

# Stagnacja w instalacjach wodociągowych jako czynnik degradacji jakości wody – przegląd zagadnienia

Stagnation in water supply systems as a factor in water quality degradation – an overview of the issue

KAROLINA HERCZYK<sup>1,2</sup>, ANNA GROBELAK<sup>1</sup>

DOI: 10.17512/INSTAL.2026.03.02

Stagnacja w wewnętrznych instalacjach wodociągowych jest jednym z kluczowych czynników negatywnie wpływających na jakość wody u odbiorców. W warunkach niskich przepływów oraz długiego czasu przebywania wody w instalacjach obserwuje się m.in. spadek poziomu środka dezynfekcyjnego, wzrost liczby mikroorganizmów oraz zmiany w strukturze mikrobiomu instalacji, a także zwiększone ryzyko uwalniania metali i pogorszenia cech organoleptycznych (tj. smaku i zapachu). W artykule przedstawiono mechanizmy degradacji jakości wody spowodowane stagnacją, typowe miejsca powstawania stref zastoju oraz rolę temperatury w kształtowaniu ryzyka mikrobiologicznego. W dalszej części omówiono współczesne uwarunkowania projektowe, przedstawiono przykładowy scenariusz degradacji jakości wody w nowym budynku oraz wskazano zakres odpowiedzialności projektanta i zarządcy obiektu. Podkreślono znaczenie podejścia opartego na ocenie ryzyka i programach zarządzania instalacją wodną. Słowa kluczowe: stagnacja, instalacja wodociągowa, jakość wody, biofilm, zarządzanie wodą w budynku

Stagnation in internal water systems is one of the key factors negatively affecting water quality for consumers. Under conditions of low flow and long residence time, a decrease in disinfectant levels, an increase in microorganism counts, and changes in the system's microbiome structure can be observed, along with an increased risk of metal release and deterioration of organoleptic properties (i.e., taste and odor). This article presents the mechanisms of water quality degradation caused by stagnation, typical locations of stagnant zones, and the role of temperature in shaping microbiological risk. The following section discusses contemporary design-related conditions, presents an example scenario of water quality degradation in a new building, and outlines the responsibilities of the designer and the facility manager. The importance of a risk-based approach and water system management programs is emphasized.

Keywords: stagnation, water system, water quality, biofilm, building water management

## Wprowadzenie

W praktyce eksploatacyjnej zjawisko stagnacji stanowi problem określany jako „pierwsza woda po nocy”. Tymczasem współczesne budynki, ze względu na oszczędność wody, armaturę o niskich przepływach, przewymiarowanie instalacji, dużą liczbę rzadko używanych punktów poboru oraz okresowe spadki użytkowania, coraz częściej tworzą warunki sprzyjające długiemu czasowi przebywania wody w przewodach i powstawaniu stref niskiego przepływu [1, 2]. Czas retencji (hydrauliczny czas przebywania wody) definiuje się jako średni czas, jaki dana objętość wody spędza w określonym ele-

mentem systemu, zbiorniku, odcinku rurociągu lub całej sieci, zanim zostanie wymieniona na świeżą. W kontekście sieci wodociągowych czas retencji opisuje tempo odnowy wody w systemie dystrybucji i jest bezpośrednio związany z pojęciem „wieku wody”. Im dłuższy czas retencji, tym większe ryzyko pogorszenia jakości wody w wyniku procesów fizykochemicznych i biologicznych zachodzących podczas jej transportu. W literaturze branżowej „Water Industry Database” (baza danych odnosząca się do przedsiębiorstw wodociągowych) operuje terminami takimi jak dopuszczalny czas retencji czy wiek wody w sieci. Na podstawie analiz danych z ponad 800 przedsiębiorstw wodociągo-

wych z całego świata rekomendowany dopuszczalny czas retencji wynosi około 40 godzin, a dopuszczalny „wiek wody” (czyli maksymalny czas pozostawiania w wodociągach) wynosi 72 godziny [32]. Problem ten szczególnie nasilił się po 2020 r., gdy w wielu budynkach odnotowano pogorszenie jakości wody po okresach ograniczonego użytkowania spowodowanego pandemią COVID-19 oraz konieczność wdrażania procedur przywracania bezpieczeństwa instalacji przed ponownym otwarciem [3-5]. Z perspektywy bezpieczeństwa zdrowotnego instalacja wewnętrzna może wpływać na jakość wody dostarczanej przez przedsiębiorstwo wodociągowe: woda, która spełnia wyma-

mgr inż. Karolina Herczyk<sup>1,2</sup> ORCID 0009-0004-4687-4413, dr hab. Anna Grobelak<sup>1</sup>, prof. PCz ORCID 0000-0003-1972-9734,

