

# Wpływ zmiany warunków temperaturowych na wzrost mikroorganizmów w wodzie do picia – studium przypadku

The effect of changing temperature conditions on the microorganism growth in drinking water – a case study

MICHAŁ STOJAK, IWONA KŁOSOK-BAZAN

DOI 10.36119/15.2025.3.5

Zmiany klimatyczne wpływają na ekologię drobnoustrojów zarówno w układach uzdatniania wody jak i systemach jej dystrybucji. Wraz ze wzrostem temperatury i coraz bardziej ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi, warunki w sieci wodociągowej zmieniają się, stwarzając lepsze możliwości do wzrostu i namnażania się drobnoustrojów. W zaprezentowanej pracy postawiono hipotezę, że zmiany klimatyczne, skutkujące wzrostem temperatury wody w systemie zaopatrzenia w wodę (SZW) aglomeracji Opole, mają bezpośredni wpływ na jakość wody do picia, poprzez zwiększenie liczebności bakterii heterotroficznych. Wyniki analizy laboratoryjnej potwierdzają, że w próbkach wody o temperaturze nie przekraczającej 15°C liczba bakterii heterotroficznych, nie przekraczała 50 jednostek tworzących kolonie (jtk) na 1 mililitr, niezależnie od wieku wody. Natomiast w próbkach wody o temperaturze powyżej 15°C zaobserwowano istotny wzrost liczebności tych mikroorganizmów, nierzadko przekraczający 100 jtk/1ml, w szczególności w miejscach, gdzie wiek wody przekraczał 40 h. Pomimo, że zaobserwowane wartości nie przekraczają norm bezpieczeństwa sanitarnego i nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia konsumentów, wyniki wskazują na wyraźną korelację między temperaturą wody, a wzrostem liczebności bakterii heterotroficznych. Opisana sytuacja podkreśla konieczność bieżącego monitorowania jakości wody i dostosowywania strategii dezynfekcji do zmieniających się warunków środowiskowych.

*Słowa kluczowe: jakość mikrobiologiczna wody, zmiany klimatu, system zaopatrzenia w wodę, ogólna liczba mikroorganizmów*

Climate change affects the ecology of microorganisms in both water treatment systems and distribution systems. With rising temperatures and increasingly extreme weather events, conditions in the water supply network are changing, creating better opportunities for the growth and multiplication of microorganisms. The presented study hypothesizes that climate change contributes to an increase in water temperature in the water supply network of the Opole agglomeration, which in turn affects the quality parameters of water by increasing the number of heterotrophic bacteria. In the vast majority of water samples with a temperature of up to 15°C, laboratory analysis showed the presence of these microorganisms, with a maximum value of 50 CFU/1ml. However, in the case of water samples with a temperature above 15°C, a situation in which the number of microorganisms increased above 100 CFU/1ml was identified much more frequently. The recorded values do not pose a health risk to consumers, but they indicate a certain trend that allows us to assume the correctness of the adopted hypothesis. Such a situation requires verification of water disinfection methods in each case.

*Keywords: microbiological quality of water, climate change, water supply system, total microbial count*

## Wstęp

Zmiany klimatyczne mogą wpływać na ekologię drobnoustrojów, zarówno w układach uzdatniania wody jak i w systemach jej dystrybucji. System zaopatrzenia w wodę, obejmuje zasoby wodne i ujęcia, infrastrukturę przesyłową, stacje uzdatnia-

nia, zbiorniki magazynowe i systemy dystrybucji. Każdy z tych elementów może mieć istotny wpływ na jakość wody docierającej do konsumentów. Zagwarantowanie właściwej jakości wody do spożycia wymaga monitorowania parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych uzdatnionej wody, ale także odpowiednie

go zarządzania całym systemem zaopatrzenia w wodę. Wraz ze wzrostem temperatury i coraz bardziej ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi, warunki w sieci wodociągowej zmieniają się, stwarzając lepsze możliwości do wzrostu i namnażania się drobnoustrojów [1]. Wzrost temperatury wody, spowodowany wysoką temperaturą

mgr inż. Michał Stojak <https://orcid.org/0009-0002-9235-4983> – WiK Opole Sp. z o.o., Opole. Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej, Opole

dr hab. inż. Iwona Kłosok-Bazan <https://orcid.org/0000-0003-1075-0174> – Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej, Opole.

