

Aleksandra Sokołowska, Krystyna Olańczuk-Neyman

## Badania zmian jakości mikrobiologicznej wody w sieci wodociągowej aglomeracji trójmiejskiej

Wtórny wzrost mikroorganizmów w niestabilnej biologicznie wodzie wodociągowej przyczynia się do pogorszenia jej jakości i jest problemem często obserwowanym i trudnym do rozwiązania. Powoduje nie tylko pogorszenie jakości mikrobiologicznej wody, lecz także jej cech fizyczno-chemicznych. Wśród głównych przyczyn tego zjawiska wymienia się obecność w wodzie substancji pokarmowych (organicznych i nieorganicznych), występowanie korzystnych warunków środowiskowych do wzrostu mikroorganizmów, a także zbyt małe stężenie pozostałego środka dezynfekcyjnego. W wodzie rozprowadzanej w systemach wodociągowych składających się z rurociągów o małych średnicach (duża powierzchnia w stosunku do objętości wody) i zawierającej małe stężenie chloru pozostałego, głównym źródłem mikroorganizmów jest błona biologiczna (biofilm) [1], natomiast w systemach wodociągowych, w których stosunek powierzchni kontaktu do objętości wody jest niewielki, o jakości mikrobiologicznej wody decyduje głównie rozwój mikroorganizmów zawieszonych [2].

Liczbę bakterii heterotroficznych uznaje się za użyteczny wskaźnik do kontroli jakości wody podczas jej dystrybucji w sieci wodociągowej, chociaż nawet zwiększona liczba tych bakterii nie stanowi bezpośredniego zagrożenia zdrowia [3], gdyż człowiek wraz z wodą spożywa znacznie mniejszą ich liczbę (do ok.  $10^4$  w ciągu doby), niż wraz z produktami spożywczymi, które mogą zawierać do  $10^7$  bakterii w jednym gramie [4].

Dyrektywa Rady 98/83/WE z 3 listopada 1998 r., w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, wprawdzie nie określa dopuszczalnej liczby bakterii heterotroficznych, ale stanowi, iż nie może być nadmiernej zmiany ich liczebności. W Wielkiej Brytanii w niektórych zakładach wodociągowych dopuszcza się wzrost liczby bakterii heterotroficznych w zakresie od 0,5 log do  $>2$  log ponad wartość z poprzednich badań [4]. Również w Polsce obowiązujące rozporządzenie Ministra Zdrowia [5], w odróżnieniu od poprzedniego [6], które ograniczało liczbę bakterii heterotroficznych do 100 jtk/cm<sup>3</sup>, obecnie nie określa ich dopuszczalnej liczby w wodzie rozprowadzanej w sieci wodociągowej. Jednakże należy mieć na uwadze, że liczba bakterii heterotroficznych w wodzie przekraczająca 500÷1000 jtk/cm<sup>3</sup> może zakłócać wykrywanie bakterii z grupy coli/*E. coli* z zastosowaniem metod

opartych na fermentacji laktozy, łącznie z metodą filtracji membranowej, co może mieć wpływ na zdrowie odbiorców wody [7].

W pracy przedstawiono wyniki badań mikrobiologicznych i chemicznych wód powierzchniowych i podziemnych, rozprowadzanych w systemach dystrybucji charakteryzujących się małym stosunkiem powierzchni kontaktu do objętości przesyłanej wody (ok. 0,65). Celem badań była ocena i próba wyjaśnienia przyczyn zmian jakości wody podczas przepływu w sieci wodociągowej.