<sup>1</sup>Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, <sup>2</sup>Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego Spółka Akcyjna w Częstochowie, Autor korespondencyjny. e-mail: karolina.herczyk@pcz.pl

gania jakościowe na przyłączy, może w punkcie czerpalnym wykazywać podwyższone wskaźniki mikrobiologiczne lub nieakceptowalne cechy organoleptyczne, jeżeli w instalacji występują zastój, biofilm oraz niekorzystne warunki temperaturowe [2,6,7]. W artykule skupiono się na wpływie stagnacji na wodę w wewnętrznej instalacji wodociągowej oraz na konsekwencjach, jakie zjawisko to niesie dla projektowania i eksploatacji instalacji. Zgodnie z Dyrektywą (UE) 2020/2184 oraz krajowymi przepisami wykonawczymi jakość wody przeznaczonej do spożycia powinna być zapewniona w punkcie czerpalnym u odbiorcy. Oznacza to, że instalacja wewnętrzna staje się integralnym elementem systemu bezpieczeństwa wody [30,31].

Niniejsza praca ma charakter przeglądu; jej celem jest syntetyczne przedstawienie aktualnego stanu wiedzy dotyczącego wpływu stagnacji w instalacjach wodociągowych budynków na jakość wody oraz wynikających z tego konsekwencji projektowych i eksploatacyjnych.

## Czym jest stagnacja i dlaczego jest groźna?

Stagnacja najczęściej określana jest jako okresy bardzo niskiego przepływu lub jego braku w odcinkach instalacji, prowadzące do wydłużenia czasu przebywania cząsteczki wody w przewodach, armaturze i urządzeniach. Niski przepływ wody w instalacjach budynkowych oznacza warunki, w których natężenie i prędkość przepływu są zbyt małe lub zbyt rzadkie, aby zapewnić regularną wymianę wody w przewodach. W literaturze niski przepływ wody w sieciach i instalacjach, którego prędkość wynosi  $< 0,1$  m/s, wskazuje na warunki sprzyjające stagnacji [33], a prędkość  $< 0,01$  m/s oznacza skrajnie niską prędkość zarówno w analizach, jak i w modelowaniu [34]. Jej skutki nie wynikają z jednego zjawiska, lecz z nakładania się wielu procesów mikrobiologicznych i fizykochemicznych [1,2].

## Spadek zawartości środka dezynfekcyjnego

Woda stojąca w instalacji wodociągowej zużywa dostępny środek dezynfekcyjny, a im dłuższy jest czas przebywania i większa powierzchnia kontaktu z materiałami instalacyjnymi, tym szybciej następuje spadek jego stężenia [2,4]. Skutkiem jest większa podatność układu na rozwój mikroorganizmów. W praktyce oznacza to, że woda w punkcie czerpalnym może wykazywać znacznie gorszą stabilność

mikrobiologiczną niż woda w sieci dystrybucyjnej [3].

## Biofilm jako rezerwuuar zanieczyszczeń

Biofilm to warstwa mikroorganizmów otoczona substancjami ochronnymi, występująca na powierzchni rur. Zjawisko rozwoju biofilmu jest powszechne w instalacjach wodociągowych, zwłaszcza gdy w warunkach stagnacji maleje oddziaływanie sił ścinających [6,8,9]. Biofilm może okresowo uwalniać mikroorganizmy do wody (zjawisko odrywania), co przejawia się skokowym pogorszeniem jakości wody po otwarciu kranu, nawet jeśli część parametrów szybko wraca do normy po krótkim przepłukaniu [9,10].

## Zmiany mikrobiomu i OPPP

W ostatnich latach szczególną uwagę poświęca się tzw. oportunistycznym patogenom (Opportunistic Premise Plumbing Pathogens - OPPP), które są zdolne do rozwoju w warunkach panujących w wewnętrznych instalacjach budynków (tj. biofilm, temperatura, względna oporność na dezynfekcję). Należą do nich m.in. *Legionella* spp., *Pseudomonas aeruginosa* oraz prątki niegruźlicze [11-14]. Badania wskazują, że strefy stagnacji, martwe odcinki, końcówki pionów i rzadko używane punkty są miejscami szczególnie sprzyjającymi ich kolonizacji [13,15].

