

Włodzimierz Możaryn

## Korelacja pomiędzy jakością wody a jej zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru do dezynfekcji

Dwutlenek chloru, jako silny utleniacz, jest z powodzeniem stosowany w wielu krajach, także w Polsce, do dezynfekcji końcowej wody do picia [1,2]. Podstawowymi zaletami jego stosowania, w stosunku do innych utleniaczy (np. chloru), są między innymi wysoka skuteczność w szerokim zakresie pH, szczególnie powyżej 7,5, wysoka trwałość, a także reakcje z substancjami organicznymi zawartymi w wodzie w kierunku tworzenia produktów tlenopochodnych [3–5]. Ponadto dwutlenek chloru nie tworzy niebezpiecznych dla zdrowia i zdecydowanie pogarszających smak oraz zapach wody pochodnych organicznych, tak jak ma to miejsce z chlorem, który ponadto ulega szybkim, sprawiającym kłopoty reakcjom z aminami pierwszorzędowymi oraz azotem amonowym. Dodatkowo zapewnia on zdecydowanie lepszą przeciwbakteryjną ochronę sieci wodociągowej. Przy dawkach dezynfekcyjnych dwutlenku chloru, ponad trzykrotnie mniejszych niż chloru, jego skuteczność i ochrona sieci jest zwykle wyższa [6]. Jeden z powstających produktów stosowania dwutlenku chloru – chloryny – ma niewielkie działanie bakteriostatyczne i odgrywa rolę spowalnicza odżywiających zarodników. Dwutlenek chloru skutecznością dezynfekcji dorównuje ozonowi. Wykazuje dobrą aktywność biologiczną wobec bakteriofagów, cyst, ameb, wirusów polio, niszcząc *Cryptosporidium parvum* odporne na chlor (jest mniej skuteczny w stosunku do *Giardia lamblia*) [3].

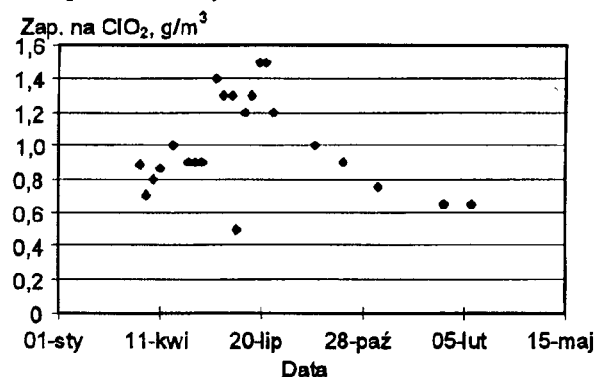
Produktem reakcji dwutlenku chloru z zanieczyszczeniami zawartymi w wodzie są chlorki, chloryny i chlorany. Te ostatnie są uważane za związki szkodliwe i ich zawartość w wodzie jest regulowana przepisami. Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (USEPA) ogranicza sumaryczną zawartość tlenopochodnych (dwutlenku, chloranów i chlorynów) do  $1 \text{ g/m}^3$ , zaś Międzynarodowa Organizacja Zdrowia (WHO) swoje zalecenia odnosi wyłącznie do chlorynów – zawartość poniżej  $0,2 \text{ g/m}^3$ . Także w nowym rozporządzeniu dotyczącym jakości wody do picia w Polsce znajdują się prawdopodobnie stosowne zapisy. Różne są również zalecenia dopuszczalnych stężeń dwutlenku chloru w wodzie do picia po dezynfekcji, od  $0,25 \text{ g/m}^3$  w Belgii do  $0,15 \text{ g/m}^3$  w Szwajcarii.

Wzrastające zainteresowanie zastosowaniem dwutlenku chloru do dezynfekcji końcowej wody do picia w Polsce zmusza do określenia zapotrzebowania wody na ten środek dezynfekcyjny. Podejmowane są badania doświadczalne pozwalające określić dawki, których znajomość jest niezbędna do celów projektowania. Często już na etapie tworzenia wstępnych koncepcji technologicznych takie dane są pożądane, nawet jeżeli są to wartości przybliżone.

Niniejsza praca wychodzi naprzeciw oczekiwaniom projektantów. Starano się w niej odpowiedzieć na pytanie, czy i jakie wskaźniki jakości wody dobrze korelują z jej zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru do celów dezynfekcyjnych. Znajomość takich korelacji pozwala bowiem szybko oszacować potrzebne dawki, tym bardziej, że typowe wskaźniki jakości wody są zwykle znane.

