

Andżelika PIETRZYK¹
Dorota PAPCIAK²

WPŁYW TECHNOLOGII OCZYSZCZANIA WODY NA PROCES KSZTAŁTOWANIA BIOFILMU NA WYBRANYCH MATERIAŁACH INSTALACYJNYCH

W artykule oceniono wpływ technologii oczyszczania wody na proces formowania obrostów biologicznych na wybranych materiałach instalacyjnych (miedzi, stali ocynkowanej oraz polipropylenie). W pracy określona została podatność badanych powierzchni na powstawanie biofilmów. Wykorzystując techniki skaningowej mikroskopii elektronowej obserwowano zmiany zachodzące na powierzchniach materiałów instalacyjnych. Jakość wód pozostających w kontakcie z próbkami poddana została dodatkowo analizie mikrobiologicznej w celu oszacowania zmian liczebności drobnoustrojów w trakcie trwania eksperymentu. Wykonane zdjęcia SEM wykazały znaczne różnice w strukturze przestrzennej powstałych biofilmów w zależności od jakości wody oraz rodzaju badanego materiału instalacyjnego. Technologia oczyszczania wody miała wpływ na powstawanie i strukturę obrostu biologicznego. Stwierdzono, że materiałem szczególnie podatnym na adhezję mikroorganizmów jest stal ocynkowana. Powierzchnia tego materiału została całkowicie zdominowana przez komórki bakterii, a utworzony biofilm charakteryzował się złożoną strukturą przestrzenną. Miedź okazała się najbardziej odporna na kolonizację przez mikroorganizmy.

Słowa kluczowe: uzdatnianie wody, jakość wody, błona biologiczna, mikroskopia skaningowa

1. Wprowadzenie

W systemach dystrybucji wody przeznaczonej do spożycia ponad 95% mikroorganizmów występuje na wewnętrznych powierzchniach przewodów wodociągowych w postaci heterogenicznego biofilmu [1, 2]. Zdolność do tworzenia obrostów biologicznych mają zarówno mikroorganizmy autotroficzne jak rów-

¹ Andżelika Pietrzyk, Politechnika Rzeszowska, Zakład Oczyszczania i Ochrony Wód, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; d332@stud.prz.edu.pl

² Autor do korespondencji / corresponding author: Dorota Papciak, Politechnika Rzeszowska, Zakład Oczyszczania i Ochrony Wód, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; dpapciak@prz.edu.pl

niez heterotroficzne, w tym także bakterie chorobotwórcze [3]. Drobnoustroje tworzące błonę biologiczną charakteryzują się znaczną odpornością na działanie środków dezynfekcyjnych [4, 5]. Z uwagi na stan techniczny oraz warunki hydrauliczne panujące w instalacjach wodociągowych istnieje duże prawdopodobieństwo powstawania biofilmu, którego obecność stanowi zagrożenie sanitarne dla konsumentów wody, intensyfikuje korozję mikrobiologiczną oraz stwarza problemy eksploatacyjne [6-8].

Intensywność wzrostu biofilmu w systemie dystrybucji wody uzależniona jest od wielu czynników, wśród których należy wymienić m.in. jakość wprowadzanej do systemu wody (zawartość związków biogennych), ilość środka dezynfekcyjnego, temperaturę oraz warunki hydrodynamiczne panujące w instalacji [2, 9]. Rodzaj materiału, z którego wykonane są przewody wodociągowe również ma znaczący wpływ na szybkość tworzenia się obrostów biologicznych, ich strukturę oraz bioróżnorodność. Skład chemiczny materiału instalacyjnego, a także jego właściwości tj. chropowatość i podatność na korozję uznawane są za jedną z podstawowych przyczyn wzmożonej kolonizacji mikroorganizmów. Mnogość czynników warunkujących powstawanie i rozwój błony biologicznej sprawia, że zapobieganie temu zjawisku jest bardzo kłopotliwe [7, 10].

W ostatnich latach coraz częściej do budowy nowych przewodów wodociągowych wykorzystywane są materiały wykonane z tworzyw sztucznych tj. polietylenu, polichlorku winylu, polipropylenu oraz polibutylenu. Spodziewano się, że instalowane materiały syntetyczne, charakteryzujące się niewielką chropowatością, obniżą ryzyko wtórnego zanieczyszczenia mikrobiologicznego wody. Eksploatacja rurociągów z tworzyw sztucznych nie pozwoliła jednak na potwierdzenie tej tezy. Dotychczas przeprowadzone badania wskazują, że struktura powierzchni polimerów opóźnia początkowe etapy tworzenia biofilmu [11]. Błona biologiczna powstaje więc na wszystkich materiałach instalacyjnych, lecz każdy z nich stwarza odmienne warunki do rozwoju drobnoustrojów [12].