### Metody badań

Badania przeprowadzono w dwóch rejonach aglomeracji trójmiejskiej, tj. w rejonie systemu wodociągowego zasilanego z ujęcia wód powierzchniowych (A) oraz w rejonie systemu wodociągowego zasilanego z dwóch ujęć wód podziemnych (B1 i B2). System A zaopatruje w wodę około 140 tys. mieszkańców, natomiast system B około 90 tys. mieszkańców. Do badań pobrano próbki wody surowej, wody po procesach oczyszczania oraz wody z sieci wodociągowej. Na sieci wodociągowej systemu A zlokalizowano 9 punktów poboru próbek, przy czym w punkcie 7 (w odległości 12,1 km od zakładu oczyszczania A) woda była dodatkowo okresowo dezynfekowana chlorem gazowym. Z kolei na sieci wodociągowej systemu B zlokalizowano 7 punktów pomiarowych (p. 1, 2 i 3 w systemie B1 oraz p. 5, 6 i 7 w systemie B2; w rejonie p. 4 występowała strefa mieszania wód z obu ujęć). Średni czas przetrzymania wody w sieci w czasie badań wynosił 2÷3 d w systemie wodociągowym A oraz 1,5÷2 d w systemie wodociągowym B. Średnia wydajność obu systemów wynosiła 30% wartości, na którą zostały zaprojektowane.

Próbki do badań zostały pobrane od sierpnia 2002 r. do lutego 2006 r., średnio co dwa tygodnie. Łącznie do badań bakteriologicznych pobrano 250 próbek wody powierzchniowej i z sieci wodociągowej oraz 121 próbek z ujęć wód podziemnych oraz z sieci wodociągowej. Do badań fizyczno-chemicznych pobrano łącznie 180 próbek wody. Ogólny węgiel organiczny (OWO) oznaczono zgodnie z [8] przy użyciu analizatora Shimadzu TOC 5000 w laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Gdańsku (błąd oznaczenia 1%). Temperaturę wody oznaczano przy użyciu sondy przenośnej WTW Multi 340i/SET. Zawartości azotu amonowego, fosforu ogólnego, chloru i dwutlenku chloru oznaczono w laboratoriach SAUR Neptun Gdańsk oraz Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Gdyni. Ogólną liczbę bakterii heterotroficznych

Dr inż. A. Sokołowska, prof. dr hab. inż. K. Olańczuk-Neyman: Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Technologii Wody i Ścieków, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
aleksandra.sokolowska@wilis.pg.gda.pl  
krystyna.olanczuk-neyman@wilis.pg.gda.pl

Tabela 1. Średnie wartości wybranych wskaźników chemicznych oraz średnia liczba bakterii heterotroficznych na początku i końcu sieci badanych systemów wodociągowych  
Table 1. Average values of the chemical parameters chosen and average number of heterotrophic bacteria in the initial and end sections of the water distribution systems examined

System wodociągowy	Rodzaj wody	Wskaźnik, jednostka	Liczba próbek (N)	Początek sieci	Koniec sieci	
A	powierzchniowa	ogólny węgiel organiczny, gC/m <sup>3</sup>	II okres	94	1,5	4,8
		azot amonowy, gNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /m <sup>3</sup>	II okres	250	0,11	0,08
		chlor, gCl <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	I okres	100	0,3	0,02
			II okres	150	0,25	0,03
		dwutlenek chloru, gClO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	II okres	150	0,15	0,027
		fosfor ogólny, gP/m <sup>3</sup>	II okres	250	0,47	<0,01
		tlen, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	II okres	250	9,8	4,5
		liczba bakterii heterotroficznych, jtk/cm <sup>3</sup>	I okres	100	9,8	19,6
II okres	150		14	185		
B	podziemna	ogólny węgiel organiczny, gC/m <sup>3</sup>	B1	86	2,4	3,3
			B2		4,0	4,4
		azot amonowy, gNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /m <sup>3</sup>		78	0,01	0,0
		fosfor ogólny, gP/m <sup>3</sup>		78	0,216	0,066
		liczba bakterii heterotroficznych, jtk/cm <sup>3</sup>		121	6	13,1

oznaczono na agarze z ekstraktem drożdżowym (AD) metodą filtrów membranowych [9]. Próbkę wody o objętości 100 cm<sup>3</sup>, 10 cm<sup>3</sup> i 1 cm<sup>3</sup> przefiltrowano przez jałowe sączki o średnicy porów 0,45 μm, a następnie inkubowano w temperaturze 20 °C przez 3 d.

