

**Magdalena Pierścieniak\***, **Natalia Trzcińska\*\***, **Tomasz Słomczyński\*\*\***,  
**Jacek Wąsowski\*\*\*\***

## **PROBLEM WTÓRNEGO ZANIECZYSZCZENIA WODY WODOCIĄGOWEJ**

### **PROBLEM OF SECONDARY CONTAMINATION OF WATER**

**Słowa kluczowe:** wtórne zanieczyszczenie wody, osady chemiczne, osady biologiczne.

**Key words:** secondary contamination of water, chemical sludges, biological sludges.

*One of the main problems connected with water conditioning and distribution systems is the issue of its secondary contamination. Waterworks plants are required for recognition and treatment of water in a manner which ensures safety of its customers. Water intended for human consumption must be free of primary pollutants and precursors of secondary pollutants. The effect of instability is the appearance of the water sediment chemical and biological sludges. They shall contribute to the emergence of corrosion in water pipes, which affects their capacity and durability. A major problem associated with the instability of water is the deterioration of water quality brought to the customers. It is essential to identify the factors affecting the secondary contamination of water during its transport, which will allow for the gradual elimination of this problem.*

---

\* **Mgr inż. Magdalena Pierścieniak**, Instytut Ochrony Środowiska, ul. Krucza 5/11 d, 00-548 Warszawa; tel. 625-10-05 wew. 48.

\*\* **Mgr inż. Natalia Trzcińska**, ZAP Sznajder Batterien S.A., ul. Warszawska 47, 05-820 Piastów; tel. 0 22 723-60-11.

\*\*\***Dr Tomasz Słomczyński**, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nowowiejska 20 00-653 Warszawa; tel. 0 22 234-76-86.

\*\*\*\***doc. dr inż. Jacek Wąsowski**, tel. 022 234-76-82; Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa.

## 1. WPROWADZENIE

Występowanie w wodzie zanieczyszczeń pierwotnych i prekursorów zanieczyszczeń wtórnych wiąże się z problemem braku stabilności chemicznej i biologicznej wody, spadkiem jakości wody na drodze do odbiorcy, korozją i zagrożeniem epidemiologicznym. Pomimo stosowania różnych metod uzdatniania wody trudno jest otrzymać produkt całkowicie wolny od zanieczyszczeń.

Formy przetrwalnikowe mikroorganizmów i bardziej odporne na środki dezynfekcyjne szczepy przedostają się do sieci wodociągowej. Jeśli w wodzie znajdują się odpowiednie substraty pokarmowe, mikroorganizmy namnażają się i rozwijają zarówno w stanie rozproszonym, jak i w błonach biologicznych. Brak stabilności biologicznej wody skutkuje zwiększonym zapotrzebowaniem na dawki środka dezynfekującego, co podnosi koszty uzdatniania wody oraz pogarsza jej jakość.

Osady chemiczne i biologiczne przyczyniają się także do wielu problemów technologicznych związanych z siecią wodociągową. Mają one negatywny wpływ na materiał, z którego wykonane są przewody rozprowadzające wodę. Niezależnie od zastosowanego materiału istnieje ryzyko pogorszenia się właściwości mechanicznych i hydraulicznych przewodów. Postępująca korozja chemiczna i mikrobiologiczna wpływa na zmniejszenie wytrzymałości przewodów, zmniejsza ich przepustowość oraz stwarza dogodne warunki bytowania dla kolejnych organizmów na porowatej, skorodowanej powierzchni.

Wszystkie wymienione wyżej problemy wiążą się bezpośrednio z brakiem stabilności wody dostarczanej przez Stacje Uzdatniania Wody (SUW). Aby zapobiec powstawaniu wtórnego zanieczyszczenia wody, należy zapoznać się z czynnikami wpływającymi na pojawianie się tego problemu. Kwestia pogarszania się jakości wody trafiającej do odbiorców i eliminacja tego problemu stanowi priorytet dla SUW, który ma obowiązek dostarczać wodę o określonej jakości, zgodnie z rozporządzeniami Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi oraz Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia.