### Dyskusja wyników badań

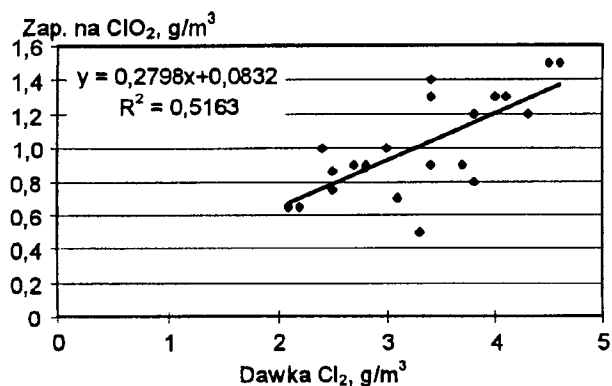
W pracy wykorzystano wyniki badań zapotrzebowania wody na dwutlenek chloru w jednym z warszawskich wodociągów. Dezynfekcji poddawano wodę po filtracji pospiesznej. Przed przystąpieniem do badań określono ich warunki biorąc pod uwagę przedziały czasowe. Założono, że dwutlenek chloru byłby dawkowany na stacji uzdatniania oraz na stacji strefowej po 7 godzinach (podobnie jak obecnie chlor). Odbiory wody pojawiają się po 2 godzinach oraz 7 godzinach, a końcowy odbiorca po około 25 godzinach. Jako kryterium przyjęto spełnienie bezpieczeństwa bakteriologicznego po 2 i 25 godzinach oraz zapewnienie obecności śladów dwutlenku chloru po 25 godzinach w końcówkach sieci wodociągowej. Zapotrzebowanie wody na dwutlenek chloru (dawka łączna) pokazano na rysunku 1.



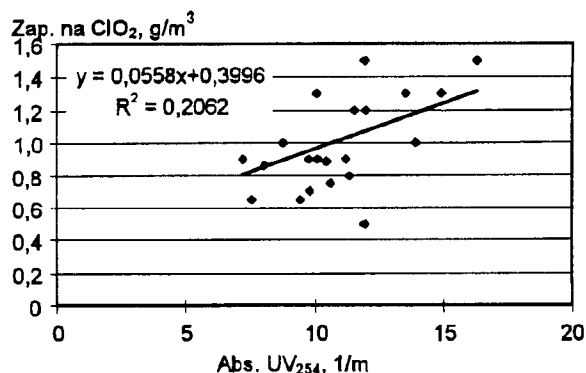
Rys. 1. Zapotrzebowanie wody na ClO<sub>2</sub> po filtracji pospiesznej

Stosując typowe zabiegi statystyczne szukano korelacji zapotrzebowania wody na dwutlenek chloru z różnymi wskaźnikami jakości wody, jak:

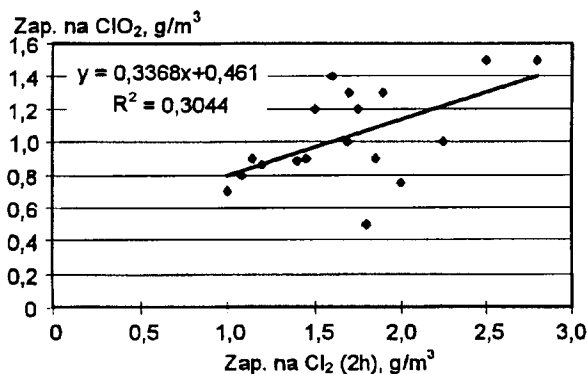
- 2-godzinne zapotrzebowanie wody na chlor (rys.3),
- zawartość ogólnego węgla organicznego (rys.4),
- utleniałość (rys.5),
- absorbancja UV<sub>254</sub> (rys.6),
- barwa (rys.7),
- 24-godzinne zapotrzebowanie wody na chlor (rys.8).



