

Bartosz BROWARCZYK, Agnieszka TRUSZ-ZDYBEK *

WPLYW WARUNKÓW HYDRAULICZNYCH I RODZAJU MATERIAŁU NA BIOFILM W SIECI WODOCIĄGOWEJ

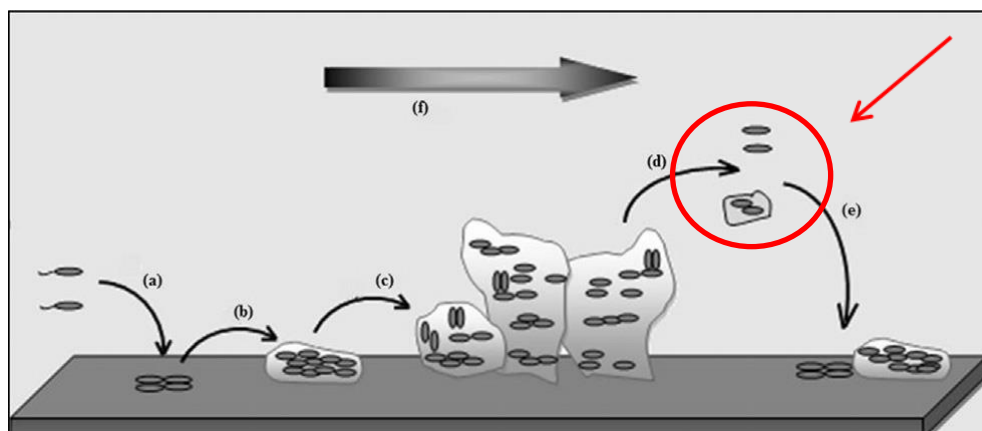
Tworzący się w sieci dystrybucji wody biofilm może stanowić rezerwuuar mikroorganizmów chorobotwórczych i jest jedną z głównych przyczyn wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej. Szereg mikroorganizmów tworzących struktury biofilmu ze względu na swoje właściwości umożliwia rozwój błony biologicznej na powierzchniach wewnętrznych różnych materiałów z których konstruowane są sieci wodociągowe nawet tych, które do niedawna były uważane jako „bezpieczne mikrobiologicznie”, jak również umożliwia rozwój biofilmu zarówno w miejscach stagnacji wody, jak i jej szybkiego przepływu, a nawet turbulentnego. W związku z tym istotne jest jak najlepsze poznanie i zrozumienie czynników wpływających na formowanie się biofilmu, aby m.in. stworzyć skuteczne strategie i algorytmy przeciwdziałania temu zjawisku w sieci dystrybucji wody. W pracy skupiono się na przeanalizowaniu doniesień literaturowych dotyczących wpływu warunków hydraulicznych i rodzaju materiału na tworzenie się biofilmu.

1. WSTĘP

Tworzenie się biofilmu w sieci dystrybucji wody jest procesem wieloetapowym polegającym na naturalnej zdolności mikroorganizmów do: adhezji, namnażaniu oraz osadzaniu się w galaretowatej matrycy (matrix) składającej się z zewnątrzkomórkowych substancji EPS (*Extracellular Polymeric Substances*) – rysunek 1 [13–5]. Oprócz EPS, które są mieszaniną białek, polisacharydów, kwasów nukleinowych, kwasów uronowych i humusowych, substancji lipidowych i innych wydzielonych przez mikroorganizmy, biofilm gromadzi zewnątrzkomórkowe enzymy i produkty metabolizmu [16]. W jego skład mogą wchodzić również osady pochodzące z wody oraz produkty korozji. Wśród mikroorganizmów tworzących błonę biologiczną

* Politechnika Wroclawska, Wydział Inzynierii Środowiska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, bartosz.browarczyk@gmail.com, agnieszka.trusz-zdybek@pwr.edu.pl.

