

MACIEJ SZCZOTKO

BIOFILM – KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA OBROSTÓW
MIKROBIOLOGICZNYCH ZWIĄZANYCH Z INSTALACJAMI WODY
PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI

BIOFILM – SHORT CHARACTERISTIC OF MICROBIAL GROWTH
RELATED TO DRINKING WATER DISTRIBUTION SYSTEMS

Zakład Higieny Komunalnej
Państwowy Zakład Higieny
00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24
e-mail: mszczotko@pzh.gov.pl
Kierownik: dr J. Świąteczak

W niniejszej pracy przedstawiono krótką charakterystykę obrostów mikrobiologicznych związanych z instalacjami dystrybucji wody przeznaczonej do spożycia.

Słowa kluczowe: biofilm, obrost mikrobiologiczny, woda przeznaczona do spożycia

Key words: biofilm, microbial growth, potable water

WSTĘP

Na jakość wody przeznaczonej do spożycia wpływa wiele niezależnych czynników między innymi: rodzaj ujęcia (woda głębinowa lub powierzchniowa), procesy uzdatniania i dezynfekcji, a także rodzaj materiału, z jakiego wykonana jest sieć przesyłowa. Bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na jakość wody przeznaczonej do spożycia jest obecność w niej mikroorganizmów, a w szczególności bakterii. Obok nich w sieci wodociągowej spotkać można też liczne pierwotniaki, które pochodzą z wody powierzchniowej i gleby i m. innymi przedostają się przy okazji różnych awarii oraz mechanicznych uszkodzeń urządzeń doprowadzających wodę. Dlatego też prowadzony jest monitoring wody mający na celu określenie ilości mikroorganizmów wskaźnikowych obecnych w wodzie. Woda z ujęć powierzchniowych podawana do sieci wodociągowej jest też poddawana stałej dezynfekcji, która w normalnych warunkach zapewnia, niski poziom zanieczyszczeń mikrobiologicznych. W większości przypadków obecność takich organizmów sprowadza się do problemu pogorszenia się smaku i zapachu wody i nie wpływa negatywnie na zdrowie człowieka, jednak mogą wystąpić okoliczności sprzyjające rozwojowi patogennej flory bakteryjnej wewnątrz instalacji wodnej [26].

Bakterie potrafią przetrwać wykorzystując nawet śladowe ilości substancji organicznych zawartych w wodzie pochodzącej z ujęcia, mogą też asymilować związki organiczne powsta-

jące podczas procesów uzdatniania wody. Istotnym źródłem związków organicznych w sieci wodociągowej są też substancje, które dostały się do systemu w wyniku awarii oraz wymywane z materiałów, z których zbudowana jest sieć wodociągowa. Dlatego też obecność nawet śladowych ilości związków organicznych i niewielkiej ilości bakterii w warunkach sprzyjających ich przetrwaniu i namnażaniu prowadzi do wytworzenia biofilmu na wewnętrznej powierzchni rur oraz zbiorników na wodę.

Po dokładnej analizie zróżnicowanych środowisk naturalnych stwierdzono, że przeważająca ilość bakterii przebywa w nich w formie związanej z podłożem wewnątrz struktury błony biologicznej natomiast bakterie wolnopływające są grupą nieliczną [2].

Biofilm, określany również jako błona biologiczna jest trójwymiarową, przestrzennie złożoną strukturą, powstającą na różnego rodzaju powierzchniach stykających się z wodą, zarówno organicznych jak i nieorganicznych. Skład biofilmu może być różnorodny, może być to monokultura lub skupisko bakterii bardzo zróżnicowanych pod względem morfologicznym i fizjologicznym [14]. Występowanie tego rodzaju tworów w ekosystemach związanych ze środowiskiem wodnym jest bardzo powszechne. Powstawanie biofilmu zawsze jest procesem wieloetapowym i rozłożonym w czasie. Początkowo proces wiązania się bakterii z podłożem jest odwracalny, ale bardzo szybko tworząca się struktura ulega zlepieniu, a w jego następstwie nieodwracalnie przytwierdza się do powierzchni. Agregacja komórek bakteryjnych zachodzi dzięki sekrecji zewnątrzkomórkowych substancji polimerowych (EPS) tworzących śluz działający jak spoiwo umożliwiające utrzymanie stabilnej struktury błony biologicznej [31]. Biofilm powstały w instalacji wodociągowej jest zjawiskiem bardzo pospolitym, a raz wytworzony staje się bardzo trudny do usunięcia i może być powodem wielu problemów o znaczeniu sanitarnym.

