

Joanna BAŁ

*Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska  
Politechnika Krakowska*

## OCENA MOŻLIWOŚCI WYSTĄPIENIA ZJAWISKA KONTAMINACJI W SYSTEMIE DYSTRYBUCJI

### ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF THE CONTAMINATION PHENOMENA IN THE WATER DISTRIBUTION SYSTEM

*The article examines the reasons behind the occurrence of contamination of water in the water supply system, with particular emphasis on changes in the amount of tap water consumption. It also discusses the impact of materials on water quality changes in the distribution system and selected methods for assessing changes in microbial water quality. Only the proper identification of the causes of water contamination events will take appropriate action to eliminate or reduce the possibility of occurrence of this phenomenon and to minimize its impact. These actions should be taken not only at the design stage, but also the operation and restoration of the system.*

## 1. Wprowadzenie

Wysoka jakość wody wodociągowej spełniająca wymagania określone Rozporządzeniem Ministra Zdrowia zarówno w miejscu podaży z zakładu uzdatniania wody do sieci wodociągowej, jak i w punkcie poboru u odbiorcy, jest dla przedsiębiorstw wodociągowo – kanalizacyjnych zadaniem priorytetowym. Istnieje jednak ryzyko wystąpienia w systemie dystrybucji zjawiska wtórnego zanieczyszczenia wody, określanego niekiedy jako kontaminacja wody.

Niekorzystne zmiany jakości wody w sieci wodociągowej mogą występować pod względem fizyko – chemicznym i mikrobiologicznym.

Spośród wielu możliwych przyczyn występowania zjawiska kontaminacji w systemie dystrybucji wymienić należy między innymi technologię uzdatniania oraz jakość wody opuszczającej stację uzdatniania wody, a w szczególności aspekt stabilności biologicznej i chemicznej wody (lub ich braku). Kolejną istotną przyczynę stanowi wpływ materiałów kontaktujących się z wodą, głównie przewodów wodociągowych. Uwagę jednak należy zwrócić także na wpływ i możliwość kontaminacji ze strony materiałów wykorzystywanych do renowacji sieci wodociągowych: powłoki (w tym zaprawa cementowa) oraz wykładziny używane do odnowy systemu dystrybucji. Nie bez wpływu pozostaje także stan techniczny systemu dystrybucji, jak również hydrauliczne warunki pracy

sieci. Szczególną uwagę zwracać należy właśnie na parametry pracy sieci, gdyż w aktualnej sytuacji społeczno – gospodarczej istnieje prawdopodobieństwo dalszego zmniejszania poboru wody wysokiej jakości z systemów wodociągowych, co skutkować może znacznym pogorszeniem hydraulicznych warunków pracy systemu zaopatrzenia w wodę.

W pierwszej części artykułu przeanalizowane zostały zmiany w zakresie poboru i zużycia wysokiej jakości wody wodociągowej oraz możliwy wpływ dalszych zmian w tym zakresie na ryzyko wystąpienia zjawiska kontaminacji wody. W dalszej części omówiony został wpływ materiałów na jakość wody oraz sposoby oceny zmian jakości mikrobiologicznej wody oraz wpływu materiału na powstawanie i rozwój biofilmu.

## **2. Przyczyny wystąpienia zjawiska kontaminacji w systemie dystrybucji wody w świetle aktualnych uwarunkowań społeczno – gospodarczych**

Obniżenie zużycia wody stanowi pośrednią przyczynę zjawiska kontaminacji wody z uwagi na wydłużony czas przebywania wody w przewodach wodociągowych [1]. Wprowadzenie stosunkowo wysokich opłat za wodę oraz wzrost świadomości ekologicznej w społeczeństwie powoduje stopniowe zmniejszanie zużycia wody wysokiej jakości wodociągowej. Postęp techniczny w dziedzinie produkcji armatury wodociągowej umożliwia dalsze ograniczanie zużycia wody.

Aktualna sytuacja społeczno – gospodarcza może spowodować, iż w dobie kryzysu następować będzie zmniejszenie poboru wody z sieci wodociągowej. Dodatkowo wprowadzenie tzw. „podatku od deszczu” może pośrednio również przyczynić się do zmniejszenia ilości wody pobieranej z systemu dystrybucji na rzecz wykorzystania wody deszczowej do działań nie wymagających wody tak wysokiej jakości.