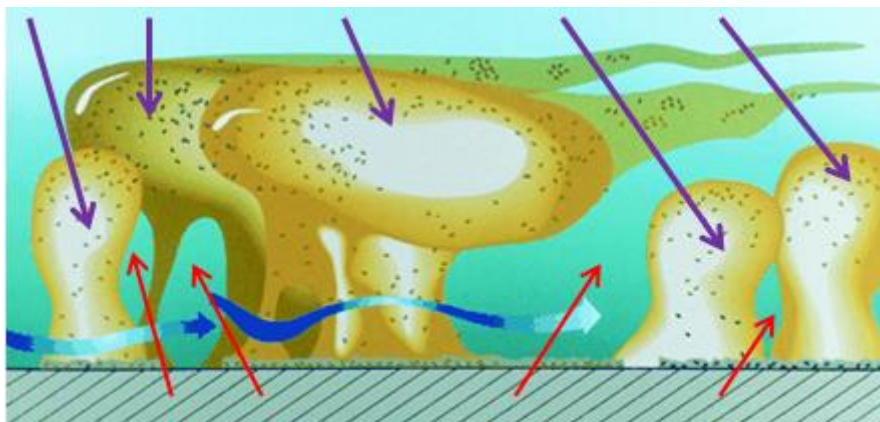
w sieci dystrybucji wody, ze względu na swoje właściwości, najprawdopodobniej zarówno bakterie jak i grzyby nitkowate oraz grzyby drożdżoidalne odgrywają kluczową rolę [17]. Natomiast dojrzały biofilm tworzący sieć mikrokolonii i kanałów [17] – rys. 2 stanowi środowisko życia dla organizmów o różnych preferencjach pokarmowych i tlenowych [18]. Na rysunku 1 przedstawiono etapy tworzenia się biofilmu z uwzględnieniem najbardziej niebezpiecznego z punktu widzenia odbiorcy i użytkownika wody momentu – odrywania się pojedynczych mikroorganizmów i/lub wirusów, czy też fragmentów biofilmu do wody (pkt d- dodatkowo oznaczony czerwoną strzałką).



Rys. 1. Formowanie się biofilmu (a-adhezja, b- inicjacja, tworzenie się kolonii, wytwarzanie EPS, c-dojrzwanie biofilmu), d-odrywanie się pojedynczych form lub fragmentów biofilmu, e-kolonizacja nowych miejsc, f- strumień wody [13 – modyfikacja własna]

Złożoność struktury biofilmu wpływa na jego integralność, fizyczno-chemiczne i biologiczne właściwości [15], jak również sprzyja transferowi horyzontalnemu genów (m. in. genów oporności na leki) i czynników stabilizujących struktury biofilmu [19, 20, 29] oraz zapewnia ochronę komórkom przed niekorzystnymi czynnikami zewnętrznymi, takimi jak: zmiany hydrauliczne w sieci (szczególnie te gwałtowne), oddziaływanie antybiotyków, środków dezynfekcyjnych i promieniowania UV [19]. Stąd też mikroorganizmy czy wirusy wchodzące w skład biofilmu mają znacznie większe szanse na przetrwanie niekorzystnych warunków niż te występujące w formie planktonowej [19, 21]. Ze względu na swoje właściwości odżywcze i ochronne biofilm jest rezerwuarem m. in. wirusów jelitowych (np.: adenowirusów, rotawirusów, norowirusów), bakterii (np. wskaźnikowych bakterii fekalnych *Escherichia coli*), czy obligatoryjnych bakterii patogennych pochodzenia kałowego (takich jak *Campylobacter spp.*), jak również oportunistycznych bakterii pochodzących ze środowiska (np.: *Legionella spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*) i pasożytniczych pierwotniaków

(np. *Cryptosporidium parvum*) oraz grzybów (z rodzaju: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Acremonium*), których mikotoksyny są przyczyną wielu chorób człowieka, jak chociażby grzybice, alergie, stany zapalne błon śluzowych itp. [15, 17, 22, 23]. Rozwój błony biologicznej w sieci dystrybucji wody może wpływać na niszczenie materiałów z których jest zbudowana, powodować zmiany organoleptyczne wody ale przede wszystkim może wpływać negatywnie na zdrowie, a nawet życie konsumentów, szczególnie w momentach odrywania się fragmentów błony biologicznej [13, 15, 24, 25]. Związane jest to z obecnymi w jego strukturach mikroorganizmami, jak również wirusami o charakterze chorobotwórczym lub potencjalnie chorobotwórczym.



Rys. 2. Dojrzały biofilm – czerwone strzałki pokazują kanały, fioletowe - mikrokolonie [30 – modyfikacja własna]

Formowanie się biofilmu związane jest z wieloma czynnikami takimi jak: warunki fizyczne (prędkość przepływu, naprężenia ścinające, temperatura wody, rodzaj i materiał rur itp.), parametry chemiczne (rodzaj i ilość składników odżywczych i ich biodostępność, obecność osadów korozyjnych, rodzaj i stężenie środka dezynfekującego i jego pozostałości, obecność i stężenie cząstek organicznych i nieorganicznych, jonów itp.) oraz czynników biologiczne (np. skład mikrobiologiczny) [13, 26-28].

2. WPŁYW WARUNKÓW HYDRAULICZNYCH NA STRUKTURĘ BŁONY BIOLOGICZNEJ

W ciągu doby rozbiór wody w sieci wodociągowej jest zmienny. W godzinach porannych lub wieczornych, ma miejsce rozbiór maksymalny, natomiast w nocy zachodzi stagnacja wody w przewodach. Zmienność w przepływach m.in. implikuje odpo-

wiednie warunki do namnażania się błony biologicznej na wewnętrznych powierzchniach rurociągów oraz może wpływać na odrywanie się fragmentów bądź całych kawałków biofilmu, co prowadzi do wtórnego zanieczyszczenia wody wodociągowej.