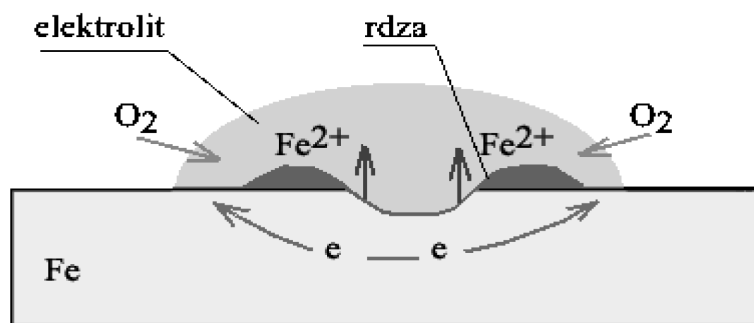
## 2. OSADY CHEMICZNE. KOROZJA CHEMICZNA PRZEWODÓW

Powstawanie i gromadzenie osadów chemicznych jest wynikiem barku stabilności wody. W wyniku zaburzenia równowagi węglanowo - wapniowej z wody wytrącają się związki osadogenne.

Bytujące w wodzie bakterie żelazowe, manganowe i siarkowe wytwarzają polisacharydy. W wyniku tego środowisko ulega zakwaszeniu, co natomiast przyczynia się do powstania kompleksów metali ze związkami organicznymi. Tego typu wtórne zanieczyszcze-

nia wody występują głównie na długo eksploatowanych elementach sieci wodociągowych, które charakteryzuje wysokie zużycie materiału, z którego sieci są wykonane. Duża awaryjność tych fragmentów sieci wodociągowych przyczynia się do częstych integracji zewnętrznych, które zwiększają prawdopodobieństwo zanieczyszczenia wody, m.in. bakteriologicznego [Świdarska-Bróż M. 2001].

Osady chemiczne przyczyniają się do niszczenia materiałów, z których wykonane są przewody wodociągowe, obserwowanymi głównie na powierzchni przewodów wodociągowych. Stałymi produktami korozji są m.in. tlenki metali, rdza i zgorzelina. Jeżeli produkty reakcji odrywają się od podłoża metalicznego powstają nierówności w powierzchni pierwotnie gładkiej lub wżery. Do wody zostają uwalniane jony metali [Banaś J. 2000]. Na rysunku 1 przedstawiono mechanizm odkładania się rdzy w procesie korozji elektrochemicznej.



**Rys. 1.** Korozja żelaza w środowisku elektrolitu w obecności tlenu

**Fig. 1.** Corrosion of iron in the electrolyte in the presence of oxygen

Rozpuszczalność produktów korozji w wodzie powoduje agresywny dwutlenek węgla i substancje organiczne. Uwalniane cząstki osadów powodują zmianę składu fizykochemicznego wody [Świdarska-Bróż M. 2001].

### 3. BIOFILM, BUDOWA I POWSTAWANIE

Biofilm jest zespołem organizmów będącym mieszaniną mikroorganizmów (bakterie, grzyby i glony), ich metabolitów oraz pozakomórkowych polimerów, rozwijającym się na wewnętrznych powierzchniach elementów systemu dystrybucji wody [Świdarska-Bróż M. 2003]. Błona biologiczna zapewnia mikroorganizmom dogodne warunki do wzrostu i rozwoju. Pozwala na zwiększenie odporności organizmów na środki dezynfekujące.

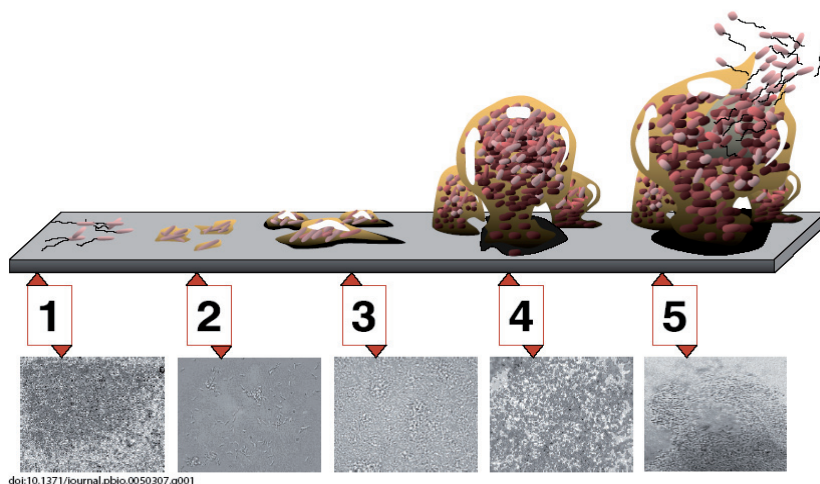
Powstawanie biofilmu jest procesem wieloetapowym. Składa się z 4 zasadniczych faz, z czego faza dojrzewania dzieli się na dwa etapy (rys. 2) [Cunliffe D. 1999].

