

Teodora M. Traczewska, Barbara Kołwzan, Andrzej M. Dziubek

Ocena skuteczności dezynfekcji wód powierzchniowych

Dezynfekcja jest końcowym procesem w technologii uzdatniania wody do picia, stosowanym w celu dezaktywacji mikroorganizmów, a także dla uzyskania stabilności biologicznej wody [2]. Mikroorganizmy występujące w wodach powierzchniowych, ujmowanych do celów wodociągowych, prowadzą procesy rozkładu substancji organicznych oraz inne procesy utleniająco-redukcyjne. Dla bakterii wody te stanowią naturalne środowisko życia. Obok nich mogą występować także drobnoustroje allochtoniczne, pochodzące z gleby lub ścieków.

Liczebność bakterii w wodzie zależy od stopnia jej zanieczyszczenia, zwłaszcza związkami organicznymi. Wysokie skażenie bakteriologiczne wód wymaga stosowania dużych dawek dezynfektantów i długiego czasu kontaktu (odpowiednia wartość CT) dla zapewnienia właściwej jakości bakteriologicznej wody do picia [3]. Obecnie w coraz szerszym zakresie do dezynfekcji wody wprowadza się dwutlenek chloru, który tak ze względów technologicznych, jak i ochrony zdrowia wydaje się w świetle badań najbardziej właściwym środkiem dezynfekcyjnym [1,3,5].

Z uwagi na powstawanie w procesie dezynfekcji wody chlorem związków chloroorganicznych, charakteryzujących się właściwościami rakotwórczymi, skuteczna dawka dezynfektanta powinna być każdorazowo dokładnie dobrana. Wybór odpowiedniej metody oceny skutecznej dawki dezynfektanta, zwłaszcza w wypadku wód powierzchniowych, jest trudny, przede wszystkim z uwagi na zmienne parametry fizyczno-chemiczne i mikrobiologiczne. W niniejszej pracy zaprezentowano metodę oceny skutecznej dawki dezynfektanta w oparciu o symulację skażenia wody przez jej inokulację bakteriami wskaźnikowymi i wprowadzenie wyciągu glebowego zawierającego związki humusowe.

Materiały i metody

Jako metodę oceny skuteczności procesu dezynfekcji wody zastosowano standardową analizę bakteriologiczną. Badaniom poddano wodę powierzchniową o średnim stopniu zanieczyszczenia. Do dezynfekcji zastosowano chlor lub dwutlenek chloru. Próbkę wody przeznaczoną do analizy bakteriologicznej każdorazowo po założonym czasie kontaktu dechlorowano tiosiarczanem sodu. Ponadto, dla zobiektywizowania oceny skuteczności zastosowanych dezynfektantów, przeprowadzono symulację zmiennych warunków stopnia skażenia bakteriologicznego wody oraz wzbogacenie jej w związki organiczne pochodzenia glebowego. W tym celu

wyizolowano z badanej wody bakterie *Escherichia coli*, dla których empirycznie wyznaczano *inoculum* dla 1 dm³, odpowiadające maksymalnemu skażeniu mikrobiologicznemu na poziomie 10⁶ komórek w 100 cm³ wody ($E_{430nm}=0,3$; $V=1$ cm³).

Ponieważ efekt dezynfekcyjny zależy również od zawartości w wodzie związków organicznych, zastosowano kombinację polegającą na wzbogaceniu badanej wody w związki organiczne i doszczepienie jej bakteriami wskaźnikowymi. Wykonano następujące warianty badań:

- czas kontaktu 30 min dla 5 dawek dezynfektantów,
- czas kontaktu 30 min dla 5 dawek dezynfektantów, przy wysokim skażeniu bakteriologicznym (10⁶ kom./100cm³),
- czas kontaktu 30 min dla 5 dawek dezynfektantów, przy wysokim skażeniu bakteriologicznym (10⁶ kom./100cm³), w obecności ekstraktu glebowego.