W pracy Markku J. i in. [1] zaobserwowano, że wraz ze wzrostem prędkości wody do 0,17 m/s dla przewodów miedzianych, a dla przewodów z polietylenu (PE) – do 0,12 m/s – co odpowiadało górnej granicy prędkości dla przepływu laminarnego (tabela 1), ogólna liczba bakterii (OLB) w biofilmie wzrastała. Jednakże już przy prędkościach 0,28 m/s dla miedzi oraz 0,19 m/s dla PE – zmniejszała się. Warunki prowadzenia badań odpowiadają danym podanym w tabeli 1.

Tabela 1. Warunki hydrauliczne panujące w układzie badawczym [1]

| Natężenie przepływu, dm ³ /min. | Prędkość przepływu Cu, m/s | Prędkość przepływu PE, m/s | Liczba Reynoldsa, Cu | Liczba Reynoldsa, PE | Rodzaj przepływu |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| 0,2 | 0,04 | 0,03 | 424 | 346 | laminarny |
| 0,4 | 0,09 | 0,06 | 847 | 693 | laminarny |
| 0,8 | 0,17 | 0,12 | 1694 | 1386 | laminarny |
| 1,3 | 0,28 | 0,19 | 2753 | 2252 | przejściowy |

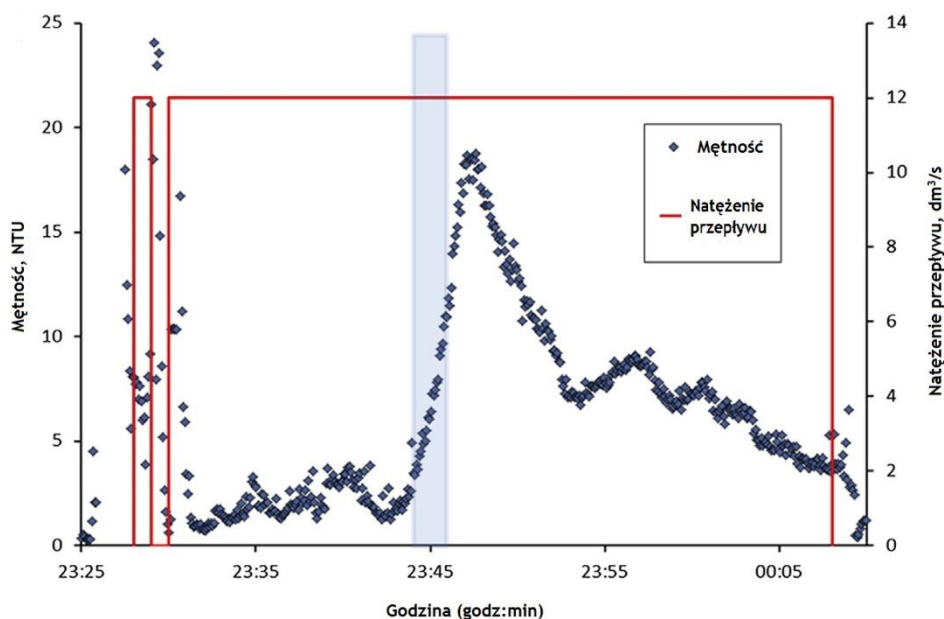
Wzrost liczby mikroorganizmów w biofilmie wraz ze wzrostem prędkości przepływu wody, jak tłumaczy w pracy M. Świdarska-Bróż [5], może być związany ze zwiększonym transportem substancji odżywczych do mikroorganizmów z wody poprzez kanały w biofilmie. Z kolei nagły spadek ilości bakterii w biofilmie może być spowodowany nadmiernymi siłami tnącymi, powodującymi odrywanie się fragmentów biofilmu od ścianek rurociągów [1]. Wraz ze wzrostem przepływu wody, wzrasta konsumpcja składników odżywczych przez mikroorganizmy biofilmu. Związane to jest z zintensyfikowanym transferem masowym przy wyższych prędkościach przepływu wody [1, 2] oraz ich większą podażą. Z drugiej jednak strony, wyższe prędkości powodują, że biofilm ma mniej porowatą strukturę, co z kolei może utrudniać transfer składników odżywczych [2].