Adres do korespondencji/ Corresponding author: I.Klosok-Bazan@po.edu.pl

nad powierzchnią gruntu, może generować wzrost niektórych drobnoustrojów w wodzie. Wyższa temperatura wody w sieci wodociągowej, szczególnie w okresie letnim, w porównaniu do warunków panujących przez znaczącą część roku, może przyspieszać tempo metabolizmu mikroorganizmów, prowadząc do ich szybszego wzrostu i namnażania. Dlatego pomiar ogólnej liczby mikroorganizmów jest niezbędny do kompleksowej oceny jakości wody [2]. Parametr ten jest niezwykle użyteczny w ocenie stanu sanitarnego systemu zaopatrzenia w wodę. Co bardzo istotne, pozwala on wykryć warunki sprzyjające rozwojowi mikroorganizmów, m.in. takie, jak: dłuższe okresy stagnacji wody w przewodach, obecność tzw. odcinków martwych, czyli miejsc, gdzie woda nie przepływa, a także podwyższone stężenie substancji odżywczych, które mogą służyć jako pożywka dla bakterii [3]. Ponadto, wskaźnik ten pozwala na wykrycie obecności biofilmu – śluzowatej warstwy złożonej z mikroorganizmów i substancji organicznych, która może tworzyć się na wewnętrznych powierzchniach rur [4]. Ze względu na swoje ograniczenia jako globalnego i unikalnego wskaźnika jakości wody, pomiar ten powinien być stosowany jako część wieloparametrowego podejścia do analizy wzrostu drobnoustrojów w sieciach dystrybucyjnych [5]. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) nie ustala bezpośrednich, sztywnych norm dotyczących maksymalnej liczby bakterii heterotroficznych w wodzie do picia [6]. Niemniej jednak, zaleca regularne monitorowanie jakości mikrobiologicznej wody, w tym oznaczanie liczby bakterii heterotroficznych oraz przeprowadzanie oceny ryzyka dla zdrowia publicznego. Jednocześnie zaleca uzupełnianie wskazanych powyżej badań monitoringowych o inne parametry mikrobiologiczne i fizykochemiczne wody, które w istotny sposób mogą wpływać na jej bezpieczeństwo. Jeżeli chodzi o wymagania krajowe, to Rozporządzenie Ministra Zdrowia dotyczące jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [7], nie określa konkretnej, maksymalnej dopuszczalnej liczby bakterii heterotroficznych oznaczanych w temperaturze 22°C. Zamiast tego, dla niniejszego parametru podano jedynie ogólny wymóg: „bez nieprawidłowych zmian” oraz zalecenie nie przekraczania 100 jtk /1 ml w wodzie wprowadzanej do sieci wodociągowej i 200 jtk /1 ml w kranie konsumenta. Oznacza to, że wyniki badań mikrobiologicznych powinny wykazywać stabilność w czasie. Nagły wzrost liczby bakterii heterotroficznych może świadczyć o pogorszeniu jakości

wody i wymagać dalszych badań oraz podjęcia odpowiednich działań. Chociaż dane dotyczące jakości wody do picia w Polsce są gromadzone przez Państwową Inspekcję Sanitarną oraz Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji, uzyskanie kompleksowego i spójnego obrazu występowania bakterii heterotroficznych z ostatnich lat wymaga indywidualnego podejścia, a prezentowany w niniejszym artykule materiał jest interesującym studium przypadku.

## Metodyka badań

W przeprowadzonych badaniach poddano analizie statystycznej dane archiwalne od 2017 do 2023 roku dotyczące wyników badań ogólnej liczby mikroorganizmów w temperaturze 22°C w czasie 72 godzin inkubacji wg PN-EN ISO 6222:2004, w wyselekcjonowanych punktach pomiarowych. Uwzględniono również wyniki badań wybranych parametrów fizyko-chemicznych oraz innych parametrów mikrobiologicznych.

