

Maria Łebkowska

Występowanie bakterii antybiotykoopornych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi

Antybiotyki są szeroko stosowane w leczeniu ludzi i zwierząt. Działają bakteriobójczo lub bakteriostatycznie, a niektóre wykorzystuje się do zwalczania pierwotniaków i grzybów. W użyciu jest ponad 150 antybiotyków, jednak ze względu na zjawisko oporności drobnoustrojów na te związki przemysł farmaceutyczny wprowadza nowe leki o zmodyfikowanej strukturze i zwiększonej aktywności przeciwbakteryjnej. Duże znaczenie w produkcji antybiotyków nowej generacji mają także odkrycia nowych patogenów, takich jak *Legionella*, *Helicobacter* czy *Listeria*.

Sposoby działania antybiotyków na mikroorganizmy polegają m.in. na hamowaniu:

- syntezy DNA (kwas nalidyksowy, nitrofurazon),
- syntezy RNA (rifampicyna),
- syntezy białek (streptomycyna, makrolidy, tetracykliny, chloramfenikol),
- syntezy mureiny (cykloseryna, nizyna, bacytracyna, wankomycyna, penicylina i inne β -laktamy),
- funkcji błony cytoplazmatycznej (polimyksyna, gramicydyna, kolistyna),
- funkcji metabolicznych (sulfatiazol, aminopteryna).

Lekooporność mikroorganizmów

Powszechne stosowanie antybiotyków w leczeniu ludzi i profilaktyka zapobiegająca zachorowaniom w hodowlach zwierząt sprzyjają stałemu wzrostowi zawartości lekoopornych drobnoustrojów w środowisku. Problematyka ta była przedmiotem obrad pierwszego sympozjum naukowego pt. „Risk Management for the Limitation of Antibiotic Resistance”, zorganizowanego m.in. w Berlinie, podczas którego rozważano m.in. zagadnienia kontroli dystrybucji leków, regulacji prawnych stosowania antybiotyków i dynamiki rozprzestrzeniania się oporności na leki antybakteryjne [1]. W ostatnich latach zwraca się także uwagę na zanieczyszczenie wód, w tym wody wodociągowej, farmaceutykami, których pewna część nie jest usuwana, pomimo wprowadzania takich zaawansowanych technik oczyszczania wody, jak sorpcja na węglu aktywnym, technologie membranowe, ozonowanie czy naświetlanie promieniami UV [2].

Drobnoustroje lekooporne występują w ściekach oczyszczonych biologicznie, w wodach powierzchniowych i w wodzie przeznaczonej do spożycia. Głównymi źródłami ich pochodzenia są ścieki bytowo-gospodarcze, szpitalne, ścieki z hodowli zwierząt, z obiektów weterynaryjnych i zakładów farmaceutycznych [3].

Oporność na antybiotyki może mieć charakter niewrażliwości naturalnej (wrodzonej) oraz nabytej wskutek mutacji lub uzyskania od innych bakterii genu lub zespołu genów warunkujących oporność. Jako przykład oporności nabytej można podać selekjonowanie w osadzie czynnym bakterii niewrażliwych na tetracyklinę w wyniku wprowadzania do ścieków tego antybiotyku [4]. Jednocześnie stwierdzono, że tetracyklina nie ulega biodegradacji w procesie oczyszczania ścieków. Obecność farmaceutyków w wodzie zwiększa możliwość wzrostu lekooporności wśród mikroorganizmów w wyniku selekcji bakterii podczas kontaktu z tymi związkami, na przykład w biofilmie przewodów wodociągowych.

Cecha lekooporności jest przekazywana z komórek opornych na wrażliwe w obrębie nie tylko tego samego gatunku, ale także pomiędzy bakteriami należącymi do różnych rodzajów, na drodze tzw. transferu horyzontalnego. Do podstawowych mechanizmów przekazywania lekooporności wśród mikroorganizmów należą [5]:

- koniugacja, polegająca na przenoszeniu plazmidów R (R – resistance), bądź fragmentu chromosomu dawcy na wrażliwego biorcę,
- transdukcja, podczas której materiał genetyczny przenoszony jest przez łagodnego bakteriofaga,
- transformacja, to jest pobieranie materiału genetycznego (DNA) uwalnianego poprzez autolizę komórek opornych na leki przez komórki wrażliwe.