Wyniki badań poddano analizie graficznej i statystycznej z zastosowaniem programów Excel i Statistica. Wzajemne relacje i zależności statystyczne pomiędzy analizowanymi wskaźnikami mikrobiologicznymi, chemicznymi i fizycznymi określono stosując procedurę ANOVA sprawdzając istotność prostych związków korelacyjnych [10].

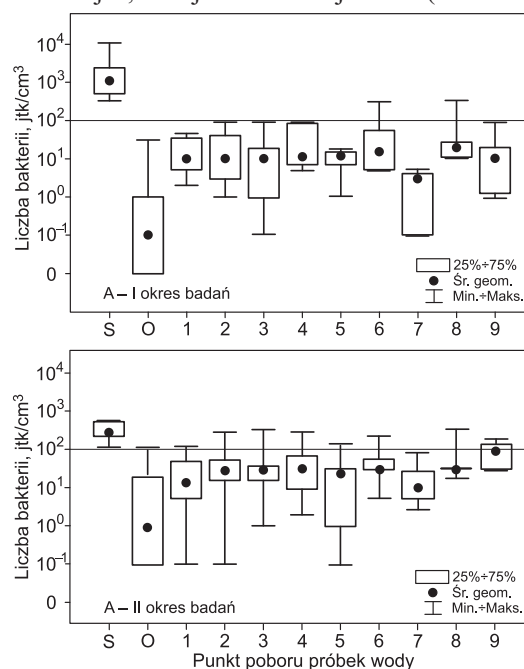
## Wyniki badań

### Wody powierzchniowe

Wyniki badań oczyszczonej wody rozprowadzanej w sieci wodociągowej (A) podzielono na dwa okresy: pierwszy (I) – stabilnej dezynfekcji chlorem gazowym oraz drugi (II) – dezynfekcji mieszaniną chloru i dwutlenku chloru. Średnie stężenie chloru pozostałego w wodzie rozprowadzanej w sieci wodociągowej w I okresie zmalało z maksymalnej dopuszczalnej wartości [6] 0,3 gCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> na wyjściu ze stacji oczyszczania do 0,02 gCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> w końcówce sieci. W II okresie średnie stężenie chloru pozostałego zmalało od 0,25 gCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> do 0,03 gCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, a średnie stężenie dwutlenku chloru w sieci z wartości początkowej 0,15 gClO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> do 0,027 gClO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> w końcówce sieci. Zawartość OWO w wodzie podczas oczyszczania zmniejszyło się z wartości średniej 5,8 gC/m<sup>3</sup> w wodzie surowej do 1,5 gC/m<sup>3</sup> w wodzie kierowanej do sieci. W II okresie (zmiana dezynfektanta) zawartość OWO w wodzie rozprowadzanej w systemie dystrybucji zwiększała się wraz z odległością od stacji oczyszczania wody, od 1,5 gC/m<sup>3</sup> na początku sieci do 4,8 gC/m<sup>3</sup> w końcówce sieci w odległości 15,6 km od zakładu, tj. ponad 3-krotnie (tab. 1). W II okresie stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie zmalało na długości sieci od 9,8 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> do 4,5 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, zawartość fosforu ogólnego od 0,47 gP/m<sup>3</sup> do <0,01 gP/m<sup>3</sup>, a azotu amonowego od 0,11 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup> do 0,08 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>. Temperatura wody

w skali roku zmieniała się w szerokim zakresie od 1,3 °C do 19,2 °C. 30% próbek wody miało temperaturę <10 °C, 44% pomiędzy 10 °C a 16 °C, a pozostałe 26% próbek >16 °C.

Liczba bakterii heterotroficznych w wodzie surowej wynosząca średnio 15,3 · 10<sup>2</sup> jtk/cm<sup>3</sup> po procesie oczyszczania i końcowej dezynfekcji wody chlorem gazowym (I okres) zmalała do wartości średniej 9,8 jtk/cm<sup>3</sup> (od 0 do 31 jtk/cm<sup>3</sup>, tj. utrzymywała się w granicach wartości dopuszczalnych w wodzie do spożycia zgodnie z poprzednim rozporządzeniem Ministra Zdrowia z 2002 r. [6]), natomiast po zmianie środka dezynfekcyjnego zmalała z wartości średniej w wodzie surowej 8,2 · 10<sup>2</sup> jtk/cm<sup>3</sup> do 1 jtk/cm<sup>3</sup> (w zakresie od