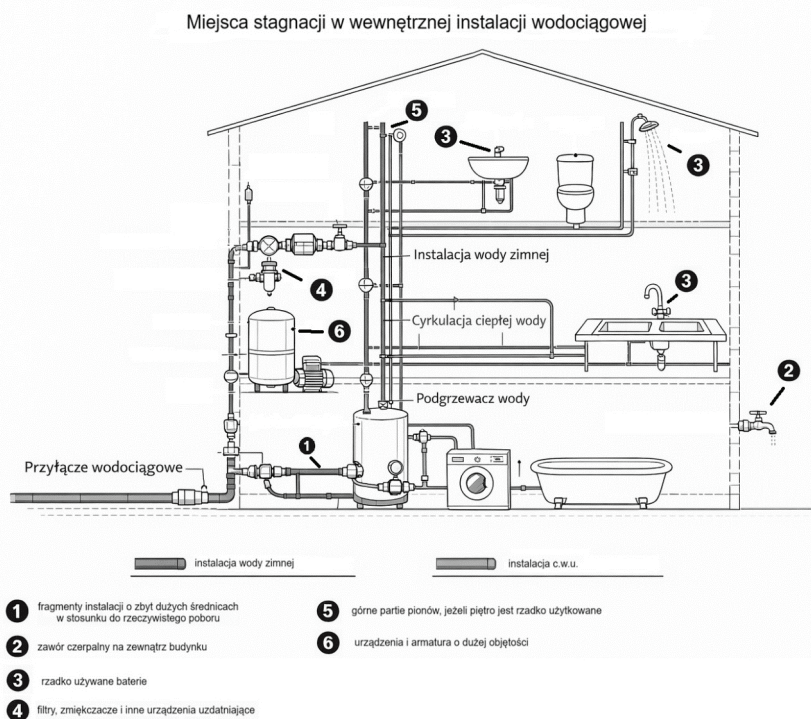
## Degradacja fizykochemiczna

Stagnacja zwiększa czas kontaktu cząsteczek wody z materiałami instalacyjnymi i armaturą. Może to prowadzić do wymywania pierwiastków, a tym samym do wzrostu stężenia metali ciężkich (np. ołowiu, niklu, miedzi), wzrostu mętności, zmiany barwy, pojawienia się zapachu czy metalicznego smaku. Zjawiska te najczęściej są pierwszym sygnałem problemu zauważanym przez użytkowników [4, 16].

## Gdzie powstaje stagnacja?

Stagnacja wynika z wielu różnych przyczyn, zwłaszcza związanych z charakterystyką projektową oraz eksploatacją instalacji [1,2]. Typowe miejsca stagnacji wody w wewnętrznych instalacjach wodociągowych przedstawiono na rysunku 1. Do najczęstszych przyczyn stagnacji wynikającej z rozwiązań projektowych należą ślepo zakończone odcinki sieci wodociągowej [13,15], przewymiarowanie średnic, a tym samym zbyt duże objętości wody w instalacji [2,17], czy brak możliwości skutecznego płukania końcówek instalacji [1].

Stagnacja eksploatacyjna wynika z rzeczywistego sposobu użytkowania obiektu. Występuje ona m.in. w budynkach sezonowych, takich jak hotele czy akademiki [3], gdzie okresy intensywnej eksploatacji przeplatają się z długimi przerwami w użytkowaniu. Charakterystyczna jest również dla biurów o zmiennym obło-



Rys. 1. Typowe miejsca powstawania stagnacji w instalacji wodociągowej budynku  
Fig. 1. Typical locations where stagnation occurs in a building's water supply system

zeniu, w których zapotrzebowanie na wodę zmienia się w czasie [5]. Do jej powstawania przyczyniają się także czasowe wyłączanie części budynku z użytkowania oraz stosowanie armatury ograniczającej przepływ, sprzyjającej krótkim i sporadycznym poborom wody [2]. Nowe budynki, które przez wiele tygodni lub miesięcy znajdują się w fazie wykończeniowej, również stanowią miejsca stagnacji, spowodowanej zastojem częściowo napełnionej instalacji i incydentalnymi poborami. W takich warunkach biofilm rozwija się, a jakość wody ulega pogorszeniu. Mimo nowej instalacji brak odpowiednich procedur rozruchowych sprzyja pojawieniu się problemu już na samym początku użytkowania [1, 4]. Wyniki badań potwierdziły, że stan techniczny instalacji wewnętrznych oraz rodzaj zastosowanych materiałów (np. tworzywa sztuczne, miedź) istotnie wpływają na liczebność bakterii (oznaczoną w 22 °C i 36 °C) oraz na występowanie określonych grup mikroorganizmów w wodzie użytkowej. Uzyskane zależności wskazują na konieczność systematycznego monitoringu instalacji i świadomego doboru materiałów konstrukcyjnych, co może stanowić podstawę rekomendacji projektowo-eksploatacyjnych ograniczających ryzyko mikrobiologicznego zanieczyszczenia wody u odbiorcy końcowego [18]. Badania potwierdzają, że stagnacja może sprzyjać przetrwaniu *Legionella* spp. (w tym *L. pneumophila*) w formie VBNC (żywe, ale niehodowalne; ang. Viable But Non-Culturable). Dodatkowo może to wzmacniać interakcje *Legionella* z wolno żyjącymi amebami oraz bakteriami heterotroficznymi. Wszystko to sprawia, że kontrola mikrobiologiczna wyłącznie za pomocą rutynowej dezynfekcji staje się trudniejsza. Dlatego tak istotne jest odpowiednie zarządzanie hydrauliką instalacji, obejmujące ograniczanie stagnacji, regularne płukanie, utrzymanie właściwego reżimu temperatury oraz skuteczną dezynfekcję [19].