Lekooporność drobnoustrojów przejawia się m.in.:

- w wytwarzaniu enzymów unieczynniających antybiotyki czy modyfikujących jego budowę,
- w modyfikacji miejsc docelowych leku,
- w zmianach w budowie błony zewnętrznej hamujących transport antybiotyku do komórki,
- w wytwarzaniu substancji wiążących leki,
- w aktywnym usuwaniu chemioterapeutyku z komórki.

Z punktu widzenia ochrony wód i ochrony zdrowia obecność mikroorganizmów lekoopornych w wodach przeznaczonych do rekreacji, ujmowanych do oczyszczania i spożycia przez ludzi jest wysoce niewskazana. Antybiotykooporne szczepy bakterii wykazują zwiększoną oporność na środki dezynfekcyjne, w tym na związki chloru [6]. Negatywny wpływ tych środków na te same struktury i funkcje komórek mikroorganizmów, na które działają antybiotyki, wywołuje zbliżoną oporność u drobnoustrojów. Środki dezynfekcyjne niszczą lub uszkadzają osłony zewnętrzne komórek, zwiększają przepuszczalność błony cytoplazmatycznej, co prowadzi do zakłócenia równowagi transmembranowego gradientu jonowego i do lizy komórek. Związki te hamują także syntezę białek w rybosomach, uszkadzają

strukturę zasad purynowych i pirymidynowych w kwasach nukleinowych, utleniają grupy funkcyjne enzymów. Drobnoustroje z nabytą cechą oporności na antybiotyki wykazują więc obniżoną wrażliwość na środki dezynfekcyjne.

Indywidualna oporność bakterii na środki dezynfekcyjne i antybiotyki

Zmniejszenie wrażliwości poszczególnych komórek na środki dezynfekcyjne wynika z budowy ściany komórkowej. Na przykład u bakterii Gram-ujemnych występują lipopolisacharydy (LPS) chroniące komórki przed poborem biocydów. Wąskie kanały porfiryne utrudniają penetrację cząstek hydrofilowych środków dezynfekcyjnych. U mikroorganizmów z grupy Mycolata, m.in. u *Mycobacteriaceae*, w ścianie komórkowej znajdują się struktury bogate w lipidy i kompleksowe związki złożone z peptydoglikanu, kwasu mykolowego i arabinogalaktanu. Ta złożona struktura chemiczna ściany komórkowej ma bardzo mały współczynnik przepuszczalności, a charakter hydrofobowy – w tym zawartość wosków – ogranicza dyfuzję środków dezynfekcyjnych [7]. Zewnątrzkomórkowe otoczki wytwarzane przez niektóre mikroorganizmy zmniejszają wrażliwość na środki dezynfekcyjne, w tym na chlor. Enzymy, takie jak katalaza, rozkładają utleniacze, np. nadtlenek wodoru. Oporność wynika także z uruchomienia szlaków metabolizmu do naprawy uszkodzeń wywołanych dezynfekcją. Warunki silnego natleniania zmieniają homeostazę glutationu u *Escherichia coli* w kierunku zwiększania stężenia zredukowanego glutationu, co w konsekwencji powoduje wzrost jej oporności na chlor. Glutation działa jako zmiatacz wolnych rodników (antyutleniacz). Oporność na środki dezynfekcyjne występuje u bakterii wykazujących obniżoną wrażliwość na leki [6]. Stwierdzono, że wyizolowany z wody rzecznej szczep *Pseudomonas aeruginosa* był wrażliwy na cefotaksynę, ciprofloksacynę, norfloksacynę, amikacynę i gentamycynę, natomiast szczep *P. aeruginosa* pochodzący z wody poddanej chlorowaniu był odporny na większość tych antybiotyków. W badaniach laboratoryjnych zaobserwowano, że lekooporne szczepy bakterii *P. aeruginosa* nie były wrażliwe na stężenie chloru $\leq 0,5 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$. Autorom nie udało się wyizolować plazmidu odpowiedzialnego za oporność wobec chloru, stwierdzono natomiast śluzowaty charakter kolonii *P. aeruginosa* wywołany obecnością zewnątrzkomórkowego alginianu [8]. W pracy [9] wyodrębniono pojedyncze plazmidy z cechą lekooporności, obecne w komórkach większości bakterii wyizolowanych z wody do picia w Ismaili (Egipt). Stwierdzono także, że w obrębie 13 szczepów mikroorganizmów jeden – *Aeromonas hydrophila* – zawierał 3 plazmidy R^+ różniące się wielkością. Większość drobnoustrojów wykrywanych w systemach wodociagowych należy do bakterii Gram-ujemnych. W Patras (Grecja) wyizolowano 239 szczepów mikroorganizmów Gram-ujemnych, z których ponad 91% charakteryzowało się lekoopornością [10]. Brak wrażliwości na antybiotyki stwierdzono także u bakterii Gram-dodatnich, sporowych i promieniowców obecnych w wodzie z zawartością chloru $10 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$, przy czasie kontaktu do 2 min [11].