Tabela 1. Zestawienie i opis analizowanych punktów

Ulica	Źródło wody	Wiek wody [h]	Materiał i średnica rury
Popiełuszki	Grotowice	50	żeliwo 150 mm
Wyszomirskiego	Grotowice	40	PCW 90 mm
Szarych Szeregów	Zawada	10	żeliwo 150 mm
Oleska	Zawada/Grotowice	40	PE110 mm
Targowa	Zawada/Grotowice	30	PE160 mm
Partyzancka /Wrocławska	Grotowice	50	PE 160 mm
Budowlanych	Zawada/Grotowice (przewaga Zawady)	40	PCW 160 mm
Lipowa	Zawada	10	PE 160 mm

## Opis obiektu badawczego

Aglomeracja Opole, będąca jednym z ważniejszych ośrodków miejskich województwa opolskiego, korzysta z nowoczesnego systemu zaopatrzenia w wodę, który bazuje głównie na zasobach wód podziemnych. System składa się z dwóch ujęć wody oraz sieci wodociągowej obejmującej zarówno przewody magistrali przesyłowej, jak i sieci rozdzielcze, a długość przewodów wynosi ponad 400 km.

Pierwsze ujęcie „Zawada” eksploatuje wodę z poziomów czwartorzędowych, która charakteryzuje się podwyższoną zawartością żelaza oraz manganu współwystępujących ze związkami organicznymi. Skład wody wymusza stosowanie procesów uzdatniania obejmujących takie procesy jednostkowe jak: napowietrzanie, koagulację, filtrację i dezynfekcję z wykorzystaniem podchlorynu sodu. Stosowane procesy pozwalają na uzyskanie wody o jakości zgodnej z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [7].

Drugie ujęcie „Grotowice” zlokalizowane w rejonie opolskiego osiedla Grotowice, czerpie wodę z Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 333 (GZWP 333). Jest to zbiornik w utworach wapienia muszlowego, który gromadzi wodę w ośrodku szczelinowo-krasowym. Ujmowana woda posiada jakość zgodną z wymaganiami określonymi w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia [7], zatem woda nie wymaga uzdatniania, niemniej jednak wodę charakteryzuje wysoka twardość sięgająca w skrajnych przypadkach nawet 438 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>.

Woda z ujęcia Zawada i Grotowice, kierowana jest do sieci wodociągowej zasilając poszczególne dzielnice miasta. Punkty poboru wody, dla których przeprowadzono analizę, opisano w tabeli 1. Przeanalizowano zarówno punkty zasilane z ujęcia Zawada jak i te zasilane z ujęcia Grotowice. Do analiz wytypowano także punkty, w których dochodzi do wymieszania się wody z obu ujęć. Istotnym kryterium doboru punktów do analizy była

wartość wieku wody, określona na podstawie symulacji hydraulicznych i jakościowych przeprowadzonych przy użyciu oprogramowania EPANET.

## Omówienie wyników badań

Analiza parametrów fizykochemicznych wody włączanej do sieci z ujęć Zawada i Grotowice wykazała istotne różnice w jej jakości. Zróżnicowanie to wynika przede wszystkim z odmiennych warunków hydrogeologicznych oraz specyfiki naturalnych właściwości eksploatowanych wód podziemnych, a w przypadku ujęcia Zawada dodatkowo z wpływu procesów uzdatniania. Wyniki badań jakości wody włączanej do sieci wodociągowej z ujęć Zawada i Grotowice zaprezentowano w tabeli 2.