## Rola temperatury

Stagnacja jest szczególnie niekorzystna, gdy instalacja pracuje w temperaturach sprzyjających wzrostowi mikroorganizmów. Podczas zastoju może dochodzić jednocześnie do wychładzania wody ciepłej, podgrzewania wody zimnej w szachtach i strefach technicznych czy spadku lub zaniku środka dezynfekcyjnego [4, 11]. Efektem jest rozwój bakterii w wewnętrznych instalacjach wodociągowych, zwłaszcza jeżeli przepływ wody jest bardzo niski lub nie występuje [12-14]. Z tego względu temperatura powinna być analizowana nie jako oddzielny czynnik, lecz jako jeden z aspektów wzajemnie na siebie oddziałujących,

obok hydrauliki oraz wieku wody. Znaczenie jednoczesnego oddziaływania temperatury, stagnacji i spadku stężenia dezynfektantu jako podstawowych czynników ryzyka zostało jednoznacznie potwierdzone w aktualnych wytycznych dotyczących zarządzania *Legionella* w budynkach [20, 21]. Temperatura wody jest jednym z najsilniejszych czynników determinujących tempo wzrostu mikroorganizmów, stabilność mikrobiologiczną wody oraz strukturę biofilmów w sieciach dystrybucji wody (DWDS) i instalacjach wewnętrznych (premise plumbing). Wzrost temperatury zwykle przyspiesza procesy metaboliczne, zwiększa szybkość kolonizacji powierzchni przewodów i sprzyja przesunięciom w składzie mikrobiomu, co może faworyzować wybrane grupy bakterii, w tym mikroorganizmy oportunistycznie patogenne. W badaniach pilotażowych nad dystrybucją wody wykazano, że podniesienie temperatury (np. 16 → 20 → 24 °C) istotnie wpływa zarówno na mikrobiom fazy wodnej, jak i biofilmowej, a efekt temperatury może zależeć również od pochodzenia wody (np. ujęcia powierzchniowego vs podziemnego) [22]. W praktyce temperatura oddziałuje nie tylko bezpośrednio na organizmy, lecz także pośrednio poprzez wpływ na szybkość zaniku środka dezynfekcyjnego (chloru/chloramin), jak również

poprzez zmiany warunków siedliskowych w rurociągach (czas retencji, stagnacja, uwalnianie substancji z materiałów, korozja). W przypadku systemów chloraminowanych problemem może być nityfikacja, której ryzyko zwiększa się w warunkach sprzyjających rozwojowi mikrobiologicznemu; nityfikacja prowadzi do pogorszenia jakości wody (m.in. spadku stężenia środka dezynfekcyjnego) oraz może wzmacniać rozwój biofilmu. Z punktu widzenia zdrowia publicznego szczególnie ważne są tzw. opportunistic premise plumbing pathogens (OPPPs), które są przystosowane do przetrwania i rozwoju w systemach wody użytkowej; ich obecność i namnażanie są silnie modulowane przez temperaturę oraz warunki eksploatacyjne (stagnację, przepływy, podgrzewanie) [23]. Wraz z rosnącą temperaturą powietrza i zauważalnym ocieplaniem wody w sieciach wodociągowych, szczególnie w okresach letnich i na obszarach zurbanizowanych, w ostatnich latach nasiliło się zainteresowanie wpływem tzw. warming na jakość mikrobiologiczną wody. Przeglądy literatury wskazują, że ocieplanie DWDS może zwiększać podatność systemu na zmiany jakościowe, w tym mikrobiologiczne, oraz nasilać interakcje pomiędzy temperaturą, czasem przebywania wody w sieci i stabilnością dezynfekcji, co z kolei wymaga adaptacji

Tabela 1. Taksony mikroorganizmów stwierdzone w wodzie pitnej (w systemach dystrybucji i instalacjach), których wykrycie/względna liczebność wzrosła lub była związana z wyższą temperaturą wody  
Table 1. Microorganism taxa found in drinking water (in distribution systems and installations) whose detection/relative abundance increased or was associated with higher water temperature