Należy podkreślić, że także w wodach podziemnych, wykorzystywanych jako źródło wody przeznaczonej do spożycia, występują mikroorganizmy odporne na wiele antybiotyków. Z nieoczyszczanych wód podziemnych wyizolowano ponad 250 szczepów bakterii i przebadano je na oporność wobec 16 antybiotyków. Spośród bakterii grupy *coli* 87% wykazało oporność na jeden antybiotyk, szczególnie

na nowobiocynę, cefalotyne i ampicylinę, a 60% na większość badanych leków. Brakiem wrażliwości na antybiotyki charakteryzował się gatunek *Enterobacter cloacae*, a w 64% gatunek *Citrobacter freundii*. Bakterie nienależące do grupy *coli*, jak *Acinetobacter calcoaceticus*, *Aeromonas hydrophila* i *Serratia marcescens*, w ponad 95% były odporne na badane antybiotyki [12].

Oporność bakterii w biofilmie na środki dezynfekcyjne i antybiotyki

Powszechnym zjawiskiem występującym na granicy faz ciało stałe–ciecz jest adhezja komórek i ich agregacja, osadzanie cząstek organicznych i nieorganicznych i tworzenie biofilmu. Struktura biofilmu i produkcja egzopolisacharydów związana z podziałami komórek i formowaniem mikrokolonii utrudnia penetrację środków dezynfekcyjnych do komórek drobnoustrojów. Stwierdzono, że niedobór źródeł pokarmowych, który występuje w oczyszczanej wodzie, sprzyja oporności mikroorganizmów na czynniki szkodliwe. Zjawisko to występuje podczas ozonowania i chlorowania wody. Drobnoustroje wolno rosnące w środowisku są znacznie mniej wrażliwe na czynniki dezynfekcyjne aniżeli szczepy szybko rosnące. Spowolnienie szybkości wzrostu bakterii ułatwia uruchomienie aparatu enzymatycznego do naprawy uszkodzeń wywołanych działaniem szkodliwych związków. Następuje ekspresja genów odpowiedzialnych za syntezę specyficznych, nowych białek błony komórkowej i cytoplazmatycznych. Niektóre bakterie wytwarzają otoczki zawierające kwasy tłuszczowe, fosfolipidy i białka, ograniczając składnik cukrowy występujący w naturalnie produkowanych otoczkach. Zmniejsza się przepuszczalność błony komórkowej, w tym transfer związków chloru do wnętrza komórek. Obserwuje się zmniejszenie wymiarów bakterii i zmiany kształtu komórek. Mikroorganizmy uruchamiają materiały zapasowe wykorzystywane jako źródła energii. Stwierdzono, że bakterie *Legionella pneumophila* zasiedlające wody ubogie w substraty pokarmowe były 6÷9-krotnie bardziej odporne na związki chloru, aniżeli szczepy tych bakterii rosnące na podłożu agarowym odżywczym [6].