Wartość pH wody z ujęcia Zawada wynosi średnio 8,4 i charakteryzuje się zakresem od 8,0 do 8,5, w przypadku Grotowic pH wynosi średnio 7,4, z zakresem 7,2–7,6. Utrzymanie odczynu wody

Tabela 2. Najważniejsze parametry fizykochemiczne wody włączanej z ujęć Zawada i Grotowice

Parameter	Jednostka	Ujęcie Zawada					Ujęcia Grotowice					Wartość określona w RMZ
		X	Me	Min	Max	S <sup>2</sup>	X	Me	Min	Max	S <sup>2</sup>	
pH	[-]	8,4	8,4	8,0	8,5	0,10	7,4	7,4	7,2	7,6	0,07	6,5 – 9,5
Twardość	mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	169	164	121	240	22,2	384	377	352	438	21,8	60 – 500
Barwa	mg Pt/dm <sup>3</sup>	5,25	5	5	6	0,5	0	0	0	0	0	15
Mętność	NTU	0,23	0,12	0,10	0,72	0,23	0,14	0,12	0,02	0,76	0,13	1,0
Siarczany	mg SO <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup>	71,6	75	45	100	11,8	100,5	100	70	125	12,6	250
Azotany	mg /dm <sup>3</sup>	< 1,6	0	0	0	0	30,6	31	22,2	42,7	3,8	50
Utlenialność	mg C/dm <sup>3</sup>	2,08	2,1	0,62	3,3	0,59	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	5,0
Żelazo	mg Fe/dm <sup>3</sup>	0,04	0,04	0,01	0,1	0,02	<0,04	0	0	0	0	0,2
Mangan	µg Mn/dm <sup>3</sup>	< 25	0	0	0	0	<25	0	0	0	0	50
Chlor wolny	mg Cl <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	0,04	0,03	0,02	0,13	0,03	0,07	0,07	0,02	0,17	0,03	0,3

w zakresie 6,5–8,0, zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) jest kluczowe, wspiera on bowiem efektywność dezynfekcji, ogranicza korozję rur, co minimalizuje możliwość wzrostu biofilmów [13]. Jeżeli chodzi o twardość to dla wody z Zawady wynosi ona średnio 169 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> (woda średnio twarda), natomiast woda z Grotowic jest wodą twardą (średnia 384 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>). Należy w tym miejscu podkreślić, że jony wapnia mogą stabilizować strukturę biofilmów poprzez wiązanie polimerów zewnątrzkomórkowych produkowanych przez bakterie, co zwiększa odporność biofilmów na dezynfekcję [14]. Mętność wody z Zawady osiąga średnio 0,23 NTU, przy maksymalnej wartości 0,72 NTU, natomiast w Grotowicach średnia wartość wynosi 0,14 NTU, z maksimum na poziomie 0,76 NTU. Stężenie siarczanów wynosi odpowiednio 71,6 mg/dm<sup>3</sup> oraz 100,5 mg/dm<sup>3</sup> – obie wartości są znacznie poniżej dopuszczalnego poziomu wynoszącego 250 mg/dm<sup>3</sup>, co świadczy o dobrej jakości chemicznej wody w tym zakresie. Woda z ujęcia Zawada charakteryzuje się bardzo niskim poziomem azotanów, poniżej 1,6 mg/dm<sup>3</sup>, podczas gdy w Grotowicach stężenie wynosi średnio 30,6 mg/dm<sup>3</sup>. W obu przypadkach wartości są poniżej dopuszczalnego limitu 50 mg/dm<sup>3</sup>, niemniej jednak wartość stężenia azotanów w ujęciu Grotowice wykazuje tendencję wzrostową. Azotany mogą pośrednio wpływać na stabilność mikrobiologiczną wody w wodociągach poprzez dostarczanie składników odżywczych dla mikroorganizmów, stymulowanie procesów nityfikacji i denityfikacji oraz wspieranie rozwoju biofilmów. Wpływ ten jest szczególnie widoczny w warunkach, gdzie występują niskie stężenia tlenu lub wysoka zawartość substancji organicznych. Utrzymanie niskiego poziomu azotanów oraz odpowiednie zarządzanie systemem dezynfekcji wydaje się być kluczowe dla zachowania stabilności mikrobiologicznej wody [13]. Z kolei w wodach

