

Jacek Wąsowski

## Analiza wpływu jakości wody na dawkę dwutlenku chloru

Zainteresowanie dwutlenkiem chloru w technologii uzdatniania wody wynika z jego silnych właściwości utleniających, które mogą być wykorzystane zarówno w procesach wstępnego utleniania, jak i w dezynfekcji. Tak jak każdy z reagentów chemicznych o wysokim potencjale oksydacyjno-redukcyjnym, dwutlenek chloru wchodzi w reakcje z wieloma substancjami obecnymi w wodzie, czemu towarzyszy zazwyczaj powstawanie tzw. ubocznych produktów utleniania. Do produktów tych zalicza się jony chlorynowy i chloranowy, powstające w wyniku rozkładu dwutlenku chloru w roztworach wodnych. Z badań wynika, że stężenie powstających chlorynów na ogół odpowiada 50+70% dawki dwutlenku chloru, zaś stężenie chloranów nie przekracza 7% dawki [1–4]. Stężenie chlorynów (podejrzewanych o ujemne oddziaływanie na czerwone ciała krwi) w wodzie przeznaczonej do picia – a tym samym pośrednio również dawka dwutlenku chloru – według Światowej Organizacji Zdrowia powinno być ograniczone do  $0,2 \text{ gClO}_2^-/\text{m}^3$ , co odpowiada dawce dwutlenku chloru około  $0,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$  [5]. W wypadkach, gdy ujmuje się wodę o niewłaściwej jakości spełnienie tych wymagań jest dla wielu przedsiębiorstw wodociągowych bardzo trudne. Problem rozpatrywany w tym aspekcie w pewnym sensie wyklucza – bez dokonania specjalnej modyfikacji istniejących układów technologicznych – możliwość stosowania dwutlenku chloru w procesie wstępnego utleniania większości ujmowanych w Polsce wód powierzchniowych, jak również wymusza podejmowanie działań zmierzających do takiego przygotowania wody poddawanej dezynfekcji, aby jej zapotrzebowanie na dwutlenek chloru było jak najmniejsze.

Ponieważ dawka dwutlenku chloru, a tym samym stężenie ubocznych produktów utleniania, zależy od jakości uzdatnianej wody, w niniejszej pracy przedstawiono wyniki próby skorelowania wartości wskaźników charakteryzujących jakość wody z jej zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru. Rozpoznanie takiej korelacji pozwoli z jednej strony na szybkie oszacowanie niezbędnej dawki dwutlenku chloru na potrzeby uzdatniania wody, natomiast z drugiej na ujawnienie hierarchii wskaźników w aspekcie ich oddziaływania na wartość tej dawki.

### Metoda analizy matematycznej

Do określenia matematycznych zależności pomiędzy jakością wody i jej zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru w procesach wstępnego utleniania i dezynfekcji wykorzystano wyniki badań przeprowadzonych w wodociągach warszawskich w latach 1993–1996 [6–8]. Analizie matematycznej poddano wyniki badań następujących próbek wody:

#### ◆ Wodociąg Centralny:

– woda powierzchniowa z Wisły po osadniku czerniakowskim (próbki wody poddano procesowi wstępnego utleniania przy czasie kontaktu  $\text{ClO}_2$  z wodą 45 min),

– woda po I ciągu technologicznym, tj. po piaskowych filtrach pospiesznych i powolnych oraz po II ciągu technologicznym, tj. po koagulacji w pulsatorach i filtrach pospiesznych (próbki wód z każdego ciągu niezależnie poddano dezynfekcji  $\text{ClO}_2$  przy czasie kontaktu 3 godz.),

#### ◆ Wodociąg Północny:

– woda powierzchniowa z Zalewu Zegrzyńskiego (próbki wody wstępnie utleniono  $\text{ClO}_2$  przy czasie kontaktu 24 godz.),

– woda po ozonowaniu, koagulacji w pulsatorach i filtracji na filtrach pospiesznych (próbki wody zdezynfekowano  $\text{ClO}_2$  przy czasie kontaktu 2 godz.),

#### ◆ Wodociąg Praski:

– woda z Wisły po infiltracji, napowietrzaniu, filtracji na filtrach pospiesznych, ozonowaniu i sorpcji na granulowanym węglu aktywnym (próbki wody zdezynfekowano  $\text{ClO}_2$  przy czasie kontaktu 2 godz.).

