

Jolanta Maćkiewicz, Andrzej M. Dziubek, Jolanta Czarniecka

Zapotrzebowanie na dwutlenek chloru w uzdatnianiu wód infiltracyjnych

Dwutlenek chloru jest od wielu dziesięcioleci z powodzeniem stosowany w układach technologicznych uzdatniania wody w różnych krajach. W wielu zakładach wodociągowych zastąpił on używany wcześniej chlor, ze względu na wyższy potencjał utleniający i brak zdolności do tworzenia chlorowcopochodnych organicznych oraz znaczną trwałość w środowisku wodnym. Jest on szczególnie chętnie stosowany w takich krajach, jak Belgia, Niemcy, Francja, Włochy, Szwecja czy Szwajcaria. W Stanach Zjednoczonych znalazł zastosowanie w prawie pięciuset zakładach uzdatniania wody [1].

Dwutlenek chloru w normalnych warunkach prowadzenia procesu dezynfekcji wody odznacza się wysoką skutecznością dezaktywacji wirusów i bakterii oraz dość dużą trwałością w sieci wodociągowej.

Dezynfekcyjne działanie dwutlenku chloru

Dwutlenek chloru oddziałuje z biomolekułami bakterii i wirusów oraz zakłóca czynności fizjologiczne komórki. Ma zdolność uszkodzenia zewnętrznej błony komórkowej, co powoduje zwiększony dostęp dezynfektanta do wnętrza cyst i spor. Powoduje także zakłócenia podczas replikacji RNA wirusów. Łatwo reaguje z aminokwasami, takimi jak prolina, hydroksyprolina, histydyna, cystyna, cysteina czy tyrozyna, a także z kwasami tłuszczowymi. W celu skutecznej dezaktywacji cyst pierwotniaków i glonów wymagany jest znacznie wyższy iloczyn cT, niż zazwyczaj stosowany podczas dezynfekcji wody.

Dwutlenek chloru charakteryzuje się znaczną aktywnością biologiczną wobec bakteriofagów, wirusów (np. polio), cyst pierwotniaków, takich jak *Cryptosporidium parvum*, *Naegleria fowleri*, *Giardia muris*, które są odporne na działanie chloru [2]. Stężenie pozostałego dwutlenku chloru około $1,0 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ jest wystarczające do dezaktywacji komórek *Eberthella typhosa*, *Shigella dysenterie* oraz *Salmonella typhosa* i *paratyphi* w uzdatnianej wodzie. Nieco większe stężenie pozostałego dwutlenku chloru zabezpiecza konsumentów przed obecnością *Pseudomonas aeruginosa* i *Staphylococcus aureus*. Dwutlenek chloru wykazuje mniejszą skuteczność w działaniu niż ozon wobec cyst *Giardia*, natomiast charakteryzuje się wyższą niż ozon stabilnością i dłuższym czasem oddziaływania bakteriobójczego w sieci wodociągowej, zwłaszcza w odniesieniu do mikroorganizmu *Aeromonas*, znanego z zasiedlania

rurociągów [3]. Dwutlenek chloru wykazuje się dużą skutecznością niszczenia *Clostridium perfringens*, bakterii szczególnie odpornej na działanie chloru [4].

Dwutlenek chloru nie zapobiega jednak – tak jak i chlor – powstawaniu tzw. biofilmu na ściankach sieci wodociągowej, jednak warstwa biologiczna osadów poddana jego działaniu zawiera mniej żywych bakterii niż poddana działaniu chloru [3]. Szczególnie ważna jest skuteczność biocydowa dwutlenku chloru wobec bakterii *Legionella*, która jest często obecna w biowarstwie, a proces chlorowania jest mało skuteczny w jej dezaktywacji [4]. Według badań przeprowadzonych przez Międzynarodowe Centrum Wody, pozostały dwutlenek chloru w ilości $0,1 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ ma skuteczność biologiczną odpowiadającą stężeniu chloru $0,2 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ przy czasie kontaktu 72 godz. [3].

Zastosowanie dwutlenku chloru w procesie wstępnego utleniania niszczy glony z rodzajów *Scenedesmus*, *Monoraphidium*, *Chlorella*, *Chlamydomonas* i *Cyanobacterie* oraz obniża intensywność smaku i zapachu wody powstających w wyniku metabolizmu glonów. Skuteczne dawki dwutlenku chloru do niszczenia glonów wynoszą $0,3+1,0 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$, a jego efektywność jest większa niż chloru [4].

