

*wtórne zanieczyszczenie wody,
materiały syntetyczne, PP, PE, PB, PVC,
materiały niesyntetyczne, żeliwo, stal, miedź*

Agnieszka TRUSZ-ZDYBEK, Sylwia WIŚNIEWSKA*

ROZWÓJ BIOFILMU W ZALEŻNOŚCI OD RODZAJU MATERIAŁU, Z JAKIEGO ZBUDOWANA JEST SIĘĆ WODOCIĄGOWA

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi: „woda jest bezpieczna dla zdrowia ludzkiego, jeżeli jest wolna od mikroorganizmów chorobotwórczych i pasożytów w liczbie stanowiącej potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego (...)” [1]. Usunięcie z wody mikroorganizmów i wirusów, ale także zabezpieczenie przed ich ponownym rozwojem w sieci wodociągowej jest zadaniem Zakładów Uzdatniania Wody. Mimo prowadzonych procesów oczyszczania, w systemach dystrybucji wody obserwowane są wtórne zanieczyszczenia. Jednym z nich jest biofilm, będący w większości przypadków źródłem drobnoustrojów patogennych i wirusów [2, 3]. Jednym z głównych czynników, który znacząco wpływa na proces tworzenia się obrostów biologicznych oraz ich dalszy rozwój, jest materiał użyty do budowy systemów dystrybucji wody. Rozwój biofilmu możliwy jest na każdym materiale stosowanym do budowy sieci wodociągowych. Od jego rodzaju może natomiast zależeć tempo rozwoju biofilmu, struktura błony biologicznej oraz rodzaj mikroorganizmów wchodzących w jej skład [4].

1. BIOFILM W SYSTEMACH DYSTRYBUCJI WODY

1.1. DEFINICJA BIOFILMU

Biofilm, definiowany jest jako mieszanina mikroorganizmów, ale także ich metabolitów i polimerów pozakomórkowych EPS (*Extracellular Polymeric Substances*) a jego rozwój zachodzi na wewnętrznych powierzchniach sieci wodociągowej [2, 5]. Błona biologiczna określana jest także mianem rezerwuaru bakterii, wirusów, grzybów i pierwotniaków [3].

* Politechnika Wroclawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Biologii Sanitarnej i Ekotechniki, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50–370 Wrocław, agnieszka.trusz-zdybek@pwr.edu.pl.

Uzupełniającą definicją jest określenie, że biofilm będący zbiorem bakterii, glonów, pierwotniaków, grzybów, a także wirusów to wielokomórkowa, skomplikowana struktura składająca się z wielu, oddzielonych od siebie kanalikami, mikrokolonii, otoczona warstwą różnych substancji, którymi są związki o charakterze organicznym, jak i nieorganicznym. Substancje wchodzące w skład otoczki produkowane są przez mikroorganizmy i wykazują zdolność adhezji do powierzchni biotycznych i abiotycznych [6, 7]. Dodatkowymi składnikami biofilmu mogą być produkty korozji elektrochemicznej, a także różnego typu osady obecne w wodzie [5]. Mikroorganizmy oraz wirusy wchodzące w skład błony biologicznej mogą pogarszać jakość wody do picia, wykazując tym samym zagrożenie sanitarne dla odbiorców [8].