Biofilm stwarza bardzo korzystne warunki bytowania dla mikroorganizmów wchodzących w jego skład, zapewnia też większą dostępność do składników odżywczych zawartych na powierzchni, do której przyczepiają się bakterie [19, 31], oraz umożliwia długotrwałe i bardzo stabilne zasiedlanie różnorodnych podłoży. Bakterie zamknięte są w macierzy powstałej ze związków polimerowych, która zapewnia im ochronę przed substancjami bakteriobójczymi (antybiotykami i środkami dezynfekcyjnymi) i drapieżnikami [21, 25]. W strukturze błony biologicznej odnaleźć można wiele nisz mikrośrodowiskowych, co umożliwia przetrwanie w bliskim sąsiedztwie bardzo wielu rodzajom mikroorganizmów różniących się od siebie wymaganiami fizjologicznymi [12].

Biologiczne zanieczyszczenie wody w systemach wodociągowych w głównej mierze jest spowodowane tworzeniem się błony biologicznej na powierzchni urządzeń wchodzących w skład takiego systemu. Wykazano, że materiały, z jakich zbudowana jest sieć wodociągowa, ze względu na właściwości fizyko-chemiczne, mają znaczący wpływ na tempo i skalę powstawania biofilmu [13].

Mikroorganizmy żyjące wewnątrz formacji biofilmu mogą być potencjalnymi patogenami dla człowieka [23, 32] i ze względu na ten fakt ich obecność w sieci dystrybucji wody przeznaczonej do spożycia jest niepożądana. Dlatego też bardzo ważna jest odpowiednia konserwacja instalacji. Szczególną uwagę należy zwrócić na odcinki wysokiego ryzyka np. martwe strefy, gdzie przepływ jest okresowo zahamowany lub zmniejszony, co sprzyja kolonizacji tych miejsc przez bakterie [26].

Ze względu na niebezpieczeństwo zdrowotne związane z obrostem mikrobiologicznym wewnątrz instalacji wody przeznaczonej do spożycia bardzo ważnym zagadnieniem jest opra-

cowanie skutecznych działań prewencyjnych oraz nowych strategii dezynfekcji, które umożliwiłyby ograniczenie wzrostu tychże mikroorganizmów.

POWSTAWANIE BIOFILMU

Granica pomiędzy podłożem stałym a wodą stanowi idealne środowisko dla wzrostu i rozwoju mikroorganizmów, z których większość wykazuje tendencje do adhezji. Stwierdzono, że materiały o charakterze hydrofobowymi i porowatej powierzchni znacznie silniej ulegają obrostom mikrobiologicznym niż materiały względnie gładkie, co można tłumaczyć zmniejszeniem się sił ścinających oddziałujących na nierówną powierzchnię. Zapewnia to dogodne warunki do wzrostu dla mikroorganizmów pionierskich [5]. Potwierdzono też możliwość powstawania biofilmu na granicy faz utworzonej pomiędzy dwiema cieczami [16].

Fizykochemiczne właściwości podłoża mogą wywierać wpływ na intensywność, z jaką mikroorganizmy będą zasiedlać daną powierzchnię. Bardzo ważnym czynnikiem w procesie tworzenia się struktury błony biologicznej wywierają też hydrodynamiczne warunki panujące w danym środowisku, od których zależy tempo powstawania i ostateczna struktura biofilmu [33].

W zależności od środowiska, w jakim powstaje, biofilm może składać się z wielu rozproszonych komórek bakteryjnych, pojedynczej warstwy komórek o grubości od 1 do 5 μm aż do wielowarstwowej, złożonej struktury o grubości kilkuset mikrometrów [37].