Technologiczne działanie dwutlenku chloru

Rzeczony rozwój technologii dezynfekcji wody dwutlenkiem chloru nastąpił w głównej mierze na skutek badań potwierdzających znaczną szkodliwość produktów reakcji chloru ze związkami organicznymi zawartymi w wodzie. Bardzo ważną cechą, dającą metodzie dezynfekcji dwutlenkiem chloru przewagę nad chlorowaniem jest fakt, iż w reakcji czystego dwutlenku chloru z kwasami humusowymi i fulwowymi nie powstają trihalometany. Dodatkowo dwutlenek chloru reaguje z potencjalnymi prekursorami trihalometanów, nie wchodząc z nimi w reakcję. Związki mające w swej strukturze wiązania nienasycone poddane działaniu dwutlenku chloru łatwo ulegają utlenieniu. Zaletą dwutlenku chloru jest zdolność do całkowitego utlenienia znajdujących się w wodzie fenoli, w odróżnieniu od chloru, który dodawany do wody zawierającej fenole powoduje powstanie chlorofenoli i nieprzyjemnego zapachu. Jeżeli woda zawiera związki fenolu w postaci jonów fenolowych, to ulegają one natychmiastowemu utlenieniu przez dwutlenek chloru, niezdysoncjowane fenole reagują zaś z nim bardzo wolno. Przy nadmiarze dwutlenku chloru powstają p-benzochinon (45%) oraz kwasy maleinowy i szczawiowy. Jednak przy nadmiarze fenoli produktem reakcji są chlorofenole. W warunkach typowych dla technologii wody dwutlenek chloru jest niereaktywny wobec węglodorodów aromatycznych, a także olefin alifatycznych.

Znane są także negatywne efekty stosowania dwutlenku chloru, a mianowicie uboczne produkty reakcji z zanieczyszczeniami zawartymi w wodzie – związki tlenopochodne, tj. chloryny i chlorany oraz związki karbonylowe, tj. formaldehyd, acetaldehyd, glioksal, metyloglioksal. Do tej pory jednak nie stwierdzono ich szkodliwości przy takich stężeniach, w jakich występują w uzdatnionej wodzie. Jednoznacznie stwierdzono, że aktywność mutagenna wody powstająca w wyniku dawkowania dwutlenku chloru jest mniejsza niż przy jej chlorowaniu, a nawet chloraminowaniu [5].

W Polsce dwutlenek chloru uważany jest za stosunkowo nowy reagent, jego stosowanie na szerszą skalę datuje się od 1992 r., kiedy to kilka zakładów wodociągowych wdrożyło dwutlenek chloru do dezynfekcji wody. Jednakże pierwsze próby zastosowania dwutlenku chloru w kraju sięgają końca lat pięćdziesiątych – w 1958 r. zastosowano dwutlenek chloru do poprawy właściwości organoleptycznych wody w zakładzie wodociągowym Pomorzany w Szczecinie, a w 1962 r. znalazł on zastosowanie w Zakładach Chemicznych „Rokita” w Brzegu Dolnym [6]. Obecnie w Polsce wyraźnie rośnie zainteresowanie procesem dezynfekcji wody z zastosowaniem dwutlenku chloru. Zmusza to do określenia zapotrzebowania wody na ten dezynfektant i poszukiwania korelacji pomiędzy jakością wody, a zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru, co pozwoli na szybkie oszacowanie jego wymaganej dawki [2,7,8].

Główne oddziaływanie toksyczne wody dezynfekowanej dwutlenkiem chloru związane jest z produktami reakcji dysproporcjonowania. Stwierdzono, iż chloryny i chlorany powodują anemię hemolityczną na skutek utleniania błon komórkowych erytrocytów. W wyższych stężeniach chloryny powodują methemoglobinemię. Nie stwierdzono takiego wpływu na krwinki w wypadku dwutlenku chloru. Powodował on jednak obniżenie poziomu tyrozyny (hormon tarczycy) w serum, na skutek oddziaływania z jodkami. Jako silny utleniacz powodował ich utlenienie i reakcję ze związkami organicznymi. Ekspozycja ludzi cierpiących na deficyt dehydrogenazy glukozo-6-fosforanowej na dwutlenek chloru, chloryny lub chlorany w ilości 0,036 mg/kg-d, powoduje negatywne zmiany w serum i we krwi. Nie stwierdzono, aby stężenia dwutlenku chloru i produktów reakcji dysproporcjonowania, występujące w wodzie dezynfekowanej zazwyczaj stosowanymi w technologii uzdatniania dawkami, miały negatywny wpływ na zdrowie człowieka [3].