Obrostry biologiczne stanowią niewątpliwie poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi, w związku z tym poszukuje się skutecznych metod pozwalających zapobiegać temu zjawisku [13]. Woda dostarczana odbiorcom musi charakteryzować się odpowiednią jakością nie tylko w momencie wprowadzenia do sieci wodociągowej ale również w punkcie odbioru przez konsumentów. Zwiększenie efektywności oczyszczania wody, a w szczególności eliminacja substancji biogennych może przyczynić się do ograniczenia wtórnego rozwoju mikroorganizmów w instalacjach wodociągowych [14]. Brakuje jednak jednoznacznych i wystarczających informacji na temat wpływu sposobu uzdatniania wody na szybkość wzrostu biofilmu na wewnętrznych powierzchniach przewodów.

Celem badań było określenie wpływu technologii oczyszczania wody na proces formowania biofilmu na wybranych materiałach powszechnie stosowanych w instalacjach wodociągowych. W pracy oceniono również podatność materiałów technicznych na powstawanie obrostów biologicznych.

2. Materiały i metodyka badań

Badania przeprowadzono w skali laboratoryjnej z zastosowaniem testów naczyniowych. Próbkę badanych materiałów tj.: stal ocynkowaną, miedź oraz polipropylen umieszczono na okres 90 dni w szklanych naczyniach wypełnionych dwoma rodzajami wody wodociągowej tj.: (I) naturalną wodą podziemną uzdatnioną według technologii opartej o koagulację i filtrację na złożach piaszkowych oraz (II) uzdatnioną według technologii jw. poszerzoną o proces biofiltracji II stopnia na granulowanym węglu aktywnym typu WD-Extra [Tab. 1]. Hodowlę prowadzono w warunkach statycznych w temperaturze pokojowej (17°C), bez dostępu światła.

Tabela 1. Parametry fizyczno-chemiczne i mikrobiologiczne analizowanych wód

Table 1. Physicochemical and microbiological parameters analyzed waters

Parametry	Jednostka	WODA I	WODA II
Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /l	8,71	6,6
OWO	mg/l	9,15	6,58
Absorbancja	245nm	18,62	12,12
Utlenialność	mg O ₂ /l	4,2	2,4
Fosforany	mg PO ₄ ³⁻ /l	0,002	0,001
Jon amonowy	mg N-NH ₄ ⁺ /l	0,1	0,1
Azot azotynowy	mg N-NO ₂ /l	0,0015	0
Azot azotanowy	mg N-NO ₃ /l	0,912	0,912
Przewodnictwo	μs/cm	882	823
pH	-	7,81	8,01
Barwa	mg Pt/l	13	4
Mętność	NTU	0,50	0,24
Bakterie mezofilne	jtk/1ml	1	0
Bakterie psychrofilne	jtk/1ml	17	8

Wpływ sposobu oczyszczania wody na proces kształtowania biofilmu oceniano na podstawie zdjęć SEM wykonanych za pomocą mikroskopu skaningowego typu Joel SEM 5500-LV. Próbkę kontrolną stanowiły niedezynfekowane materiały instalacyjne przepłukane wodą destylowaną. W czasie trwania eksperymentu prowadzono również monitoring kontrolny w zakresie analizy bakteriologicznej, wody pozostającej w kontakcie z materiałem badawczym, w 1, 40, 50 i 65 dobie. Próbkę odniesienia stanowiła woda o parametrach fizyczno-chemicznych zawartych w tabeli 1. Wodę poddawano analizie na obecność bakterii mezofilnych (48 godzinna inkubacja w temp. 37°C) oraz psychrofilnych (72 godzinna inkubacja w temp. 22°C) z wykorzystaniem metody płytkowej Kocha na agarze referencyjnym oraz za pomocą cytometrii przepływowej z zastosowaniem barwników fluorescencyjnych: SYBR Green i jodku propidyny. Pierwszy z wymienionych barwników umożliwił określenie w próbkach wody liczebności zarów-

no żywych jak i martwych bakterii, z kolei drugi tylko obumarłych mikroorganizmów. Do analizy wykorzystano cytometr przepływowy typu *CyFlow Cube 8*.

Badane wody w dniu rozpoczęcia badań spełniały wymagania aktualnego Rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [Dz. U. 2015, poz. 1989].