Rys. 1 Ogólna liczba bakterii heterotroficznych w wodzie z systemu wodociągowego ujmującego wodę powierzchniową (S – woda surowa, O – woda oczyszczona)  
Fig 1. Total number of heterotrophic bacteria in the water transported via the surface water distribution system (S – raw water, O – treated water)



Tabela 2. Występowanie korelacji zwykłej pomiędzy liczbą bakterii heterotroficznych a wybranymi wskaźnikami jakości wody i odległością od stacji oczyszczania  
 Table 2. Correlations between the number of heterotrophic bacteria, the water quality parameters chosen and the distance from the water treatment plant

Wskaźnik	Liczba bakterii heterotroficznych					
	stacja oczyszczania wody A			stacja oczyszczania wody B		
	N	P	R	N	p	R
Ogólny węgiel organiczny	94	<0,05	istotna	86	<0,05	istotna
Fosfor ogólny	250	<0,05	nieistotna	78	<0,05	istotna
Azot amonowy	250	<0,05	nieistotna	78	<0,05	nieistotna
Temperatura	250	<0,05	nieistotna	121	<0,05	nieistotna
Chlor pozostały	110	<0,05	istotna	–	–	–
Cl <sub>2</sub> +ClO <sub>2</sub> pozostały	140	<0,05	istotna	–	–	–
Odległość od stacji oczyszczania wody	250	<0,05	istotna	121	<0,05	istotna

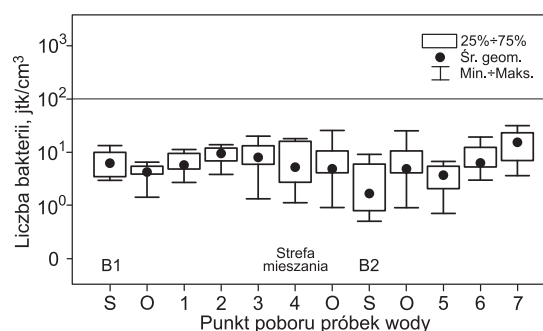
0 do 110 jtk/cm<sup>3</sup>) po oczyszczeniu, tzn. okresowo przekraczającej obowiązującą w tym czasie wartość dopuszczalną (100 jtk/cm<sup>3</sup>). W miarę oddalania się od stacji oczyszczania wody liczba bakterii w wodzie wodociągowej zwiększyła się. W I okresie przekroczenia wartości dopuszczalnej (100 jtk/cm<sup>3</sup>) wystąpiły dopiero w punktach oddalonych ponad 11 km od zakładu oczyszczania (tj. od punktu 6) (rys. 1). W II okresie przekroczenia zanotowano we wszystkich punktach sieci, a 50% wyników przekroczyło wartość 100 jtk/cm<sup>3</sup> i niezbędna była dodatkowa (okresowa) dezynfekcja wody. W obu okresach badań największy (10-krotny) wzrost liczby bakterii zanotowano w początkowej części sieci wodociągowej na odcinku pomiędzy stacją oczyszczania wody A oraz punktem pomiarowym 1 oddalonym od niej o 6,7 km. Liczba bakterii heterotroficznych w wodzie wodociągowej rozprowadzanej w sieci korelowała ( $p < 0,05$ ) z zawartością OWO, odległością od stacji oczyszczania i była odwrotnie skorelowana ze stężeniem pozostałego chloru (tab. 2). Nie stwierdzono natomiast korelacji pomiędzy liczbą bakterii heterotroficznych a zawartością azotu amonowego, fosforu ogólnego i temperatury wody rozprowadzanej w sieci wodociągowej.