Wyniki badań

Dwie pierwsze serie badań miały na celu dobór optymalnych dawek dezynfektantów (tab.1). W obu próbkach wody surowej liczebność bakterii grupy *coli* typu fekalnego kształtowała się na poziomie 2400 (miano *coli* 0,04), a więc mieściła się w III klasie czystości śródlądowych wód powierzchniowych. Po procesie uzdatniania obejmującym filtrację pospieszną uzyskano znaczne obniżenie liczebności bakterii. Zastosowano szeroki zakres dawek zarówno dwutlenku chloru jak i chloru. W pierwszej serii badań stwierdzono zadowalające efekty dezynfekcji wody dwutlenkiem chloru dopiero dla dawki 0,8 gClO₂/m³, gdyż przy dawce 0,4 gClO₂/m³ stwierdzono przekroczenie liczby bakterii mezofilnych (54 kom./cm³). Skuteczna dawka chloru dla tej wody wynosiła 0,8 gCl₂/m³. W tym wypadku dobry efekt dezynfekcyjny korelował z wartościami OWO (ok. 4,3 gC/m³).

W drugiej serii badań skuteczna dawka dwutlenku chloru wynosiła 1,6 gClO₂/m³, zaś dla chloru dawki takiej nie udało się wyznaczyć, gdyż nawet w obecności najwyższej zastosowanej dawki stwierdzono nadmierną liczbę bakterii grupy *coli* (2 w 100 cm³). Pomimo zbliżonej liczebności bakterii w obu próbkach wody uzdatnionej uzyskano odbiegające od siebie dawki skuteczne stosowanych dezynfektantów. Przyczyny tego faktu można upatrywać w różnym stopniu zanieczyszczenia wody, gdyż w drugiej próbce stężenie OWO wynosiło ponad 6 gC/m³.

Symulację zmiennych warunków stopnia skażenia bakteriologicznego i chemicznego wód przeprowadzono w dwóch seriach (III i IV). W obu eksperymentach wykorzystano wody powierzchniowe różniące się wyjściowym stopniem skażenia mikrobiologicznego i chemicznego.

Tabela 1. Wyznaczenie skutecznej dawki dezynfektanta na podstawie jakości bakteriologicznej wody

Dawka g/m ³	I seria		II seria		III seria		IV seria	
	Cl ₂	ClO ₂	Cl ₂	ClO ₂	Cl ₂	ClO ₂	Cl ₂	ClO ₂
0,4	x	x	x	x	x			
0,8	X	X	x	x	x	x		x
1,2						X		x
1,4	x		x		x			
1,5							X	
1,6		X		X		x		X
2,0	x		x					
2,4	x	x	x					
2,7							x	
2,8	x							
3,5							x	
3,6				x		x		x
4,2							x	
5,0							x	

x – zastosowane dawki

X – dawka skuteczna

Pod względem sanitarnym woda w serii III nie odbiegała od poprzednich próbek, mieściła się zatem w III klasie czystości (tab.2). Niemniej dla tej próbki wody uzyskano gorszy efekt uzdatniania. Po filtracji i koagulacji nie uległa zmianie liczba bakterii grupy *coli*, zmienił się natomiast jej skład jakościowy. Wyznaczono dawki skuteczne stosowanych środków dezynfekcyjnych, które wynosiły dla chloru 1,4 gCl₂/m³, zaś dla dwutlenku chloru 1,2 gClO₂/m³ (tab.1). Próbkę wody zaszczipiono *E. coli* i następnie poddano dezynfekcji. W wyniku zastosowanych dawek nie uzyskano eliminacji bakterii wskaźnikowych. Wyraźnie lepszy efekt bakteriobójczy wykazał chlor, natomiast każda z zastosowanych dawek dwutlenku chloru znacząco zmniejszała liczebność bakterii, lecz nie uzyskano zadowalających rezultatów dezynfekcji (tab.3).

W IV serii badań, po wyznaczeniu skutecznych dawek dezynfektantów, wodę wzbogacono w związki organiczne, a następnie inokulowano *E. coli*. Woda charakteryzowała się znacznie lepszą od wcześniejszych próbek jakością pod względem bakteriologicznych wskaźników sanitarnych, w tym także mniejszą ogólną liczbą bakterii, stąd mieściła się w II klasie czystości (tab.2). Wyznaczona skuteczna dawka chloru była nieco wyższa niż 1,5 gCl₂/m³, z uwagi na liczebność bakterii mezofilnych w wodzie uzdatnionej (38 kom./cm³). Skuteczna dawka dwutlenku chloru wynosiła 1,6 gClO₂/m³ (tab.1.). Następnie wodę zaszczipiono *E. coli*, przy równoczesnym wprowadzeniu sterylnego wyciągu glebowego. Tak wzbogaconą wodę poddano dezynfekcji wysokimi dawkami chloru i dwutlenku chloru. Dla żadnej z zastosowanych dawek nie uzyskano odpowiedniego efektu dezynfekcyjnego. Prawdopodobnie ze względu na bardzo różnorodny skład