Jak wcześniej wspomniano – przy największych prędkościach przepływu wody dla warunków przejściowych lub turbulentnych zachodzi odrywanie fragmentów biofilmu z powierzchni przewodów. Z drugiej jednak strony, przy wysokich prędkościach oraz małej podaży substancji odżywczych – biofilm ma formę bardziej zwartą [1, 2, 5, 7]. Związane jest to z tym, że w przypadku dużej podaży biologicznie przyswajalnego węgla oraz małej podaży substancji odżywczych takich jak: azot, potas i fosfor – następuje wzmoczona produkcja EPS, która zwiększa wytrzymałość biofilmu na odrywanie się od ścianek przewodu [8]. Wysoce rozwinięte EPS pogarsza warunki transportu masowego produktów takich jak dezynfektanty w głąb biofilmu [8]. Istotny jest również fakt, że składnikiem odżywczym limitującym wzrost mikroorganizmów w biofilmie jest fosfor [1, 2, 5].

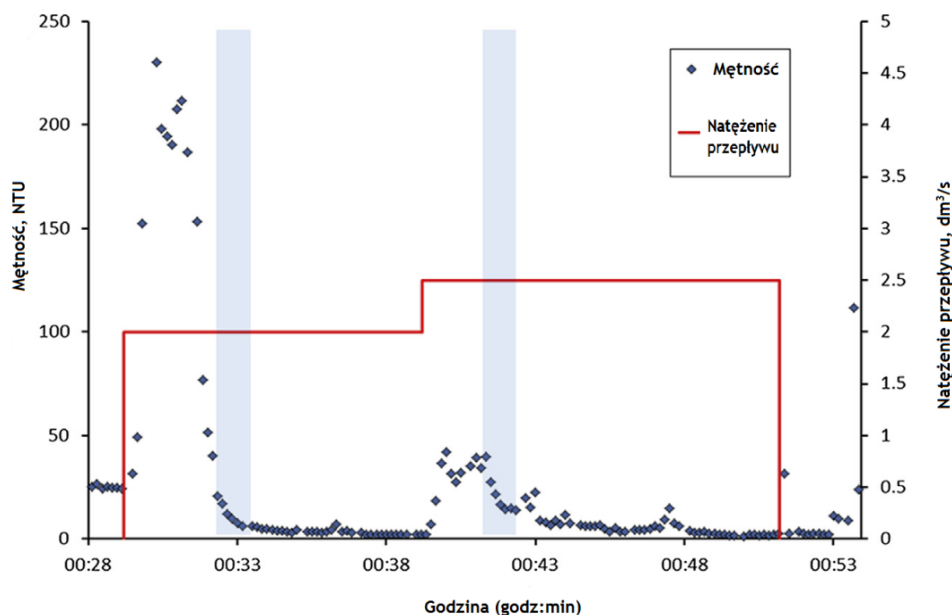
Przepływ laminarny lub przejściowy, który zapewnia niskie prędkości przepływu wody, może gwarantować zachodzenie reakcji pomiędzy materiałem z którego zbudowana jest sieć wodociągowa, a biofilmem, czyli powodować jego ługowanie [8].

Powszechnie uważa się, że wysokie prędkości przepływu całkowicie usuwają istniejący biofilm, jednak może to być wrażenie mylne spowodowane obserwacją wody ujmowanej, a nie struktury biofilmu wewnątrz rurociągu. Biofilm w warunkach przepływu turbulentnego (np. płukanie sieci) nabiera struktury zwartej, zwiększa swoją gęstość na wewnętrznych powierzchniach przewodów. Potwierdzeniem tego mogą być badania opublikowane przez Douterelo I. i in. [7], które wykazały, że co prawda zdecydowanie większa część biofilmu odrywana jest od wewnętrznych powierzchni rurociągów w tzw. „pierwszej fali płukania”, co skutkuje wysoką mętnością wody, jednak dalsze płukanie sieci powodować może dopływ wody do odbiorcy o podwyższonym wskaźniku mętności.

Zjawisko istnienia struktury zwartej biofilmu bardzo dobrze obrazuje wykres 3 z badań prowadzonych przez Douterelo I. i in. [7].



Rys. 3. Wykres przedstawiający wpływ natężenia przepływu na mętność wody dla obiegu z przewodem PE w podanym przedziale czasowym [7]



Rys. 4. Wykres przedstawiający wpływ natężenia przepływu na mętność wody dla obiegu z przewodem żeliwnym w podanym przedziale czasowym [7]

Zarówno dla przewodów z PE jak i żeliwnych widać, że „pierwsza fala” porywa duże ilości osadów (wysoki wskaźnik mętności). Kolejno następuje „faza wygaszenia” – mętność znacząco spada i utrzymuje się na równym poziomie, aż do kolejnego piku, który może oznaczać odrywanie się pozostałej części biofilmu o niskim poziomie adhezji. W obu przypadkach po drugim pikie, wartość mętności spada, co oznacza, że coraz mniej biofilmu odrywa się od ścianek przewodów, a co za tym idzie, świadczy to o zmianie struktury samego biofilmu, czy też o tym, że pozostał już tylko biofilm o strukturze zwartej [7].