Warunki	Zmiana temperatury / stan	Taksony, które występują częściej lub są bardziej rozpowszechnione w wyższych temperaturach	Sposób identyfikacji	Literatura
Wpływ wzrostu temperatury na biofilm i jakość wody w systemach dystrybucji chlorowanej wody pitnej	16 °C → 24 °C	W biofilmach w temperaturze 24 °C zwiększyła się liczba bakterii rodzaju <i>Pseudomonas</i> , a w cieplejszych/przebieżowych warunkach wzrosła również liczebność bakterii <i>Sphingobium</i> , <i>Sphingomonas</i> i <i>Flavobacterium</i>	Sekwencjonowanie amplikonu 16S rRNA (biofilm i woda zbiorcza)	[25]
Jak wyżej	16 °C → 24 °C	Zwiększona liczebność <i>Flavobacterium</i> , <i>Sphingobium</i> ; taksonów grzybów; <i>Fusarium</i> , <i>Cladosporium</i>	Profilowanie mikroorganizmów 16S/ITS + obserwacje operacyjne	[26]
Jak wyżej	Wzrost temperatury (24 °C vs 16 °C)	Większa względna liczebność <i>Mycobacterium</i> spp. i kompleksu <i>Mycobacterium avium</i> w wyższej temperaturze	qPCR + sekwencjonowanie	[25]
Wzrost temperatury	„ciepła” i „chłodna” woda (np. ~22 °C vs ~32 °C; wzrost o 10 °C)	<i>Mycobacteriaceae</i> częściej występują w wyższych temperaturach; <i>Legionellaceae</i> preferencyjnie występują w cieplejszych wodach (na poziomie rodziny); <i>Pseudomonadaceae</i> wykazywały zależną od temperatury częstotliwość wykrywania	Profilowanie mikroorganizmów 16S + sekwencjonowanie	[27]
wzrost temperatury	(15–30 °C) w biofilmach	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> → rośnie nawet od ~15 °C, <i>Mycobacterium kansasii</i> → aktywny wzrost powyżej ~20 °C, <i>Aspergillus fumigatus</i> → wzrost powyżej ~25 °C	hodowle biofilmów w modelowym systemie + pomiary biomasy/ATP (adenozynotriofosforan)	[28]
Zakres temperatur sprzyjający wzrostowi <i>Legionella</i>	(20 °C → 45 °C)	<i>Legionella</i> spp. (szczególnie <i>L. pneumophila</i> ) - wyższa częstość wykrywania i liczebność w cieplej wodzie (25-45 °C), ze szczytem obecności ok. 35-40 °C.	Posiewy płytkowe i qPCR	[29]

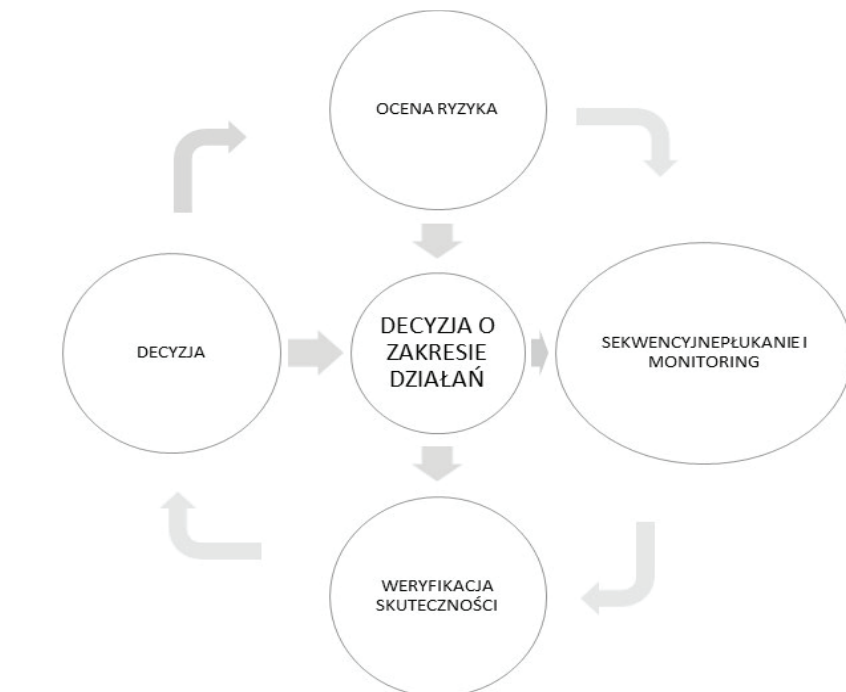
strategii zarządzania (monitoringu temperatury, kontroli retencji i stagnacji, płukania oraz doboru reżimu dezynfekcji) [24]. Aby zilustrować, jak zmiana temperatury wody wpływa na skład mikrobiologiczny instalacji wodociągowych, w tabeli 1 wymieniono gatunki i grupy mikroorganizmów, których obecność lub liczebność odnotowano w badaniach przy zmianie temperatury w instalacjach. Zestawienie to pokazuje, że wraz ze wzrostem temperatury wody pojawiają się nowe gatunki mikroorganizmów oportunistycznych, mające kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody pitnej.