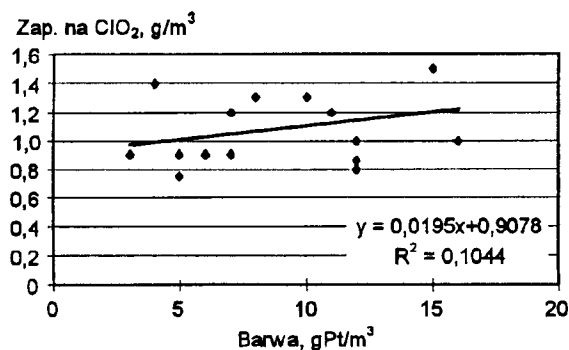
Rys. 2. Zapotrzebowanie wody na ClO<sub>2</sub> w funkcji rzeczywistej dezynfekcyjnej dawki chloru



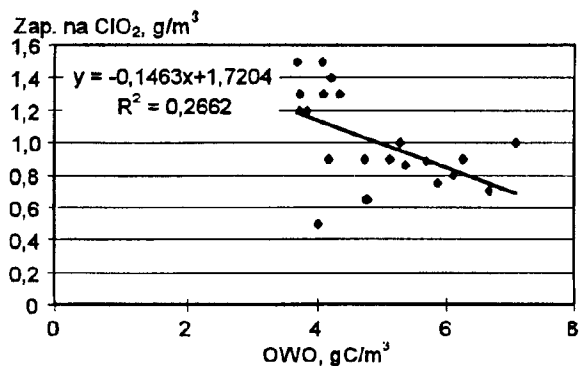
Rys. 6. Zapotrzebowanie wody na ClO<sub>2</sub> w funkcji absorbancji UV<sub>254</sub>



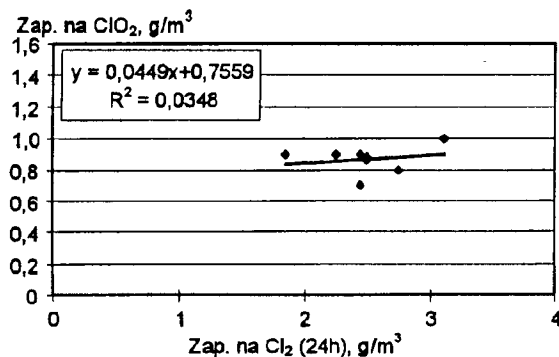
Rys. 3. Zapotrzebowanie wody na ClO<sub>2</sub> w funkcji 2-godzinnego zapotrzebowania wody na chlor



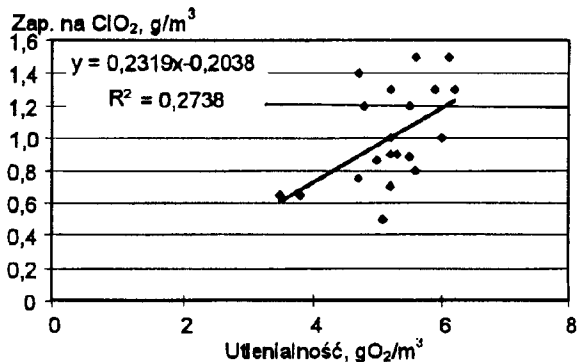
Rys. 7. Zapotrzebowanie wody na ClO<sub>2</sub> w funkcji barwy wody



Rys. 4. Zapotrzebowanie wody na ClO<sub>2</sub> w funkcji zawartości ogólnego węgla organicznego



Rys. 8. Zapotrzebowanie wody na ClO<sub>2</sub> w funkcji 24-godzinnego zapotrzebowania wody na chlor



Rys. 5. Zapotrzebowanie wody na ClO<sub>2</sub> w funkcji utlenialności wody

Ponadto dysponując danymi dotyczącymi rzeczywistych dawek chloru stosowanego na stacji uzdatniania do dezynfekcji, szukano korelacji również i dla tej wielkości (rys.2).

W analizie posłużono się najprostszym typem zależności, tj. korelacją prostoliniową. Na rysunkach podano równania prostych wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów oraz kwadrat współczynnika korelacji, będący miarą istnienia związku pomiędzy zmiennymi.

Uważna analiza rezultatów pokazuje, że istnieje silna zależność pomiędzy zapotrzebowaniem wody na dwutlenek chloru a rzeczywistą dezynfekcyjną dawką chloru, stosowaną na stacji uzdatniania (nie korelowano bardzo wysokich dawek chloru związanych z wysoką zawartością azotu amonowego w wodzie wczesną wiosną) i tylko umiarkowana zależność pomiędzy tym zapotrzebowaniem a utlenialnością i absorbancją UV. Zapotrzebowanie na ClO<sub>2</sub> stosunkowo dobrze koreluje z 2-godzinny zapotrzebowaniem wody na chlor (dawka chloru, która zapewni 0,5 g/m<sup>3</sup> chloru wolnego po 2 godzinach). Nie istnieje praktycznie związek pomiędzy zapotrzebowaniem wody na ClO<sub>2</sub> a barwą wody czy też 24-godzinny zapotrzebowaniem wody na chlor. Zaskakujący jest ujemny współczynnik nachylenia prostej w równaniu regresji dla zawartości ogólnego węgla organicznego.