Reasumując, niskie przepływy wody w sieci wodociągowej sprzyjają tworzeniu się biofilmu na ściankach przewodów, jednak w obliczu małej ilości substancji organicznych w wodzie oraz małych prędkości, stężenie fosforu może okazać się limitujące do dalszego rozwoju biofilmu. Z kolei wysokie przepływy utrudniają tworzenie biofilmu na ściankach przewodów, jednak zapewniają, dzięki wysokim prędkościom wody wzmożony dopływ substancji organicznych. Z drugiej jednak strony powodują powstawanie bardziej zwartej struktury biofilmu [8] w głąb której utrudniony jest transfer masy.

Warunki hydrauliczne to również ciśnienie panujące w sieci, które jest zależne od rozbioru wody w ciągu doby. Zbyt niskie ciśnienia (poniżej 0,2 MPa) mogą powodować intruzję zanieczyszczeń do wody wodociągowej z zewnątrz. Nadmierny wzrost

ciśnienia znacząco wpływa na stan techniczny rurociągów, prowadząc do powstawania makroporów, sprzyjających rozwojowi korozji biologicznej [6].

3. WPŁYW MATERIAŁU, Z KTÓREGO WYKONANO PRZEWODY NA STRUKTURĘ BŁONY BIOLOGICZNEJ

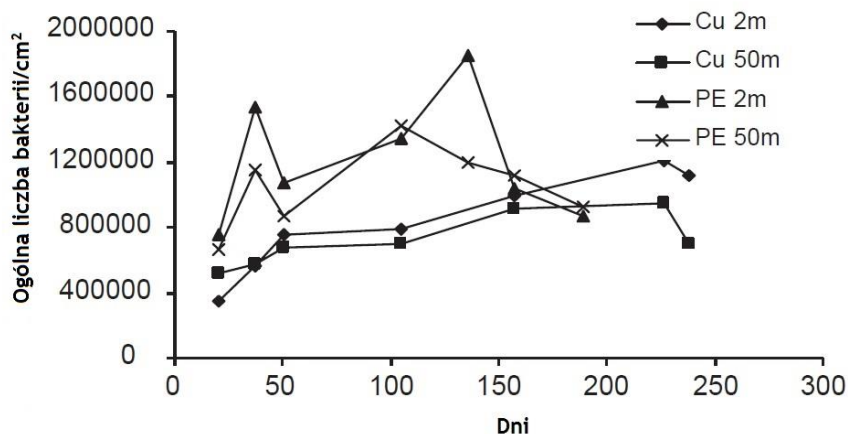
Obecnie na rynku dostępnych jest wiele materiałów, z których wykonywane są sieci wodociągowe. W zależności od warunków terenowych, wymaganej średnicy oraz wytrzymałości, stosowane są materiały z tworzyw sztucznych (PE, PCV) lub korodujących (stal, żeliwo, miedź). Niezależnie od zastosowanego materiału, niemożliwe jest zabezpieczenie sieci wodociągowej przed wtórnym zanieczyszczeniem. Każdy z materiałów stwarza odmienny potencjał powstawania biofilmu zarówno pod względem jego struktury, jak i różnorodności.

Najczęściej stosowane do budowy sieci wodociągowych są tworzywa sztuczne, ze względu na mały potencjał do korozji. Nowe przewody, mogą być źródłem substancji odżywczych dostających się do wody, w wyniku ich wypłukania z wewnętrznych ścianek rurociągu, tym samym przyspieszając rozwój biofilmu [1, 4, 5, 9]. Przewody z tworzyw sztucznych zawierają wiele chemikaliów, do których należą: antyutlenia-cze, plastyfikatory i fotostabilizatory, które mogą być źródłem fosforu [4, 11]. Dlatego też, zalecane jest płukanie przewodów PE przed użyciem [4]. W badaniach prowadzonych przez Markku J. i in. [4], w ciągu pierwszych 50 dni trwania eksperymentu, odnotowano większą ilość bakterii na rurociągach z PE. Związane to mogło być ze wzmożoną podażą substancji odżywczych na skutek procesu ługowania, np. fosforu. Natomiast po ok. 200 dniach eksperymentu, ilość bakterii heterotroficznych w przewodach miedzianych i z polietylenu była na podobnym poziomie. Wskazywać to może na całkowite wypłukanie fosforu z polietylenu.

Materiały korodujące, takie jak: stal lub żeliwo stosowane były kiedyś, a obecnie wykorzystywane są jedynie w przypadku terenów zagrożonych szkodami górnictwami. Natomiast często stosowanym materiałem, w szczególności w instalacjach wewnętrznych, jest miedź. Materiały niesyntetyczne charakteryzują się zdecydowanie większą chropowatością niż tworzywa sztuczne, co sprzyja adhezji komórek oraz kolonizacji elementów sieci [8]. Potwierdzają to badania, które wykazały, że miedź wykazuje wyższy potencjał wzrostu mikroorganizmów od PE [1]. Z drugiej jednak strony należy zwrócić uwagę, że znaczący wzrost stężenia miedzi w wodzie, może działać inhibującą na rozwój mikroorganizmów [4]. Analogicznie właściwości wykazują przewody stalowe [5].