Pierwsza faza ma charakter odwracalny. Podstawową rolę w tej fazie odgrywają oddziaływania van der Waalsa oraz związane z nimi oddziaływania hydrofobowe. Zasięg działania tych sił jest rzędu 50 nm od granicy materiału, dzięki czemu komórka może pokonać siły odpychające i zbliżyć się do powierzchni.

Drugą fazą tworzenia błony biologicznej jest nieodwracalne przyczepienie się komórki do podłoża. Przy odległości rzędu 1,5 nm od powierzchni istotną rolę odgrywają oddziaływania specyficzne, związane z białkami adhezyjnymi różnego typu, znajdującymi się na powierzchni komórek.

W trzeciej fazie dochodzi do namnażania przyczepionych komórek, co powoduje pokrycie podłoża warstwą mikroorganizmów. Następuje adhezja organizmów niezdolnych samodzielnie przyczepić się do podłoża. Tworzy się stopniowo trójwymiarowa struktura biofilmu, m.in. w wyniku wydzielania przez mikroorganizmy polimerów pozakomórkowych.

W ostatniej, czwartej fazie błona biologiczna ma rozbudowaną strukturę. W wyniku działania sił ścinających elementy biofilmu są odrywane i przenoszone na dalsze odcinki systemu dystrybucji wody. W sprzyjających warunkach mogą ponownie ulec adhezji do podłoża i przyczynić się do powstania błony biologicznej w kolejnych odcinakach przewodów wodociągowych [Lewicki P. 2004; Monroe D. 2007; Oliviera D. 1992].



**Rys. 2.** Etapy tworzenia biofilmu [Monroe D. 2007]:

1 – wstępna adhezja, 2 – trwała adhezja, 3 – pierwszy etap dojrzewania, 4 – drugi etap dojrzewania, 5 – odrywanie się fragmentów biofilmu

**Fig. 2.** The stages of creating biofilm [Monroe D. 2007]:

1 – initial adhesion, 2 – persistent adhesion, 3 – the first stage of maturation, 4 – second stage of maturation, 5 – pull the fragments

W wodociągach warszawskich wśród mikroorganizmów zasiedlających powierzchnie przewodów wodociągowych zidentyfikowano wiele bakterii i glonów, a także wiele gatunków zwierzęcych. Rodzaj zidentyfikowanych organizmów zależy w dużej mierze od badanego odcinka sieci. Brak światła, stała temperatura i niewielka ilość osadów mineralnych i organicznych nie sprzyjają rozwojowi mikroorganizmów. Mimo to, szczególnie w końcowych odcinkach sieci wodociągowej, można zaobserwować występowanie wielu organizmów, w tym także patogenów [Klimowicz H. 1989].

#### 4. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA WTÓRNE ZANIECZYSZCZENIE WODY

Prawdopodobieństwo występowania wtórnego zanieczyszczenia wody, związanego z powstawaniem osadów biologicznych, można przewidzieć, analizując czynniki przyspieszające jego pojawienie się.

Hydrofilowość i hydrofobowość powierzchni komórek w znacznym stopniu decyduje o poziomie kolonizacji podłoża przez mikroorganizmy. Silne właściwości hydrofobowe wpływają na autoagregację komórek oraz na wyższy stopień przywieralności do powierzchni hydrofilowych, abiotycznych i biologicznych. Charakter powierzchni komórki wynika z proporcji związków zmniejszających i zwiększających hydrofobowość obecnych na jej powierzchni [Hanzen K. 1986; Uberos J. 2001].

Duży wpływ na zjawisko adhezji mają egzopolimery komórkowe, głównie białka i polisacharydy. Wzrost stężenia białek na powierzchni komórki inicjuje fazę pierwszą tworzenia biofilmu. Jednocześnie następuje przejście cząsteczek egzopolimerów do roztworu, co intensyfikuje proces zakotwiczenia się komórek [Cabanem D. 2002; Krajewska – Pietrasik D. 1993]. Egzopolisacharydy warunkują także trwałość biofilmu. Istnieje liniowa zależność między gęstością błony biologicznej a zawartością w niej polisacharydów i białek [Oliviera D. 1992].