1.2. ZAGROŻENIA, JAKIE STWARZA BIOFILM W SIECI WODOCIĄGOWEJ

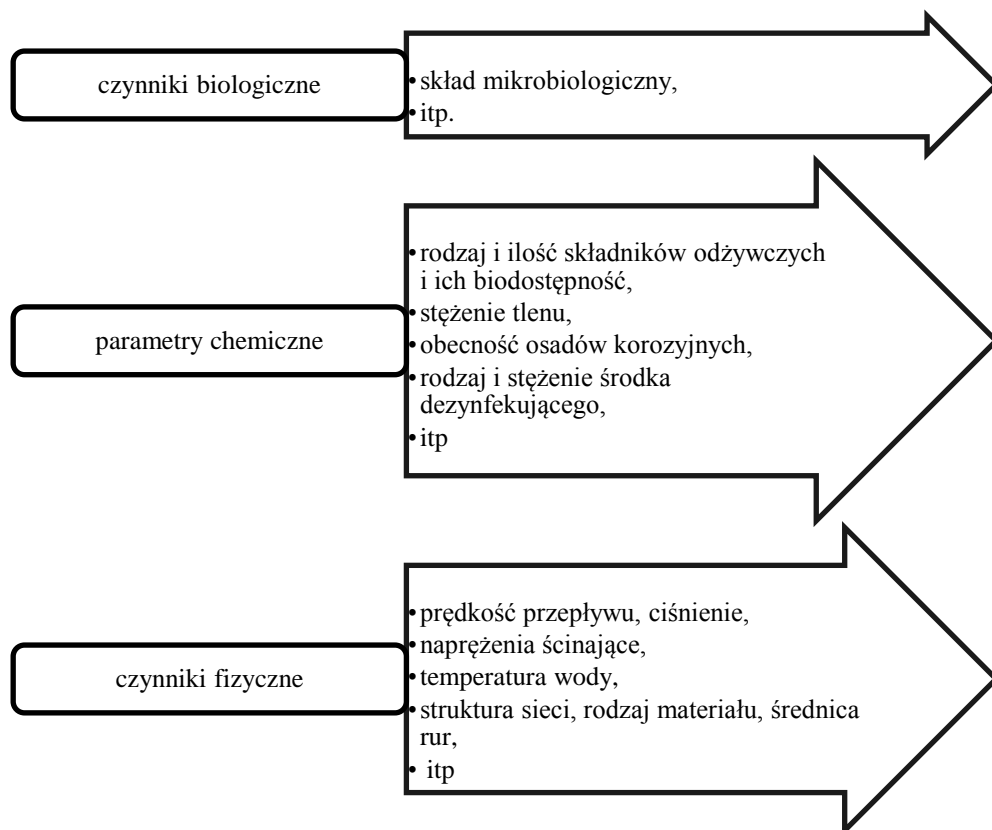
Rozwój błony biologicznej w sieci dystrybucji wody do picia może być przyczyną wielu problemów. Najpoważniejszym ryzykiem, jakie stwarza jest możliwość obniżenia jakości sanitarnej wody, ponieważ może być źródłem mikroorganizmów oraz wirusów. Większość z drobnoustrojów nie wywołuje objawów chorobowych, jeśli układ immunologiczny odbiorcy funkcjonuje prawidłowo. Często jednak w skład biofilmu wchodzi mikroorganizmy patogenne oraz cząstki wirusów, które bezpośrednio zagrażają zdrowiu ludzi. Właściwie na każdym materiale stosowanym do budowy sieci wodociągowej, stwierdzany jest rozwój mikroorganizmów patogennych, takich jak m.in. *Legionella* czy *Cryptosporidium* [9–11].

Błona biologiczna to także problemy techniczne i ekonomiczne [10]. Stwierdzono, że rozwój biofilmu zwiększa wymaganą dawkę środka, który wykorzystywany jest do dezynfekcji sieci wodociągowej. Przyczyną tego jest namnażanie i rozwój mikroorganizmów, ale także zwiększenie ich oporności na stosowany dezynfektant, dzięki kumulowaniu się. Poza tym drobnoustroje produkują liczne substancje organiczne i nieorganiczne, które mają negatywny wpływ na powłoki antykorozyjne, strukturę materiałów czy na odczyn środowiska. Obecność biofilmu w wodzie to problem również z tego względu, że korozja mikrobiologiczna potęguje korozję elektrochemiczną za sprawą produkowanych przez bakterie metabolitów. Prowadzi to do wzmożonego niszczenia rurociągów. Obecność błony biologicznej w sieciach wodociągowych skutkuje także zmianą właściwości fizyko-chemicznych wody. W wyniku uwalniania przez mikroorganizmy różnorodnych substancji pogorszeniu ulega smak, zapach, mętność czy barwa wody. Ma na to wpływ także wcześniej wspomniana korozja elektrochemiczna, której produkty wywołują podobny efekt [4, 12]. Kolejnym negatywnym skutkiem powstających obrostów biologicznych jest zmniejszenie średnicy wewnętrznej przewodów wodociągowych. Poza tym rozwijający się biofilm powoduje wzrost chropowatości, co z kolei wpływa na zwiększenie oporów hydraulicznych. Wymienione czynniki skutkują

spadkiem przepływności przewodów. Efektem zmian może być m.in. konieczność budowy dodatkowych rurociągów. Biofilm może powodować zwiększoną awaryjność systemów dystrybucji wody [13].