Badania Yu J., Kim D., Lee T. [11] wykazały, że najmniejsza liczba mikroorganizmów zasiedliła przewody z miedzi, natomiast zdecydowanie więcej komórek znajdowało się na przewodach ze stali nierdzewnej lub tworzyw sztucznych. Różnice te

mogą świadczyć o tym, że rodzaj podłoża jest czynnikiem determinującym rozwój biofilmu pod względem ilościowym oraz jakościowym.



Rys. 5. Ogólna liczba bakterii (OLB) w zależności od materiału na przestrzeni kolejnych dni [4]

Wartym zwrócenia uwagi jest fakt, że produkty korozji zużywają wprowadzane środki dezynfekujące lub utrudniają ich dostęp do mikroorganizmów w biofilmie, co sprzyja ich rozwojowi w sieci wodociągowej [5].

Częstym zabiegiem w celu oczyszczenia sieci wodociągowej z zalegającego biofilmu jest jej płukanie poprzez zamknięcie zasuw na wybranym odcinku, a otwarciu hydrantów przeciwpożarowych. W trakcie płukania sieci, ma miejsce przepływ turbulentny, o prędkościach zdecydowanie przewyższających prędkości w trakcie eksploatacji układu. Jak wykazano w pracy Douterelo I. i in. [3] działania te nie zapewniają całkowitego wypłukania biofilmu z sieci wodociągowej. W badaniach prowadzonych przez Douterelo I. i in. [7] stwierdzono różnicę w mętności wody po płukaniu w zależności od materiału. Dla przewodów z PE przeprowadzono płukanie przy natężeniu 12 dm³/s, co odpowiadało prędkości 1,5 m/s. Eksperyment prowadzony był przez 38 minut, a pik w odczycie mętności zauważono dopiero po ok. 20 minutach i wynosił 19 NTU (NTU – ang. Nephelometric Turbidity Unit – nefelometryczna jednostka mętności). W przypadku instalacji z żeliwa przeprowadzono płukanie przy natężeniu 2,5 dm³/s co odpowiadało prędkości przepływu 0,6 m/s. Badanie prowadzone było przez ok. 20 minut, a pik w odczycie mętności zaobserwowano już po ok. 10 minutach i wynosił 42 NTU. Różnica w maksymalnym poziomie mętności dla obu instalacji, zasilanych tą samą wodą wodociągową, może świadczyć o mocniejszym przyleganiu biofilmu do materiałów syntetycznych niż materiałów łatwo korodujących [8, 10]. Kolejnym wnioskiem płynącym z tej symulacji, może być fakt, że większa ilość materiału biologicznego jest w stanie zgromadzić się na przewodach korodujących, który

jednocześnie jest podatny na odrywanie się od ścianek przewodów, powodując wtórne zanieczyszczenie wody.

W pracach [7, 11] zauważono również, że na przewodach z tworzyw sztucznych jest większa różnorodność mikroorganizmów, natomiast na przewodach korodujących – mniejsza, ale występuje ich więcej. Większa ilość mikroorganizmów znajduje się na przewodach korodujących, ze względu na powstawanie porów związanych z korozją chemiczną przewodów, co stanowi bardzo dobre podłoże do zasiedlania i rozwoju mikroorganizmów oraz stanowi ochronę przed zwiększonymi przepływami. Z kolei różnorodność bakterii w przypadku żeliwa jest mniejsza od polietylenu ze względu na obrastanie tego materiału przez bakterie żelazowe, wypierające inne mikroorganizmy [4].

4. PODSUMOWANIE

Tworzenie się biofilmu jest zjawiskiem nieuniknionym w eksploatacji sieci wodociągowej. Proces ten zależy od wielu czynników, takich jak: jakość wody, warunki hydrauliczne, rodzaj materiału z którego wykonano przewody, długość oraz stan techniczny sieci i wiele innych. W pracy skupiono się na rodzaju materiału oraz warunków hydraulicznych, które należy rozpatrywać równolegle w aspekcie tworzenia się biofilmu na wewnętrznych powierzchniach sieci wodociągowej. Z jednej strony zastosowany materiał może wspomagać rozwój mikroorganizmów błony biologicznej, z drugiej - inhibować. Bywają sytuacje gdzie jeden materiał np. miedź, może wpływać w dwojaki sposób: poprzez swoją porowatość stwarza warunki do rozwoju biofilmu, a równocześnie łączy do wody związki inhibujące ich rozwój – metale. Wykazano również, że tworzywa sztuczne mogą wprowadzać do wody substancje odżywcze takie jak fosfor, który determinuje namnażanie się błony biologicznej. Z drugiej jednak strony tworzywa sztuczne, sprzyjają powstawaniu zwartego biofilmu w głąb, do którego utrudniony jest transfer masowy składników odżywczych.

