

Anna Mossakowska

## Dezynfekcja wody dwutlenkiem chloru – doświadczenia Zakładu Wodociągu Praskiego

Układ technologiczny Zakładu Wodociągu Praskiego, który został uruchomiony we wrześniu 1964 r., tworzą następujące procesy:

- infiltracja wody z Wisły do trzech ujęć („Gruba Kaśka” oraz Ujęcia Uzupełniające 1 i 2),
- napowietrzanie,
- filtracja pospieszna z prędkością do 6 m/h (wysokość złoża 1,5 m, piasek frakcji 0,5+1,0 mm),
- dezynfekcja chlorem, a od czerwca 1997 r. również dwutlenkiem chloru.

Jakkolwiek jakość wody uzdatnionej spełnia wymogi polskich przepisów, a także zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia, w celu obniżenia dezynfekcyjnej dawki dwutlenku chloru w najbliższych latach planowane jest rozszerzenie technologii uzdatniania wody o procesy ozonowania pośredniego i sorpcji na granulowanym węglu aktywnym. Budowa nowej chlorowni, projektowanej jeszcze w latach 80. na dwukrotnie wyższą wydajność, stworzyła możliwość wcześniejszego zainstalowania generatorów dwutlenku chloru. Dezynfekcyjna dawka dwutlenku chloru przy obecnej technologii uzdatniania wody wynosi średnio do 1 gClO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> [2]. Badania technologiczne wykazały, że włączenie do układu uzdatniania wody procesów ozonowania pośredniego i sorpcji na węglu aktywnym umożliwi obniżenie dezynfekcyjnej dawki dwutlenku chloru do około 0,4 gClO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> [3,4].

Przesłanki technologiczne do zastąpienia chloru dwutlenkiem chloru w procesie dezynfekcji były następujące:

- ograniczenie powstawania trihalometanów [1] (podczas dezynfekcji chlorem wykrywano w wodzie chloroform w stężeniach <0,03 g/m<sup>3</sup>; suma THM na ogół 0,1 g/m<sup>3</sup>),
- poprawa cech organoleptycznych wody,
- gwarancja pełnej skuteczności dezynfekcji w okresie spływów powodziowych na Wiśle, bez konieczności przechlorowywania wody (>0,5 g/m<sup>3</sup> chloru wolnego w wodzie podawanej do sieci),
- stabilność bakteriologiczna wody w sieci.

### Instalacja dwutlenku chloru

Instalacja do wytwarzania i dawkowania dwutlenku chloru firmy Wallace & Tiernan została zaprojektowana na zakres dawek 0,05+1,0 gClO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, przy wydajności Zakładu Wodociągu Praskiego do 200 tys. m<sup>3</sup>/d. Zainstalowano trzy generatory dwutlenku chloru, o wydajności 4,5 kgClO<sub>2</sub>/h każdy,

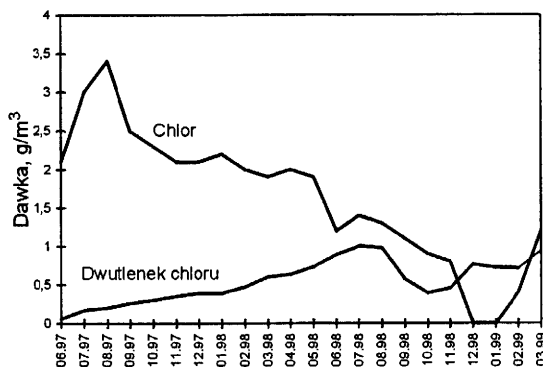
pracujące w oparciu o reakcję chlor–chloryn sodu. Instalację do dezynfekcji wody chlorem zachowano celowo, jako uzupełniającą i rezerwową. Przewidziano pełną automatykę dawkowania dwutlenku chloru, w zależności od ilości wody oraz założonego stężenia ClO<sub>2</sub> w wodzie przed zbiornikami o czasie kontaktu 3+6 h.

19 czerwca 1997 r. rozpoczęto rozruch instalacji dwutlenku chloru stosując dawkę 0,05 gClO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Początkowe stężenie roztworu dwutlenku chloru otrzymanego w generatorach wynosiło około 1,5 gClO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, obecnie jest dwukrotnie wyższe. Stężenie roztworu ClO<sub>2</sub>, sprawdzane raz na dobę, jest stabilne. Stężony roztwór dwutlenku chloru wraz z wodą transportującą dawkowany jest pompami do komory zasuw po filtrach pospiesznych (przed zbiornikami wody czystej). W odległości kilkunastu metrów od miejsca wprowadzenia reagentu pobierana jest w sposób ciągły woda do analizatorów stężeń chloru i dwutlenku chloru (depoloxy sterujące). Za zbiornikami wody czystej zamontowane są podobne analizatory, przesyłające informacje do centralnej dyspozytorni.