### Stagnacja w kontekście współczesnych trendów projektowych

W ostatnich latach obserwuje się istotną zmianę filozofii projektowania instalacji wodociągowych. Dążenie do ograniczenia zużycia wody, stosowanie armatury o bardzo niskich przepływach oraz rosnąca liczba punktów poboru w budynkach mieszkalnych i usługowych powodują, że klasyczne założenia obliczeniowe coraz częściej rozmiągają się z rzeczywistym profilem użytkowania [1,2]. Instalacja może być poprawna hydraulicznie w świetle obowiązujących norm, a jednocześnie niekorzystna z punktu widzenia mikrobiologicznego. Projektowanie oparte wyłącznie na maksymalnych przepływach obliczeniowych sprzyja przewymiarowaniu średnic i zwiększeniu objętości wody w przewodach, co prowadzi do wzrostu „wieku wody” (water age) w instalacji [2]. Jednocześnie rzeczywiste pobory są małe i sporadyczne, co nie zapewnia skutecznej wymiany wody w odległych odcinkach. W literaturze po 2020 r. coraz częściej pojawia się postulat uwzględniania „water age” jako parametru projektowego, zwłaszcza w dużych i złożonych obiektach [2,6]. Oznacza to konieczność krytycznego podejścia do schematów rozgałęzień, długości podejść oraz liczby rzadko używanych punktów poboru. Dlatego podejście oparte na ocenie ryzyka i programie zarządzania wodą jest rekomendowane przez instytucje zdrowia publicznego [14,16].

### Odpowiedzialność za jakość wody w instalacji budynku

Granica odpowiedzialności przedsiębiorstwa wodociągowego zwykle kończy się na przyłtaczcu, tj. na wodomierzu. Od tego momentu instalacja wewnętrzna staje się odrębnym środowiskiem hydraulicznym i mikrobiologicznym, którego jakość zależy od rozwiązań projektowych oraz sposobu eksploatacji [2,5]. Oznacza



Rys. 2. Procedura postępowania po okresie niskiego użytkowania systemu wodociągowego wg EPA i CDC  
Fig. 2. Procedure to follow after a period of low water system usage according to the EPA and CDC.

to, że nawet woda o prawidłowych parametrach na granicy nieruchomości może ulec istotnej degradacji w obrębie budynku, jeżeli instalacja sprzyja stagnacji i nie jest właściwie zarządzana. W tym kontekście rola poszczególnych uczestników procesu jest wyraźnie rozdzielona. Projektant kształtuje potencjalne ryzyko poprzez geometrię instalacji, dobór średnic, liczbę rozgałęzień oraz zapewnienie możliwości płukania i serwisowania. Zarządca obiektu odpowiada natomiast za utrzymanie warunków eksploatacyjnych, w tym za regularność użytkowania, wdrażanie procedur po okresach przestoju oraz prowadzenie podstawowego monitoringu parametrów wody. Jakość wody w punkcie czerpalnym jest zatem wypadkową decyzji projektowych i codziennej praktyki eksploatacyjnej. Instytucje zdrowia publicznego, w tym CDC (Centers for Disease Control and Prevention) i EPA (Environmental Protection Agency), wskazują na konieczność wdrażania programów zarządzania instalacją wodociągową, szczególnie w obiektach wrażliwych, takich jak placówki ochrony zdrowia [5,11,15]. Propozycję procedury postępowania przedstawiono na rys. 2. Program taki obejmuje identyfikację punktów krytycznych w instalacji, określenie parametrów kontrolnych (np. temperatury, poziomu środka dezynfekcyjnego), zdefiniowanie działań korygujących oraz dokumentowanie skuteczności podjętych działań. W praktyce stanowi on ramy organizacyjne pozwalające na systemowe zarządza-

nie ryzykiem związanym z wodą w budynku. Stagnacja powinna być traktowana jako ryzyko systemowe, wymagające współpracy projektanta i zarządcy. Brak świadomości tego faktu prowadzi do sytuacji, w której jakość wody w budynku staje się zmienna i nieprzewidywalna, mimo prawidłowej jakości wody dostarczanej z sieci. Konsekwencją jest konieczność reagowania dopiero na objawy problemu, zamiast jego prewencyjnego ograniczania poprzez właściwe projektowanie i zarządzanie instalacją.

### Wnioski

Stagnacja jest jednym z kluczowych, a zarazem najmniej widocznych czynników pogarszających jakość wody w instalacjach budynków. Prowadzi do wzrostu „wieku wody”, spadku stężenia środka dezynfekcyjnego, a tym samym do rozwoju biofilmu i kolonizacji przez oportunistyczne patogeny zagrażające zdrowiu. Jej skutki obejmują zarówno pogorszenie cech organoleptycznych, jak i wzrost ryzyka zdrowotnego. Ograniczenie stagnacji wymaga podejścia zintegrowanego, obejmującego eliminację stref zastojów już na etapie projektu, uwzględnianie rzeczywistych poborów wody, zapewnienie możliwości płukania i monitoringu oraz wdrożenie programów zarządzania instalacją wodną. Instalacja wodociągowa powinna być traktowana nie tylko jako układ hydrauliczny, lecz również jako środowisko biologiczne, którego parametry można

i należy kształtować. Tylko takie podejście pozwala na utrzymanie stabilnej jakości wody w punkcie czerpalnym.