Przepisy określające dopuszczalne stężenia chloranów i chlorynów nie są jednoznaczne i tylko niektóre kraje podają normy dotyczące tych związków. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) zaleca jedynie, aby stężenia chlorynów w wodzie nie przekraczało $0,2 \text{ gClO}_2^-/\text{m}^3$. Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (U.S. EPA), w których dwutlenek chloru stosowany jest na znaczną skalę, dopuszcza łączne stężenie ClO_2^- , ClO_3^- i ClO_2 pozostałego w ilości $1,0 \text{ g}/\text{m}^3$. W Niemczech, gdzie dwutlenek chloru znajduje zastosowanie do dezynfekcji końcowej aż 70% objętości wody do picia podlegającej temu procesowi, dopuszczalna dawka dwutlenku chloru wynosi $0,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$, maksymalne stężenie pozostałego dwutlenku chloru – $0,2 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$, natomiast chlorynów – $0,2 \text{ gClO}_2^-/\text{m}^3$. Przepisy belgijskie dopuszczają stężenie chlorynów w wodzie do picia do $0,25 \text{ gClO}_2^-/\text{m}^3$, a szwajcarskie – do $0,15 \text{ gClO}_2^-/\text{m}^3$ [9].

W Polsce w 1992 r. Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej oraz Państwowy Zakład Higieny wydały pozytywne opinie o stosowaniu dwutlenku chloru w technologii uzdatniania wody przeznaczonej do picia, lecz do tej pory nie ma rozporządzenia określającego jego dopuszczalne stężenie, jak to ma miejsce w przepisach niemieckich. Jednakże w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 19 listopada 2002 r., w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. nr 203, poz. 1718), określono już dopuszczalne stężenia ubocznych produktów dezynfekcji wody dwutlenkiem chloru (chlorany – $0,2 \text{ gClO}_3^-/\text{m}^3$, chloryny – $0,2 \text{ gClO}_2^-/\text{m}^3$). Wynika stąd pośrednio, iż dawka dwutlenku chloru praktycznie nie powinna przekraczać $0,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$, co będzie trudne do spełnienia w wielu przedsiębiorstwach wodociągowych ujmujących wody powierzchniowe i infiltracyjne.

Zaletą dwutlenku chloru – którą należy podkreślić – jest fakt, iż nie oddziałuje on mutagennie, ani nie jest promotorem takiego oddziaływania. Produkty reakcji dwutlenku chloru z niektórymi związkami mogą jednak mieć działanie kancerogenne. Na podstawie testów przeprowadzonych na zwierzętach stwierdzono taki wpływ acetaldehydu i formaldehydu, powstających w reakcji dwutlenku chloru z 4-rzędowymi aminami i aminokwasami. Produktywność aldehydów w wodzie dezynfekowanej dwutlenkiem chloru jest porównywalna z ich produktywnością w wodzie ozonowanej. Kancerogenne oddziałują także powstające ze związków aromatycznych i fenoli chinony i benzochinony. Dodatkową zaletą dwutlenku chloru jest utlenianie związków nieorganicznych, np. siarczków oraz związków manganu (II) i żelaza (II), przy jednoczesnym niereagowaniu z azotem amonowym obecnym w uzdatnianej wodzie. Zastosowanie dwutlenku chloru do uzdatniania wody zwierającej jon amonowy nie powoduje więc jej zwiększonego zapotrzebowania na dezynfektant, jak ma to miejsce w wypadku stosowania chloru. Dodatkowo produktami reakcji dwutlenku chloru z domieszkami uzdatnianej wody są substancje neutralne pod względem smaku i zapachu [10]. Obecność w wodzie azotu azotanowego sprawia, iż dwutlenek chloru utlenia go do azotu azotanowego, jednakże z wytworzeniem chlorynów. Ponadto dwutlenek chloru utlenia jodki i cyjanki, te ostatnie w środowisku zasadowym.

Podobnymi reakcjami ze związkami nieorganicznymi charakteryzuje się także ozon. Przewaga dwutlenku chloru nad ozonem tkwi jednak w większej trwałości w środowisku wodnym, co umożliwia jego zastosowanie jako ostatecznego dezynfektanta przed podaniem wody do sieci wodociągowej. Dodatkowo nie wchodzi on w reakcję z bromkami, co zapobiega powstawaniu bromowych pochodnych trihalometanów.