Zmiany w zakresie ilości wody pobieranej z systemu wodociągowego mają wpływ na hydrauliczne parametry pracy sieci wodociągowej, a zmiany warunków pracy sieci mogą przyczynić się do wystąpienia zjawiska kontaminacji wody. Jeżeli prędkość przepływu wody będzie mniejsza niż 0,5 m/s, występować będzie duże prawdopodobieństwo zaistnienia zjawiska kontaminacji [1]. Z kolei badania prowadzone przez [2] na przewodach miedzianych i polietylenowych wykazały, iż wraz ze wzrostem natężenia przepływu nastąpiło zwiększenie wzrostu biofilmu. Przegląd badań [2] w tym zakresie wykazuje sprzeczności między wynikami badań poszczególnych zespołów.

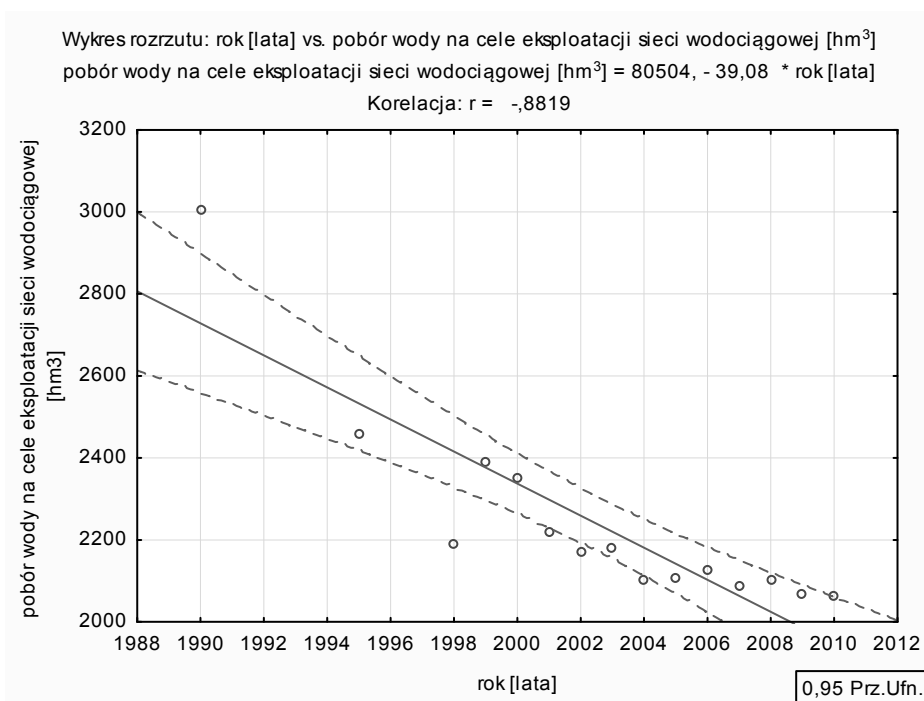
Poniżej przeanalizowano zmiany w zakresie poboru i zużycia wody wodociągowej w ostatnich dwudziestu latach w Polsce oraz uwarunkowania społeczno – gospodarcze (kryzys, wprowadzenia dodatkowych opłat za odprowadzanie ścieków deszczowych) mogące mieć wpływ na dalsze zmiany w tym zakresie.

### **2.1. Zmiany poboru wody**

W pracy przeanalizowano zmiany poboru wody na cele eksploatacji sieci wodociągowej w Polsce w latach 1990 – 2010 (jako pobór wody na ujęciach przed wtłoczeniem do sieci) według danych GUS [3] oraz możliwość ich wpływu na wystąpienie zjawiska kontaminacji wody. Dane analizowano z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania.

mowania Statistica 10 oraz programu MS Excel. Rysunek nr 1 przedstawia wykres rozrzutu danych dotyczących poboru wody na cele eksploatacji sieci wodociągowej w poszczególnych latach wraz z zaznaczonym przedziałem ufności na poziomie 95%. Współczynnik korelacji  $r$  jest stosunkowo wysoki i wynosi  $-0,88$ , co wskazuje na istnienie korelacji ujemnej, czyli wzrostowi wartości jednej cechy (lata) odpowiada spadek średnich wartości drugiej cechy (pobór wody) [4]. Wartość bezwzględna współczynnika korelacji sugeruje korelację bardzo wysoką, zgodnie ze skalą stosowaną w analizie statystycznej [5]. Współczynnik determinacji  $r^2$  wynosi  $0,78$  i wskazuje, iż model liniowy wyjaśnia 78 % zaobserwowanej zmienności poborów wody [6].