2. CZYNNIKI, MAJĄCE WPŁYW NA POWSTAWANIE BIOFILMU

Powstawanie i rozwój błony biologicznej jest możliwy, jeśli w sieci wodociągowej istnieją odpowiednie warunki do namnażania i wzrostu mikroorganizmów. Mogą być one wywołane zmianami parametrów wody w czasie jej przepływu przez sieć. Jakość wody ulega pogorszeniu, a co za tym idzie, daje warunki do rozwoju drobnoustrojów m.in. w wyniku korozji, zmian ciśnienia czy gromadzenia się w rurociągach osadów [14]. Modyfikacje składu jakościowego wody może spowodować wiele czynników (rys. 1).



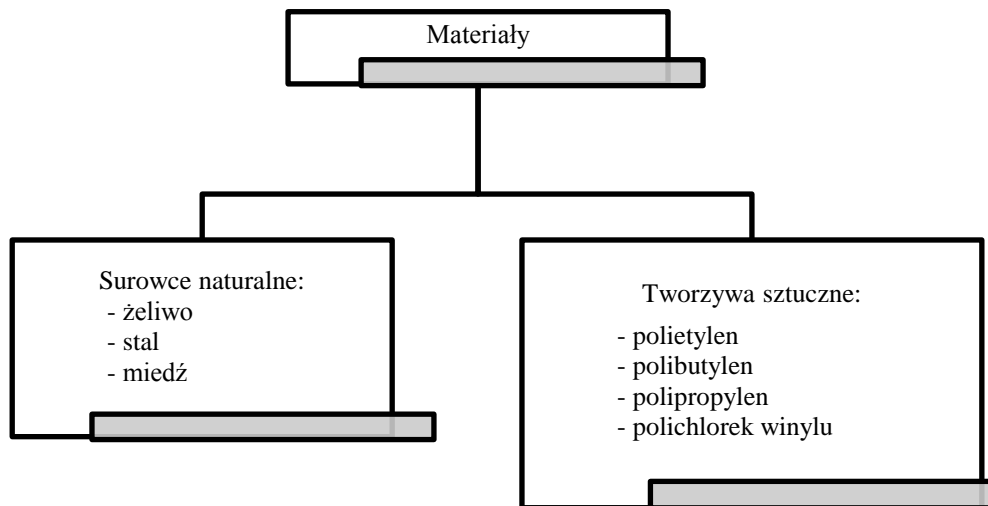
Rys. 1. Czynniki wpływające na powstawanie błony biologicznej, na podstawie [5, 15–18]

Czynniki fizyczne obejmują materiał, który był stosowany do budowy sieci wodociągowej oraz średnicę rurociągu. Mają one wpływ na jakość wody ze względu na np. wypłukiwanie z materiałów budulcowych substancji, które mogą stanowić pożywkę dla mikroorganizmów. Poza tym każdy materiał charakteryzuje się inną podatnością na korozję elektrochemiczną, w wyniku której do wody uwalniane są jej produkty pogarszające jakość wody. Korodowanie przewodów wywołuje zmiany na ich powierzchni. Wszelkiego typu szczeliny powstające w wyniku korozji, stają się odpowiednim miejscem do osiadania mikroorganizmów. Średnica rurociągu ma wpływ na dawkę dezynfektanta, którą dyktuje stosunek powierzchni ścian przewodu i jego pojemności. Do czynników fizycznych zaliczana jest też struktura sieci, a także prędkość przepływającej wody i ciśnienie panujące w rurociągu. Zbyt niskie prędkości przepływu mogą wpływać na wzmożoną stagnację, co wraz ze sprzyjającą osiadanemu mikroorganizmów strukturą przewodów, może stwarzać odpowiednie warunki do ich rozwoju. Niskie prędkości przepływu mają także wpływ na gromadzenie się osadów w sieci. W sieci należy zachować odpowiednie ciśnienie. Gwałtowne jego zmiany mogą spowodować odrywanie się fragmentów biofilmu. Z kolei brak stabilności zarówno chemicznej, jak i biologicznej wody zaliczany jest do czynników chemicznych. Skład wody dostającej się do sieci wodociągowej zależy m. in. od przeprowadzonego wcześniej oczyszczania. Zła jakość medium ma wpływ na przebiegające w sieci wodociągowej procesy. Coraz częściej prowadzone są badania dotyczące wpływu materiału użytego do budowy sieci wodociągowej na rozwój błony biologicznej. Zauważono, że użyty surowiec ma duże znaczenie. Przepływająca przez przewody woda może wypłukiwać substancje będące pożywką dla mikroorganizmów. Od rodzaju materiału zależy także czy będzie on ulegał korozji elektrochemicznej. Każdy z surowców charakteryzuje się inną strukturą, wykazując np. różny stopień podatności na pęknięcia, w których mogą gromadzić się drobnoustroje. Dokładne zbadanie materiałów jest ważne, ponieważ użyte tworzywo to czynnik, który wiąże się ściśle z innymi, które były wcześniej wymienione. Skutki zmian parametrów takich jak np. prędkość czy skład wody będą inne w zależności od tworzywa, z jakim woda będzie się kontaktować. Z tych powodów wynika konieczność oceny podatności materiałów na powstawanie obrostów biologicznych [19, 20].