### Wody podziemne

W systemie wodociągowym B1 zawartość OWO wzrosła z 2,4 gC/m<sup>3</sup> na początku sieci do 3,3 gC/m<sup>3</sup> w końcówce sieci, a w systemie B2 z 4,0 gC/m<sup>3</sup> do 4,4 gC/m<sup>3</sup>. W strefie mieszania się wód z obu systemów zawartość OWO wynosiła 3,5 gC/m<sup>3</sup>. Zawartość fosforu ogólnego w wodzie wodociągowej zmalała od 0,216 gP/m<sup>3</sup> do 0,066 gP/m<sup>3</sup>, natomiast azotu amonowego od 0,01 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup> do zera. Temperatura wody rozprowadzanej w sieciach B1 i B2 w całym okresie badań wahała się w zakresie 9,3÷15,4 °C (80% wyników temp. ≤ 10 °C).

We wszystkich próbkach wody podziemnej (surowa, kierowana do sieci i w końcowym odcinku sieci) liczba bakterii heterotroficznych nie przekroczyła 100 jtk/cm<sup>3</sup>. W surowej wodzie podziemnej średnia liczba bakterii heterotroficznych była bardzo mała i wynosiła 2,0 jtk/cm<sup>3</sup> w stacji oczyszczania B2 oraz 6,3 jtk/cm<sup>3</sup> w stacji oczyszczania B1, a po oczyszczeniu wzrosła do 6,0 jtk/cm<sup>3</sup> w stacji B2 i zmalała do 3,7 jtk/cm<sup>3</sup> w stacji B1 (rys. 2).

W najdalszych punktach sieci wodociągowej średnia liczba bakterii podwoiła się – w wodzie w systemie B1 w odległości 5,2 km wzrosła do 7,5 jtk/cm<sup>3</sup> (p. 3), a w wodzie w systemie B2 w odległości 6,0 km wzrosła do 13,1 jtk/cm<sup>3</sup> (p. 7). Jedyne w punkcie 4, w którym mieszają się wody



Rys. 2 Ogólna liczba bakterii heterotroficznych w wodzie z systemu wodociągowego ujmującego wody podziemne (S – woda surowa, O – woda oczyszczona)

Fig. 2. Total number of heterotrophic bacteria in the water transported via the groundwater distribution system (S – raw water, O – treated water)

z obu stacji średnia liczba bakterii zmniejszyła się do 6,0 jtk/cm<sup>3</sup>. Stwierdzono występowanie korelacji pomiędzy ogólną liczbą bakterii heterotroficznych w wodzie rozprowadzanej w sieci w obu rejonach, odległością od stacji oczyszczania a zawartością OWO i fosforu ogólnego, a nie stwierdzono korelacji z zawartością azotu amonowego i temperaturą wody (tab. 2).

Wprawdzie pogarszanie się jakości wody wskutek wtórnego wzrostu bakterii w czasie jej przepływu w sieci jest zjawiskiem często obserwowanym [11–14], to w każdym systemie wodociągowym mogą występować specyficzne warunki. W obu badanych systemach wodociągowych (A – zasilanym z ujęcia wody powierzchniowej dezynfekowanej oraz B – zasilanej z ujęć wód podziemnych niedezynfekowanych) odnotowano wzrost liczby bakterii heterotroficznych oraz zawartości OWO wraz z odległością od stacji oczyszczania. Jednakże zmiany jakości wody w sieci wodociągowej różniły się intensywnością i mogły być spowodowane różnymi przyczynami.

### Dyskusja wyników

W najdłuższym badanym systemie A (15,6 km), zasilanym z ujęcia wody powierzchniowej (oczyszczanej m.in. z zastosowaniem koagulacji, ozonowania i sorpcji), zasadniczą przyczyną ponad 3-krotnego wzrostu zawartości OWO była zmiana środka dezynfekcyjnego z chloru gazowego na mieszaninę chloru i dwutlenku chloru, co spowodowało uruchomienie osadów zatrzymanych na ściankach przewodów wodociągowych, a w konsekwencji





znaczne zmniejszenie pozostałych stężeń środków dezynfekcyjnych (chloru z  $0,25 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$  do  $0,03 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$  oraz dwutlenku chloru z  $0,15 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$  do  $0,03 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ ). Zatem zwiększenie zawartości OWO oraz zmniejszenie ilości środków dezynfekcyjnych w wodzie były prawdopodobnie głównymi przyczynami znaczącego zwiększenia liczby bakterii heterotroficznych, nasilającego się wraz z odległością od stacji oczyszczania wody, które na całej długości sieci wyniosło 2log. Uzyskane zależności są zbieżne z wynikami opublikowanymi w pracy [15], wg których stężenie chloru pozostałego w zakresie  $0,1 \div 0,25 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$  nie ograniczyło wtórnego wzrostu mikroorganizmów w wodzie wodociągowej, a skuteczne stężenie dwutlenku chloru, ograniczające ich wtórny wzrost, mieściło się w zakresie  $1,55 \div 1,77 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ .

W krótszych o ok. 50% systemach wodociągowych B1 i B2, odpowiednio o długości 5,2 km i 6,0 km, rozprowadzających nidezynyfikowaną wodę podziemną, zanotowano względnie niewielkie zwiększenie zawartości OWO w wodzie wraz z odległością od stacji oczyszczania. W końcówkach sieci średnia zawartość OWO była odpowiednio 1,5-krotnie (B1) i 1,1-krotnie większa (B2) niż w wodzie po procesie oczyszczania (napowietrzanie i filtracja przez złoża katalityczne). Na zwiększenie zawartości OWO na długości sieci oraz wzrost liczby bakterii heterotroficznych mogły wpływać gwałtowne zmiany ciśnienia spowodowane dławieniami i uderzeniami hydraulicznymi, które przyczyniają się do uruchamiania osadów zdeponowanych w przewodach wodociągowych oraz rozbijania skupisk bakterii. Znajduje to potwierdzenie w wynikach badań [16], które wykazały, że podwyższone ciśnienie (0,6 MPa) i jego częste wahania spowodowały około dwukrotny wzrost liczby bakterii heterotroficznych w wodzie w wyniku rozbijania skupisk bakterii i uwalniania z nich pojedynczych komórek. Oprócz zawartości OWO i jego zróżnicowanej przyswajalności przez mikroorganizmy, na wtórny wzrost bakterii w wodzie wodociągowej mogło również wpłynąć stężenie ważnych dla mikroorganizmów pierwiastków biogennych, tj. fosforu i azotu [17,18].

Badania wykazały, że w wodzie podziemnej rozprowadzanej w sieci, w odróżnieniu od wody powierzchniowej, pewien wpływ na wzrost bakterii miał fosfor, o czym świadczyło zmniejszenie stężenia fosforu ogólnego w kolejnych punktach wzdłuż sieci oraz stwierdzona korelacja pomiędzy liczbą bakterii heterotroficznych a jego stężeniem. Obserwacje te znajdują potwierdzenie w wynikach badań [19], które wykazały, że frakcja dostępnego mikrobiologicznie fosforu, przyswajalna przez bakterie, była łatwo usuwana w chemicznych procesach oczyszczania (jak np. koagulacja), którym poddawana była woda powierzchniowa, a największe stężenia dostępnego mikrobiologicznie fosforu występują w wodach podziemnych, które nie wymagają chemicznego oczyszczania. O braku wpływu azotu amonowego na wtórny wzrost bakterii w obu systemach wodociągowych świadczył brak korelacji pomiędzy liczbą bakterii heterotroficznych a jego stężeniem. W obu analizowanych systemach wodociągowych nie stwierdzono także korelacji pomiędzy liczbą bakterii heterotroficznych a temperaturą wody. W systemie A 74% próbek wody wodociągowej pobrano przy temperaturze wody  $<16^\circ\text{C}$ , a w systemie B nie zanotowano temperatury wody  $>16^\circ\text{C}$ . Można zatem uznać, że niska temperatura wody w badanych systemach, tylko sporadycznie przekraczająca  $16^\circ\text{C}$ , była czynnikiem ograniczającym szybkość ponownego wzrostu mikroorganizmów w wodzie [20–21].