Kolonizacja powierzchni stałych przez mikroorganizmy i tworzenie biofilmu sprzyja transferowi horyzontalnemu genów oporności na leki z komórek dawcy na biorcę. Detekcja lekoopornych bakterii i ich genów oporności w błonach biologicznych występujących w sieciach wodociagowych i kanalizacyjnych, w przewodach prowadzących ścieki szpitalne wykazała obecność enterokoków opornych na wankomycynę i ampicylinę. Wykryto geny *van A* i *amp C* odpowiedzialne za oporność na wankomycynę i ampicylinę w każdym badanym biofilmie. Oznaczono także gen *mec A* warunkujący oporność na methicylinę u gronkowców. Należy podkreślić, że gen *van A* wykryto w błonie przewodów wodociagowych przy nieobecności enterokoków, co świadczy prawdopodobnie o transferze genów do komórek autochtonicznych bakterii występujących w wodzie do picia [13]. W pracy [14] zaobserwowano, że biofilm zawierający różnorodne rodzaje mikroorganizmów nie ulega znacznemu zniszczeniu przez środki dezynfekcyjne, w porównaniu z błoną złożoną z pojedynczych rodzajów bakterii. W biofilmie, obok saprofitycznych drobnoustrojów heterotroficznych i autotroficznych, mogą występować mikroorganizmy patogenne lub oportunistyczne bakterie chorobotwórcze, często w ciałach innych organizmów, na przykład w pierwotniakach. Osłony

„gospodarza” chronią komórki bakterii przed działaniem środków dezynfekcyjnych, podobnie jak martwe cząstki otaczające drobnoustroje. Następuje zużycie środka dezynfekcyjnego na utlenienie składników osłon [15]. Zjawiska te potwierdzono w badaniach nad *L. pneumophila* i *Mycobacterium* spp. bytującymi w komórkach ameb [16, 17]. W 2000 r. wykryto w biofilmie porastającym przewody sieci wodociągowej w Szkocji *Helicobacter pylorii* o obniżonej wrażliwości na dezynfekcję. Sugeruje to możliwość infekcji tymi patogenami poprzez wodę do picia [18].

W sieci wodociągowej mogą występować grzyby, których obecność, ze względu na chorobotwórczość i produkcję mykotoksyn, jest wysoce niewskazana. Niewiele jest danych o warunkach sprzyjających rozwojowi grzybów, a także o skutecznych sposobach eliminacji tych organizmów z wody [19]. Na stymulację wzrostu mikroorganizmów w biofilmie wpływa nie tylko obecność związków organicznych, ale także nieorganicznych, co zaobserwowano przy dodatku do wody azotu amonowego w ilości 0,5 gN/m³ i fosforanów powyżej 0,01 gP/m³ [20]. Występowanie bakterii nitryfikacyjnych w błonie biologicznej zmniejsza skuteczność dezynfekcji wody chloraminami [21]. Niektórzy autorzy wskazują jednak, że stosowanie chloraminy do dezynfekcji wody zmniejsza zdolność bakterii, w tym *E. coli*, do adhezji w biofilmie [22] i nie powoduje antybiotykooporności, m.in. u *P. aeruginosa* zasiedlających obrzostry biologiczne w sieci wodociągowej [23].

Biofilm stanowi 95% biomasy zlokalizowanej na ścianach przewodów wodociągowych. Dezynfekcja wody chlorem, przy zawartości chloru pozostałego 1–2 gCl₂/m³, nie usuwa drobnoustrojów, których liczebność w biofilmie może osiągać 10⁴ jtk/cm². Bakterie w wodzie poddanej chlorowaniu wykazują większą oporność na dezynfekcję, aniżeli w wodzie niechlorowanej. Konwencjonalne sposoby chlorowania wody mogą być niewystarczające do ograniczenia adhezji komórek i tworzenia biofilmu. Na zwiększenie liczebności drobnoustrojów w obrostach biologicznych mają wpływ takie czynniki, jak stagnacja wody w przewodach, korozja i podwyższona temperatura (m.in. w sieciach i instalacjach wody ciepłej) wynosząca 55–60 °C [24]. Na znaczne zwiększenie, nawet o cztery rzędy wielkości, liczby bakterii w fazie wodnej pochodzących z obrostów rzutują okresowe braki chloru w wodzie [25]. Biofilm jest nie tylko rezerwuarem antybiotykoopornych, oportunistycznych, patogenów, ale także mikroorganizmów odpowiadających za pogorszenie smaku i zapachu wody oraz korozję sieci i urządzeń wodociągowych.