zanieczyszczających wodę związków organicznych i ich różnorodną reaktywność z silnymi utleniaczami, jakimi są chlor i dwutlenek chloru, nie uzyskano liniowej zależności pomiędzy wzrastającą dawką dezynfektanta a liczebnością bakterii wskaźnikowych.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania mikrobiologiczne potwierdziły zależność efektów dezynfekcyjnych silnych utleniaczy stosowanych w technologii uzdatniania wody od stopnia zanieczyszczenia wody mikroorganizmami i związkami organicznymi. Zwłaszcza dwutlenek chloru w stosunku do wody silnie zanieczyszczonej nie spełniał swej roli jako środek przeciwbakteryjny. Bowiem w wyniku reakcji z zanieczyszczeniami redukowal się do chlorynów, które nie mają praktycznie żadnych właściwości dezynfekcyjnych. W czasie uzdatniania wody 50÷70% ClO₂ reaguje w ten sposób, że pojawia się w postaci chlorynów, a pozostała część w postaci chlorków. Ponadto obecność chlorynów jako produktów ubocznych procesu dezynfekcji jest ograniczona do 0,2 gClO₂⁻/m³, z uwagi na ich działanie toksyczne [1], a dopuszczalne stężenie tlenowych związków chloru nie powinno przekraczać 1,0 g/m³ [4].

Chlor w przeprowadzonych badaniach wykazywał także niską skuteczność dezynfekcyjną. Ponadto należy podkreślić, że w wyniku reakcji chloru ze związkami organicznymi, powstają związki chloroorganiczne, jak np. trihalometany, halogenoacetonitryle, halogenoketony, kwasy halogenoocetowe, trichlorobenzen, 2,4,6-trichlorofenol. Wszystkie te związki wykazują działanie rakotwórcze [1]. Z danych

Tabela 2. Wyniki analizy bakteriologicznej badanych wód

Seria	Rodzaj wody	NPL bakterii grupy <i>coli</i>	NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	Liczba bakterii psychrofilnych w 1 cm ³	Liczba bakterii mezofilnych w 1 cm ³	OWO gC/m ³
I	surowa	24000	2400	568	1040	6,8
	uzdatniona	62	23	160	3	4,3
II	surowa	2400	620	6400	3200	14,1
	uzdatniona	2400	23	1020	38	7,7
III	surowa	620	240	4300	640	7,7
	uzdatniona	23	6	4200	38	5,4
IV	surowa	2400	130	1880	960	10,9
	uzdatniona	240	62	480	51	6,3

Tabela 3. Skuteczność dezynfekcji wody inokulowanej *E. coli*

Dawka	Miano <i>coli</i>	NPL bakterii z grupy <i>coli</i>
0	0,0000004	240 000 000
1 gCl ₂ /m ³	0,11	900
2 gCl ₂ /m ³	5	18
3 gCl ₂ /m ³	33	3
4 gCl ₂ /m ³	33	3
5 gCl ₂ /m ³	50	2
0	0,0000004	24 000 000
2 gClO ₂ /m ³	0,00004	2 400 000
3 gClO ₂ /m ³	0,004	24 000
4 gClO ₂ /m ³	0,4	240
5 gClO ₂ /m ³	0,4	240

doświadczalnych wynika, że dobre efekty dezynfekcyjne, polegające na spełnieniu przez uzdatnioną wodę wymogów sanitarnych, zwłaszcza przy zastosowaniu dwutlenku chloru, można uzyskać jedynie wtedy, gdy woda nie jest zanieczyszczona związkami organicznymi [1,4].

Dla badanej wody dawki skuteczne chloru, w zależności od jakości wody, wahały się w szerokim zakresie od 0,8 do powyżej 5 gCl₂/m³. Przy wskaźnikach sanitarnych na poziomie II i III klasy czystości wystarczająca dawka chloru wynosiła 2,7 gCl₂/m³. Skuteczne dawki dwutlenku chloru mieściły się w granicach od 0,8 do 1,6 gClO₂/m³, jednakże w większości wypadków była to dawka 1,6 gClO₂/m³, podczas gdy wg norm niemieckich maksymalna dawka ClO₂ dla wody do picia wynosi 0,4 gClO₂/m³, zaś jego stężenie w wodzie uzdatnionej nie może przekraczać 0,2 gClO₂/m³. W warunkach ekstremalnych, przy bardzo wysokim skażeniu mikrobiologicznym, dawki te nie były wystarczające.