W pierwszym etapie procesu podłoże jest wstępnie przygotowywane (kondycjonowane) przez mikroorganizmy tak, aby mogło służyć jako podłoże umożliwiające wzrost. Dzieje się to poprzez pokrywanie go warstwą związków polimerowych określanych jako EPS (ang. *exopolymeric substance*), wśród których największą część stanowią polisacharydy i glikoproteiny. O intensywności procesu może świadczyć fakt, że węgiel zawarty w EPS może stanowić od 50 do 90% całkowitego węgla organicznego zawartego wewnątrz struktury biofilmu [7]. W zależności od rodzaju bakterii wchodzących w skład błony biologicznej, chemiczny skład EPS może się różnić. U bakterii gramujemnych są to najczęściej cząstki anionowe natomiast u gramodatnich przeważają cząstki kationowe [5]. Przyłączanie się pierwszych komórek bakteryjnych jest procesem losowym i początkowo nie zaobserwowano żadnych mechanizmów selekcyjnych, które wpływałyby na skład gatunkowy pierwszej warstwy przyrastającego biofilmu. Po wstępnym skolonizowaniu podłoża, komórki bakteryjne zaczynają się namnażać (wzrost klonowy – ang. *clonal growth*) tworząc z czasem coraz to bardziej skomplikowaną strukturę o charakterze mikronisz [35]. Na tym etapie wzrostu współzawodnictwo o przestrzeń życiową oraz substancje pokarmowe powodują zmniejszenie się, początkowo dużej, różnorodności gatunkowej. Przejawia się to poprzez wyodrębnienie kilku rodzajów bakterii będących dominantami wewnątrz formującej się struktury biofilmu [11]. Dominacja pewnych rodzajów bakterii jest okresowa i zmienna, co skorelowane jest ze zmieniającymi się warunkami środowiska. Kolejnym etapem jest ostateczne dojrzewanie, podczas którego błona biologiczna pokrywa prawie całkowicie lub całkowicie, całą powierzchnię materiału bazalnego. W ostatecznie uformowanym biofilmie nie obserwuje się obszarów zasiedlanych przez populację homogenne pod względem rodzaju, a struktura błony jest zróżnicowana zarówno pod względem budowy jak i składu mikroorganizmów jakie ją tworzą. Można tam odnaleźć zarówno organizmy autotroficzne jak i heterotroficzne, a skład gatunkowy mikro-

organizmów stale zmienia się w czasie, co może potwierdzać zjawisko sukcesji ekologicznej jaka zachodzi wewnątrz tego złożonego mikroekosystemu [20]. W warunkach niedostatku substancji pokarmowych bakterie mogą produkować enzymy (liazy) rozkładające EPS, który traktowany jest wtedy jako źródło pokarmu. Inną korzyścią płynącą z częściowego rozkładu substancji polimerowych, będących spoiwem złożonej struktury, jaką jest błona biologiczna, jest uwalnianie części bakterii w nich zamkniętej. Wolne bakterie mogą się przemieszczać, co sprzyja zajmowaniu przez nie nowych nisz ekologicznych, potencjalnie bardziej zasobnych w źródła pokarmu [1].

KORZYŚCI PŁYNĄCE Z ŻYCIA W ZŁOŻONEJ STRUKTURZE

Tworzenie na powierzchniach różnych materiałów złożonych struktur biologicznych przynosi mikroorganizmom szereg korzyści, z których najważniejszymi są: ochrona przed szkodliwymi czynnikami środowiska, dostępność składników pokarmowych oraz współpraca metaboliczna ułatwiająca przeżycie w środowiskach nawet bardzo ubogich w składniki pokarmowe.

Ochrona przed szkodliwymi czynnikami środowiskowymi

Duża oporność mikroorganizmów tworzących błonę biologiczną prawdopodobnie wynika z jej trzech charakterystycznych cech.