Analiza powyższa pozwala przewidywać, iż w kolejnych latach rozważany pobór wody nadal będzie malał, a co z tym jest powiązane, parametry hydrauliczne pracy sieci mogą ulec pogorszeniu.



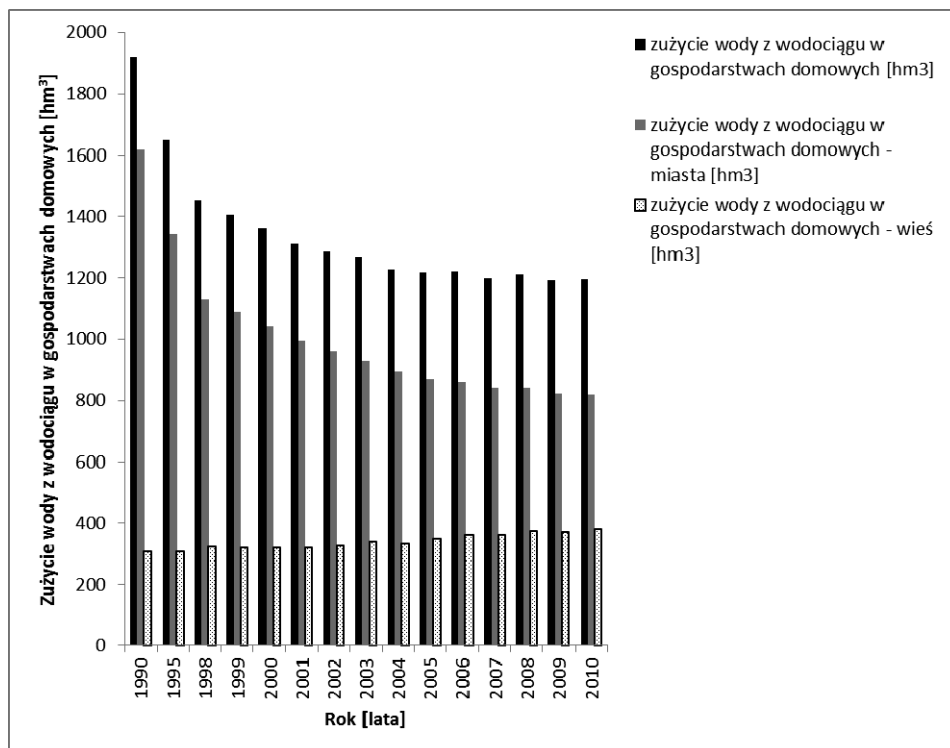
Rys.1. Zmiany poboru wody na cele eksploatacji sieci wodociągowej w Polsce w latach 1990 – 2010; opracowanie własne według danych GUS [3] – wykres rozrzutu

Fig. 1. Changes in exploitation of water – line system in Poland in the years 1990 – 2010, according to GUS data [3]- scatterplot

Wykres nr 2 przedstawia zmiany zużycia wody z wodociągu w gospodarstwach domowych w Polsce w latach 1990 – 2010 na podstawie danych GUS [3], w miastach, na wsi oraz sumaryczne zużycie w gospodarstwach domowych (w miastach i na wsi). W zakresie sumarycznego zużycia wody w gospodarstwach można zauważyć tendencję malejącą, tak samo w przypadku gospodarstw domowych tylko w miastach. W przypad-

ku zużycia wody w gospodarstwach domowych na wsi można zaobserwować minimalną tendencję rosnącą, co może być związane między innymi z dużym przyrostem liczby przyłączy wodociągowych prowadzących do budynków mieszkalnych na wsi z 2297,3 tysiąca w 2000 roku do 3036,7 tysięcy w roku 2010, czyli o 32 %, podczas gdy w miastach nastąpił wzrost jedynie o 22% (bez uwzględniania liczby mieszkańców w budynkach) – na podstawie danych GUS[3].

Prawdopodobne jest, iż zużycie wody wysokiej jakości z sieci wodociągowej będzie nadal malało, co może w przyszłości skutkować wzrostem ryzyka wystąpienia zjawiska kontaminacji z uwagi na pogorszenie hydraulicznych warunków pracy systemu.