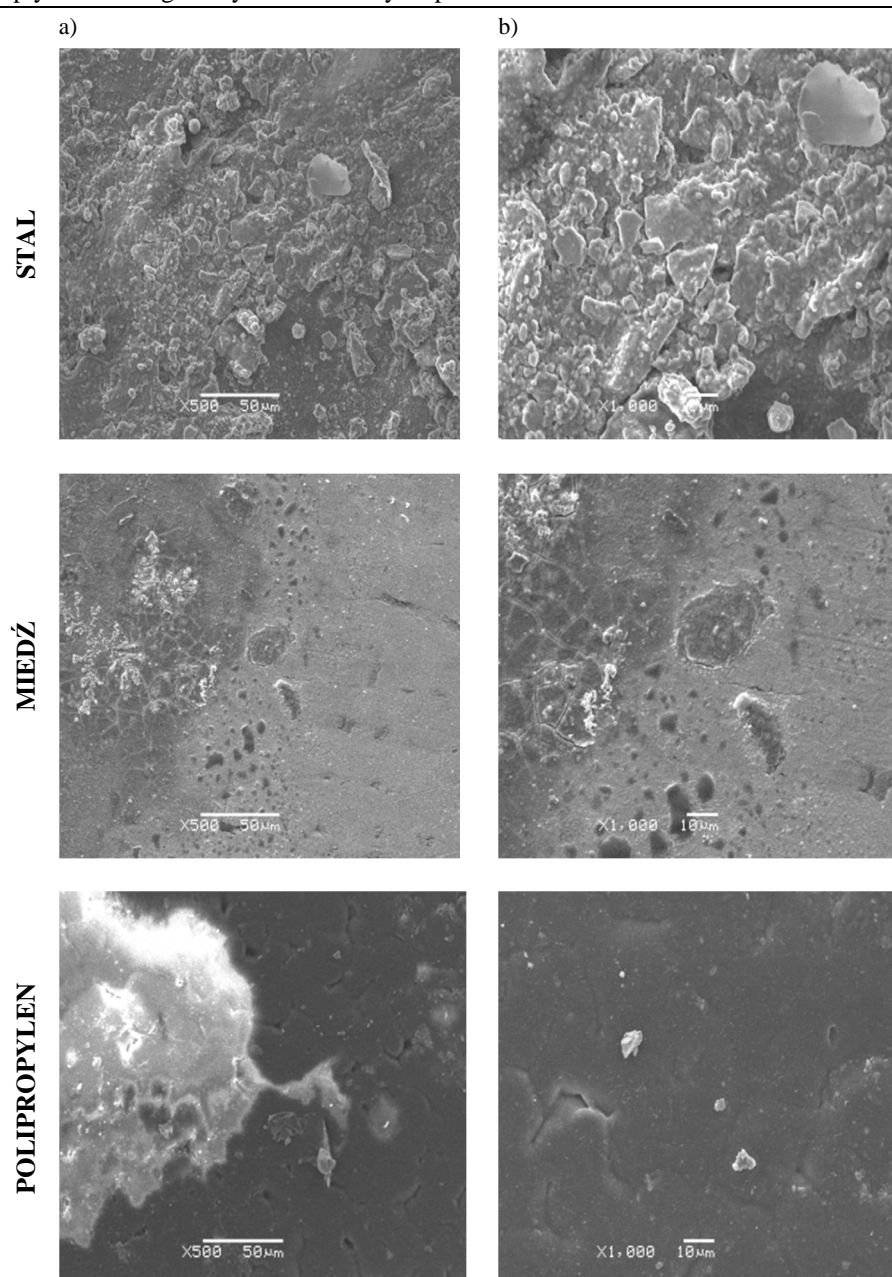
3. Analiza mikroskopowa struktury powierzchni materiałów

Wykorzystane do badań materiały różniły się między sobą nie tylko technologią wytwarzania ale również składem, budową oraz szorstkością powierzchni. Na podstawie zdjęć SEM wykonanych dla próbek kontrolnych stwierdzono, że największą nierównością powierzchni spośród badanych materiałów charakteryzowała się stal ocynkowana. Materiał posiadał nieregularną strukturę z dużą ilością nakładających się na siebie grudek o zróżnicowanej wielkości, co mogło sprzyjać łatwiejszemu forowaniu biofilmu [rys. 1].

Najbardziej gładką strukturą charakteryzował się polipropylen (PP), na powierzchni tego tworzywa występowały nieliczne zagłębienia [rys. 1]. Źródła literaturowe [5] podają, że materiały polimerowe ze względu na swoje właściwości hydrofobowe mogą opóźniać początkowe fazy tworzenia biofilmu (tzn. adhezję mikroorganizmów), lecz kolejne etapy mogą przebiegać szybciej niż w przypadku przewodów wykonanych z innych materiałów. Podobne zależności zaobserwowano dla materiałów miedzianych, które również mogą spowalniać procesy powstawania obrostów biologicznych wskutek toksycznego oddziaływania jonów miedzi. Jednak gdy mikroorganizmy przystosują się do otaczających warunków, wówczas następuje nieunikniony proces kolonizacji [5].