1. Ograniczone przenikanie – biofilm jest strukturą otoczoną przez śluzową macierz złożoną z substancji polimerowych takich jak EPS, a także białka i kwasy nukleinowe. Taka budowa zapewnia efektywną ochronę przed dużymi cząsteczkami takimi jak białka, enzymy o działaniu bakteriobójczym oraz różnego rodzaju kompleksy białkowe [8]. Znacznie zmniejszone stężenie antybiotyków przenikających przez matriks umożliwia mikroorganizmom efektywną inaktywację tych związków np. za pomocą β -laktamaz [9]. Ograniczenie dyfuzji substancji z otoczenia do wnętrza błony biologicznej wspomagane jest poprzez regulację wymiany jonowej. Dodatkowo składniki zewnątrz komórkowego śluzu są cząsteczkami naładowanymi ujemnie, co jest czynnikiem zapewniającym ochronę komórek bakteryjnych przed dodatnio naładowanymi cząsteczkami większości antybiotyków [10]. W przypadku małych cząsteczek działanie ochronne ujemnie naładowanego śluzu jest mało efektywne i nie jest uważane za skuteczny mechanizm ochronny. W większości przypadków sprowadza się do zmniejszenia zakresu wnikania tychże substancji i pośrednio przedłuża życie komórek bakteryjnych. Wykazano, że śluz wykazuje właściwości wiążące substancje organiczne rozpuszczone w środowisku wodnym, co zapewnia stałe gromadzenie się składników pokarmowych niezbędnych do wzrostu dla mikroorganizmów żyjących wewnątrz struktury biofilmu [38]. Wewnątrz śluzu mogą być też odkładane szkodliwe związki takie jak metale ciężkie czy substancje toksyczne [6]. Akumulacja metali w śluzie otaczającym kolonie bakteryjne zasiedlające wszystkie środowiska wodne jest prawdopodobnie kluczowym etapem zapewniającym prawidłowy obieg tych pierwiastków w całym ekosystemie. Poza tym EPS zapewnia ochronę przed zróżnicowanym wpływem innych czynników środowiskowych takich jak promieniowanie UV, zmianami wartości pH, szokiem osmotycznym i wysychaniem [6], a także promieniowaniem [30].

2. Zmniejszone tempo wzrostu – praktycznie każdy środek bakteriobójczy wykazuje największą efektywność działania przeciw komórkom bakteryjnym, które znajdują się w fazie logarytmicznego wzrostu. Bardziej zaawansowane mogą zabijać komórki bakteryjne, które

nie namnażają się intensywnie jednak skuteczność ich działania jest stosunkowo niska. Dlatego też uważa się, że spowolniony wzrost mikroorganizmów tworzących błonę biologiczną może być kolejną cechą odpowiedzialną za ich charakterystyczną odporność [3]. Jedną z teorii mówi, że podziały komórkowe w dojrzałym biofilmie zachodzą z wielokrotnie mniejszą częstotliwością niż w przypadku wolnopływających komórek bakteryjnych. Pozwala to na zwiększenie wydatków energetycznych potrzebnych na sekrecję EPS, który w warunkach głodu może być traktowany jako alternatywne źródło substancji odżywczych [36], co zwiększa szanse przetrwania w niekorzystnych warunkach.

3. Obecność genów oporności specyficznych dla mikroorganizmów biofilmu. Podejrzewa się, że niektóre gatunki bakterii tworzące błony biologiczne posiadają specyficzne geny oporności lub szlaki metaboliczne, zapewniające im przetrwanie w trudnych warunkach środowiskowych [15].

Dostępność składników odżywczych i współpraca metaboliczna

Wysoce przepuszczalne kanały wodne rozmieszczone gęsto wewnątrz struktury otaczającej poszczególne mikrokolonie wewnątrz błony biologicznej porównywane są często do prymitywnego układu krążenia. Taka budowa zapewnia efektywną wymianę składników pokarmowych i metabolitów wewnątrz wodnej fazy biofilmu, co zwiększa dostępność składników odżywczych oraz wspomaga usuwanie szkodliwych produktów metabolizmu [2]. Złożona architektura błony biologicznej umożliwia żyjącym w jej wnętrzu bakteriom współpracę metaboliczną, co objawia się w trakcie formowania się mikronisz ekologicznych. Zasiedlane są one przez bakterie najlepiej przystosowane do warunków środowiskowych, jakie panują w danym obszarze biofilmu.