Rys.2. Zmiany zużycia wody z wodociągów w gospodarstwach domowych (w ciągu roku) w hm<sup>3</sup> w Polsce w latach 1990 – 2010; opracowanie własne według danych GUS [3]

Fig. 2. Changes in consumption of water from water – line systems in households (during the year) in hm<sup>3</sup> in Poland in the years 1990 – 2010, according to GUS data [3]

### 2.1.1. Wpływ „podatku od deszczu” na pobór wody z sieci wodociągowej

Opłaty za wody opadowe stosowane są w wielu miastach na świecie już od ubiegłego wieku. Od lat dziewięćdziesiątych XX wieku stosowane są w wielu miastach Ameryki Północnej [7]. Opłata za odprowadzanie wód deszczowych i roztopowych do kanalizacji, tzw. „podatek od deszczu”, jest stopniowo wprowadzana w kolejnych miastach Polski.

W połowie 2009 roku 14 % miejskich przedsiębiorstw wodociągowo – kanalizacyjnych wprowadziło już tego typu opłaty (ponad 70 miast) [8]. Należą do nich m.in.: [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]: Bielsko – Biała, Czarnków, Gniezno, Kielce, Kluczbork, Nysa, Opole, Ostrów Wielkopolski, Piła, Poznań, Prudnik, Tarnów, Wągrowiec.

Opłata ta pozornie nie wydaje się związana z możliwością wystąpienia bądź zwiększenia ryzyka wystąpienia zjawiska wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci i instalacji wodociągowej. Wprowadzenie jednak opłat za odprowadzanie wód opadowych do kanalizacji może przyczynić się do rozpowszechnienia alternatywnych sposobów zagospodarowania wód deszczowych, między innymi wykorzystania wód deszczowych do podlewania zieleni. Z kolei takie wykorzystanie przyczyni się do zmniejszenia poboru z sieci wodociągowej i zużycia wysokiej jakości wody. W Japonii, w Tokio wody deszczowe zbierane z krytej kopuły areny sportowej służą między innymi do spłukiwania toalet [17], a więc również zmniejszają pobór wysokiej jakości wody z systemu dystrybucji. Formy wykorzystania wód opadowych w gospodarstwach domowych zostały opisane w [18]. Poziom cen w większości taryf w Polsce jest jednak tak niski, iż najtańszym sposobem zagospodarowania wód opadowych jest odprowadzanie ich do kanalizacji [19]. Warunkiem koniecznym jednak, aby zmotywować społeczeństwo do wykorzystania wody deszczowej (a przez to zmniejszyć pobór wysokiej jakości wody wodociągowej) poprzez wprowadzenie tzw. „podatku od deszczu” jest wprowadzenie dostatecznie wysokich opłat wraz z równoczesnym systemem bonifikat za zagospodarowanie wód deszczowych. W krajach Ameryki Północnej wprowadzono taki system bonifikat dla mieszkańców, którzy zwiększają możliwości zagospodarowania wód opadowych w miejscu ich powstawania[7].

### **3. Wpływ materiałów przewodów wodociągowych na jakość wody**

Materiały używane do budowy systemu wodociągowego mogą mieć negatywny wpływ na jakość transportowanej wody [20]. Taki wpływ mogą również wykazywać materiały stosowane do rehabilitacji przewodów wodociągowych. Analizy przeglądowe dotychczasowych doniesień na temat wpływu materiału na rozwój biofilmu nie zawsze wykazują pełną zgodność pomiędzy wynikami uzyskanymi przez różne grupy badawcze [21, 22]. Przykładowo – wyniki badań jednego z zespołów badawczych [23] sugerują PE jako najodpowiedniejszy produkt (spośród badanych) do kontaktu z wodą, podczas gdy inna grupa badaczy [24 za 25] wskazuje PE (obok latexu) jak materiał, na którym biofilm powstaje najszybciej. Z tego względu konieczne są dalsze badania w tym zakresie obejmujące swoim zasięgiem badania większą grupę materiałów [22].