Wzrost porowatości powierzchni materiału wiąże się bezpośrednio ze zwiększoną adhezją komórek mikroorganizmów. Efekt zwiększenia adhezji jest możliwy, jeżeli średnica porów materiału jest większa niż wymiary organizmów [Carpentier B. 1993; Flint S. 2000]. Porowatość powierzchni ma zasadnicze znaczenie w etapie formowania się biofilmu. Rola tego czynnika rośnie w momencie stresu hydrodynamicznego. Pomiar sił ścinających dla materiałów porowatych osiągnęły dużo wyższe wartości niż dla gładkich powierzchni [Al-Makhlafi H. 1995].

Czynniki środowiskowe mają zasadnicze znaczenie ze względu na tworzenie biofilmu. Do czynników tych należą:

- 1) dostępność składników odżywczych,
- 2) siła jonowa,
- 3) obecność specyficznych substancji w środowisku

oraz

4) żywotność komórek.

Dostępność składników odżywczych – substratów pokarmowych wpływa korzystnie na rozwój mikroorganizmów w zawiesinie i biofilmie, na procesy absorpcji i desorpcji do substratu oraz na transport międzykomórkowy [Gomez-Suares C. 2001; LeChevallier M. 1988; Meier- Schneiders M. 1993]. Zwłaszcza transport międzykomórkowy ma zasadnicze znaczenie ze względu na funkcjonowanie mikroorganizmów i jest czynnikiem limitującym tworzenie przez nie biofilmu. W okresie niedoboru substancji odżywczych mikroorganizmy chętnie przyczepiają się do podłoża. Pozwala to na uzyskanie dostępu do większej ilości pokarmu przez zwiększenie przepływu w pobliżu komórki [Mueller R. 1996].

Siła jonowa podłoża jest kolejnym istotnym czynnikiem. Wzrost wartości tego wskaźnika może wpłynąć na osłabienie sił elektrostatycznych. Przyczynia się to do zmniejszenia efektu odpychania komórek od powierzchni materiału, a co za tym idzie ułatwia ich adhezję [Krajewska – Pietrasik D. 1993 poz. 12, 13].

Wpływ na rozwój błony biologicznej ma także obecność jonów sodu, wapnia i magnezu w wodzie. Badania McEldowney wykazały pozytywny wpływ wyżej wymienionych jonów na pierwszy etap adhezji do podłoża. Jony są wiązane przez komórki bakteryjne w wyniku, czego dochodzi do zmiany ich metabolizmu i właściwości powierzchni komórek [McEldowney S. 1986].

Żywotność komórek nie ma dużego znaczenia w procesie adhezji. Co więcej, komórki martwe przyczepiają się do podłoża w porównywalnym stopniu, co żywe. Podobnie jest jeżeli chodzi o organizmy napromieniowane światłem UV czy poddanych działaniu podwyższonej temperatury. Martwe komórki opadające na dno przewodów wodociągowych tworzą warstwę kondycjonującą, ułatwiającą przyczepianie się kolejnych, żywych komórek [Lee H. 1991; Parker S. 2001].

## **5. ZAGROŻENIA SANITARNO – EPIDEMIOLOGICZNE MOGĄCE WYSTĘPOWAĆ W WODZIE WTÓRNIE ZANIECZYSZCZONEJ**

W warunkach sprzyjających rozwojowi mikroorganizmów można z wody wodociągowej wyizolować wiele takich organizmów. Szczególną uwagę ze względu na przeznaczenie wody do spożycia należy zwrócić na organizmy patogenne i oportunistycznie patogenne [Grabińska-Łoniewska A. 2005 poz. 8, 9]. Do organizmów tych należą:

- 1) bakterie,
- 2) cyjanobakterie,
- 3) wirusy

oraz

- 4) grzyby.

**Bakterie.** Typowym szczepem niebędącym patogenem, ale świadczącym o nieprzydatności wody do celów komunalnych jest *Escherichia coli*. Organizm ten w naturalnych warunkach bytuje w organizmie ludzkim. Istnieją jednak jego szczepy patogenne wytwarzające endotoksyny, powodujące m.in. biegunki, umieralność niemowląt i choroby dzieci. Chociaż patogenne *E.coli* stanowią zaledwie 1 % populacji organizmów występujących w wodzie wodociągowej, ich obecność jest jednak istotna z powodu niewielkiej ilości wystarczającej do zakażenia (ok. 100 komórek).