Charakterystyczną cechą błony biologicznej złożonej z wielu różnych rodzajów bakterii jest zjawisko syntrofii, czyli specyficznego oddziaływania pomiędzy różnymi metabolicznie grupami bakterii, które stają się zależne od siebie, współdziałając w procesach rozkładu niektórych substratów pokarmowych [4]. Dzięki tego rodzaju współpracy metabolicznej, substancje, które w normalnych warunkach są nierozkładalne lub trudno rozkładalne dla jednego rodzaju bakterii, poddawane są działaniu szeregu różnych enzymów produkowanych przez mikroorganizmy tworzące biofilm. Takie współdziałanie różnych szlaków enzymatycznych ułatwia rozkład substancji trudnych do degradacji, co potencjalnie zapewnia szersze źródło pozyskiwania substancji pokarmowych, a pośrednio zwiększa szanse przeżycia bakterii wchodzących w skład ekologicznego konsorcjum, jakim jest błona biologiczna.

ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z OBECNOŚCIĄ BIOFILMU

Sprzyjające warunki bytowania, jakie zapewnia osiadły tryb życia wewnątrz błony biologicznej sprzyja okresowej, bądź stałej obecności w jego obszarze mikroorganizmów potencjalnie szkodliwych dla człowieka. Wykazano, że biofilm może stanowić rezerwuar dla mikroaerofilii, takich jak *Legionella pneumophila* i *Campylobacter jejuni*, bakterii grupy coli jak *Escherichia coli* i *Klebsiella oxytoca* oraz *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas aeruginosa* i *Cryptosporidium parvum* [18, 17, 24, 27, 29, 28]. Oprócz bakterii niebezpieczeństwo stanowić mogą również wirusy jelitowe, które wewnątrz biofilmu stosunkowo trudno poddają się procesom dezynfekcji [34].

DZIAŁANIA ZAPOBIEGAWCZE, ŚWIADOMOŚĆ PROBLEMU

Kolonizowanie zbiorników do przechowywania wody oraz samej sieci wodociągowej potencjalnie stanowi duże zagrożenie zdrowotne dla ludzi korzystających z takiej sieci i powinno się stosować środki zapobiegawcze i metody naprawcze umożliwiające oczyszczenie już skolonizowanych urządzeń wchodzących w skład sektora zaopatrywania w wodę przeznaczoną do spożycia. Na jej jakość w wyraźny sposób wpływają materiały, z jakich zbudowane są zbiorniki oraz przewody wodociągowe. Udowodniono, że szczególnie korzystne warunki dla rozwoju mikroorganizmów występują na takich elementach instalacyjnych jak rury giętkie i węże oraz na różnego typu materiałach jak powłoki, folie oraz materiały uszczelniające i kleje. Nie dotyczy to jednak wyłącznie instalacji wodnych wykonanych z tworzyw sztucznych. Zjawisko to występuje w instalacjach wykonanych ze wszystkich stosowanych rodzajów materiałów, a korzystne warunki rozwoju mikroorganizmów występują również w warstwach produktów korozji stali. Na wykładzinach cementowych oraz przewodach miedzianych warunki te są mniej korzystne [22].

Materiały, z którymi styka się woda przeznaczona do spożycia przez ludzi, nie powinny powodować pogarszania się mikrobiologicznej jakości wody poprzez uwalnianie składników organicznych, będących dla mikroorganizmów potencjalnym źródłem substancji odżywczych. Wydzielanie składników organicznych jest bardzo różne dla różnych materiałów a ich tempo uwalniania w bardzo różny sposób może wpływać na pogorszenie się jakości wody. Szybkie wymycie związków organicznych powoduje tylko krótkotrwały wzrost ich stężenia w sieci wodociągowej i może mieć negatywny wpływ na zapach i smak wody pitnej oraz może prowadzić do krótkotrwałego wzrostu liczby mikroorganizmów wewnątrz sieci. Negatywny wpływ takich materiałów stosunkowo szybko ulega samowygaszeniu wraz z rozcieńczeniem się cząsteczek organicznych w sieci wodociągowej. Inną formą przedostawania się substancji organicznych może być ich długotrwałe wymywanie, co nie wpływa negatywnie na organoleptyczne cechy wody, ale jest przyczyną rozwoju mikroflory, co prowadzi do powstawania obrostów mikrobiologicznych na powierzchniach materiałów kontaktujących się z wodą przeznaczoną do spożycia. Materiały obojętne, jeśli chodzi o ich wpływ na mikrobiologiczną jakość wody, charakteryzują się długotrwałym uwalnianiem substancji organicznych w bardzo małych stężeniach, co nie powoduje wzrostu liczby mikroorganizmów oraz nie prowadzi do powstawania trwałej błony biologicznej na powierzchni materiałów kontaktujących się z wodą przeznaczoną do spożycia przez ludzi [1]. Dlatego też oprócz metod mających na celu dezynfekcję i poprawienie jakości wody pitnej należy opracować system wykluczający z obrotu materiały, które wtórnie mogą w sposób negatywny wpływać na jakość wody przeznaczonej do spożycia.