Bakterie lekooporne w wodach butelkowanych i kąpieliskach

Szerokie rozpowszechnienie drobnoustrojów lekoopornych potwierdziły badania przeprowadzone w zakładach butelkowania wody mineralnej, obejmujące analizy wody ze źródeł, punktów napełniania butelek i w produktach końcowych [26]. Spośród 120 wyizolowanych z wody mineralnej szczepów bakterii 55,8% należało do rodzaju *Pseudomonas*, 14,17% do *Acinetobacter*, 10,83% do *Flavobacterium* i 10% do *Achromobacter*. Wśród pozostałych rodzajów wykryto *Burkholderia*, *Agrobacterium*, *Moraxella* i *Aeromonas*. Ponad 80% szczepów wykazało oporność na jeden lub więcej antybiotyków, a szczególnie na chloramfenikol, ampicylinę, kolistnę i sulfametizol. Brak wrażliwości na wiele antybiotyków zaobserwowano u 55% szczepów, głównie z rodzaju *Pseudomonas*.

W wodach butelkowanych liczba bakterii może osiągać 10²–10³ jtk/100 cm³. Badania lekooporności mikroorganizmów w wodach będących w obrocie w Nigerii wykazały, że około 80% szczepów było opornych na ampicylinę, około 77% na tetracykliny, a około 24% na ofloksacynę [27].

Wody przeznaczone do rekreacji mogą być także źródłem drobnoustrojów patogennych i lekoopornych. Oznaczono antybiotykooporność u 47 szczepów streptokoków fekalnych wyizolowanych z różnych próbek wody, w tym wody z kąpielisk morskich i ze ścieków. Stwierdzono, że poprzez wodę mogą być przenoszone szczepy enterokoków o wysokiej oporności na aminoglikozydy, w tym na kanamycynę, gentamycynę i streptomycynę [29]. Obecność bakterii lekoopornych stwierdzono w wodzie i w piasku plaż na terenie dwóch kąpielisk w Brazylii. Wykryto tam liczne szczepy *Enterococcus faecalis* i *Enterococcus faecium*, wśród których ponad 60% charakteryzowało się opornością na streptomycynę, erytromycynę i tetracykliny [28].

Podsumowanie

Dotychczasowy stan wiedzy wskazuje na potrzebę prowadzenia badań epidemiologicznych służących ocenie rozprzestrzeniania się bakterii lekoopornych w środowisku wodnym. W Polsce prowadzi się niewiele badań nad występowaniem mikroorganizmów lekoopornych w wodzie. Jedną z prac dotyczyła opornych na sole rtęci i antybiotyków bakterii jelitowych występujących w ściekach (oczyszczalnia w Białymstoku) i w wodzie rzecznej (rzeka Biała). Dowiedziano, że ponad 50% pałeczek Gram-ujemnych opornych na jony rtęci wykazywało oporność na antybiotyki [30]. Podobnie stwierdzono, że bakterie wyizolowane z sieci wodociągowej, tolerujące duże stężenia metali dwuwartościowych (miedzi, ołowiu i cynku), były odporne na wiele antybiotyków [31]. Badania mikrobiologiczne warszawskiej wody wodociągowej przeprowadzone w latach 2002–2004 wykazały przekroczenia dopuszczalnej liczby bakterii w wodzie przeznaczonej do spożycia [32]. Można się spodziewać, że wśród mikroorganizmów występujących w wodzie i w biofilmie są obecne bakterie lekooporne, odpowiedzialne za choroby jelitowe i inne schorzenia.

Osiągnięcia medycyny w zakresie produkcji leków pozwalają na przedłużenie życia ludzi, ale także przyczyniają się do wzrostu oporności mikroorganizmów. Stąd postuluje się ograniczenie i rozsądne stosowanie antybiotyków, doskonalenie formuły chemicznej leków, wytwarzanie szczepionek. Wydaje się celowe, aby w Polsce rozpoczęto monitoring bakterii lekoopornych w środowisku wodnym, przy wykorzystaniu metod konwencjonalnych – hodowlanych – w połączeniu z testami typu antybiogramów oraz metod biologii molekularnej, m.in. technik genotypowania (PCR). Jednocześnie należy poszukiwać skutecznych sposobów dezynfekcji ścieków oczyszczonych, odprowadzanych do wód powierzchniowych. Obecnie coraz większe zastosowanie znajduje eliminacja drobnoustrojów za pomocą promieni nadfioletowych. Istotne jest także usuwanie ze ścieków pozostałości leków. Badania przeprowadzone w ostatnich latach dowiodły możliwości degradacji niektórych antybiotyków, m.in. penicyliny G w oczyszczalniach biologicznych [33]. Z przeglądu piśmiennictwa wynika, że stosowanie związków chloru nie jest skuteczne w usuwaniu bakterii z biofilmu w przewodach wodociągowych. Stwierdzono, że czas uzyskania stężenia chloru 1 gCl₂/m³ poniżej warstwy 500 μm biofilmu przy zastosowaniu 2 gCl₂/m³