Zmienność warunków hydraulicznych warunkuje powstawanie, a następnie możliwość rozwoju mikroorganizmów. Przy niskich przepływach wody w sieci wodociągowej biofilm jest w stanie przylegać do ścianek przewodu, natomiast przy wysokich odrywać się, zanieczyszczając ujmowaną wodę. Problem stanowi zmienność warunków hydraulicznych podczas doby, w wyniku zmiennego rozbioru – co sprzyja cykлом tzw. „przyleganie/odrywanie”. Ponadto, zmienność przepływu wraz z dostępnością substancji odżywczych (która jest zależna od samej prędkości przepływu oraz zastosowanego materiału) mogą sprzyjać powstawaniu mikroorganizmów o bardzo dobrych zdolnościach adhezyjnych w wyniku wydzielania warstwy EPS.

Praca współfinansowana w ramach badań statutowych S40-029.

LITERATURA

- [1] LEHTOLA M.J., LAXANDER M., MIETTINEN I.T., HIRVONEN A., VARTIAINEN T., MARTIKAINEN P. J., *The effects of changing water flow velocity on the formation of biofilms and water quality in pilot distribution system consisting of copper or polyethylene pipes*, Water Research, 2006, Vol. 40, 2151–2160.
- [2] SIMOES L.C., AZEVEDO N., PACHECO A., KEEVIL C.W., VIEIRA M.J., *Drinking water biofilm assessment of total and culturable bacteria under different operating conditions*, Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research, 2006, Vol. 22, No. 2, 91–99.
- [3] DOUTERELO I., SHARPE R.L., BOXALL J.B., *Influence of hydraulic regimes on bacterial community structure and composition in an experimental drinking water distribution system*, Water Research, 2013, Vol. 47, 50–516.
- [4] LEHTOLA M.J., MIETTINEN I.T., KEINANEN M.M., KEKKI T. K., LAINE O., HIRVONEN A., VARTIAINEN T., MARTIKAINEN P.J., *Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes*, Water Research, 2004, Vol. 38, 3769–3779.
- [5] ŚWIDERSKA-BRÓŻ M., *Czynniki współdecydujące o potencjale powstawania i rozwoju biofilmu w systemach dystrybucji wody*, Ochrona Środowiska, 2010, Vol. 32, No. 3.
- [6] ŚWIDERSKA-BRÓŻ M., WOLSKA M., *Główne przyczyny wtórnego zanieczyszczenia wody w systemie dystrybucji*, Ochrona Środowiska, 2006, Vol. 28, No. 4.
- [7] DOUTERELO I., HUSBAND S., BOXALL J.B., *The bacteriological composition of biomass recovered by flushing an operational drinking water distribution system*, Water Research, 2014, Vol. 54, 100–114.
- [8] DONLAN R.M., *Biofilms: Microbial Life on Surfaces*, Emerging Infectious Diseases, 2002, Vol. 8, No. 9.
- [9] JANG H.J., CHOI Y.J., RO H.M., KA J.O., *Effects of phosphate addition on biofilm bacterial communities and water quality in annular reactors equipped with stainless steel and ductile cast iron pipes*, J. Microbiol., Vol. 50, 17–28.
- [10] HUSBAND P.S., BOXALL J.B., *Asset deterioration and discolouration in water distribution systems*, Water Research, 2011, Vol. 45, 113–124.
- [11] YU J., KIM D., LEE T., *Microbial diversity in biofilms on water distribution pipes of different materials*, Water Science and Technology, 2010, Vol. 61, 163–171.
- [12] LI X., UPADHYAYA G., YUEN W., BROWN J., MORGENROTH E., RASKIN L., *Changes in the Structure and Function of Microbial Communities in Drinking Water Treatment Bioreactors upon Addition of Phosphorus*, Applied and Environmental Microbiology November, 2010, 7473–7481.
- [13] WINGENDER J., FLEMMING H.C., *Biofilms in drinking water and their role as reservoir for pathogens*, International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2011, Vol. 214, 417–423.
- [14] AGUILERAA A., SOUZA-EGIPSYA V., SAN MARTIN-URIZ P., AMILS R., *Extracellular matrix assembly in extreme acidic eukaryotic biofilms and their possible implications in heavy metal adsorption*, Aquatic Toxicology, 2008, Vol. 88, 257–266.
- [15] MANUEL C., NUNES O., MELO L., *Unsteady state flow and stagnation in distribution systems affect the biological stability of drinking water*, Biofouling, 2010, Vol. 26, 129–139.
- [16] YING W., YANG F., BICK A., ORON G., HERZBERG M., *Extracellular Polymeric Substances (EPS) in a Hybrid Growth Membrane Bioreactor (HG - MBR)*, Viscoelastic and Adherence Characteristics, Environ. Sci. Technol., 2010, Vol. 44, 8636–8643.
- [17] TRUSZ-ZDYBEK A., DOBROWOLSKI D., SZYMCZYCHA-MADEJA A., *Rola nitkowatych bakterii żelazowych i manganowych oraz grzybów w formowaniu biofilmu w systemach dystrybucji*