W naszym kraju brak jest przepisów prawnych określających wpływ materiałów przeznaczonych do stosowania w obrębie wody przeznaczonej do spożycia na jej jakość mikrobiologiczną. Planuje się wprowadzenie jednolitego systemu badań, mających na celu określenie podatności różnego rodzaju materiałów kontaktujących się z wodą na obrost mikrobiologiczny. Polska, jako członek Unii Europejskiej, uczestniczy w międzynarodowych pracach nad opracowaniem jednolitej procedury dopuszczania materiałów do kontaktu z wodą przeznaczoną do picia – systemu EAS (ang. *European Acceptance Scheme*). Konieczność oceny wpływu materiału dopuszczonego do kontaktu z wodą przeznaczoną do spożycia wynika z postanowień dyrektyw UE 89/106/EWG dotyczącej wyrobów budowlanych oraz 98/83/WE dotyczącej jakości wody przeznaczonej do spożycia.

Badania w obrębie systemu EAS oparte są na trzech metodykach, które były do tej pory stosowane w Europie. W metodzie brytyjskiej (British Standard BS 6920) wykorzystuje się pomiar zużycia rozpuszczonego w wodzie tlenu jako wskaźnika wzrostu mikroorganizmów. Metodyka niemiecka (DVGW W270) polega na oznaczaniu objętości mikroorganizmów porastających materiały kontaktujące się z wodą o określonej powierzchni. Trzecią metodyką, jest metodyka holenderska, w której określenie ilości mikroorganizmów prowadzone jest na podstawie oznaczenia ATP jako wskaźnika obecności mikroorganizmów. Metodyka niemiecka zakłada prowadzenie oznaczeń w warunkach dynamicznych, przy stałym przepływie wody. Pozostałe metodyki oparte są o badania prowadzone w warunkach stacjonarnych.

Obecnie w Laboratorium Mikrobiologii Sanitarnej Zakładu Higieny Komunalnej Państwowego Zakładu Higieny prowadzone są badania mające na celu opracowanie metodyki i stworzenie podstaw dla przyszłej bazy laboratoryjnej pozwalającej na wykonywanie w Polsce całości badań niezbędnych do nadawania certyfikatu CE – EAS.

Ustalenie metodyki oraz opracowanie odpowiedniej bazy danych pozwoli na kontrolę rynku materiałów w sektorze zaopatrywania w wodę i umożliwi wyeliminowanie zagrożenia, jakie niesie ze sobą wtórne zanieczyszczenie sieci wodociągowych przez mikroorganizmy tworzące biofilm na materiałach kontaktujących się z wodą, a tym samym na zwiększenie bezpieczeństwa systemów zaopatrywania w dobrej jakości wodę przeznaczoną do spożycia.

M. Szczętko

BIOFILM – KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA OBROSTÓW MIKROBIOLOGICZNYCH ZWIĄZANYCH Z INSTALACJAMI WODY PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI

Streszczenie

W pracy zawarto ogólne informacje dotyczące błony biologicznej tworzącej się na powierzchniach materiałów kontaktujących się z wodą przeznaczoną do spożycia. Przedstawiono kolejne etapy powstawania skomplikowanej struktury biofilmu, charakterystykę mikroorganizmów, które ją tworzą oraz zagrożenia, jakie związane są z obecnością mikroorganizmów wewnątrz instalacji wodnych. Omówiono też podstawy europejskiego systemu EAS (ang. *European Acceptance Scheme*) oraz aktualne metody, według których prowadzi się w Europie badania mające na celu określenie podatności materiałów kontaktujących się z wodą na obrost mikrobiologiczny.