Bakteria *Pseudomonas sp.* licznie występuje w wodzie wodociągowej i posiada szczepy patogenne dla ludzi. Jako najniebezpieczniejszy należy zakwalifikować *P. aeruginosa* i *P.cepacia*. Około 2–3 % próbek wody wodociągowej charakteryzuje zawartość tych bakterii na poziomie 1–2300 jtk/ml, co stanowi około 10% ilości niezbędnej do infekcji wymagającej leczenia szpitalnego.

*Flavobacterium sp.* to grupa bakterii występująca nie tylko w wodzie, ale także w produktach spożywczych i roślinach. Najbardziej szkodliwy dla ludzkiego zdrowia jest szczep *F. meningosepticum*. Jest on powodem infekcji w miejscach zranień i chorób układu oddechowego. Ze względu na dużą liczbę komórek niezbędnych do zakażenia i niskiej zjadliwości jest on szczepem oportunistycznie patogennym, groźnym głównie dla noworodków.

*Mycobacterium sp.* to bakteria występująca przeważnie w glebie i wodzie. Występuje we wszystkich rodzajach wód, zarówno gruntowych, jak i powierzchniowych. Często też występuje w wodociągowych instalacjach domowych, co wynika z niewielkich przepływów wody. Wyróżniamy wiele szczepów tej bakterii będących patogenami, np. *M. tuberculosis*, *M. xenopi*, *M. haemophilum* czy *M. avium complex* (zespół szczepów *avium* i *intracellulare*). Patogeny te wywołują wiele chorób u ludzi, w tym infekcje tkanek miękkich i choroby układu limfatycznego.

*Campylobacter sp.* bytują w różnych środowiskach, wykrywano je także w wodzie wodociągowej. Największe zagrożenie stwarzają szczepy *C. jejuni* i *C. coli*, nie tylko z powodu swoich patogennych właściwości. Mają one zdolność przeżywania w ciężkich warunkach, a co za tym idzie pojawiają się problemy z ich wyeliminowaniem z wody. Wywołują one kampylobakteriozę, która objawia się m.in. problemami jelitowymi. Inne schorzenia wynikające z infekcji tymi bakteriami, to: zapalenie stawów, zapalenie wyrostka robaczkowego, zapalenie pęcherza żółciowego, zapalenie węzłów chłonnych, infekcje narządów płciowych oraz wrzodziejące zapalenie jelita grubego. Do zainfekowania wystarczająca jest liczba organizmów  $10^2 - 10^3$  jtk/ml.

*Yersinia enterocolitica* i *Yersinia pseudotuberculosis* to bakterie odpowiedzialne za największą liczbę infekcji w Polsce. W roku 1982 w Kwidzynie miała miejsce lokalna epidemia wywołana obecnością *Yersinia sp.* w wodzie wodociągowej. Objawy wywołane działaniem tych bakterii są uzależnione od wieku chorego i stanu jego układu immunologicznego. Forma żołądkowo - jelitowa objawia się zapaleniem jelit i okrężnicy, biegunką, bólami brzucha oraz bakteriami. Istotne z punktu widzenia zagrożenia epidemiologicznego jest to, że bak-



teria ta jest w stanie przeżyć w ciężkich warunkach bytowania nawet do roku. Jest zdolna do namnażania się w wodzie o temperaturze 4°C. Co więcej szczepy *Yersinia* są odporne na chlor resztkowy występujący w sieci wodociągowej, a przez to stanowią realne zagrożenie dla odbiorców wody.

Szeroko rozpowszechnioną w środowisku naturalnym bakterią jest *Listeria sp.* Bytuje w wodach powierzchniowych, ściekach, glebie, roślinach i produktach żywnościowych. Najczęściej spotykanym patogenem z tego rodzaju jest *L. monocytogenes*, powodująca listeriozę u ludzi i zwierząt. Spektrum objawów choroby jest szerokie i obejmuje: objawy grypopodobne, zapalenie spojówek, zapalenie otrzewnej, zapalenie opon mózgowych. Choroba u kobiet w ciąży objawia się uszkodzeniami płodu, poronieniami oraz przedwczesnym porodem. Większość zachorowań zachodzi drogą pokarmową i ze środowiska wodnego, a zachorowalność w Polsce sięga 20–70% populacji z brakiem odporności.