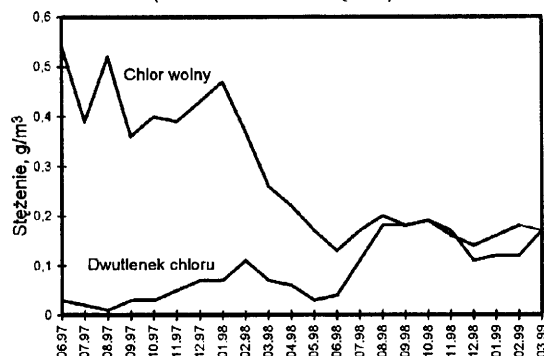
### Sposób wprowadzania dwutlenku chloru

Zgodnie z decyzją Państwowego Wojewódzkiego Inspektora Sanitarnego, w okresie przejściowym – tj. do czasu wybudowania komór ozonowania i filtrów węglowych – została dopuszczona dezynfekcyjna dawka dwutlenku chloru w wysokości do 1,0 gClO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Z uwagi na możliwość gwałtownego wypłukiwania osadów z rurociągów, zastosowano system stopniowego zastępowania chloru przez dwutlenek chloru [2]. Wprowadzono rozszerzoną kontrolę jakości wody w sieci zasilanej przez Wodociąg Praski. Wyznaczono punkty kontroli jakości wody w trzech strefach, o czasie dopływu wody z zakładu do 0,5 oraz 1 i powyżej 2 godz. Równocześnie Zakład Sieci prowadził płukania sieci. Dezynfekcję wody dwutlenkiem chloru (równocześnie z chlorem) rozpoczęto od dawki 0,05 gClO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Po stwierdzeniu dobrej jakości wody w sieci stopniowo zwiększano dawkę ClO<sub>2</sub>, obniżając proporcjonalnie dawkę chloru. Próbkę wody z sieci pobierane są raz w tygodniu. Zakres analiz wody obejmuje wskaźniki fizyczno-chemiczne i bakteriologiczne. Oznaczenia dwutlenku chloru, chloru i zapachu wykonywane są w miejscu poboru próbek. Ponadto oznaczane są barwa, mętność, pH, utlenialność, żelazo, mangan, chlorki, azot amonowy, chloryny, okresowo chlorany. Dwutlenek chloru oznaczany jest metodą gotowych testów firmy HACH, a chloryny i chlorany metodą miareczkowania potencjometrycznego [5]. Analiza chlorynowa w wodzie z sieci wykonywana jest również zmodyfikowaną przez Laboratorium Wodociągu Północnego metodą Pallina [6].

Po roku eksploatacji instalacji osiągnięto maksymalną dawkę dwutlenku chloru, tj.  $1,0 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$  (rys.1). W wodzie opuszczającej zakład zawartość chloru wolnego wynosiła od około 0,5 do  $0,1 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ , natomiast dwutlenku chloru – od 0 do około  $0,2 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$  (rys.2).



Rys. 1. Dawki chloru i dwutlenku chloru stosowane na Wodociągu Praskim (wartości średnie miesięczne)



Rys. 2. Stężenia wolnego chloru i dwutlenku chloru w wodzie opuszczającej Wodociąg Praski (wartości średnie miesięczne)

Do dziś nie stwierdzono wypłukiwania osadów z rurociągów sieci miejskiej. Woda w sieci ma dobrą jakość, np. średnia mętność wody w sieci rozdzielczej kształtuje się poniżej  $1 \text{ g}/\text{m}^3$ , związki żelaza i manganu występują w ilościach śladowych. Stężenia dwutlenku chloru w wodzie z sieci, niezależnie od odległości od zakładu, wynosiły do około  $0,1 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ , przeciętnie do 5% dawki  $\text{ClO}_2$ . Stężenia chlorynów w wodzie z sieci były najwyższe w strefie najbliższej zakładu, a w miejscach wydłużonego kontaktu wody z siecią najniższe (nawet zerowe). Przykładem mogą być wyniki analiz wody z końcówki sieci przy ul. Wąchockiej (pierwsza strefa), kiedy w grudniu 1998 r. stwierdzono zerowe stężenie chlorynów po kilkudobowym przetrzymaniu wody w sieci. Obecności chloranów, poza pojedynczymi przypadkami w wodzie z końcówek sieci, nie wykrywano. Zwraca uwagę fakt, że maksymalne stwierdzone stężenia chlorynów odpowiadały około 80% dawki dwutlenku chloru.