M. Szczętko

BIOFILM – SHORT CHARACTERISTIC OF MICROBIAL GROWTH RELATED TO DRINKING WATER DISTRIBUTION SYSTEMS

Summary

General information about drinking water biofilms containing few steps biofilm forming process, microorganisms' short characterization and potential risk related to microbial presence in water installations has been presented. A part of review concerns European Acceptance Scheme (EAS) basis and current methods applied for assessment of susceptibility of materials contacting with drinking water to microbial growth.

PIŚMIENNICTWO

1. Allison D.G., Ruiz B., SanJose C., Jaspe A., Gilbert P.: Extracellular products as mediators of the formation and detachment of *Pseudomonas fluorescens* biofilms. FEMS Microbiol. Lett. 1998, 167, 179-184.
2. Costerton J.W., Lewandowski Z., Caldwell D.E., Corber D.R., Lappin-Scott H.M.: Microbial biofilms. Annu. Rev. Microbiol., 1994, 49, 711-745.
3. Costerton J.W., Stewart P.S., Greenberg E.P.: Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. Science, 1999, 284, 1318-1322
4. Davey M.E., O'Toole G.A.: Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2000, Vol. 64, 4, 847-867.
5. Donlan R.M.: Biofilms: microbial life on surfaces. Emerg. Infect. Dis. 2002. URL: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/vol8no9/02-0063.htm>
6. Flemming H.C.: Biofilms and environmental protection. Water Sci. Technol. 1993, 27, 1-10.
7. Flemming H.C., Wingender J., Mayer G.C.: Physico-chemical properties of biofilms. Biofilms: recent advances in their study and control. Harwood Academic Publishers. Amsterdam, 2000, 19-34.
8. Gilbert P., Das J., Foley I.: Biofilms susceptibility to antimicrobials. Adv. Dent. Res. 1997, 11, 160-167.
9. Giwercman B., Jensen E.T.T., Hoiby N., Kharazmi A., Costerton J.W.J. W.: Induction of β -lactamase production in *Pseudomonas aeruginosa* biofilm. Antimicrob. Agents Chemother. 1991, 35, 1008-1010.
10. Ishida H., Ishida Y., Kurosaka Y., Otani T., Sato K., Kobayashi H.: *In vitro* and *in vivo* activities of levofloxacin against biofilm-producing *Pseudomonas aeruginosa*. Antimicrob. Agents Chemother. 1998, 26, 1-6.
11. Jackson C.R., Churchill P.F., Roden E.E.: Successional changes in bacterial assemblage structure during epilithic biofilm development. Ecology 2001, 82, 555-566.
12. Keevil C.W., Rogers J., Walker J.T.: Potable-water biofilms. Microbiology Europe Vol.3 No. 6 November/December 1995.
13. Lethola M.J. i wsp.: Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes. Water Research. 2004, 38, 3769-3779.
14. Lewandowski Z.: Structure and function of biofilms. In: L. V. Evans, editor. Biofilms: recent advances in their study and control. Amsterdam: Harwood Academic Publishers; 2000, 1-17.
15. Lewis K.: Riddle of Biofilm Resistance. Antymicrobial Agents and Chemotherapy, 2001, 999-1007.
16. Macedo A.J., Kuhlicke U., Neu T.R., Timmis K.N., Abraham W.R.: Three stages of a biofilm community developing at the liquid-liquid interface between polychlorinated biphenyls and water. Appl. Environ. Microbiol. 2005, 11, 7301-7309.
17. Mackerness C.W., Colbourne J.S., Dennis P.J., Rachwal T., Keevil C.W.: Soc. Appl. Bacteriol. Tech. Ser. 1993, 30, 217-226.
18. Mackerness C.W., Colbourne J.S., Keevil C.W.: Health Related Water Microbiology, Morris R., Alexander L.M., Wyn-Jones P., Sellwood J.. International Association on Water Pollution Research and Control, London, 1991, 131-138.
19. Marshall K.C.: Growth of bacteria on surface-bound substrates: significance in biofilm development. Recent Advances in Microbial Ecology ed. Hattori T., Ishida Y., Maruyama Y., Morita R., Uchida A. Jap. Sci. Soc. Press, Tokyo, 1989, 146-150.
20. Martiny A.C., Jorgensen T.M., Albrechtsen H.J., Arvin E., Molin S.: Long-term succession of structure and diversity of a biofilm formed in a model drinking water distribution system. Appl. Environ. Microbiol. 2003, 10, 6899-6907.