3. WPLYW MATERIAŁU NA POWSTAWANIE BŁONY BIOLOGICZNEJ

3.1. MATERIAŁY STOSOWANE DO BUDOWY SIECI WODOCIĄGOWEJ

Rury, kształtki, a także elementy uzbrojenia, które wchodzi w skład przewodów wodociągowych mogą być wykonane z wielu różnych materiałów, które można podzielić na te pochodzące z surowców naturalnych jak również te wytwarzane z tworzyw sztucznych w procesach chemicznych (rys. 2) [20].



Rys. 2. Przykłady materiałów stosowanych do budowy sieci wodociągowej

3.2. BADANIA DOTYCZĄCE WPLYWU MATERIAŁU NA POWSTAWANIE BIOFILMU W SIECI WODOCIĄGOWEJ

Przytoczone wyniki badań wykazują duże różnice pomiędzy sobą. Na ich podstawie nie można jednoznacznie stwierdzić, który z materiałów stosowanych do budowy sieci wodociągowej jest najbardziej, a który najmniej podatny na powstawanie błony biologicznej (tabele 1–3).

Przykładowo według badań Niquette'a i in. [21], Traczewskiej i in. [22] czy Małeckiej i in. [23] materiałem najbardziej opornym na powstawanie biofilmu był polichlorek winylu. Zupełnie inny wynik otrzymali Hallam i in. [24], według których PVC był materiałem najbardziej podatnym na zasiedlanie go przez mikroorganizmy. Podobne różnice zaobserwowano dla polietylenu. W wyniku przeprowadzenia innych badań (Szczotko i in. [25] oraz Douterelo i in. [26]) PE był określany jako materiał oporny, natomiast inne wyniki [12, 23] wskazywały, że jest materiałem bardzo podatnym na powstawanie na nim biofilmu.

Wszystkie przytoczone eksperymenty świadczą jednak o tym, że biofilm powstaje na każdym materiale, który stosowany był do budowy sieci wodociągowej.

Obserwowane różnice mogą mieć kilka przyczyn. Stwierdzono, że wpływ na otrzymywanie niejednoznacznych wyników mogło mieć stosowanie do badań wód z różnych źró-

deł. Część z nich pochodziła ze źródeł powierzchniowych, a część z podziemnych. Kolejnym czynnikiem wpływającym na brak jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, który materiał jest najbardziej podatny na powstawanie biofilmu jest fakt, że wody zasilające analizowane systemy charakteryzowały się różnymi parametrami (np. temperaturą lub zawartością materii organicznej).