Przeprowadzone badania wykazały celowość wyznaczenia skutecznej dawki chloru z zastosowaniem symulacji ekstremalnych warunków skażenia mikrobiologicznego wody. Tą metodą uzyskuje się informację o rzeczywistym efekcie bakteriobójczym w stosunku do mikroflory, gdyż woda po procesach technologicznych zawiera zbyt niską liczebność komórek, co nie pozwala na prawidłowe wnioskowanie o skuteczności dezynfekcji. Wielokrotnie zwiększone dawki stosowanych środków dezynfekcyjnych nie spełniały swej roli w obecności ekstraktu glebowego. Oznaczanie skutecznych dawek dezynfektantów wyłącznie dla wody uzdatnionej w danych warunkach nie gwarantuje uwzględnienia wahań jej składu, zwłaszcza mikrobiologicznego, jak również obecności zwiększonej ilości związków humusowych. Badania te wykazały, że przed stosowaniem takich dezynfektantów jak

Tabela 4. Skuteczność dezynfekcji wody wzbogaconej wyciągiem glebowym i inokulowanej *E. coli*

Dawka	Miano <i>coli</i>	NPL bakterii z grupy <i>coli</i>
0	0,000008	13 000 000
5,5 gCl ₂ /m ³	11	9
7,0 gCl ₂ /m ³	11	9
8,5 gCl ₂ /m ³	17	6
10,0 gCl ₂ /m ³	5	18
12,0 gCl ₂ /m ³	33	3
2 gClO ₂ /m ³	0,04	2 400
3 gClO ₂ /m ³	0,4	240
4 gClO ₂ /m ³	0,5	210
5 gClO ₂ /m ³	0,2	620
6 gClO ₂ /m ³	0,4	240

dwutlenek chloru, niezbędne jest wcześniejsze usunięcie z wody zanieczyszczeń organicznych i drobnoustrojów, a więc odpowiednie prowadzenie procesów koagulacji i filtracji.

Należy podkreślić, że wszystkie znane zalety dwutlenku chloru można osiągnąć jedynie wówczas, gdy dezynfekcji poddaje się wodę spełniającą warunki normatywne dla wód ujmowanych na cele wodociągowe, a więc mieszczących się w I klasie czystości. Należy też dodać, że dla zobiektywizowania wyników doboru skutecznych dawek dezynfektantów godną polecenia jest metoda symulacji ekstremalnych warunków eksploatacyjnych, zwłaszcza dla wodociągów ujmujących wody powierzchniowe.

LITERATURA

1. W. BALCERZAK, M. OLKO: Zastosowanie ClO₂ w technologii uzdatniania wody na przykładzie ZUW Rudawa. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, PZITS, Poznań 1996.
2. S. BIŁOZOR, J. NAWROCKI: Stabilność biologiczna wody do picia. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, PZITS, Poznań 1996.
3. A. BIŁYK, B. KOŁWZAN, T. M. TRACZEWSKA: Ocena mutagenności wód dezynfekowanych chlorem. Roczn. PZH, 1996, 47, nr 1, ss. 77–85.
4. B. KOŁWZAN, T. M. TRACZEWSKA, H. GODZIŃSKA, M. PAWLACZYK-SZPIŁOWA: Bacteriological state of water in the river Oława at the site of its uptake for supply system. EPE, 1986, Vol. 12, No. 17.
5. J. WĄSOWSKI: Dwutlenek chloru – nowy reagent w wodociągach warszawskich. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, PZITS, Poznań 1996.

Assessing the Efficiency of Surface Water Disinfection

Presented is a method of determining an effective disinfectant dose for polluted surface water. Water pollution was simulated by inoculation with marker bacteria and by addition of soil extracts containing humic substances. At high pollution loads, disinfection with chlorine or chlorine dioxide was found to be of little effect. The application of high disinfectant doses had the disadvantage of producing new chlororganic compounds of

a carcinogenic nature. For this reason, it seemed advisable to determine such a disinfectant dosage (specifically for chlorine dioxide) that would provide sufficient disinfection without contributing to the formation of carcinogenic species. The efficiency of disinfection was found to be satisfying only after the highest possible organic matter removal as a prior step.