W analizie posłużono się takimi wskaźnikami jakości wody, jak temperatura, barwa, utlenialność, ChZT, absorbancja ( $\lambda=254 \text{ nm}$ ), OWO oraz dodatkowo plankton w wodzie poddanej wstępnemu utlenianiu. Metodą regresji wielokrotnej badano związki pomiędzy zmiennymi niezależnymi, tj. wartościami wskaźników jakości wody i zmienną zależną (kryterialną), tj. dawką dwutlenku chloru. Wyznaczono równania regresji, które dostosowały kształt krzywych do zbioru punktów pomiarowych w taki sposób, aby suma kwadratów odległości tych punktów od linii regresji była jak najmniejsza. Do obliczeń zastosowano program *Statistica* z opcją *Multiple Regression Release 5.0 A*.

W celu określenia wag wpływu wartości rozpatrywanych wskaźników jakości wody na dawkę dwutlenku chloru posłużono się korelacją liniową. Metodą najmniejszych kwadratów wyznaczono równania dawki dwutlenku chloru od wartości każdego z uwzględnionych w analizie wskaźników jakości wody oraz kwadrat współczynnika korelacji, będący miarą istnienia związku pomiędzy analizowanymi zmiennymi.

### Wyniki analizy matematycznej

Przeprowadzona analiza matematyczna wyników badań wody z wodociągów warszawskich pozwoliła na sformułowanie zależności pomiędzy dawką dwutlenku chloru niezbędną do wstępnego utleniania oraz dezynfekcji i jakością wody poddanej tym procesom. Określone zależności miały następujące postacie:

♦ wstępne utlenianie w Wodociągu Centralnym:

$$D_{ClO_2} = 0,015642[T] + 0,043431[B] - 0,009750[U] - 0,005563[ChZT] + 0,001313[UV] + 0,000003[P] + 0,657468 \quad (1)$$

standardowy błąd oszacowania  $\delta=0,2350$ , współczynnik korelacji  $R=0,9316$ , kwadrat współczynnika korelacji  $R^2=0,8679$ ,

♦ dezynfekcja po I ciągu technologicznym w Wodociągu Centralnym:

$$D_{ClO_2} = 0,025521[T] - 0,004830[B] + 0,048747[U] + 0,062075[UV] + 0,350465 \quad (2)$$

standardowy błąd oszacowania  $\delta=0,1605$ , współczynnik korelacji  $R=0,8089$ , kwadrat współczynnika korelacji  $R^2=0,6542$ ,

♦ dezynfekcja po II ciągu technologicznym w Wodociągu Centralnym:

$$D_{ClO_2} = 0,009777[T] + 0,0069649[B] - 0,278277[U] + 0,164954[UV] + 0,453495 \quad (3)$$

standardowy błąd oszacowania  $\delta=0,1359$ , współczynnik korelacji  $R=0,8376$ , kwadrat współczynnika korelacji  $R^2=0,7016$ ,

♦ wstępne utlenianie w Wodociągu Północnym:

$$D_{ClO_2} = 0,154139[T] + 0,026029[B] + 0,099362[ChZT] + 0,037407[U] + 0,023906[OWO] - 0,075308[UV] + 0,000002[P] - 0,093340 \quad (4)$$

standardowy błąd oszacowania  $\delta=0,3528$ , współczynnik korelacji  $R=0,9737$ , kwadrat współczynnika korelacji  $R^2=0,9481$ ,

♦ dezynfekcja w Wodociągu Północnym:

$$D_{ClO_2} = 0,030064[T] - 0,007317[B] + 0,005488[ChZT] + 0,162600[U] + 0,006531[OWO] - 0,020992[UV] - 0,041244 \quad (5)$$

standardowy błąd oszacowania  $\delta=0,1363$ , współczynnik korelacji  $R=0,9146$ , kwadrat współczynnika korelacji  $R^2=0,8365$ ,

♦ dezynfekcja w Wodociągu Praskim (układ technologiczny rozbudowany o procesy ozonowania pośredniego i sorpcji na granulowanym węglu aktywnym):

$$D_{ClO_2} = 0,02076[T] + 0,02663[B] + 0,22603[U] + 0,03562[ChZT] + 0,03298[OWO] + 0,07409[UV] - 1,1026 \quad (6)$$

standardowy błąd oszacowania  $\delta=0,0071$ , współczynnik korelacji  $R=0,9993$ , kwadrat współczynnika korelacji  $R^2=0,9987$ , w których:

$D_{ClO_2}$  – dawka dwutlenku chloru,  $gClO_2/m^3$

T – temperatura wody,  $^{\circ}C$

B – barwa wody,  $gPt/m^3$

U – utlenialność wody,  $gO_2/m^3$

ChZT – chemiczne zapotrzebowanie wody na tlen,  $gO_2/m^3$

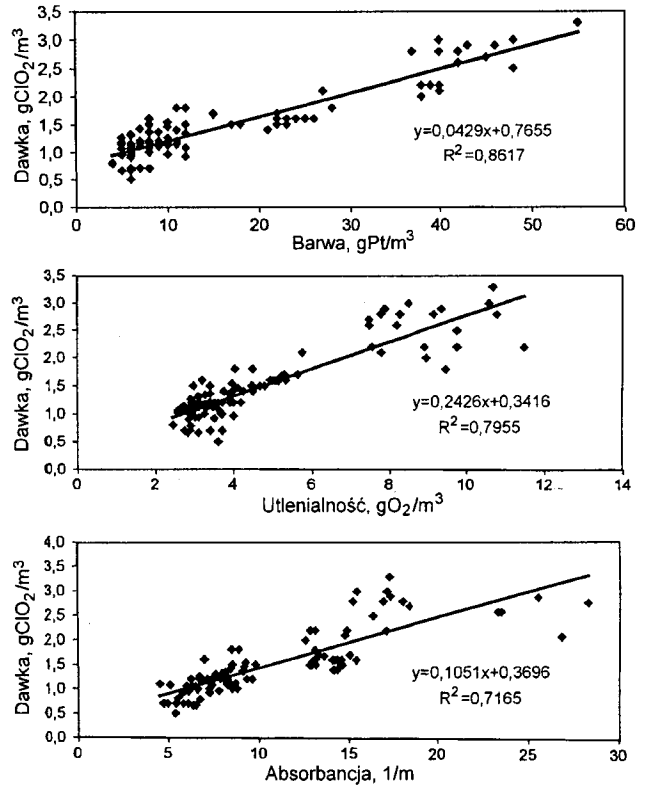
OWO – ogólny węgiel organiczny,  $gC/m^3$

UV – absorpcja ( $\lambda=254$  nm),  $1/m$

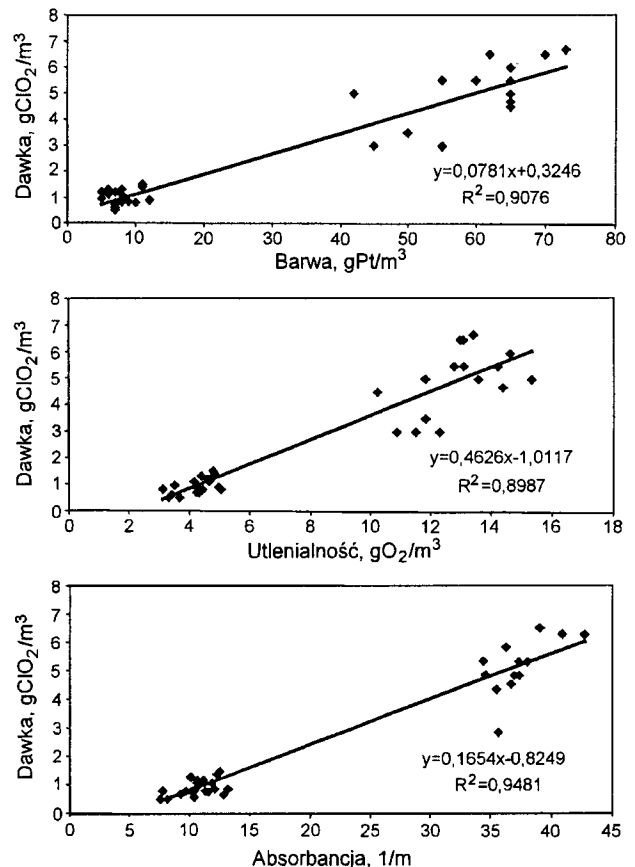
P – liczebność planktonu,  $org./cm^3$

W wyniku analizy wpływu wskaźników jakości wody na wartość dawki dwutlenku chloru ustalono, iż we wszystkich rozpatrywanych wypadkach dawka ta w największym stopniu była skorelowana z wartościami absorpcji, barwy i utlenialności wody. Na rysunkach 1–3 przedstawiono dla każdej ze