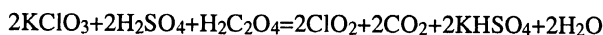
Przedmiot badań

Badania zapotrzebowania wody na dwutlenek chloru przeprowadzono na wodzie infiltracyjnej, uzdatnionej w następujących układach technologicznych [11–13]:

- napowietrzanie,
- napowietrzanie + korekta pH wapnem + filtracja pospieszna,
- napowietrzanie + korekta pH wapnem + filtracja pospieszna + adsorpcja na węglu aktywnym.

Uzdatnianie wody infiltracyjnej stosowanej w badaniach polegało na jej napowietrzaniu na rurowych złożach ociekowych pracujących przy obciążeniu około $60 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ oraz filtracji pospiesznej na wpracowanych złożach piaskowych z prędkością około 6 m/h . Woda po napowietrzaniu (przed filtracją) była poddana korekcie pH wodą wapienną.

Procesy adsorpcji na węglu aktywnym i utleniania dwutlenkiem chloru przeprowadzono w skali laboratoryjnej w układzie porcjowym. W procesie adsorpcji zastosowano ziarnisty węgiel aktywny w ilości 25 g/m^3 , natomiast w procesie utleniania zastosowano dwutlenek chloru w dawkach do $3,0 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ (przy czasie kontaktu 30 min), otrzymany w warunkach laboratoryjnych zgodnie z reakcją:



Efekty technologiczne badanych procesów określono na podstawie zmian wskaźników jakości wody, tj. mętności, barwy, pH i zawartości ogólnego węgla organicznego (OWO), a także stężenia pozostałego dwutlenku chloru i chlorynów. Ponadto w wodzie uzdatnionej wykonano oznaczenia mikrobiologiczne. Oznaczenia poszczególnych wskaźników jakości wody wykonano zgodnie z odpowiednimi normami (OWO – na analizatorze Shimadzu, barwa – spektrofotometrycznie, mętność – na analizatorze Hach, stężenia dwutlenku chloru i chlorynów – zmodyfikowaną metodą Aiety [14]).

Dyskusja wyników

Wybrane wskaźniki jakości wody poddawanej procesowi utleniania dwutlenkiem chloru przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Jakość badanych wód infiltracyjnych

Parametr jednostka	Woda po napowietrzaniu	Woda po napowietrzaniu i filtracji	Woda po napowietrzaniu, filtracji i sorpcji
Barwa, gPt/m^3	10+15	7+10	3+4
Mętność, NTU	12,2+16,8	0,4+0,9	0,4+0,7
pH, –	7,5+7,6	7,6+7,8	6,2+7,4
Zasadowość og., val/m^3	2,8	2,9+3,0	1,0+1,8
Utlenialność, gO_2/m^3	2,5	2,0+2,5	0,9+1,0
OWO, gC/m^3	3,7+7,0	3,6+5,6	2,1+2,7
Żelazo ogólne, gFe/m^3	0,3	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$
Mangan, gMn/m^3	0,50+0,60	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$

W okresie badań woda infiltracyjna charakteryzowała się podwyższoną mętnością, nieznacznie podwyższonym stężeniem związków żelaza, a także podwyższonym stężeniem związków manganu. Zawartość związków organicznych, oznaczonych jako utlenialność, była niska, zaś określona jako OWO – okresowo podwyższona.

Tabela 2. Zapotrzebowanie wody na dwutlenek chloru

Woda	Zapotrzebowanie na dwutlenek chloru gClO_2/m^3	Pozostały dwutlenek chloru gClO_2/m^3	Chloryny gClO_2/m^3	Barwa gPt/m^3	Mętność NTU	Ogólny węgiel organiczny gC/m^3
Po napowietrzaniu	1,7+1,8	0,08+0,25	1,476	7+9	12+17	3,9
Po napowietrzaniu i filtracji	0,4+0,8	0,04+0,08	0,135	7	1,2+1,3	3,6+3,8
Po napowietrzaniu, filtracji i sorpcji	0,1+0,3	0,04+0,23	0,042	2+3	0,6+1,1	2,1+2,5

Zapotrzebowanie wody na dwutlenek chloru ustalono w oparciu o kryterium stężenia pozostałego dwutlenku chloru w wodzie w ilości $0,05+0,2 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$. Dla wody po napowietrzaniu zapotrzebowanie to wynosiło $1,7+1,8 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$. Przy tak znacznym zapotrzebowaniu na dwutlenek chloru stężenie chlorynów było również wysokie, gdyż dochodziło nawet do 80% dawki dwutlenku chloru. W procesie utleniania stwierdzono obniżenie barwy wody i stężenia OWO (tab. 2).