*Legionella sp.* obejmuje 41 gatunków należących do rodziny *Legionellaceae*, z czego 20 jest patogenami ludzkimi. Występuje ona głównie jako wewnątrzkomórkowy pasożyt zdolny do podziału w organizmach wodnych, w obrostach przewodów wodociągowych organizmami tymi są ameby. *Legionella sp.* wywołuje u ludzi dwa rodzaje chorób:

- 1) zapalenie płuc o czasie inkubacji 2–10 dni,
- 2) Gorączka Pontiac'a, trwająca 2–6 dni, której towarzyszą bóle głowy i mięśni.

Na uwagę zasługują także *L. pneumophila*, która przenoszona drogą kropelkową powoduje niebezpieczną infekcję płuc, ciężką do zdiagnozowania (tzw. choroba legionistów). Występuje w rozpylaczach prysznicowych, kranach, wannach z hydromasażem, klimatyzatorach i fontannach. *Legionella pneumophila* dobrze znosi wodę chlorowaną.

**Cyjanobakterie.** Przedstawiciele tej grupy organizmów produkują szereg toksyn, które mają zasadniczy wpływ na zdrowie ludzi. Najbardziej popularne z tej grupy to:

- 1) *Oscillatoria*,
  - 2) *Anabena*,
  - 3) *Aphanizomenon*,
  - 4) *Cylindrospermum*,
  - 5) *Synechocystis*,
  - 6) *Cylindrospermopsis*,
  - 7) *Schizotrix*,
  - 8) *Gleotrichia*,
  - 9) *Nodularia*,
  - 10) *Nostoc*
- oraz
- 11) *Microcystis*.

Najbardziej rozpowszechnionymi toksynami produkowanymi przez cyjanobakterie są hepatotoksyny i neurotoksyny. Każda z nich przy odpowiednim stężeniu powoduje wystąpienie objawów niepożądanych u organizmu zainfekowanego.



**Wirusy.** Wirusy przenoszone przez wodę i pożywienie należą głównie do rodzin: *Picornaviridae* (entero- i hepatowirusy), *Reoviridae* (reowirusy i rotawirusy), *Astroviridae* (astrowirusy) *Caliciviridae* (calicivirusy, norwalkwirusy i hepatowirusy). Liczba i rodzaj wirusów obecnych w wodzie są zależne od kilku czynników, głównie abiotycznych, takich jak temperatura wody. Dla większości wirusów temperatura powyżej 50° jest zabójcza. W niskich temperaturach zachowują one żywotność przez kilka tygodni, pod warunkiem, że w wodzie znajdują się organizmy, na których mogą bytować. Obecność wirusów ma zasadnicze znaczenie z punktu widzenia epidemiologicznego, ze względu na dużą odporność na stosowane metody uzdatniania wody i ich przeżywalność w niskich temperaturach. W wodzie surowej znajdują się ogromne ilości wirusów, ilość niezbędna do infekcji organizmu ludzkiego jest natomiast niewielka, co zwiększa prawdopodobieństwo kontaktu człowieka z tymi organizmami.

**Grzyby mikroskopowe.** Obecność grzybów mikroskopowych lub ich metabolitów w wodzie wodociągowej wiąże się z powstawaniem mykotoksyn, a także z alergiami i grzybicami.

Mykotoksyny są produkowane przez grzyby należące do rodzajów: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* i *Cladosporium*. W organizmie ludzkim powodują one wiele chorób. Należy do nich: martwica, rak żołądka, uszkodzenie ośrodkowego układu nerwowego, uszkodzenie nerek, zatrucie wątroby.

Alergie wywołane obecnością grzybów mikroskopowych objawiają się zapaleniem spojówek i błon śluzowych nosa, mogą prowadzić do astmy. Grzybice wywoływane są przez bezpośrednią inwazję grzyba na organizm. Większość grzybic jest zewnętrzna, dotyczy np. włosów czy skóry.