o wysokiej utlenialności istnieje większe ryzyko wzrostu bakterii, takich jak *Pseudomonas spp.*, które mogą prowadzić do destabilizacji mikrobiologicznej wody. Utlenialność wody dla ujęcia Zawada, wynosi średnio 2,08 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> i mieści się w dopuszczalnym limicie 5 mg C/dm<sup>3</sup>. Z kolei przy obecności żelaza w wodzie, szczególnie w postaci Fe<sup>2+</sup> (rozpuszczalnej), mogą rozwijać się bakterie żelazowe [15]. Stężenie żelaza w wodzie z ujęcia Zawada wynosi średnio 0,04 mg/dm<sup>3</sup>, natomiast w Grotowicach jest poniżej 0,04 mg/dm<sup>3</sup>. W przypadku analizy wpływu jakości wody włączanej do sieci wodociągowej na mikrobiologiczną stabilność, niezwykle istotnym parametrem jest stężenie chloru. Średnie stężenie chloru wolnego wynosiło w Zawadzie 0,04 mg Cl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, natomiast w Grotowicach 0,07 mg Cl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. W obu przypadkach wartości te były znacznie poniżej dopuszczalnego limitu 0,3 mg Cl<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>.

Jeżeli chodzi o parametry mikrobiologiczne wody włączanej do SZW aglomeracji

Opole, to wyniki analiz zaprezentowano w tabeli 3. Woda włączana do sieci jest stabilna biologicznie. W analizowanym okresie najwyższa ogólna liczba mikroorganizmów w 22°C (po 72h) odnotowana w wodzie wypływającej z ujęcia Zawada wynosiła zaledwie 3 jtk/1ml, natomiast dla wody z ujęcia Grotowice 1 jtk/1ml. Pozostałe parametry przyjmowały wartość 0.

Liczba mikroorganizmów oznaczanych w temperaturze 22°C w czasie 72 h, zgodnie z podejściem Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), odnosi się do mikroorganizmów heterotroficznych występujących w środowisku wodnym, które wymagają zewnętrznych źródeł węgla organicznego jako składnika odżywczego [16]. Zestawienie wyników dotyczących tego parametru dla SZW aglomeracji Opole w zestawieniu z danymi statystycznymi dotyczącymi temperatury wody podczas poboru zaprezentowano w tabeli 4.

Analiza wyników wykazała zróżnicowanie wartości w zależności od lokalizacji

Tabela 3. Najważniejsze parametry mikrobiologiczne wody włączanej z ujęć Zawada i Grotowice

Parameter	Jednostka	Ujęcie Zawada					Ujęcia Grotowice					Wartość określona w RMZ
		X	Me	Min	Max	S <sup>2</sup>	X	Me	Min	Max	S <sup>2</sup>	
Ogólna liczba mikroorganizmów w 22°C (po 72h)	jtk/1ml	2	2	1	3	1,4	1	1	1	1	0	100 <sup>1)</sup>
Bakterie z grupy coli	jtk/100ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Escherichia coli	jtk/100ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enterokoki	jtk/100ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<sup>1)</sup> wartość zalecana przez Ministra Zdrowia

Tabela 4. Wyniki badań ogólnej liczby mikroorganizmów w temperaturze 22°C w czasie 72 h, w wybranych punktach SZW aglomeracji Opole za lata 2017-2023