Zapotrzebowanie na dwutlenek chloru w przypadku wody uzdatnionej w procesie napowietrzania i filtracji wynosiło $0,4+0,8 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$, przy ilości pozostałego dwutlenku chloru $0,04+0,08 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$. Dwutlenek chloru wpłynął na obniżenie intensywności barwy wody, natomiast jej mętność nieznacznie wzrosła (tab. 2). Najprawdopodobniej wynikało to z zachodzących w wodzie przemian chemicznych związków organicznych pod wpływem dwutlenku chloru, aż do częściowej ich mineralizacji, co manifestowało się nieznacznym wzrostem jej mętności. Fakt ten wskazuje na możliwość jeszcze głębszego oczyszczania wody i dalszego usunięcia OWO, a co się z tym wiąże – obniżenia zapotrzebowania wody na dwutlenek chloru, które z powodzeniem może osiągnąć wartość zapotrzebowania na cele dezynfekcyjne. Dawka dezynfekcyjna dwutlenku chloru wynosiła $0,5 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$. Dwutlenek chloru wykazał silne działanie bakteriobójcze w stosunku do bakterii mezofilnych i psychrofilnych, nieco słabsze – w stosunku do bakterii grupy *coli*.

Wprowadzenie do układu technologicznego oczyszczania wody procesu adsorpcji na węglu aktywnym spowodowało obniżenie zapotrzebowania wody na dwutlenek chloru do $0,1+0,3 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$, przy ilości pozostałego dwutlenku chloru w granicach $0,04+0,23 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$. Stężenie chlorynów powstających w wodzie było niskie. Stwierdzono również obniżenie intensywności barwy wraz ze wzrostem dawki dwutlenku chloru, a także nieznaczny wzrost jej mętności, natomiast stężenie OWO wykazało tendencję do utrzymywania się na stałym poziomie (tab. 2).

Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wynika, że zapotrzebowanie wody na dwutlenek chloru zależało od stężenia ogólnego węgla organicznego w wodzie, a co się z tym wiąże – od stopnia jej oczyszczenia, przy czym dawki dezynfekcyjne dwutlenku chloru były niższe od zapotrzebowania wody na ten utleniacz. W układzie technologicznym oczyszczania wody złożonym z procesów napowietrzania, korekty pH i filtracji pospiesznej uzyskano wodę spełniającą wymagania stawiane w wodzie do spożycia przez ludzi, określone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 19 listopada 2002 r. Jednakże zapotrzebowanie tej wody na dwutlenek chloru było zbyt duże. Włączenie do układu technologicznego procesu adsorpcji na węglu aktywnym pozwoliło obniżyć jej zapotrzebowanie na dwutlenek chloru do wartości dopuszczonych przez niemieckie przepisy sanitarne.

Stosowaniu dwutlenku chloru towarzyszy pojawienie się w wodzie chlorynów, których stężenie maleje wraz ze wzrostem stężenia pozostałego ClO_2 . Zastosowanie dwutlenku chloru powodowało początkowo przyrost mętności wody, przy czym wysoki stopień oczyszczania wody sprawił, iż przyrost ten nie był istotny z punktu widzenia wymaganej jakości wody. Zastosowanie dwutlenku chloru powodowało obniżenie barwy wody. Również wraz ze wzrostem jego dawki stwierdzono obniżenie stężenia ogólnego węgla organicznego. W stosowanych układach technologicznych uzyskano obniżenie stężenia ogólnego węgla organicznego do około $2,1+2,5 \text{ gC/m}^3$.

Uzyskane doświadczenia wskazują na celowość dalszych badań nad modernizacją technologii oczyszczania wód infiltracyjnych z zastosowaniem dwutlenku chloru w układzie technologicznym złożonym z procesów utlenienia i adsorpcji, w celu określenia możliwości dalszego obniżenia stężenia związków organicznych w wodzie dla uzyskania jej stabilności biologicznej w sieci wodociągowej.