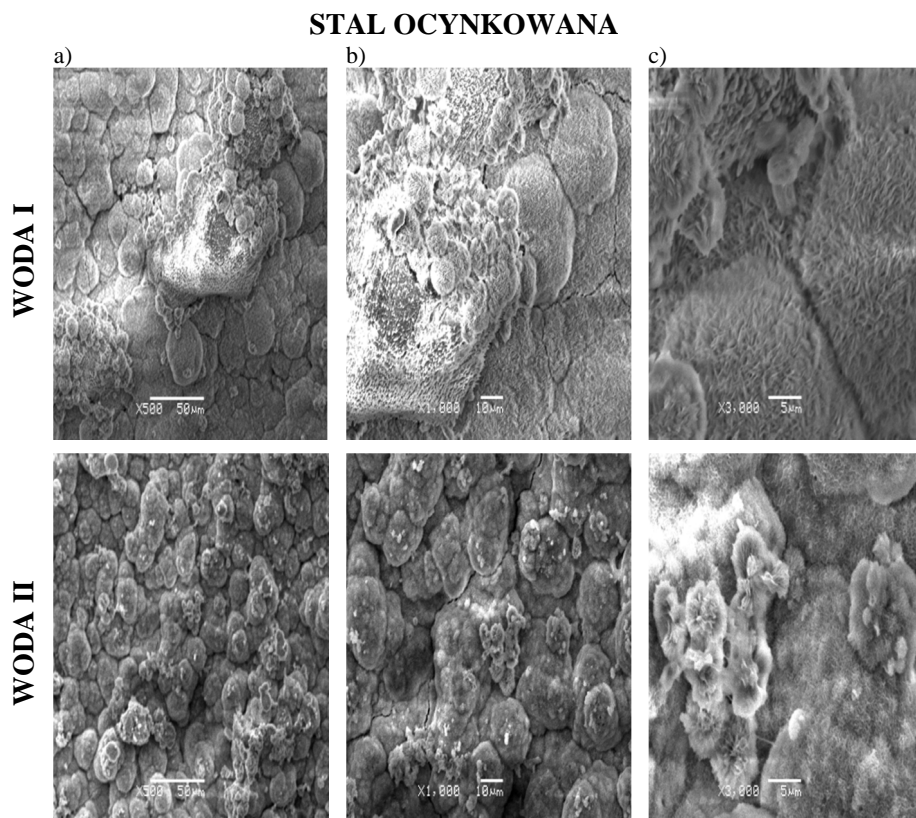
Obserwacja powierzchni próbki miedzi wykazała liczne przebarwienia, a przy większych powiększeniach także mikropęknięcia, które najprawdopodobniej były wynikiem uszkodzenia próbki podczas jej przygotowywania do badań [rys. 1]. Wady materiałowe w postaci mikroszczelin oraz wgłębień stanowią najbardziej atrakcyjne miejsca dla rozwoju mikroorganizmów, gdyż zapewniają one dodatkową ochronę (w warunkach rzeczywistych zabezpieczają bakterie przed wypłukiwaniem przy dużych zmianach natężenia przepływu).

Obserwacja powierzchni materiałów po 90 dniowym kontakcie z analizowanymi wodami [rys. 2] wykazała różnice w budowie powstałej błony biologicznej. Stwierdzono, że najbardziej sprzyjające warunki do namnażania się mikroorganizmów wystąpiły na powierzchni stali ocynkowanej. W tym przypadku, niezależnie od technologii oczyszczania wody, badana próbka została całkowicie pokryta biofilmem o złożonej strukturze. Dla wody I utworzona struktura przyjmowała bardziej płaską i zwartą formę, z kolei dla wody II można zaobserwować liczne nakładające się na siebie gąbczaste wypukłości. Rodzaj zastosowanej wody miał wpływ na strukturę przestrzenną powstałego obrostu biologicznego [rys. 2].



Rys. 1. Struktura analizowanych materiałów tj. stal nierdzewna, miedź, polipropylen - próba kontrolna (powiększenia: a - 500x, b - 1000x)

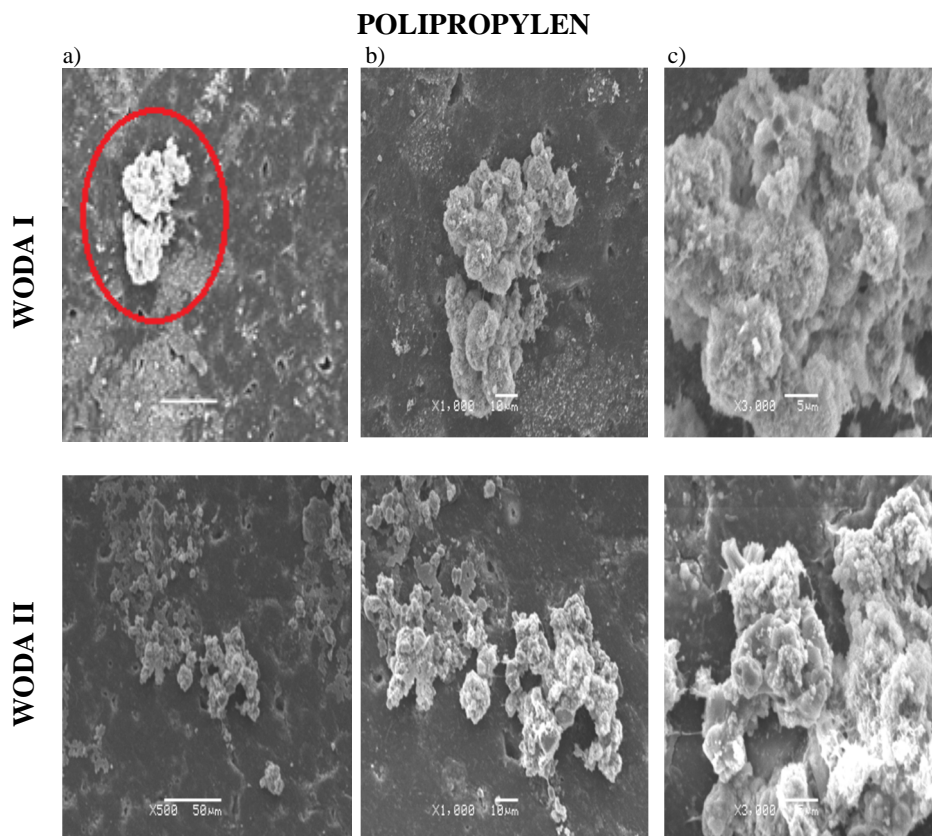
Fig. 1. The structure of the materials analyzed, i.e. stainless steel, copper, polypropylene - control test (magnification: a - 500x, b - 1000x)