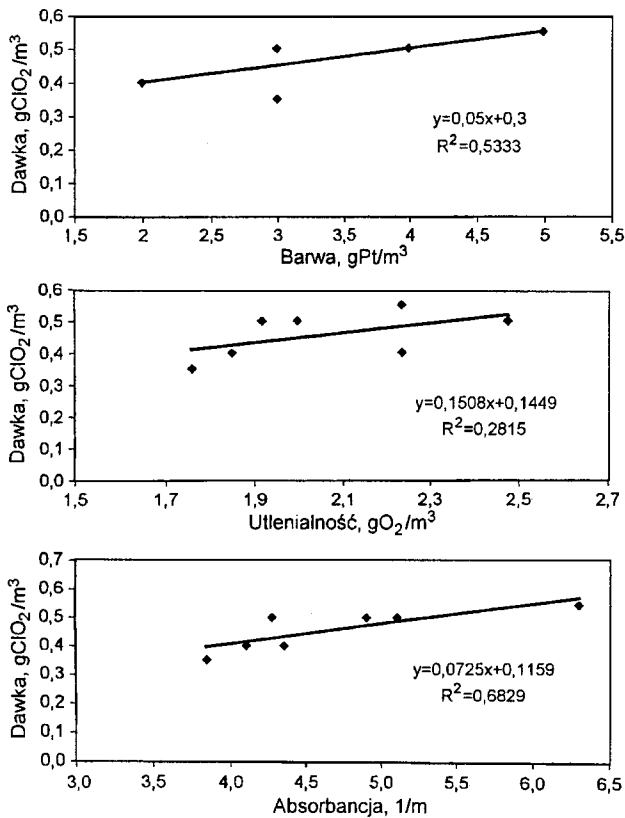
stacji uzdatniania analizowane zależności wraz z odpowiadającymi im równaniami oraz kwadratami współczynników korelacji.



Rys.1. Zależność dawki dwutlenku chloru od absorpcji, utlenialności i barwy wody w Wodociągu Centralnym



Rys.2. Zależność dawki dwutlenku chloru od absorpcji, utlenialności i barwy wody w Wodociągu Północnym



Rys.3. Zależność dawki dwutlenku chloru od absorbancji, utlenialności i barwy wody w Wodociągu Praskim

## Wnioski

◆ Dawka dwutlenku chloru, zarówno w procesie wstępnego utleniania, jak i dezynfekcji była najlepiej skolerowana z absorbancją oraz barwą i utlenialnością wody. Wskaźniki te

wykazały zdecydowaną zależność liniową ze zbiorem dawek dwutlenku chloru oraz miały najwyższe wartości kwadratu współczynnika korelacji, świadczące o związku pomiędzy analizowanymi zmiennymi.

◆ Wyznaczone zależności zapotrzebowania wody na dwutlenek chloru, w odniesieniu do podstawowych wskaźników jakości wody, pozwalają na szybkie oszacowanie niezbędnej dawki tego reagentu na potrzeby realizacji procesów technologicznych uzdatniania wody.

## LITERATURA

1. E. M.AIETA, J. D.BERG: A review of chlorine dioxide in drinking water treatment. Journal AWWA, 1986, Vol. 78, No. 6.
2. W. J. MASSCHELEIN: Use of chlorine dioxide. Unit Processes in Drinking Water Treatment. Marcel Dekker Inc., New York 1992.
3. R. A. MINEAR, G. L. AMY: Disinfection by-products in water treatment. Lewis Publishers, New York 1996.
4. J. WĄSOWSKI: Dwutlenek chloru – nowy reagent w wodociągach warszawskich. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, PZITS, Poznań 1996.
5. Guidelines for Drinking Water Quality. Vol. 1, Recommendations. World Health Organization, Geneva 1993.
6. J. WĄSOWSKI: Badania technologiczne nad doбором dawki dwutlenku chloru dla potrzeb Wodociągu Centralnego w Warszawie. Politechnika Warszawska, Warszawa 1993 (praca nie publikowana).
7. J. WĄSOWSKI: Badania nad stosowaniem dwutlenku chloru na stacji pilotowej Wodociągu Północnego w Warszawie. Politechnika Warszawska, Warszawa 1995 (praca nie publikowana).
8. J. WĄSOWSKI: Badania nad zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru wody uzdatnionej na Wodociągu Praskim w Warszawie. Politechnika Warszawska, Warszawa 1996 (praca nie publikowana).

## Influence of Water Quality on Chlorine Dioxide Dose

The aim of the study was to investigate the effect of raw water quality on the values of the chlorine dioxide doses which are to be used for preoxidation and final disinfection. Using the multiple regression method, the relations between the water quality parameters of choice (temperature, colour, COD, TOC, UV-absorbance and plankton content) and the chlorine dioxide dose

were established. Data for mathematical analysis were collected during investigations into the treatment process carried out in the waterworks of Warsaw. Mathematical analysis of the results revealed a strong correlation of the chlorine dioxide dose with UV-absorbance, colour, TOC and COD.