### Kryteria stosowania dwutlenku chloru i efekty technologiczne

Dwutlenek chloru włączono do dezynfekcji wody na Wodociągu Praskim jeszcze przed rozszerzeniem układu technologicznego o procesy ozonowania i sorpcji na węglu aktywnym. Założono, że do tego czasu dezynfekcja będzie prowadzona w dwojaki sposób, tj. w okresie niskich temperatur wody tylko dwutlenkiem chloru, natomiast w porze wiosenno-letniej, a przede wszystkim podczas spływów powodziowych, równocześnie chlorem i dwutlenkiem chloru. Chlor

traktowany jest jako dezynfektant uzupełniający. Istotne było ustalenie kryteriów dawkowania dwutlenku chloru w obu wypadkach. Mają one zapewnić pełną skuteczność dezynfekcji oraz stabilność bakteriologiczną wody z sieci.

Z dotychczasowych doświadczeń wynikają następujące propozycje kryteriów ustalania dawki dwutlenku chloru do dezynfekcji wody (czas kontaktu 3+6 h):

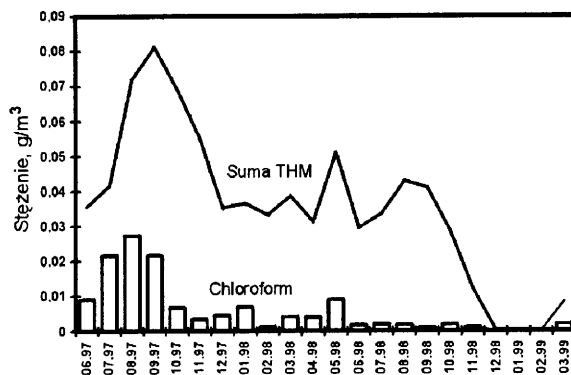
- stężenie dwutlenku chloru od  $0,15$  do  $0,20 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$  w wodzie opuszczającej zakład; może być ono niewystarczające dla zachowania stabilności bakteriologicznej wody w sieci, zwłaszcza w porze wiosenno-letniej,

- w czasie spływów powodziowych stężenie około  $0,3 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$  w wodzie opuszczającej zakład, dla zapewnienia efektów dezynfekcji.

Przy tak wysokich stężeniach dwutlenku chloru w wodzie napływały sygnały od mieszkańców o pogorszeniu się właściwości organoleptycznych wody. Zapach wody był porównywany do ulatniającego się gazu, zwłaszcza w domach mieszkalnych z instalacją wodociągową z tworzywa sztucznego (grudzień 1998 r.). Przy następnej fali powodziowej w marcu 1999 r. zwiększenie dawki  $\text{ClO}_2$  nie spowodowało już skarg na negatywne zmiany cech organoleptycznych wody.

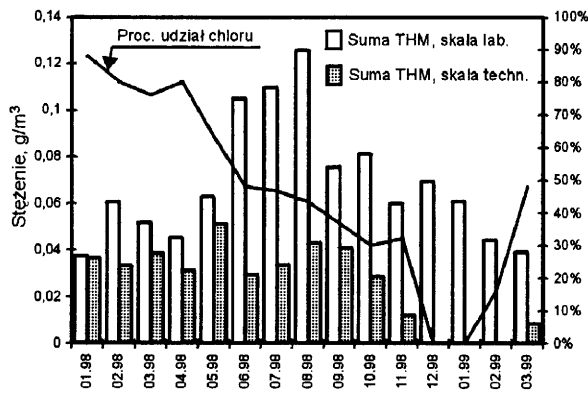
Proponuje się utrzymać powyższe kryteria dawkowania dwutlenku chloru w sytuacji, gdy uzupełniająco stosowany jest chlor. Na Wodociągu Praskim chlor dawkowany był do uzyskania w wodzie opuszczającej zakład chloru wolnego przeciętnie w stężeniach  $0,1+0,2 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ , maksymalnie około  $0,3 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$  (w czasie powodzi). Zaproponowane kryteria zostaną zweryfikowane po włączeniu do układu technologicznego procesów ozonowania i sorpcji na granulowanym węglu aktywnym.

W wyniku wprowadzenia dwutlenku chloru do dezynfekcji wody na Wodociągu Praskim nastąpiła radykalna poprawa cech organoleptycznych wody uzdatnionej, z wyjątkiem okresów ekstremalnych (w wodzie opuszczającej zakład stwierdzono maksymalny zapach chlorowy o natężeniu 2) oraz systematyczne obniżanie stężenia trihalometanów w wodzie po dezynfekcji (rys.3). Minimalną ich wartość, tj.  $0,0001 \text{ g}/\text{m}^3$ , stwierdzono w wodzie uzdatnionej w okresie od grudnia 1998 r. do lutego 1999 r. (w grudniu i styczniu dezynfektantem był tylko dwutlenek chloru).



Rys. 3. Zawartość chloroformu i sumy THM w wodzie opuszczającej Wodociąg Praski po wprowadzeniu dwutlenku chloru do dezynfekcji

Dla porównania, w warunkach laboratoryjnych określono sumę THM w wodzie dezynfekowanej tylko chlorem, co pozwala na określenie stopnia obniżenia stężenia THM, w zależności od procentowego udziału chloru w procesie dezynfekcji (rys.4).