Rys. 2. Struktura błony biologicznej powstałej na stali po 3 miesięcznym kontakcie z wodą I i II (powiększenia: a - 500x, b - 1000x, c - 3000x)

Fig. 2. Structure of the biofilm formed on steel after a 3 - month contact with water I i II (magnification: a - 500x , b - 1000x, c - 3000x)

Na fragmencie polipropylenu, po 3 miesięcznym kontakcie z wodą I, zaobserwowano utworzenie kolonii mikroorganizmów [rys. 3], której rozmiary wynosiły około 70 μm długości oraz 50 μm szerokości. Pozostała część próbki również pokryta była błoną biologiczną w postaci drobnych mikrokolonii, których rozmiary mieściły się w zakresie od około 1 do 7 μm . Na próbce polipropylenu, która zanurzona została w wodzie poddanej procesowi biofiltracji – woda II, wykształcony obrost biologiczny przyjął bardziej rozproszoną formę. Kolonie bakterii pokrywały duży fragment badanego materiału, a powstała struktura miała charakter gąbczasty [rys. 3].

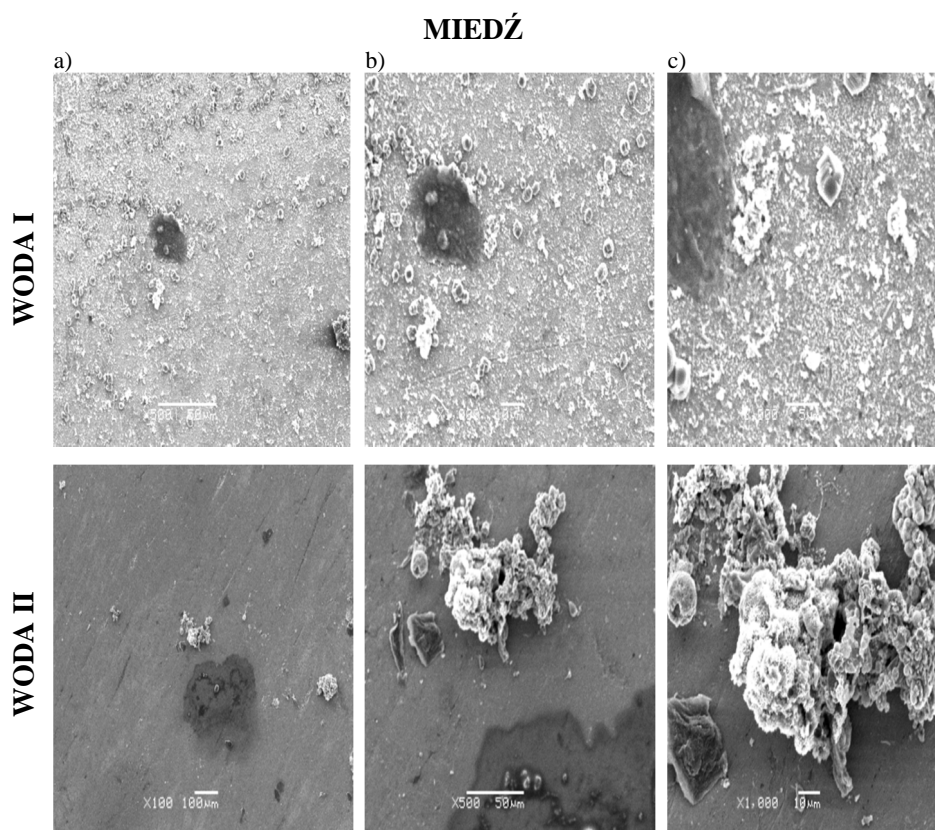


Rys. 3. Struktura błony biologicznej powstałej na polipropylenie po 3 miesięcznym kontakcie z wodą I i II (powiększenia: a - 500x, b - 1000x, c - 3000x)

Fig. 3. Structure of the biological membrane of the resulting polypropylene after 3 month in contact with water, I and II (magnification: a - 500x, b - 1000x , c - 3000x)

W przypadku miedzi w wyniku kontaktu z wodą I, próbka materiału została całkowicie skolonizowana przez drobnoustroje, a wielkość powstałych mikrokolonii zawierała się w przedziale od 2 do 6 μm . Z kolei powierzchnia materiału mającego kontakt z wodą II zachowała swoją pierwotną fakturę i nie została zmieniona na skutek aktywności mikroorganizmów. Na analizowanej powierzchni zaobserwowano nieliczne skupiska drobnoustrojów, z czego rozmiary największej formacji kształtowały się na poziomie około 60 μm długości i 100 μm szerokości. Pozostałe mikrokolonie osiągały mniejsze rozmiary wynoszące od 6 do 35 μm [rys. 4]. Na próbce kontrolnej stwierdzono obecność zagłębień i pęknięć, które mogły przyczynić się do wzmożonej miejscowej adhezji mikroorganizmów.