był 9300-krotnie dłuższy (114h), aniżeli obliczony bez uwzględnienia reakcji chloru z biomasa [6]. Niezbędne jest więc częste mechaniczne czyszczenie przewodów wodociagowych z obrostów biologicznych.

Wysokoefektywne metody eliminacji drobnoustrojów z wody techniką filtracji membranowej mogą być także nieskuteczne w usuwaniu mikroorganizmów lekoopornych. Dowiedziono, że szczepy antybiotykooporne charakteryzuje deformacja ściany komórkowej, co skutkuje przechodzeniem mikroorganizmów przez pory mniejsze niż wymiar komórek [34]. Znaczny wpływ na ograniczenie wzrostu biofilmu mają materiały stosowane do wyrobu przewodów wodociagowych. Badania wykonane z użyciem przewodów z polietylenu wykazały, że dezynfekcja chlorem znacznie zmniejsza liczbę drobnoustrojów w wodzie i biofilmie (przy jego niewielkim rozwoju na tym materiale), natomiast skuteczność tego środka dezynfekcyjnego w przypadku rur miedzianych była mniejsza [35].

Transmisja patogenów opornych na leki i środki dezynfekcyjne przez wody stanowi poważny problem zdrowotny, który występuje nie tylko w krajach o niskich standardach higieny, ale także w wysokorozwiniętych. Zjawisko to jest istotne w Polsce, ponieważ do wód powierzchniowych dostaje się jeszcze prawie 10% ścieków nieoczyszczonych oraz około 30% ścieków oczyszczonych niedostatecznie, co zwiększa prawdopodobieństwo rozprzestrzeniania drobnoustrojów lekoopornych, w tym ich występowania w wodzie przeznaczanej do spożycia przez ludzi. Prowadzone w ostatnich latach na świecie badania rozszerzyły zakres wiedzy nad występowaniem tych mikroorganizmów w środowisku wodnym, ale jednocześnie nie opracowano skutecznych metod eliminacji drobnoustrojów. Problemy technologiczne związane z oczyszczaniem wody i usuwaniem lekoopornych bakterii wymagają nowych rozwiązań.