## Podziękowanie

Badania te zostały sfinansowane w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy” Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Rzeczypospolitej Polskiej, nr projektu DWD/8/0365/2024 z dnia 17 stycznia 2025 r. Badania zostały również sfinansowane ze środków dotacji statutowej Wydziału Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej.

## Bibliografia

- [1] American Water Works Association, & International Association of Plumbing and Mechanical Officials. (2020). Responding to water stagnation in buildings with reduced or no water use: A framework for building managers. <https://www.awwa.org/wp-content/uploads/responding-to-water-stagnation-in-buildings.pdf>
- [2] Proctor, C. R., Rhoads, W. J., Keane, T., Salehi, M., Hamilton, K., Pieper, K. J., Cwiertny, D. M., Prévost, M., & Whelton, A. J. (2020). Considerations for large building water quality after extended stagnation. *AWWA Water Science*, 2(4), e1186. <https://doi.org/10.1002/aws2.1186>
- [3] Ra, K., Parks, J., Proctor, C. R., Rhoads, W. J., & Edwards, M. A. (2024). Four buildings and a flush: Lessons from degraded water quality and recommendations on building water management. *Environmental Science and Ecotechnology*, 18, 100314. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2024.100314>
- [4] U.S. Environmental Protection Agency. (2020). Maintaining or restoring water quality in buildings with low or no use. Retrieved January 2026, from [https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-05/documents/final\\_maintaining\\_building\\_water\\_quality\\_5.6.20-v2.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-05/documents/final_maintaining_building_water_quality_5.6.20-v2.pdf)
- [5] Centers for Disease Control and Prevention. (2024, March 15). Overview of water management programs. <https://www.cdc.gov/control-legionella/php/wmp/index.html>
- [6] Angerl, D. M., Ley, C., Ra, K., Noh, Y., Zaykina, N., Montagnino, E., Wei, R., Whelton, A. J., & Proctor, C. R. (2023). Water quality during extended stagnation and flushing in a college residential hall. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 9(12), 3484–3496. <https://doi.org/10.1039/D3EW00038A>
- [7] World Health Organization. (2023). Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers (2nd ed.). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240067691>
- [8] Matuszewska, R., & Guśpiel, A. (2024). Biofilm w wewnętrznych systemach wodociagowych – zagrożenia mikrobiologiczne i wpływ na jakość wody. *Instal*, 464(7–8), 38–43. <https://doi.org/10.36119/15.2024.7-8.5>
- [9] Huang, C. K., Weerasekara, A., Lu, J., Carter, R., Weynberg, K. D., Thomson, R., Bell, S., & Guo, J. (2023). Extended water stagnation in buildings during the COVID-19 pandemic increases the risks posed by opportunistic pathogens. *Water Research X*, 21, 100201. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100201>
- [10] Greenwald, H. G., Kennedy, L. C., Ehde, A. E., Duan, Y., Olivares, C. I., Kantor, R., & Nelson, K. L. (2022). Is flushing necessary during building closures? A study of water quality and bacterial communities during extended reductions in building occupancy. *Frontiers in Water*, 4, 958523. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.958523>
- [11] Centers for Disease Control and Prevention. (2024, February 6). Reopening buildings: Building water system guidance. <https://www.cdc.gov/control-legionella/php/guidance/building-water-system.html>
- [12] Gasperi, J., Le Roux, J., Deshayes, S., Ayrault, S., Bordier, L., Boudahmane, L., Budzinski, H., Caupos, E., Caubrière, N., Flanagan, K., Guillon, M., Huynh, N., Labadie, P., Meffray, L., Neveu, P., Partibane, C., Paupardin, J., Saad, M., Varne, L., & Gromaire, M.-C. (2022). Micropollutants in urban runoff from traffic areas: Target and non-target screening on four contrasted sites. *Water*, 14(3), 394. <https://doi.org/10.3390/w14030394>
- [13] Nisar, M. A., Ross, K. E., Brown, M. H., Bentham, R., & Whiley, H. (2020). Water stagnation and flow obstruction reduces the quality of potable water and increases the risk of legionellosis. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 611611. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.611611>
- [14] Rhoads, W. J., Sindelar, M., Margot, C., Graf, N., & Hammes, F. (2022). Variable Legionella response to building occupancy patterns and precautionary flushing. *Microorganisms*, 10(3), 555. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030555>
- [15] Scanlon, M. M., Gordon, J. L., & Reynolds, K. A. (2023). Building water quality commissioning in healthcare settings: Reducing Legionella and water contaminants utilizing a construction scheduling method. *Buildings*, 13(10), 2533. <https://doi.org/10.3390/buildings13102533>
- [16] Australian Building Codes Board. (2021). Lead in plumbing products in contact with drinking water: Final regulation impact statement. <https://www.abcb.gov.au/sites/default/files/resources/2022/Lead-in-plumbing-products-final-RIS-20210517.pdf>