Głównym środowiskiem bytowania grzybów w przewodach systemu zaopatrzenia w wodę są miejsca ulegające korozji oraz tworzenia się osadów. Ich wzrost stanowi zarówno problem epidemiologiczny, jak i technologiczny. Wzrost grzybów zmienia właściwości organoleptyczne wody, a obrosty w rurach sprzyjają korozji.

## 6. PODSUMOWANIE

Głównym powodem wtórnego zanieczyszczenia wody wodociągowej w systemach dystrybucji jest brak stabilności wody dostarczanej do sieci ze stacji uzdatniania wody. Woda stabilna spełnia wymagania stawiane wodzie do picia, a także wymagania stawiane wodzie wykorzystywanej na potrzeby gospodarcze i przemysłowe. W stabilnej wodzie wodociągowej nie występują warunki sprzyjające rozwojowi mikroorganizmów oraz powstawaniu i rozpuszczaniu się osadów. Nie powoduje ona niszczenia elementów systemu dystrybucji wody. Ponadto nie są z niej wytrącane związki osadogenne, pozbawiona jest substancji pokarmowych dla bakterii, co ha-

muje w sposób naturalny ich wzrost i rozwój w wodzie. Woda stabilna powinna zawierać odpowiednie dawki dezynfektanta, zabezpieczające przed wtórnym rozwojem mikroorganizmów, nawet w najdalszych odcinkach sieci. Jest to szczególnie istotne ze względu na opisane zagrożenia, jakie wynikają z możliwej obecności organizmów w wodzie wodociągowej.

Istnieje wiele metod pozwalających ograniczyć problem wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej. Woda przeznaczona do spożycia musi być pozbawiona pierwotnych zanieczyszczeń oraz prekursorów zanieczyszczeń wtórnych. Zostaje to osiągnięte przez zastosowanie skutecznych i bezpiecznych procesów oczyszczania wody oraz użycie reagentów chemicznych. Priorytetem jest uzyskanie czystości mikrobiologicznej wody. Zostaje to osiągnięte dzięki procesom oczyszczania wody i jej dezynfekcji. Zapewnienie odpowiedniego stężenia chloru resztkowego w najdalszych odcinkach sieci wodociągowej ogranicza pojawianie się obrostów biologicznych w sieci wodociągowej. Jednak ze względu na występowanie wielu mikroorganizmów odpornych na związki chloru, należy rozważać stosowanie w szczególnych przypadkach procesów wspomagających zazwyczaj stosowane procesy uzdatniania, w tym dezynfekcji wody. Do procesów takich należy ozonowanie wody połączone z sorpcją na węglu aktywnym. Pozwala to usunąć z wody znaczne ilości mikroorganizmów, a także substancje stanowiące dla tych mikroorganizmów substrat pokarmowy i źródło energii. W razie wyjątkowych wymagań co do jakości wody użytkowanej przez odbiorców skuteczna eliminacja wymienionych wyżej czynników jest możliwa przez zastosowanie metod membranowych.

Usunięcie wszystkich przyczyn wtórnego zanieczyszczenia wody w systemach jej dystrybucji jest trudne, ale konieczne i stanowi podstawowe zadanie stacji uzdatniania wody i operatora systemu dystrybucji.

## AKTY PRAWNE

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia; Dz. U. Nr 204, poz. 1728.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi; Dz. U. Nr 61, poz. 417.

## PIŚMIENNICTWO

AL-MAKHLAFI H., NASIR A., MCGUIRE J., DAESCHEL M. A. 1995. Adhesion of *Listeria monocytogenes* to silica surfaces after sequential and competitive adsorption of bovine serum and beta – lacto – globulin. Appl. Environ. Microbil., 61: 2012 – 2015.