Tabela 1. Badania prowadzone w sieciach wodociągowych

Autorzy	Porównywane materiały	Oznaczenia dotyczące biofilmu	Metoda badań, wykorzystane przyrządy	Materiał najbardziej podatny na powstawanie biofilmu	Materiał najmniej podatny na powstawanie biofilmu
Niquette i in. [21]	PVC, PE, stal z wykładziną cementową, stal smołowana, żeliwo szare, żeliwo s piekane, azbesto-cement	Gęstość biofilmu	Mikroskop epifluorescencyjny	Żeliwo szare	PVC
Douterelo i in. [26]	PE, żeliwo	Mętność, ogólna liczba bakterii	Przyrząd pomiarowy, metoda posiewowa	Żeliwo szare	PE

Tabela 2. Badania prowadzone w warunkach laboratoryjnych i w terenie

Autorzy	Porównywane materiały	Oznaczenia dotyczące biofilmu	Metoda badań, wykorzystane przyrządy	Materiał najbardziej podatny na powstawanie biofilmu	Materiał najmniej podatny na powstawanie biofilmu
Hallam i in. [24]	PVC, MD-PE, szkło, cement	Ilość biomasy poprzez pomiar ATP; liczba bakterii heterotroficznych	Luminometr; metoda płytkowa	PVC	Szkło
Traczewska i in. [22]	PVC, HD-PE, PP, PB	Ogólna liczba bakterii; struktura biofilmu	Metoda posiewowa; mikroskop elektronowy	PB	PVC

Tabela 3. Badania prowadzone w warunkach laboratoryjnych

Autorzy	Porównywane materiały	Oznaczenia dotyczące biofilmu	Metoda badań, wykorzystane przyrządy	Materiał najbardziej podatny na powstawanie biofilmu	Materiał najmniej podatny na powstawanie biofilmu
Lehtola i in. [12]	PE, miedź	OLB; liczba bakterii heterotroficznych, poziom ATP	Barwienie akrydyną pomarańczową, mikroskop epifluorescencyjny, posiew na agarze, luminometr	PE	Miedź
Szczotko i in. [25]	PP, PE, PP typu RC, PE z warstwą aluminium	Poziom ATP	Luminometr	-	PE
Manuel i in. [27]	PVC, HD-PE, PEX, PP	OLB; liczba bakterii aktywnych metabolicznie, liczba komórek zdolnych do tworzenia kolonii	Barwienie oraz mikroskop epifluorescencyjny; posiew na agarze	Brak znaczących różnic	
Yu i in. [11]	Miedź, stal nierdzewna i stal powleczona cynkiem, PVC-C, PB, PE	Potencjał powstawania biofilmu poprzez pomiar ATP, obserwacje biofilmu	Metoda luminescencyjna, posiew na agarze, skaningowy mikroskop elektronowy	Stal ocynkowana	Miedź, PVC-C
Małecka i in. [23]	PVC, PE	Ogólna liczba bakterii psychrofilnych i mezofilnych	Metoda płytkowa Kocha	PE	PVC

Na podstawie analiz stwierdzono jednak, że głównym powodem otrzymywania różniących się od siebie wyników jest brak jednolitej metody badawczej, która miałaby na celu zbadanie zdolności osiadania mikroorganizmów na poszczególnych tworzywach czy szybkości rozwoju biofilmu. W przytoczonych badaniach stosowano różnorodne techniki: pomiary poziomu ATP, oznaczenia liczby bakterii metodami posiewowymi na różnych podłożach czy obserwacje mikroskopowe. Część analiz prowadzona była w laboratoriach, część natomiast dotyczyła rzeczywistych sieci wodociągowych. Poza tym do badań używano różnych konfiguracji materiałów. Różnorodny był także czas oddziaływania wód na badane tworzywa.