21. Matz C., Bergfeld T., Rice S.A., Kjelleberg S.: Microcolonies, quorum sensing and cytotoxicity determine the survival of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms exposed to protozoan grazing. *Environ. Microbiol.* 2004, 6, 218-226.
22. Mogilnaya O.A., Lobova T.I., Kargatova T.V., Popova L.Y.: Biofilm formation by bacterial associations under various salinities and copper ion stress. *Biofouling* 2005, 21(5-6), 247-55.
23. Norton C.D., LeChevallier M.W., Falkinham III J.O.: Survival of *Mycobacterium avium* in a model distribution system. *Water Res.* 2004, 38(6), 1457-1466.
24. Packer P.J., Holt D.M., Colbourne J.S., Keevil C.W.: Coliforms and *E. coli*: Problem or Solution, Kay D. i wsp. Royal Society of Chemistry. Cambridge, 1995.
25. Patel R.: Biofilms and Antimicrobial Resistance. *Clinical Orthopaedics & Related Research.* 2005, (437), 41-47
26. Przybyła L.: Bakterie w instalacjach. *Polski Instalator* 1993, 11-12.
27. Robinson P.J., Walker J.T., Keevil C.W., Cole J.A. *FEMS Microbiol. Lett.* 1995, 129, 183-188.
28. Rogers J., Keevil C.W.: Protozoan Parsites and Water. *Betts W.B., Casemore D., Fricker C., Smith H., Watkins J.* Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1995.
29. Rogers J., Keevil C.W.: *Appl. Environ. Microbiol.* 1992, 58, 2326-2330.
30. Sarro M.I., Chicote E., Lorenzo P.I., Garcia A.M., Montero F.: Biofouling on austenitic stainless steels in spent nuclear fuel pools. *Materials Corrosion* 2003, 54, 535-540.
31. Schwartz T., Hoffmann S., Obst U.: Formation and bacterial composition of young, natural biofilms obtained from public bank-filtered drinking water systems. *Wat. Res.* 1998, 32 (9), 2787-2797
32. Steinert M., Htshel U., Hacker J.: *Legionella pneumophila*: an aquatic microbe goes astray. *FEMS Microbiol. Rev.* 2002, 26(2), 149-162.
33. Stoodley P., Boyle J.D., Dodds I., Lappin-Scott H.M.: Consensus model of biofilm structure. 1-9. *Wimpenny J.W.T., Handley P.S., Gilbert P., Lappin-Scott H.M., Jones M.* (ed.): *Biofilms: community interactions and controls.* BioLine, Cardiff, U. K, 1997.
34. Storey M.V., Ashbolt N.J.: Persistence of two model enteric viruses (B40-8 and MS-2 bacteriophages) in water distribution pipe biofilms. *Water Sci. Technol.* 2001, 43, 133-138.
35. Tolker-Nielsen T., Brinch U.C., Ragas P.C., Andersen J.B., Jacobsen C.S., Molin S.: Development and dynamics of *Pseudomonas* sp. biofilms. *J. Bacteriol.* 2000, 182, 6482-6489.
36. Watnick P., Kolter R.: Biofilm. *City of Microbes.* 2000, 10, 2675-2679
37. Wimpenny J., Manz W., Szewczyk U.: Heterogeneity in biofilms. *FEMS Microbiol. Rev.* 2000, 24, 661-671.
38. Wolfaardt G.M., Lawrence J.R., Robarts R.D., Caldwell D.E.: In situ characterization of biofilm exopolymers involved in the accumulation of chlorinated organics. *Microb. Ecol.* 1998, 35, 213-223.