- BANAŚ J., SOKARSKI W. 2000. Chemia dla inżynierów AGH OEM 7.
- CABANEM D., DEHOUX P., DUSSURGET O., FRANGEUL L., COSSART P. 2002. Surface proteins and the pathogenic potential of *Listeria monocytogenes*." Trends Microb. 10: 238–245.
- CARPENTIER B., CERF O. 1993. Biofilms and their consequences with particular reference to hygiene in the food industry. J. Appl. Bacteriol. 75: 499–511.
- CUNLIFFE D., SMART C. A., ALEXANDER C., VULFSON E. N. 1999. Bacterial adhesion at synthetic surfaces. Appl. Environ. Microbiol. 41: 711–745.
- FLINT S. H., BROOKES J. D., BREMER P. J. 2000. Properties of the stainless steel substrate, influencing the adhesion of thermo-resistant streptococci. J. Food Eng. 43: 235–242.
- GOMEZ-SUARES C., BUSSCHER H. J., VAN DER MEI H. C. 2001. Analysis of bacterial detachment from substratum surfaces by the passage of air-liquid interfaces. Appl. Environ. Microbiol. 67:2531–2537.
- GRABIŃSKA-ŁONIEWSKA A. 2005. Microbial contamination of drinking water distribution systems: problems and solutions. European Union Fifth Framework Programme.
- GRABIŃSKA-ŁONIEWSKA A., WARDZYŃSKA G., PAJORE E., KORSAK D., BORYŃ K. 2005. Wykorzystanie badań mikrobiologicznych do oceny stopnia wtórnego zanieczyszczenia sieci wodociągowej. W: Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska”. Ustronie Morskie: 27–29.05.2005.
- HANZEN K. Z., PLOTKI B., KLIMAS D. M. 1986. Influence of growth conditions on cell surface hydrophobicity of *Candida albicans* and *Candida glabrata*." Infect. Immun. 54:269–271.
- KLIMOWICZ H. 1989. Organizmy w sieci wodociągowej. Występowanie i oznaczanie. Wyd. Instytutu Ochrony Środowiska: 14–17.
- KRAJEWSKA - PIETRASIK D., RÓŻALSKA B., RÓŻALSKI A. 1993. Adhezja bakteryjna w świetle najnowszych danych. I. Interakcja bakterii z zewnątrzkomórkowymi białkami matrycowymi (ECM)." Post. Microbiol. 36:269–290.
- KRAJEWSKA - PIETRASIK D., RÓŻALSKA B., RÓŻALSKI A. 1993. Adhezja bakteryjna w świetle najnowszych danych. II. Fimbrie i adhezyjne bakterii Gram-ujemnych. Post. Microbiol. 36:291–304.
- Le CHEVALLIER M. W., CAWTHON C. D., LEE R. G. 1988. Factors promoting survival of bacteria in chlorinated water supplies. Appl. Environ. Microbiol. 54:649–654.
- LEE H. S., FRANK J. F. 1991. Inactivation of surface adherent *Listeria monocytogenes* - hypochlorite and heat. J. Food Protect. 54: 4–6.
- LEWICKI P. P. 1994. Higiena Produkcji. Część III. Tworzenie się osadów. Przem. Spoż. 1:12–21.
- McELDOWNEY S., FLETCHER M. 1986. Variability of the influence of physicochemical factors affecting bacterial adhesion to polystyrene substrates. Appl. Environ. Microbiol. 17:460–465.

- MEIER- SCHNEIDERS M., BASCH C., DIEKERT G. 1993. The attachment of bacteria cells to surfaces under anaerobic conditions. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 38:667–673.
- MONROE D. 2007. Looking for chinks in the Armor of bacterial biofilms. *PLoS Biology* vol. 5, is. 11:2457–2461.
- MUELLER R. F. 1996. Bacterial transport and colonization in low nutrient environments. *Wat. Res.* 30:2681–2690.
- OLIVIERA D. R. 1992. Physico-chemical aspekt of adhesion. *Biofilms – science and technology*. Red. L. F. Melo, T. R. Bott, M. Fletcher, B. Capdeville, Kluwer Academic Press, Dordrecht: 45–58.
- PARKER S. G., FLINT S. H., PALMER J. S., BROOKS J. D. 2001. Factors influencing attachment of therophilic bacilli to stainless steel *J. Appl. Microbiol.* 90:901–908.
- ŚWIDERSKA – BRÓŹ M. 2001. Niepożądane zmiany jakości wody podczas jej oczyszczania i dystrybucji. *Inżynieria i ochrona środowiska* 3–4(4):283 – 300.
- ŚWIDERSKA-BRÓŹ M. 2003. Skutki braku stabilności biologicznej wody wodociągowej, *Ochrona Środowiska* 4:7 – 12.
- UBEROS J., AUGUSTYN C., LIEBANA J., MOLINA A., MUNOZ-HOYOS A. 2001. Comparative study of the influence of melatonin and vitamin E on the surface characteristics of *E. coli*<sup>r</sup>. *Let. Appl. Microbiol.* 32:303–306.