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione czynniki można stwierdzić, że w celu prowadzenia badań dotyczących wtórnego zanieczyszczenia wody, jakim jest biofilm, należy opracować jednolitą metodę badawczą lub schemat takich badań. Działania takie pozwoliłyby na precyzyjne analizowanie różnych materiałów pod względem ich podatności na powstawanie obrostów biologicznych. Niestety, można przypuszczać, że mimo wszystko wyniki uzyskane po porównaniu wszystkich materiałów jedną metodą badawczą nie miałyby odzwierciedlenia w rzeczywistości. Wynika to z tego, że woda wprowadzana do sieci wodociągowej różni się znacząco w zależności od tego, z jakiego źródła pochodzi oraz jakim procesom oczyszczania była poddawana. Każdy Zakład Uzdatniania Wody opuszcza woda, która spełnia stawiane jej wymagania, ale różni się od siebie poszczególnymi parametrami. Duży wpływ na powstawanie biofilmu ma także wiek przewodów. Ocena wpływu stosowanego materiału na powstawanie błony biologicznej powinna być dokonywana dla każdego przypadku w sposób indywidualny. Jednakże opracowanie jednolitego systemu badawczego pozwoliłoby na uzyskiwanie wyników, które można by ze sobą porównywać w celu optymalizacji działań m.in. naprawczych. Poza tym wnioski wyciągane z prowadzenia badań jednakową metodą badawczą mogłyby pomóc we wstępnym doborze materiałów poddawanych dalszej analizie, już dla konkretnych sieci wodociągowych.

W związku z powyższym należałoby dokonać wyboru metody, która mogłaby stanowić najlepszy sposób badania obrostów biologicznych w sieciach wodociągowych. W wyborze metody kierowano się tym, aby badania charakteryzowały się krótkim czasem trwania, dokładnością wyników oraz łatwością wykonywania analiz. Na tej podstawie można uznać, że odpowiednią metodą byłby pomiar poziomu ATP wykonywany luminometrem. Omówione w pracy publikacje wskazują na coraz częstsze wykorzystywanie tego sposobu analizy biofilmu, który określa potencjał powstawania błon biologicznych na przewodach wodociągowych.

3.3. ADENOZYNOTRIFOSFORAN (ATP) A POMIAR ILOŚCI BIOMASY ZASIEDLAJĄCEJ POWIERZCHNIĘ PRZEWODÓW WODOCIĄGOWYCH

ATP (adenozynotrifosforan) jest związkem wysokoenergetycznym, który przechowuje i przenosi energię w żywych organizmach [28]. Metoda opierająca się na pomiarze poziomu ATP wykorzystuje zjawisko uwalniania energii w postaci kwantów światła w wyniku reakcji chemicznych [25]. Oznaczanie ATP to metoda, którą można prowadzić szybko, co odróżnia ją od np. metod posiewowych, które wymagają czasu na inkubację prób. Czas trwania oznaczania poziomu ATP umożliwia podejmowanie szybkich decyzji np. w przypadku zagrożenia zdrowia odbiorców wody przeznaczonej do picia. Zaletę przeprowadzania badań dotyczących pomiaru ATP stanowi otrzymywanie wyników w rzeczywistym czasie pobierania prób [29]. Metoda ta jest już stosowana do oceny jakości mikrobiologicznej np. w przemyśle spożywczym, kosmetycznym oraz farmaceutycznym, do badania czystości powierzchni produkcyjnych [29, 30]. Przeprowadzanie oznaczenia

ATP wykonuje się luminometrem. Sam przyrząd jest stosunkowo tani, a wykazuje dużą czułość i dokładność wyników [31]. Wykonanie pomiaru ATP jest proste, a wynik otrzymywany jest po kilku minutach [29]. Jednostka, w jakiej wyrażany jest wynik to RLU (relatywne jednostki świetlne) [31].

Pomiar adenozynotrifosforanu w przewodach wodociągowych może służyć określeniu ilości biomasy zasiedlającej ich powierzchnię [25]. Według badań przeprowadzonych przez Szczotko i in. [32] pomiar ATP był metodą czułą, która powinna być stosowana, aby w dokładny sposób określać podatność materiałów na zasiedlanie ich przez mikroorganizmy. Metody posiewowe okazały się nieprzydatne w prowadzeniu takich badań [32]. Podobne badania prowadzili Pistelok i in. [29], którzy wyciągnęli podobne wnioski. Stwierdzono, że pomiar poziomu ATP jest skuteczną metodą oceny jakości mikrobiologicznej wody [29]. Dodatkowo w publikacjach naukowych podkreśla się, że badania prowadzone metodą pomiaru ATP są powtarzalne [29, 30]. Badania dotyczące wykorzystania tej metody podają, że stosować można ją zarówno do badania sieci wodociągowych, jak i kontrolowania jakości wody w budynkach użyteczności publicznej [29]. Dodatkowo zaznacza się [29], że poprzez wykonywanie pomiaru ATP można przedstawić przestrzenny rozkład zanieczyszczeń obecnych w sieci wodociągowej, co może ułatwić podejmowanie decyzji w zakresie postępowania z sieciami wodociagowymi. Prowadzenie takich badań mogłoby zminimalizować koszty poprzez podejmowanie decyzji o płukaniu czy dezynfekcji sieci na podstawie testów, których wynik otrzymywany jest właściwie natychmiastowo [29].