Zaobserwowane różnice kolonizacji próbek miedzi [rys. 4] mogły wynikać z odmiennego składu chemicznego wód. W wyniku zastosowania procesu biofiltracji nastąpiło obniżenie zawartości wskaźników zanieczyszczenia wody tj. ogól-



Rys. 4. Struktura błony biologicznej powstałej na miedzi po 3 miesięcznym kontakcie z wodą I i II (powiększenia: a - 500x, b - 1000x, c - 3000x)

Fig. 4. Structure of the biofilm formed on the copper after 3 -month contact with water I i II (magnification: a - 500x , b - 1000x, c - 3000x)

nego węgla organicznego (o 28%), utlenialności (o 43%), absorbancji w nadfiolecie (o 35%), barwy (o 70%) oraz mętności (o 57%). Filtracja II stopnia na węglu aktywnym jest procesem odgrywającym znaczącą rolę w modyfikacji składu oczyszczanej wody, w wyniku którego następuje obniżenie zawartości związków organicznych. Pod względem mikrobiologicznym obie wody w dniu rozpoczęcia badań, charakteryzowały się porównywalną jakością tzn. liczebność występujących organizmów mezofilnych i psychrofilnych nie przekraczała wartości dopuszczalnej dla wody przeznaczonej do spożycia [Tab. 1].

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu stwierdzono, że wszystkie badane materiały instalacyjne są podatne na powstawanie i rozwój biofilmu. Należy zaznaczyć, że warunki rozwoju błony biologicznej w przeprowadzonym eksperymencie różniły się od warunków rzeczywistych panujących w instalacjach wodociągowych.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają obserwacje przeprowadzone w innych ośrodkach naukowych. Zarówno Yu [15] jak i Lehtola [6] stwierdzili, że najmniejsza ilość drobnoustrojów została zaobserwowana na materiałach miedzianych, natomiast znacznie większe ilości kolonii stwierdzano w rurociągach wykonanych ze stali nierdzewnej oraz tworzyw sztucznych. Badania nad innymi materiałami instalacyjnymi (tj. polichlorek winylu, polietylen, szkło i cement) również wskazują, że szybkość powstawania biofilmu jest zależna od zastosowanego materiału [16]. Z kolei badania przeprowadzone przez Traczewską i innych [10] potwierdzają, że stosowane w systemach dystrybucji materiały polimerowe nie eliminują zjawiska powstawania biofilmu.

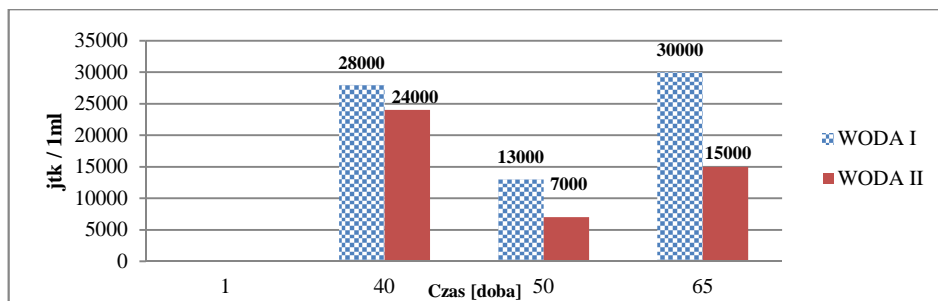
Różnorodność czynników warunkujących powstawanie błony biologicznej sprawia, że poznanie jej struktur oraz mechanizmu funkcjonowania jest niezbędne do opracowania skutecznych metod zapobiegania temu zjawisku. Obrost biologiczny utworzony w instalacjach dystrybucji wody stanowi zagrożenie sanitarne dla konsumentów, intensyfikując korozję mikrobiologiczną, a także może być przyczyną strat hydraulicznych spowodowanych zwiększeniem szorstkości przewodów wodociągowych [3].

4. Analiza mikrobiologiczna wody

Substancjami pokarmowymi warunkującymi rozwój mikroorganizmów są nieorganiczne związki azotu i fosforu, z kolei bakterie heterotroficzne wymagają dodatkowo obecności biodegradowalnego rozpuszczonego węgla organicznego. Do sieci wodociągowej powinna być wprowadzana wyłącznie woda stabilna biologicznie, dlatego też skuteczna eliminacja substratów biogennych jest kluczowym zadaniem stacji oczyszczania wody [14]. Na podstawie analizy fizykochemicznej i mikrobiologicznej stwierdzono, że woda I zawierająca większe ilości organicznych substancji pokarmowych stanowi środowisko bardziej sprzyjające rozwojowi mikroorganizmów.