LITERATURA

1. C. GRUGEL: First national scientific symposium "Risk Management for the Limitation of Antibiotic Resistance" – Meeting Report. *International Journal of Medical Microbiology* 2006, Vol. 296, No. S2, pp. 1–3.
2. O.A. JONES, J.N. LESTER, N. VOULVOULIS: Pharmaceuticals: A threat to drinking water. *Trends in Biotechnology* 2005, Vol. 23, No. 4, pp. 163–167.
3. F. BAQUERO, J.-L. MARTINEZ, R. CANTON: Antibiotic and antibiotic resistance in water environments. *Current Opinion in Biotechnology* 2008, Vol. 19, pp. 260–265.
4. S. KIM, J.N. JENSEN, D.S. AGA, A.S. WEBER: Tetracycline as a selector for resistant bacteria in activated sludge. *Chemosphere* 2007, Vol. 66, pp. 1643–1651.
5. Z. MARKIEWICZ, Z.A. KWIATKOWSKI: Bakterie, antybiotyki, lekooporność. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2006.
6. D. MARA, N. HOVAN [Eds.]: Handbook of Water and Wastewater Microbiology. Academic Press, 2003.
7. N. NWACHUKU, C.P. GERBA: Emerging waterborne pathogens: Can we kill them all? *Current Opinion in Biotechnology* 2004, Vol. 15, pp. 175–180.
8. R. SHRIVASTAVA, R.K. UPRETI, S.R. JAIN, K.N. PRASAD, P.K. SETH, U.C. CHATURVEDI: Suboptimal chlorine treatment of drinking water leads to selection of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2004, Vol. 58, pp. 277–283.
9. A.M. DIAB, M.H. ABDEL AZIZ, S.A. SELIM: Plasmid-encoded transferable antibiotic resistance in Gram-negative bacteria isolated from drinking water in Ismailia city. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2002, Vol. 5, No. 7, pp. 774–779.
10. S. PAPANDREOU, O. PAGONOPOULOU, A. VANTARAKIS, M. PAPAPETROPOULOU: Multiantibiotic resistance of Gram-negative bacteria isolated from drinking water samples in southwest Greece. *Journal of Chemotherapy* 2000, Vol. 12, No. 4, pp. 267–273.
11. E.E. GELDREICH: Microbial Quality of Water Supply in Distribution Systems. Lewis Publishers CRC, 1996.
12. D. MCKEON, J.P. CALABRESE, G.K. BISSONNETTE: Antibiotic resistant Gram-negative bacteria in rural groundwater supplies. *Water Research* 1995, Vol. 29, No. 8, pp. 1902–1908.
13. T. SCHWARTZ, W. KOHNEN, B. JANSEN, U. OBST: Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water and drinking water biofilms. *FEMS Microbiology Ecology* 2003, Vol. 43, pp. 325–335.
14. D. BERRY, X. CHUANWU, L. RASKIN: Microbial ecology of drinking water distribution systems. *Current Opinion in Biotechnology* 2006, Vol. 17, pp. 297–302.
15. D. SCHOENEN: Role of disinfection in suppressing the spread of pathogens with drinking water: Possibilities and limitations. *Water Research* 2002, Vol. 36, pp. 3874–3888.
16. V. THOMAS, G. MC DONNELL: Relationship between mycobacteria and amoebae: Ecological and epidemiological concerns. *Letters in Applied Microbiology* 2007, Vol. 45, pp. 349–357.
17. M.J.M. VAEREWIJCK, G. HUYLS, J.C. PALOMINO, J. SWINGS, F. PORTAELS: Mycobacteria in drinking water distribution systems: Ecology and significance for human health. *Microbiology Reviews* 2005, Vol. 29, pp. 911–934.
18. S.R. PARK, W.G. MACKAY, D.C. REID: *Helicobacter sp.* recovered from drinking water biofilm sampled from a water distribution system. *Water Research* 2001, Vol. 35, No. 6, pp. 1624–1626.
19. G. HAGESKAL, N. LIMA, J. SKAAR: The study of fungi in drinking water. *Mycological Research* 2009, Vol. 113, pp. 165–172.
20. CH. CHU, CH. LU, CH. LEE: Effects of inorganic nutrients on the regrowth of heterotrophic bacteria in drinking water distribution systems. *Journal of Environmental Management* 2005, Vol. 74, pp. 255–263.
21. M.T.T. LIPPONEN, M.H. SUUTARI, P.J. MARTIKAINEN: Occurrence of nitrifying bacteria and nitrification in Finnish drinking water distribution systems. *Water Research* 2002, Vol. 36, pp. 4319–4329.
22. M.N.B. MOMBA, T.E. CLOETE, S.N. VENTER, R. KFIR: Examination of the behaviour of *Escherichia coli* in biofilms established in laboratory-scale units receiving chlorinated and chloraminated water. *Water Research* 1999, Vol. 33, No. 13, pp. 2937–2940.
23. D.J. JURGENS, S.A. SATTAR, T.F. MAH: Chloraminated drinking water does not generate bacterial resistance to antibiotics in *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Letters in Applied Microbiology* 2008, Vol. 46, pp. 562–567.
24. L.K. BAGH, H.-J. ALBRECHTSEN, E. ARVIN, K. OVESEN: Distribution of bacteria in a domestic hot water system in a Danish apartment building. *Water Research* 2004, Vol. 38, pp. 225–235.
25. F. CODONY, J. MORATO, J. MAS: Role of discontinuous chlorination on microbial production by drinking water biofilms. *Water Research* 2005, Vol. 39, pp. 1896–1906.
26. P. MESSI, E. GUERRIERI, M. BONDI: Antibiotic resistance and antibacterial activity in heterotrophic bacteria of mineral water origin. *Science of the Total Environment* 2005, Vol. 346, pp. 213–219.
27. E. NWACHUKWU, C.M. EMERUEM: Presence of antibiotic resistant bacteria in sachet water produced and sold in the eastern Nigeria. *Research Journal of Microbiology* 2007, Vol. 2, No. 10, pp. 782–786.
28. A.J. FERNANDES CARDOSO DE OLIVEIRA, J.M. WATANABE PINHATA: Antimicrobial resistance and species composition of *Enterococcus* spp. isolated from waters and sands of marine recreational beaches in southeastern Brazil. *Water Research* 2008, Vol. 42, pp. 2242–2250.