Rys. 4. Zawartość sumy THM w wodzie dezynfekowanej chlorem (skala laboratoryjna) oraz chlorem i dwutlenkiem chloru w zależności od procentowego udziału chloru (skala techniczna)

Efekty były już widoczne począwszy od 20% udziału dwutlenku chloru, kiedy stwierdzono obniżenie stężenia trihalometanów o 50+100%. Przy 50% udziale  $\text{ClO}_2$  suma THM była trzykrotnie niższa niż przy stosowaniu samego chloru, natomiast gdy dwukowano tylko dwutlenek chloru, wykrywano jedynie śladowe stężenia sumy THM.

Zakładając uzyskanie stabilnej bakteriologicznie wody w sieci, stwierdzono zdecydowaną poprawę jej jakości, przy czym sporadycznie oznaczane były jednak przekroczenia dopuszczalnej liczby bakterii psychrofilnych, pomimo wysokich stężeń chlorynów. Stwierdzono, że dwutlenek chloru – podobnie jak chlor – nie zabezpieczał przed wtórnym zanieczyszczeniem bakteriologicznym wody w sieci w wyniku awarii. W okresie spływów powodziowych, przy wysokich stężeniach dwutlenku chloru pozostałego po procesie, uzyskano gwarancję pełnej skuteczności dezynfekcji wody.

## Wnioski

♦ Zastąpienie w procesie dezynfekcji wody na Wodociągu Praskim – nawet częściowe – chloru przez dwutlenek chloru pozwoliło na radykalną poprawę jakości wody w zakresie

cech organoleptycznych oraz na ograniczenie powstawania THM. Uzyskano również znaczną poprawę jakości wody w sieci. Do czasu uzupełnienia technologii Wodociągu Praskiego o procesy ozonowania i sorpcji, w okresie wyższych temperatur, dla zachowania stabilności bakteriologicznej wody w sieci, korzystniejsza okazała się łączna dezynfekcja wody dwutlenkiem chloru i chlorem.

♦ Zaproponowane kryteria ustalania dezynfekcyjnej dawki dwutlenku chloru do zapewnienia określonych stężeń pozostałego  $\text{ClO}_2$ , powinny być zweryfikowane dla pełnej technologii uzdatniania, kiedy dawka dwutlenku chloru będzie wynosić około  $0,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ .

♦ Z doświadczeń Wodociągu Praskiego wynika uzasadnienie technologiczne zastępowania chloru przez dwutlenek chloru, nawet przed modernizacją układu technologicznego, niezbędną do ograniczenia dawki dwutlenku chloru do  $0,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ .

## LITERATURA

1. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: *Oczyszczanie wody*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Wrocław-Warszawa 1996.
2. J. WĄSOWSKI: *Badania nad zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru wody uzdatnianej na Wodociągu Praskim w Warszawie*, Politechnika Warszawska, Warszawa 1996 (praca nie publikowana).
3. *Wytyczne projektowe dla przyszłej rozbudowy technologii uzdatniania wody w Zakładzie Wodociągu Praskiego*. ELIMP, Warszawa 1996 (praca nie publikowana).
4. *Badania sprawdzające dla przyszłej technologii Wodociągu Praskiego*. MPWiK, Warszawa 1997 (praca nie publikowana).
5. J. WĄSOWSKI: *Metodyka oznaczania dwutlenku chloru, chlorynów, chloranów oraz chloru w roztworze roboczym i w wodzie wraz z metodyką ustalania zapotrzebowania na dwutlenek chloru*. Politechnika Warszawska, Warszawa 1997 (praca nie publikowana).
6. J. WĄSOWSKI: *Badania porównawcze stosowanych w MPWiK metodyk oznaczania chloru, dwutlenku chloru i chlorynów w celu określenia korelacji pomiędzy uzyskiwanymi wynikami analiz*. Politechnika Warszawska, Warszawa 1998 (praca nie publikowana).

## Disinfection of Drinking Water with Chlorine Dioxide: A Case Study

*The object under study is the Waterworks of Warsaw. The water to be treated comes from the Vistula River. Recently use has been made of chlorine dioxide (generated in situ) for disinfection of drinking water. The paper describes in detail the on-site generation of  $\text{ClO}_2$ , the  $\text{ClO}_2$  dosing system, and the quality of the water at the outlet from the plant and in the network.*

*Two methods of disinfection were studied – one involved chlorine dioxide alone, the other one a  $\text{ClO}_2$ – $\text{Cl}_2$  mixture. The yield of THM formation was found to depend on the proportion of chlorine involved in the disinfection process. The criteria for the determination of the  $\text{ClO}_2$  demand were proposed.*