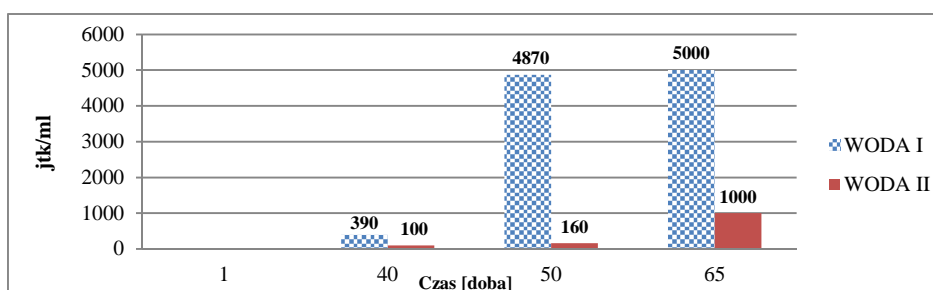
Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że udział bakterii mezofilnych był mniejszy w porównaniu do udziału bakterii psychrofilnych, których maksymalna liczba osiągnęła wartość $300 \cdot 10^2$ jtk/ml dla wody I (doba 65) oraz $240 \cdot 10^2$ jtk/ml dla wody II (doba 40) [rys. 5]. Porównując jakość mikrobiologiczną badanych wód stwierdzono, że w trakcie prowadzonego monitoringu woda I charakteryzowała się większą liczbą obecnych drobnoustrojów. Szczególną różnicę można zaobserwować w przypadku bakterii mezofilnych, których liczebność w 50 dobie była trzydziestokrotnie wyższa w wodzie I niż w wodzie II poddanej procesowi biofiltracji [rys. 6]. W trakcie trwania eksperymentu w obu badanych roztworach zaobserwowano wzrost ilości bakterii mezofilnych, które mogły być wprowadzone do wody na próbkach materiałów instalacyjnych.

Uzyskane wyniki badań mogą wskazywać, że zastosowanie filtracji II stopnia w technologii oczyszczania wody może ograniczyć rozwój mikroorganizmów w wyniku mniejszej zawartości substancji odżywczych.



Rys. 5. Zmiana liczebności mikroorganizmów psychrofilnych w badanych wodach

Fig. 5. Change the number of psychrophilic microorganisms in the analyzed waters



Rys. 6. Zmiana liczebności mikroorganizmów mezofilnych w badanych wodach

Fig. 6. Change the number of mesophilic microorganisms in the analyzed waters

Liczba mikroorganizmów została oznaczona również metodą cytometrii przepływowej, w której wykorzystano barwniki fluorescencyjne tj.: SYBR Green oraz jodek propidyny. Wyniki badań uzyskane za pomocą tej metody osiągnęły znacznie wyższe wartości niż w przypadku tradycyjnej metody hodowlanej. Przyczyną tak dużej liczebności mikroorganizmów jest fakt, iż stosowany w doświadczeniu barwnik fluorescencyjny podłącza się do DNA wszystkich komórek (żywych i martwych). Pomiar dokonany w 1 i 40 dobie wskazywał porównywalną liczbę mikroorganizmów w analizowanych wodach, lecz od 50 doby w wodzie I zaobserwowano gwałtowny przyrost liczby bakterii [tab. 2]. W 50 dobie różnica w liczebności drobnoustrojów wynosiła 56% [rys. 5] i mogła być spowodowana obecnością biodegradowalnego węgla organicznego w wodzie I.

5. Wnioski

1. Biofilm powstaje na wszystkich badanych materiałach instalacyjnych tj. stali ocynkowanej, miedzi oraz polipropylenie.
2. Struktura fizyczna powierzchni badanych materiałów miała wpływ na proces powstawania oraz strukturę przestrzenną biofilmów.

Tabela 2. Jakość bakteriologiczna wody oznaczana metodą cytometrii przepływowej

Table 2. Bacteriological quality of water surveyed identified by flow cytometry

Czas pomiaru [doba]	Badane wody	Liczba żywych mikroorganizmów	Liczba obumarłych mikroorganizmów	Ogólna liczba mikroorganizmów
		[jtk/ml]		
1	I	22 523	9 539	32 068
	II	23 488	17 057	40 545
40	I	249 624	179 031	428 655
	II	370 606	70 768	441 374
50	I	317 798	293 798	611 596
	II	234 695	33 510	268 205
65	I	547 414	217 863	765 277
	II	385 056	129 442	514 498

3. Stwierdzono, że materiałem szczególnie podatnym na adhezję mikroorganizmów jest stal ocynkowana. Powierzchnia tego materiału została całkowicie zdominowana przez komórki bakterii, a utworzony biofilm charakteryzował się złożoną strukturą przestrzenną. Miedź okazała się najbardziej odporna na kolonizację przez mikroorganizmy.
4. Technologia oczyszczania ma wpływ na jakość bakteriologiczną wody. Zarówno metoda cytometrii przepływowej, jak i metody hodowlane potwierdzają lepszą jakość bakteriologiczną wody oczyszczanej z zastosowaniem procesu biofiltracji. Stwierdzono 30-krotnie mniejszą liczbę bakterii mezofilnych w wodzie oczyszczonej z wykorzystaniem biofiltracji.