29. M.T.TJUNCO, M.G. MARTIN, M.L.P. TOLEDO, P.L. GOMEZ, J.L.M. BARRASA: Identification and antibiotic resistance of faecal enterococci isolated from water samples. *Int. J. of Hygiene and Env. Health* 2007, Vol. 203, No. 4, pp. 363–368.
30. J. KASZKOWIAK: Znaczenie sanitarne opornych na sole rtęci gramujemnych bakterii jelitowych bytujących w ściekach miejskich oraz zanieczyszczonej wodzie rzecznej. Praca doktorska, Politechnika Białostocka, Instytut Inżynierii Środowiska, Białystok 1992 (praca niepublikowana).
31. J.J. CALOMIRIS, J.L. AMSTRONG, R.J. SEIDLER: Association of metal tolerance with multiple antibiotic resistance of bacteria isolated from drinking water. *Applied and Environmental Microbiology* 1984, Vol. 47, No. 6, pp. 1238–1242.
32. A. GRABIŃSKA-ŁONIEWSKA: Przenoszenie przez sieć wodociagową mikroorganizmów patogennych i oportunistycznie patogennych. Zagrożenie zdrowotne i główne problemy wymagające rozwiązania. Mat. konf. „Zagadnienie bezpieczeństwa wodnego”, Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji, Warszawa 2005, ss. 33–56.
33. D. LI M.YANG, J. HU, Y. ZHANG, H. CHANG, F. JIIV: Determination of penicillin G and its degradation products in a penicillin production wastewater treatment plant and the receiving river. *Water Research* 2008, Vol. 42, pp. 307–317.
34. N. LEBLEU, C. ROQUES, P. AIMAR, C. CAUSSERAND: Role of the cell-wall structure in the retention of bacteria by microfiltration membranes. *Journal of Membrane Science* 2009, Vol. 326, pp. 178–185.
35. M.J. LEHTOLA, J.T. MIETTINEN, T. LAMPOLA, A. HIRVONEN, T. VARTIAINEN, P.J. MARTIKAINEN: Pipeline materials modify the effectiveness of disinfectants in drinking water distribution systems. *Water Research* 2005, Vol. 39, pp. 1962–1971.

Lebkowska, M. Antibiotic Resistant Bacteria in Drinking Water. *Ochrona Środowiska* 2009, Vol. 31, No. 2, pp. 11–15.

Abstract: Literature references to the presence of drug-resistant bacteria in the aquatic environment are reviewed, particular consideration being given to the water used for human consumption. The methods by which antibiotic resistance markers are transferred from the cells of the R⁺ donors onto the sensitive cells of the recipients are analyzed and the term "antibiotic resistance" is characterized. The mechanisms governing the specific resistance to disinfectants, not only of the bacteria but also of the microorganisms colonizing the biofilm in the water-pipe network, are discussed. Examples are given, which describe the drug-resistance of bacteria under conditions of water disinfection. Presented are data on the occurrence of drug-resistant

bacteria in bottled water, as well as in the aquatic environment of recreational areas. It has been demonstrated that owing to the increasing use of drugs in human and animal therapy, the number of drug-resistant bacteria in wastewater, surface water and drinking water continues to grow. These findings provide evidence that immediate measures should be taken to ensure a rational application of antibiotics, to reduce the number of microorganisms in wastewaters (and consequently in water intakes for municipal supply), as well as to optimize the technology of water treatment and disinfection for human consumption. The need has been emphasized of monitoring the drug-resistant bacteria that are found in the aquatic environment in Poland.

Keywords: Drinking water, recreational water, bottled water, drug resistant bacteria, water disinfection.