4. PODSUMOWANIE

Wszystkie przytoczone w literaturze badania świadczą o tym, że biofilm powstaje na każdym materiale, który stosowany jest do budowy sieci wodociągowej.

Metodą, którą można by stosować w celu badań sieci wodociągowych pod względem ich podatności na powstawanie obrostów biologicznych jest pomiar poziomu ATP, świadczący o metabolicznej aktywności mikroorganizmów zasiedlających przewody wodociągowe. Zdecydowaną przewagą takiego sposobu prowadzenia badań jest prostota ich wykonania oraz możliwość otrzymywania wyników w krótkim czasie. Przyrządy pomiarowe (luminometry) mogą być używane w różnych warunkach, ponieważ są przenośne i mają niewielkie rozmiary.

LITERATURA

- [1] Dz.U. 2015 nr 0 poz. 1989, *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi*, 2015.
- [2] ŚWIDERSKA-BRÓŹ M., *Skutki braku stabilności biologicznej wody wodociągowej*, Ochrona Środowiska, 2003, No. 4, 7–12.
- [3] 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 4, pod red. T.M. Traczewskiej i B. Kaźmierczaka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014, 904–911.
- [4] MUSZ A., KOWALSKA B., *Wpływ materiału rurociągów wykonanych z tworzyw sztucznych na jakość wody wodociągowej. Przegląd literatury*, [w:] Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej, tom 3, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska, pod red. M. Dudzińskiej, L. Pawłowskiego, 2009, Vol. 60, 165–178.
- [5] BROWARCZYK B., TRUSZ-ZDYBEK A., *Wpływ warunków hydraulicznych i rodzaju materiału na biofilm w sieci wodociągowej*, [w:] Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska 5, pod red. J. Wiśniewskiego, M. Kutylowskiej, A. Trusz-Zdybek, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2015, 22–32.
- [6] CZACZYK K., WOJCIECHOWSKA K., *Tworzenie biofilmów bakteryjnych - istota zjawiska i mechanizmy oddziaływania*, Biotechnologia, 2003, No. 3, 180–192.
- [7] CZACZYK K., MYSZKA K., *Mechanizmy warunkujące oporność biofilmów bakteryjnych na czynniki antymikrobiologiczne*, Biotechnologia 2007, No. 1, 40–52.
- [8] WINGENDER J., FLEMING H.C., *Contamination potential od drinking water distribution network biofilms*, Water Science and Technology, 2004, Vol. 49, No. 11–12, 277–286.
- [9] GRABIŃSKA-ŁONIEWSKA A., SIŃSKI E., *Mikroorganizmy chorobotwórcze i potencjalnie chorobotwórcze w ekosystemach wodnych i sieciach wodociągowych*, Wyd. Seidel–Przywecki, Warszawa 2010.
- [10] ŚWIDERSKA-BRÓŹ M., *Czynniki współdecydujące o potencjale powstawania i rozwoju biofilmu w systemach dystrybucji wody*, Ochrona Środowiska, 2010, Vol. 32, No. 3, 7–13.
- [11] YU J., KIM D., LEE T., *Microbial diversity in biofilm on water distribution pipes of different materials*, Water Science and Technology, 2010, No. 1, 163–171.
- [12] LEHTOLA M.J., MIETTINEN I.T., KEINANEN M.M., KEKKI T.K., LAINE O., HIRVONEN A., VARTIAINEN T., MATIKAINEN P.J., *Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes*, Water Research, 2004, No. 38, 3769–3779.
- [13] KOTOWSKI A., *Analiza hydrauliczna zjawisk wywołujących zmniejszenie przepływności rurociągów*, Ochrona Środowiska, 2010, Vol. 32, No. 1, 27–32.
- [14] KOWAL A.L., *Przyczyny i zapobieganie zmianom jakości wody w systemach wodociągowych*, Ochrona Środowiska, 2003, No. 4, 3–6.
- [15] 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.
- [16] ŚWIDERSKA-BRÓŹ M., *Czynniki współdecydujące o potencjale powstawania i rozwoju biofilmu w systemach dystrybucji wody*, Ochrona Środowiska, 2010, Vol. 32, No. 3.
- [17] 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.