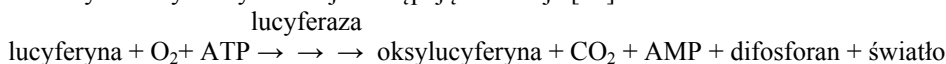
## 4. Metody oceny zmian mikrobiologicznej jakości wody w systemie dystrybucji

Istnieją różne sposoby oceny zmian jakości mikrobiologicznej wody w systemie dystrybucji oraz określania wpływu materiałów na powstawanie i rozwój biofilmu. Do oceny tej przydatne okazać się mogą następujące metody:

- pomiar inkorporacji leucyny [26]
- pomiar poziomu bioluminescencji (oznaczenie adenozynotrójfosforanu ATP)
- metody płytkowe HPC (heterotrophic plate counts)
- metody z wykorzystaniem mikroskopii skaningowej [27]
- pomiar impedancji z użyciem chipów (on – chip impedance measurements)[28].

Pomiar oparty o inkorporację aminokwasu leucyny umożliwia monitorowanie wzrostu bakterii w toni wodnej i w biofilmie dostarczając jednocześnie szczegółowe informacje na temat dynamiki wzrostu bakterii w systemie dystrybucji wody [26].

Metoda z wykorzystaniem adenozynotrójfosforanu jako wskaźnika obecności mikroorganizmów polega na pomiarze bioluminescencji. W reakcji między lucyferyną, lucyferazą i ATP dochodzi do emisji światła. Ilość fotonów mierzona jest w jednostkach RLU (Relative Light Unit) i jest proporcjonalna do ilości ATP [29 za 30]. Mechanizm działania enzymu lucyferazy obrazuje następująca reakcja [31]:



Oznaczenie ATP wykonuje się metodą bioluminescencyjną w czasie około 1 minuty [29].

W metodzie z zastosowaniem mikroskopii skaningowej porównuje się i obserwuje strukturę powstających biofilmów [27].

Badania prowadzone przez [28] wykazały, iż metoda polegająca na pomiarze impedancji z zastosowaniem specjalnych chipów stanowi tani i łatwy sposób na śledzenie powstawania biofilmu w przewodach wodociągowych.

## 5. Podsumowanie i wnioski

W artykule przeanalizowano przyczyny występowania zjawiska kontaminacji wody w systemie wodociągowym ze szczególnym uwzględnieniem zmian ilości poboru wody wodociągowej. Omówiono również wpływ materiałów na zmiany jakości wody w systemie dystrybucji, a także wybrane metody oceny zmian mikrobiologicznych jakości wody.

Tylko właściwe rozpoznanie przyczyn występowania zjawiska kontaminacji wody pozwoli na podjęcie odpowiednich działań zmierzających do eliminacji bądź ograniczenia możliwości występowania tego zjawiska oraz do minimalizacji jego skutków. Działania te powinny być podejmowane nie tylko na etapie projektowania, ale także eksploatacji i renowacji systemu.

## Bibliografia

- [1] Tatar M. "Wtórne zanieczyszczenia wody wodociągowej podczas jej dystrybucji w aspekcie pogorszenia fizykochemicznej jakości wody" GWiTS nr 6/2001, s. 201-205
- [2] 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 40 (2006) 2151 – 2160
- [3] Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej GUS 2000 – 2011
- [4] Stanisław A. "Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom I. Statystyki podstawowe" StatSoft Kraków 2006
- [5] Stanisław A. „Analiza korelacji. Podstawy statystyki dla prowadzących badania naukowe Odcinek 21: Analiza korelacji” Medycyna Praktyczna 2000/10
- [6] Stanisław A. "Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom II. Modele liniowe i nieliniowe" StatSoft Kraków 2006
- [7] Burszta – Adamiak E. „opłaty za wody opadowe – doświadczenia polskie i zagraniczne” – „Problemy zagospodarowania wód opadowych” praca zbiorowa pod redakcją Łomotowskiego J. I Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna z udziałem gości zagranicznych z cyklu „Modelowanie procesów hydrologicznych” 20 – 21 listopada 2008, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, Wrocław 2008
- [8] Kozmana M. „Wodociągi opodatkują deszcz”  
<http://www.rp.pl/arttykul/19420,329873.html>
- [9] [http://bip.city.poznan.pl/bip/public/bip/sprawy.html?co=opis&sp\\_id=101374](http://bip.city.poznan.pl/bip/public/bip/sprawy.html?co=opis&sp_id=101374)
- [10] <http://www.aqua.com.pl/default.asp?Page=Taryfy/Cenniki/BielskoBiala>
- [11] <http://www.bankier.pl/wiadomosc/Poznan-wprowadza-oplate-za-scieki-opadowe-1980412.html> Źródło PAP
- [12] <http://www.zdm.poznan.pl/news.php?site=view&id=834>
- [13] <http://zdm.poznan.pl/zkd/?page=/oplaty#zasady>
- [14] Konik Z. „Wprowadzenie opłaty za wody opadowe odprowadzane do kanalizacji deszczowej na terenie miasta Nysa przez Wodociągi i Kanalizację „AKWA” Sp. Z o.o. w Nysie” – „Problemy zagospodarowania wód opadowych” praca zbiorowa pod redakcją Łomotowskiego J. I Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna z udziałem gości zagranicznych z cyklu „Modelowanie procesów hydrologicznych” 20 – 21 listopada 2008, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, Wrocław 2008
- [15] TARYFY WODKAN Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. w Ostrowie Wielkopolskim – taryfa na 2010 rok