## Podsumowanie

W badanych systemach wodociągowych zachodził wtórny wzrost bakterii heterotroficznych, przy czym był on większy w wodzie pochodzącej z ujęcia powierzchniowego dezynfekowanej chlorem lub mieszaniną chloru i dwutlenku chloru, niż w nidezynyfikowanej wodzie z ujęć podziemnych. W początkowym odcinku sieci rozprowadzającej oczyszczoną wodę powierzchniową średnia liczba bakterii (niezależnie od środka dezynfekcyjnego) wzrosła o 1log, a na zbliżonym odcinku sieci rozprowadzającej nidezynyfikowaną wodę podziemną tylko o 0,5log. Do zasadniczych przyczyn wtórnego wzrostu bakterii w wodzie wodociągowej pochodzącej z ujęcia powierzchniowego należy zaliczyć szybki spadek stężenia chloru pozostałego i duże stężenie tlenu rozpuszczonego, a także prawdopodobnie większą zawartość przyswajalnego węgla organicznego niż w wodzie podziemnej. Największy wzrost liczby bakterii, dochodzący do 2log, zanotowano w końcówce sieci rozprowadzającej oczyszczoną wodę powierzchniową w odległości 15,6 km podczas zmiany środka dezynfekcyjnego z chloru gazowego na dwutlenek chloru. W tym czasie stwierdzono znaczący (śr. ponad 3-krotny) wzrost zawartości OWO, prawdopodobnie uwalnianego z osadów na ściankach przewodów wodociągowych oraz spadek stężeń pozostałego chloru i dwutlenku chloru, odpowiednio do średnich wartości  $0,03 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$  i  $0,027 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ .

Prowadzone obecnie prace badawcze przy użyciu metod bezpośredniego liczenia komórek bakterii z zastosowaniem mikroskopu epifluorescencyjnego, umożliwią określenie całkowitej liczby bakterii, w tym żywych, w wodzie wodociągowej, a także ocenę ich struktury morfologicznej.

## LITERATURA

1. P.M. HUCK, G.A. GAGNON: Understanding the distribution system as a bioreactor: A framework for managing heterotrophic plate count levels. *Int. J. Food Microbiol.* 2004, Vol. 92, pp. 347–353.
2. R. BOE-HANSEN, H.J. ALBRECHTSEN, E. ARVIN, C. JØRGENSEN: Bulk water phase and biofilm growth in drinking water at low nutrient conditions. *Water Research* 2002, Vol. 36, pp. 4477–4486.
3. S.C. EDBERG, M.J. ALLEN: Virulence and risk from drinking water of heterotrophic plate count bacteria in human population groups. *Int. J. of Food Microbiol.* 2004, Vol. 92, pp. 255–263.
4. D. SARTORY: Heterotrophic plate count monitoring of treated drinking water in the UK: A useful operational tool. *Int. J. of Food Microbiol.* 2004, Vol. 92, pp. 297–306.
5. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *DzU nr 61, poz. 417.*
6. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 19 listopada 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *DzU nr 203, poz. 1718.*
7. Disinfectant and Disinfection By-Products Rule. U.S. EPA, 1998, [www.epa.gov/ogwdw/regs.html](http://www.epa.gov/ogwdw/regs.html).
8. European Standard CEN 1484: Water analysis guidelines for the determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC). ICS 13.060, 1997.
8. PN-ISO 6222: Jakość wody. Oznaczanie żywych mikroorganizmów. Określanie ogólnej liczby kolonii na agarze odżywczym metodą posiewu powierzchniowego lub wgłębnego, 1999.
10. A. STANISZ: Statystyka dla medyków i biologów. Statsoft, Kraków 1997.
11. D. VANDER KOOIJ, W.A.M. HIJNEN: Utilisation of low concentration of starch by a *Flavobacterium* species isolated from tap water. *Appl. Environ. Microbiol.* 1981, Vol. 41, pp. 216–221.