- [17] Saetta, D., Richard, R., Leyva, C., Westerhoff, P., & Boyer, T. H. (2021). Data-mining methods predict chlorine residuals in premise plumbing using low-cost sensors. *AWWA Water Science*, 3(1), e1214. <https://doi.org/10.1002/aws2.1214>
- [18] Czerwińska, K., Kuliński, E., & Grobelak, A. (2025). Preliminary microbiological screening of internal water supply installations considering the material structure of pipelines. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 19(11), 452–465. <https://doi.org/10.12913/22998624/208928>
- [19] Nisar, M. A., Ross, K. E., Brown, M. H., Bentham, R., & Whiley, H. (2023). Stagnation arising through intermittent usage is associated with increased viable but nonculturable Legionella and amoeba hosts in a hospital water system. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13, 1190631. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1190631>
- [20] Committee on Management of Legionella in Water Systems, Board on Population Health and Public Health Practice, Health and Medicine Division, & National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). Management of Legionella in water systems. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25474>
- [21] European Centre for Disease Prevention and Control. (2022). Legionnaires' disease: Prevention and control in buildings. Retrieved January 13, 2026, from <https://www.ecdc.europa.eu/en/legionnaires-disease>
- [22] Waegenaar, F., Pluym, T., Coene, L., Schellhout, J., García-Timmermans, C., De Gussem, B., & Boon, N. (2024). Impact of temperature and water source on drinking water microbiome during distribution in a pilot-scale study. *npj Clean Water*, 7(1), 76. <https://doi.org/10.1038/s41545-024-00371-0>
- [23] Hayward, C., Ross, K. E., Brown, M. H., Bentham, R., & Whiley, H. (2022). The presence of opportunistic premise plumbing pathogens in residential buildings: A literature review. *Water*, 14(7), 1129. <https://doi.org/10.3390/w14071129>
- [24] Machnik-Słomka, J., Pawłowska, E., Kłosok-Bazan, I., & Gońo, M. (2024). Evaluation of the energy management system in water and wastewater utilities in the context of sustainable development—A case study. *Energies*, 17(19), 5014. <https://doi.org/10.3390/en17195014>
- [25] Calero Preciado, C., Boxall, J., Soria-Carrasco, V., Martínez, S., & Douterelo, I. (2021). Implications of climate change: How does increased water temperature influence biofilm and water quality of chlorinated drinking water distribution systems? *Frontiers in Microbiology*, 12, 658927. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.658927>
- [26] Calero Preciado, C., Soria-Carrasco, V., Boxall, J., & Douterelo, I. (2022). Climate change and management of biofilms within drinking water distribution systems. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 962514. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.962514>
- [27] Aloraini, S., Alum, A., & Abbaszadegan, M. (2023). Impact of pipe material and temperature on drinking water microbiome and prevalence of Legionella, Mycobacterium, and Pseudomonas species. *Microorganisms*, 11(2), 352. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020352>
- [28] van der Wielen, P. W. J. J., Dignum, M., Donocik, A., & Prest, E. I. (2023). Influence of temperature on growth of four different opportunistic pathogens in drinking water biofilms. *Microorganisms*, 11(6), 1574. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061574>
- [29] Almonacid Garrido, M. C., Villanueva-Suárez, M. J., Montes Martín, M. J., García-Alonso, A., & Tenorio Sanz, M. D. (2024). Prevalence and distribution of Legionella in municipal drinking water supply systems in Madrid (Spain) and risk factors associated. *Science of the Total Environment*, 954, 176655. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176655>
- [30] European Parliament, & Council of the European Union. (2020, December 16). Directive (EU) 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption (recast). Official Journal of the European Union, L 435, 1–62. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj/eng>
- [31] Minister Zdrowia. (2017, December 7). Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294). <https://www.dziennikustaw.gov.pl/du/2017/2294>
- [32] Mrowiec, M., Herczyk, T., & Kuliński, E. (2016). Analiza zmienności parametrów jakościowych wody pitnej w układzie dystrybucji. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 19(1), 27–35.
- [33] Kępa, U., & Stańczyk-Mazanek, E. (2014). A hydraulic model as a useful tool in the operation of a water-pipe network. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(3), 995–1001.
- [34] Axworthy, D. H., & Karney, B. W. (1996). Modeling low velocity/high dispersion flow in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(3), 218–222. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1996\)122:3\(218\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1996)122:3(218))