LITERATURA

1. M. DERNAT, J.-P. GAUTIER, M. POUILLOT: Dwutlenek chloru w uzdatnianiu wody. Mat. konf. „Uzdatnianie wód podziemnych – badania, projektowanie i eksploatacja”, Warszawa 1997.
2. W. MOŻARYN: Korelacja pomiędzy jakością wody a jej zapotrzebowaniem na dwutlenek chloru do dezynfekcji. *Ochrona Środowiska*, 1997, nr 3, ss. 51–54.
3. Dwutlenek chloru w wodzie pitnej. Materiały firmy Elf Atochem (prace nie publikowane).
4. V. PARFANT, P. ZYDOWICZ, D. LIPIAK, W. J. MASSCHELEIN: Charakterystyka ClO_2 jako czynnika utrzymującego stabilność bakteriologiczną wody pitnej. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę i jakość wód”, PZITS, Poznań-Gdańsk 2002, ss. 351–359.
5. J. WAŚOWSKI: Dwutlenek chloru – nowy reagent w wodociągach warszawskich. Mat. konf. „Zaopatrzenie w Wodę Miast i Wsi”, PZITS, Poznań 1996, ss. 401–418.
6. W. BALCERZAK, M. OLKO: Zastosowanie ClO_2 w technologii uzdatniania wody na przykładzie ZUW Rudawa. Mat. konf. „Zaopatrzenie w Wodę Miast i Wsi”, PZITS, Poznań 1996.
7. H. DERA: Dezynfekcja wód infiltracyjnych dwutlenkiem chloru na przykładzie MPWiK w Oświęcimiu. *Ochrona Środowiska*, 1995, nr 4, ss. 49–52.
8. A. MOSSAKOWSKA: Dezynfekcja wody dwutlenkiem chloru – doświadczenia Zakładu Wodociągu Praskiego. *Ochrona Środowiska*, 1999, nr 4, ss. 49–51.
9. D. LIPIAK, N. DROUOT: Skutki zdrowotne zastosowania ClO_2 do dezynfekcji wody pitnej. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS, Poznań–Kraków 2000, ss. 79–96.
10. M. MIELCZAREK: Dezynfekcja wody dwutlenkiem chloru. *Ochrona Środowiska*, 1995, nr 4, ss. 45–48.
11. A. M. DZIUBEK, J. MAĆKIEWICZ: Direct filtration water applied to infiltration water treatment. *Environment Protection Engineering*, 2002, Vol. 28, No. 2, pp. 38–46.
12. T. M. TRACZEWSKA, B. KOŁWZAN, A. M. DZIUBEK, A. BIŁYK, J. CZARNIECKA: Skuteczność dezynfekcji wód chlorem i dwutlenkiem chloru. Mat. konf. „Zaopatrzenie w Wodę Miast i Wsi”, PZITS, Poznań 1998, ss. 135–142.
13. T. M. TRACZEWSKA, B. KOŁWZAN, A. M. DZIUBEK: Ocena skuteczności dezynfekcji wód powierzchniowych. *Ochrona Środowiska*, 1997, nr 4, ss. 47–49.
14. E. M. AIETA, P. V. ROBERTS, M. HERNANDEZ: Determination of chlorine dioxide, chlorine, chlorite and chlorate in water. *Journal AWWA*, 1984, Vol. 76, No. 1, pp. 64–70.

Maćkiewicz, J., Dziubek, A. M., Czarniecka, J. Chlorine Dioxide Demand in Infiltration Water Treatment. *Ochrona Środowiska* 2003, Vol. 25, No. 1, pp. 9–12.

Abstract: Chlorine dioxide demand was determined in infiltration water after treatment by aeration, aeration and filtration or by aeration–filtration–sorption. The effect of TOC concentration on the chlorine dioxide dose, as well as the variability of some water quality parameters, was examined in more detail. It was found that the oxidizing activity of the disinfectant in the water accounted for the formation of some oxidation by-products

and that their concentration decreased when free chlorine dioxide persisted in the water. The study also showed that chlorine dioxide not only acted as a disinfectant but also contributed to the reduction of coloured matter and TOC in the treated water. As it can be inferred from the analysis of the results obtained, the dose covering the chlorine dioxide demand in infiltration water depended noticeably on the initial TOC concentration and was higher than the disinfecting dose.

Keywords: Water treatment, oxidation, chlorine dioxide, chlorite, chlorate, disinfection.