Literatura

- [1] Biedroń I., Trusz-Zdybek A., Traczewska T., Piekarska K.: Zastosowanie pomiaru impedancji do oceny rozwoju biofilmu w systemach wodociągowych, Instal, nr 5, s. 37-42, 2013.
- [2] Łebkowska M., Pajor E., Rutkowska-Narożniak A., Kwietniewski M., Wąsowski J., Kowalski D.: Badania nad rozwojem mikroorganizmów w przewodach wodociągowych z żeliwa sferoidalnego z wykładziną cementową, Ochrona Środowiska, vol. 33, nr 3, s. 9-13, 2011.
- [3] Kołwzan B.: Analiza zjawiska biofilmu – warunki jego powstawania i funkcjonowanie, Ochrona Środowiska, vol. 33, nr 4, s. 3-14, 2011.
- [4] Lethola M.J., Miettinen I.T., Lampola T., Hirvonen A., Vartiainen T., Martikainen P.J.: Pipeline materials modify the effectiveness of disinfectants in drinking water distribution systems, Water Research 39, s. 1962-1971, 2005.
- [5] Toczyłowska B.: Rola biofilmu w zapobieganiu i zwalczaniu bakterii Legionella w instalacjach wodociągowych, Technologia Wody, nr 1(45), s. 22-30, 2016.
- [6] Lehtola M.J., Miettinen I.T., Keinänen M.M., Kekkia 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* 38, s. 3769-3779, 2004.
- [7] Świdarska-Bróż M.: Skutki obecności biofilmu w systemach dystrybucji wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, *Ochrona Środowiska*, nr 1, vol. 34, s. 9-14, 2012.
- [8] Traczewska T.M., Sitarska M.: Materiały syntetyczne podłożem dla rozwoju biofilmu w systemach dystrybucji wody, *Ekotoksykologia w ochronie środowiska: praca zbiorowa. Materiały syntetyczne podłożem dla rozwoju biofilmu w systemach dystrybucji wody*, s. 443-450.
- [9] Świdarska-Bróż M., Wolska M.: Główne przyczyny wtórnego zanieczyszczenia wody w systemie dystrybucji, *Ochrona Środowiska*, nr 4, s. 29-34, 2006.
- [10] Traczewska T.M., Sitarska M., Biedroń I.: Ekologiczne i techniczne aspekty powstawania biofilmu w wodzie, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław 2014.
- [11] Traczewska T.M., Sitarska M.: Wpływ struktury fizycznej podłoża na rozwój błony biologicznej, *Ochrona przed korozją*, vol. 55, nr 1, s. 15-19, 2012.
- [12] Bąk J., Dąbrowski W.: Wpływ materiałów kontaktujących się z wodą wodociągową na rozwój mikroorganizmów w systemie zaopatrzenia w wodę, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 10, s. 411-412, 2012.
- [13] Szczotko M., Krogulska B., Krogulski A., Kurzątkowski W., Staniszevska M.: Porównanie struktury i tempa wzrostu biofilmów powstających na powierzchni materiałów budowlanych kontaktujących się z wodą przeznaczona do spożycia, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 11, s. 498-502, 2012.
- [14] Wolska M.: Usuwanie substancji biogenych w technologii oczyszczania wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław 2015.
- [15] Yu J., Kim D., Lee T: Microbial diversity in biofilms on water distribution pipes of different materials, *Water Science and Technology*, Vol. 61, s. 163-171, 2010.
- [16] Hallam N.B., West J.R., Forster C.F., Simms J.: The potential for biofilm growth in water distribution systems, *Water Research* 35, no. 17, s. 4063-4071, 2001.

THE INFLUENCE OF WATER TREATMENT TECHNOLOGY ON THE PROCESS OF BIOFILM FORMATION ON THE SELECTED INSTALLATION MATERIALS

Summary

The influence of water treatment technology on the process of biofilm formation on the selected plumbing materials (copper, galvanized steel and polypropylene) was assessed in this paper. The sensitivity of the investigated surfaces to biofilm formation was determined in the paper. Using the scanning electron microscope technique, changes occurring on the surfaces of the installation materials have been observed. The quality of the water in contact with the samples was subjected to microbiological analysis in order to estimate changes in the abundance of microorganisms during the experiment. The SEM photos showed significant differences in the spatial structure of the biofilms depending on the quality of the water and the type of test material. Water treatment technology has influenced the formation and structure of biological growth. It has been found that the

material particularly susceptible to the adhesion of microorganisms is galvanized steel. The surface of this material was completely dominated by bacterial cells, and the biofilm formed was characterized by a complex spatial structure. Copper has proven to be the most resistant to colonization by microorganisms.

Keywords: water treatment, water quality, biological membrane, scanning microscopy

Przesłano do redakcji: 18.06.2017 r.

Przyjęto do druku: 30.06.2017 r.