- [16] WODKAN Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. TARYFA – taryfa na 2008 rok i propozycja na 2009 rok
- [17] Geiger W., Dreiseitl H. „Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych” Projprzem-EKO Bydgoszcz 1999
- [18] Królikowska J., Królikowski A. „Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie” Wydawnictwo Seidel – Przywecki 2012
- [19] Bylka H., Skiba J. „Uwarunkowania prawne, ekonomiczne i organizacyjne związane z pobieraniem opłat za wody opadowe” GWiTS nr 1/2012
- [20] Garboś S., Świącicka D. “Możliwości identyfikacji i oznaczania wtórnych źródeł zanieczyszczenia w wyniku badania wyrobów i materiałów kontaktujących się z wodą przeznaczoną do spożycia przez ludzi” INSTAL nr 12/2005
- [21] Manuel C.M., Nunes O.C., Melo L.F. Dynamics of drinking water biofilm in flow/non-flow conditions”, *Water Research* 41 (2007) 551 – 562
- [22] Bąk J., Dąbrowski W. „Wpływ materiałów kontaktujących się z wodą wodociągową na rozwój mikroorganizmów w systemie zaopatrzenia w wodę” – maszynopis 2012
- [23] Szczotko M., Krogulska B., Krogulski A. Badania podatności materiałów kontaktujących się z wodą przeznaczoną do spożycia na powstawanie obrostów mikrobiologicznych” *Rocznik PZH*, 60, nr 2, 137 – 142
- [24] Rogers J., Dowsett A.B., Dennis P.J., Lee J.V., Keevil C.W. Influence of plumbing materials on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in potable water systems, *Applied Environmental Microbiology*, 60: 1842 – 1851, 1994
- [25] Rożej A., Kowalski D., Kowalska B. „Wpływ stagnacji na jakość mikrobiologiczną wody w instalacji pilotażowej wykonanej z tworzyw sztucznych (PVC, PE-HD, PEX) IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne - projektowanie, wykonanie, eksploatacja, Warszawa Dęba 2011, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, 53 -65
- [26] Boe-Hansen R., Albrechtsen H., Arvin E., Jørgensen C. „Bulk water phase and biofilm growth in drinking water at low nutrient conditions” *Water Research* 36 (2002) 4477–4486
- [27] 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 przeznaczoną do spożycia” IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne - projektowanie, wykonanie, eksploatacja, Warszawa Dęba 2011, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, 53 -65
- [28] Muñoz-Berbel X., Muñoz F.J., Vigués N., Mas J. On-chip impedance measurements to monitor biofilm formation in the drinking water distribution network *Sensors and Actuators B* 118 (2006) 129–134
- [29] Łomotowski J. Biofilmy w systemach wodociągowych XIX Krajowa, VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód Zakopane 2006, Wielkopolski Oddział PZITS



- [30] Schreppel C.K., Tangorra P.A., Eaton D.D., Stephan P., Donovan S.T. On – line real time monitoring – peace of mind? Preceeding UCOWR Annual Conference Water Security in the 21<sup>st</sup> Century, Washington D.C., 2003
- [31] McDowall J. Firefly luciferase. Molecule of the Month: Luciferase [http://www.ebi.ac.uk/interpro/potm/2006\\_6/Page2.htm](http://www.ebi.ac.uk/interpro/potm/2006_6/Page2.htm)