- wody, [w:] *Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska*, pod red. T.M. TRACZEWSKIEJ i B. KAŹMIERCZAKA, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014, 37–44.
- [18] BIEDROŃ I., TRUSZ-ZDYBEK A., TRACZEWSKA T., PIEKARSKA K., *Zastosowanie pomiaru impedancji do oceny rozwoju biofilmu w systemach wodociągowych*, Instal, 2013, No. 5, 2013, 37–42.
- [19] ŁEBKOWSKA M., PAJOR E., RUTKOWSKA-NAROŹNIAK A., KWIETNIEWSKI M., WĄSOWSKI J., KOWALSKI D., *Badania nad rozwojem mikroorganizmów w przewodach wodociągowych z żeliwa sferoidalnego z wykładziną cementową*, Ochrona Środowiska, 2011, Vol. 33, No 3.
- [20] ŁEBKOWSKA M., *Występowanie bakterii antybiotykoopornych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi*, Ochrona Środowiska, 2009, Vol. 31, No. 2.
- [21] SIMOES M., SIMOES L.C., VIEIRA M.J., *A review of current and emergent biofilm control strategies*, LWT - Food Science and Technology, 2010, Vol. 43, 573–583.
- [22] FLEMMING H., *Biofouling in water systems – cases, causes and countermeasures*, Applied Microbiology and Biotechnology, 2002, Vol. 59, 629–640.
- [23] WINGENDER J., *Hygienically relevant microorganisms in biofilms of man-made water systems. Biofilm Perspectives*, Springer International Heidelberg, New York (Chapter 9).
- [24] GOMES I.B., SIMOES M., SIMOES L.C., *An overview on the reactors to study drinking water biofilms*, Water Research, 2014, Vol. 62, 63–87.
- [25] HALLAM N.B., WEST J.R., FORSTER C.F., SIMMS J., *The potential for biofilm growth in water distribution systems*, Water Research, 2001, Vol. 35, 4063–4071.
- [26] AHMAD S., ASHRAF M., SIDDIQUE M., MEHMOOD F., ARSHAD M., KHAN A.H., *Biofilm Formation and Drinking Water Quality in Relation to Escherichia coli at Commercial Poultry Farms*, Journal Of Agriculture & Social Sciences, 2008, 1813–2235.
- [27] ŚWIDERSKA-BRÓŹ M., *Czynniki współdecydujące o potencjale powstawania i rozwoju biofilmu w systemach dystrybucji wody*, Ochrona Środowiska, 2010, Vol. 32, No. 3.
- [28] NIQUETTE P., SERVAIS P., SAVOIR R., *Impacts of pipe materials on densities of fixed bacterial biomass in a drinking water distribution system*, Water Research, 2000, Vol. 34, 1952–1956.
- [29] RAMIREZ-CASTILLO F.Y., HARCEL J., MORENO-FLORES A.C., LOCRA-MURO A., GUERRERA A.L., AVELAR-GONZALES F.J., *Antimicrobial resistance: the role of aquatic environments*, International Journal of Current Research and Academic Review, 2014, Vol. 2, No. 7, 231–246.
- [30] DONLAN R.M., COSTERTON J.W., *Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganisms*, Clin. Microbiol. Rev., 2002, Vol. 15, 167–193.

THE INFLUENCE OF HYDRAULIC REGIMES AND PIPES MATERIAL ON BIOFILM GROWTH IN DRINKING WATER DISTRIBUTION SYSTEM

Drinking water biofilm formation could be the source of pathogenic bacteria and main reason of discolouration of bulk water. Biofilm is able to grow on different pipe material, even on the plastic ones, thanks to microorganism capability of production extracellular polymeric substances, which improve their adhesion potential. Moreover, they are highly tolerant to changing hydraulic regimes. According to that, it is highly significant to explore their behavior under different coexisting conditions, such as: nutrients supply and toxic substances, in order to neutralize their affection on bulk water quality. This paper aims to analyze current studies, references and states of art referring to influence of hydraulic regimes and pipe materials on biofilm growth potential.