Z przedstawionej analizy wynika, że zapotrzebowanie wody na dwutlenek chloru do dezynfekcji najdokładniej można określić na podstawie dezynfekcyjnych dawek chloru, zwykle zresztą znanych. Dawka  $\text{ClO}_2$  była w przybliżeniu 3,5-krotnie mniejsza niż dawka chloru potrzebna do dezynfekcji, co opisuje poniższa zależność:

$$D_{\text{ClO}_2} [\text{g}/\text{m}^3] = D_{\text{Cl}_2} [\text{g}/\text{m}^3] \times 0,28 + 0,083 \quad (1)$$

W przypadku braku danych na temat dawek chloru wymaganych do dezynfekcji, dawkę dwutlenku chloru można oszacować z poniższych zależności:

$$D_{\text{ClO}_2} [\text{g}/\text{m}^3] = \text{utl.} [\text{gO}_2/\text{m}^3] \times 0,232 - 0,204 \quad (2)$$

$$D_{\text{ClO}_2} [\text{g}/\text{m}^3] = \text{abs. UV}_{254} [\text{l}/\text{m}] \times 0,056 + 0,4 \quad (3)$$

Analiza danych wykazała, że – wyłączwszy względnie dobrą korelację pomiędzy zapotrzebowaniem wody na  $\text{ClO}_2$  i dezynfekcyjną dawką chloru – rozrzut wokół prostych najmniejszych kwadratów był wysoki. Należy przypuszczać, że tego typu zależności powinny uwzględniać czynniki mające wpływ na przebieg reakcji dwutlenku chloru w roztworach wodnych, takie jak temperatura, pH czy zawartość zawiesin [7]. Ponadto otwartym problemem pozostaje pytanie, na ile powyższe wnioski są ogólne, a na ile są specyficzne dla rozważanego w tym wypadku określonego typu wody powierzchniowej. W celu uogólnienia powyższych spostrzeżeń niezbędne są dalsze badania, szczególnie dla innych rodzajów wód, charakteryzujących się własną specyfiką.

## Wnioski

♦ Dawkę dwutlenku chloru do dezynfekcji wody można najdokładniej oszacować na podstawie rzeczywistych dezynfekcyjnych dawek chloru. W analizowanym wypadku była ona około 3,5-krotnie mniejsza niż dawka chloru.

♦ Przy braku danych na temat dezynfekcyjnych dawek chloru można posłużyć się korelacjami pomiędzy zapotrzebowaniem wody na dwutlenek chloru a utlenialnością wody lub absorpcją UV (254 nm).

## LITERATURA

1. W. J. MASSCHELEIN: Use of Chlorine Dioxide. Unit Processes in Drinking Water Treatment. Marcel Dekker Inc., New York 1992.
2. J. WASOWSKI: Dwutlenek chloru – nowy reagent w wodociągach warszawskich. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, PZITS, Poznań 1996, t. I, ss. 401–417.
3. Materiały firmy ELF Atochem, Francja.
4. Materiały firmy Wallace-Tiernan, Anglia.
5. Dwutlenek chloru jako alternatywa dla chloru. Mat. inf. firmy ProMinent Dosiertechnik GmbH, Niemcy.
6. L. ZIEMBA: Uwarunkowania jakości wody do picia. Ochrona Środowiska, 1995, nr 3(58), ss. 1–14.
7. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓZ: Oczyszczanie wody. PWN, Warszawa–Wrocław 1996.

## Correlation Between Water Quality and Chlorine Dioxide Demand for Final Disinfection

*The paper presents the results of a 12-month pilot-plant study which aimed at establishing the chlorine dioxide demand for final water disinfection. Statistical methods revealed that there was a correlation between chlorine dioxide doses and typical*

*water quality parameters. The study led to an unexpected finding – chlorine dioxide demand was only about one-third the required chlorine disinfection dose. The possibility of predicting the disinfection dose demand was analyzed.*