12. I. SIBILLE, L. MATHIEU, J.L. PAQUIN, D. GATEL, J.C. BLOCK: Microbial characteristics of a distribution system fed with nanofiltered drinking water. *Water Research* 1997, Vol. 31, pp. 2318–2326.
13. M. BOUALAM, L. MATHIEU, S. FASS, J. CAVARD, D. GATEL: Relationship between coliform culturability and organic matter in low nutritive waters. *Water Research* 2002, Vol. 36, pp. 2618–2626.
14. P. GALE, R. PITCHERS, P. GRAY: The effect of drinking water treatment on the spatial heterogeneity of micro-organisms: implications for assessment of treatment efficiency and health risk. *Water Research* 2002, Vol. 36, No. 6, pp. 1640–1648.
15. G.A. GANGON, J.L. RAND, K.C. O'LEARY, A.C. RYGEL, C. CHAURET, R.C. ANDREWS: Disinfectant efficacy of chlorite and chlorine dioxide in drinking water biofilms. *Water Research* 2005, Vol. 39, No. 9, pp. 1809–1817.
16. R. BRAY, K. OLANCZUK-NEYMAN, A. SOKOŁOWSKA: The influence of oscillatory low pressure on bacteria number in groundwater supplied to distribution system. *Polish Journal of Environmental Studies* 2007, Vol. 16 (2A), pp. 217–220.
17. I.T. MIETTINEN, T. VARTIAINEN, P.J. MARTIKAINEN: Phosphorus and bacterial growth in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology* 1997, Vol. 63, pp. 3242–3245.
18. A. SATHASIVAN, S. OHGAKI: Application of new bacterial regrowth potential method for water distribution systems: A clear evidence of phosphorus limitation. *Water Research* 1999, Vol. 33, pp. 137–144.
19. M.J. LEHTOLA, I.T. MIETTINEN, T. VARTIAINEN, P.J. MARTIKAINEN: A new sensitive bioassay for determination of microbially available phosphorus in water. *Applied and Environmental Microbiology* 1999, Vol. 65 (5), pp. 2032–2034.
20. P.J. OLLOS, R.M. SLAWSON, P.M. HUCK, Bench scale investigations of bacterial regrowth in drinking water distribution systems. *Water Science & Technology* 1998, Vol. 38, pp. 275–282.
21. C.J. VOLK, M.W. LeCHEVALLIER: Impacts of the reduction of nutrient levels on bacterial water quality in distribution system. *Applied and Environ. Microbiol.* 1999, Vol. 65, p. 11.

**Sokolowska, A., Olanczuk-Neyman, K. Microbiological Water Quality in the Water-pipe Network of the Gdansk District. *Ochrona Srodowiska* 2009, Vol. 31, No. 4, pp. 15–19.**

**Abstract:** The tap water supplied to the inhabitants of Gdansk, Gdynia and Sopot via two distribution systems was analyzed for microbiological and chemical composition. One of the distribution systems involves an intake of surface water treated by coagulation, ozonation and adsorption onto active carbon; the other one uses two intakes of groundwater treated by aeration and filtration through a catalytic bed. In both the distribution systems the regrowth of heterotrophic bacteria was found to occur, which was stronger in the surface water being treated and disinfected (with chlorine, or a mixture of chlorine and chlorine dioxide) than in the groundwater being treated without disinfection. In the initial section of the surface water distribution system the average number of bacteria (regardless of the disinfectant used) increased by 1log, while in the system distributing non-disinfected groundwater an increase of only 0.5log was observed. The underlying causes of bacterial regrowth in the tap water drawn from the surface

water intake can be itemized as follows: a rapid decrease in residual chlorine concentration, a high dissolved oxygen concentration and, seemingly, a higher content of assimilable organic carbon as compared to that in the tap water drawn from the groundwater intake. The largest increase in the number of bacteria, up to 2log, was observed in the end section of the system distributing treated surface water, at the distance of 15.6km, during replacement of gaseous chlorine by chlorine dioxide. This increase was paralleled by a significant (on average more than threefold) rise in the content of TOC (probably released from the deposits on the pipe walls) and by a decrease in the concentrations of residual chlorine and chlorine dioxide to values averaging 0.03 gCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> and 0.027 gClO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, respectively. Researches are underway, where use is made of direct methods to count bacterial cells (epifluorescence microscope). It is expected that such examinations will make it possible to determine the total number of bacteria (including those survived) in the tap water, as well as to assess their morphological structure.

**Keywords:** Tap water, surface water, groundwater, water-pipe network, microbiological quality, heterotrophic bacteria.