THM content was decreased by 40% and 30%, respectively, as compared to 1992. In 1994, the increase in ozone dose (without increasing the coagulant portion) raised the efficiency of organic matter removal (COD and UV absorbance) despite the reduction of the duration of water flow through the treatment plant by about 27 h. It should be noted that neither prechlorination with low chlorine doses nor preozonation was found to aid the coagulation/sedimentation and filtration processes in an efficient plankton removal. The problem of how to remove phytoplankton is still far from being solved satisfactorily.