- [18] 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.
- [19] Olsińska U., Skibińska K., *Modelowanie zmian jakości wody w systemie dystrybucji*, Ochrona Środowiska, 2007, No. 2, 33–40.
- [20] WIŚNIEWSKA S., *Rozwój biofilmu w zależności od rodzaju materiału z jakiego zbudowana jest sieć wodociągowa*, praca inżynierska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2015.
- [21] 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, No. 6, 1952–1956.
- [22] TRACZEWSKA T., SITARSKA M., BIEDROŃ I., *Ekologiczne i techniczne aspekty powstawania biofilmu w wodzie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014.
- [23] MAŁECKA I., WIRA J., MAŁECKI Z.J., *Podatność wybranych rur polimerowych sieci i instalacji wodociągowych na obrosty mikrobiologiczne cz. I. Zeszyty Naukowe. Inżynieria Lądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska*, 2013, No. 8–9, 44–56.
- [24] 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, No. 17, 4063–4071.
- [25] SZCZOTKO M., KROGULSKA B., KROGULSKI A., *Badania podatności materiałów kontaktujących się z wodą przeznaczoną do spożycia na powstawanie obrostów mikrobiologicznych*, Rocznik PZH 2009, No. 2, 137–142.
- [26] 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.
- [27] MANUEL C.M., NUNES O.C., MELO L.F., *Dynamics of drinking water biofilm in flow/non-flow*, Water Research, 2007, Vol. 41, 551–562.
- [28] KĄKOL P.T., *Biologia – Kompendium*, Świat Książki, Warszawa 2010.
- [29] PISTELOK F., WIERA B., STUCZYŃSKI T., *Identyfikacja zagrożeń dla bezpieczeństwa zdrowotnego wody podczas zdarzeń wyjątkowych*, Instal, 2012, No. 3, 44–49.
- [30] GUTAROWSKA B., PIOTROWSKA M., ŻAKOWSKA Z., GWOŹDZIŃSKI K., *Analiza przydatności metod oznaczania adenylozotynotryfosforanu (ATP) oraz mikroskopii fluorescencyjnej do oceny żywotności i adhezji bakterii na powierzchni bioaktywnych polimerów*, Polimery, 2012, No. 3, 236–245.
- [31] KRĘGIEL D., *Zastosowanie luminometrii w badaniach adhezji drobnoustrojów do powierzchni abiotycznych*, LAB Laboratoria, Aparatura, Badania, 2011, No. 4, 10–14.
- [32] SZCZOTKO M., KROGULSKA B., KROGULSKI A., KURZĄTKOWSKI W., STANISZEWSKA M., *Porównywanie struktury i tempa wzrostu biofilmów powstających na powierzchni materiałów budowlanych kontaktujących się z wodą przeznaczoną do spożycia*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2012, No. 11, 498–502.

BIOFILM DEVELOPMENT DEPENDING ON THE TYPE OF MATERIAL WHICH BUILDS WATER SUPPLY NETWORK

According to the Minister of Health of 13 November 2015. On the quality of water intended for human consumption, "the water is safe for human health, if it is free of pathogenic microorganisms and parasites in number constituting a potential threat to human health (...)" [1]. Removal of the water of microorganisms and viruses, but also protection against the re-development of the water supply network is the responsibility of the Water Treatment Plant. Despite conducted treatment processes, in water distribution systems are observed secondary pollution. One of them is the biofilm which is a source of pathogenic organisms and

viruses, in most cases [2, 3]. One of the main factors, which significantly affects the process of biofilm formation and its continued development, the material have used for the construction of water distribution systems. Biofilm development is possible on the surface of each material used in the construction of water supply systems. The type of material affects the rate of growth of biofilm, biofilm structure and the type of microorganisms that are part of the biofilm [4].