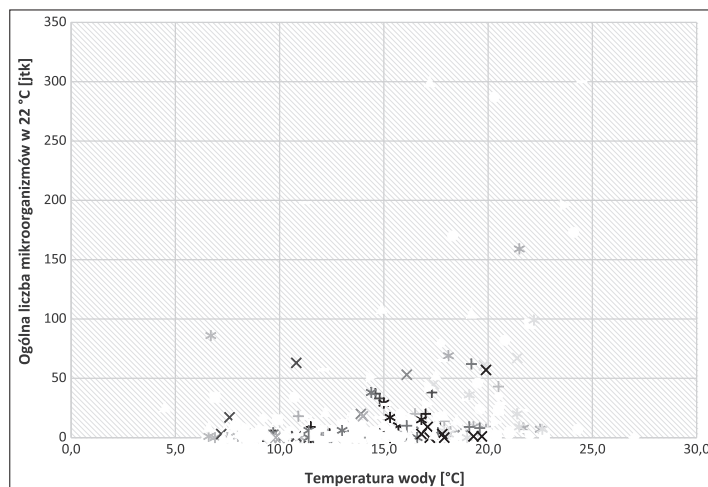
Ulica (źródło wody: G-Grotowice, Z-Zawada)	Temperatura wody [°C]			Wiek wody [h]	Ogólna liczba mikroorganizmów w 22°C				
	X	Min	Max		X	Me	Min	Max	S <sup>2</sup>
Popieluszki (G)	13,2	7,5	19,2	50	10	2	0	170	26
Wyszomirskiego (G)	12,4	7,3	19,0	40	1	0	0	9	1
Szarych Szeregów (Z)	13,4	8,8	19,3	10	6	2	0	65	12
Oleska (Z/G)	15,7	10,5	27,0	40	17	4	0	300	46
Targowa (Z/G)	14,5	6,4	22,5	30	7	2	0	82	14
Partyzancka/Wrocławska (G)	14,2	6,7	24,3	50	10	3	0	86	18
Budowlanych (Z/G)	15,9	7,8	24,5	40	53	20	0	300	72
Lipowa (Z)	13,6	4,5	22,7	10	6	3	0	38	8

oraz źródła pochodzenia wody. Najwyższą medianę liczby mikroorganizmów odnotowano w punkcie Budowlanych (Z/G) ( $Me = 20$ ), natomiast najniższą w punkcie Wyszomirskiego (G) ( $Me = 1$ ). Wartości maksymalne ogólnej liczby mikroorganizmów wskazują na występowanie okresowych wzrostów, przy czym najwyższą wartość zaobserwowano na ulicach Oleśka (Z/G) oraz Budowlanych (Z/G) (300 jtk/ml). Zróżnicowanie wieku wody w poszczególnych punktach (od 10 do 50 h) oraz jej temperatury (zakres od 4,5 do 27,0°C) może wskazywać na wpływ tych czynników na dynamikę mikrobiologiczną w sieci. Wyniki te podkreślają istotność monitoringu mikrobiologicznego, w kontekście zapewnienia wysokiej jakości wody wodociągowej, szczególnie w okresie podwyższonych temperatur zewnętrznych. Biorąc pod uwagę dane przedstawione w tabeli 4 oraz definiując biologiczną stabilność wody jako zdolność do utrzymania jakości mikrobiologicznej od momentu uzdatnienia aż do punktu konsumpcji [17], należy zwrócić uwagę na fakt, że w dwóch punktach pomiarowych zdolność ta została naruszona. Oba punkty łączy ze sobą fakt, że wiek wody jest stosunkowo wysoki i wynosi 40 h oraz fakt, że punkty te są zasilane wodą zmieszaną z obu źródeł. Analizując wiek wody w pozostałych punktach sieci wodociągowej stwierdzono, że dla wody z ujęcia Grotowice, wiek wody nie wpływał tak istotnie na odnotowany poziom mikroorganizmów, pomimo faktu, że woda charakteryzowała się podwyższonym stężeniem azotanów. Zgodnie z wnioskami z badań Sokołowskiej i in. [18] przeanalizowano poziom fosforanów, które w wodzie z ujęcia Zawada były identyfikowane w stężeniach nie większych niż 0,08 mg/dm<sup>3</sup>. Woda ta wykazuje też utleniałość na poziomie 2 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Obecność organicznych i nieorganicznych substancji odżywczych nawet w niewielkich stężeniach może determinować potencjał wzrostu bakterii w wodzie. I nie ma tu znaczenia fakt obecności chloru. Wyniki badań pokazują, że nawet przy stężeniach chloru resztkowego na poziomie 0,6–1 mg/l liczba bakterii heterotroficznych może sięgać 10–50 jtk/1ml [19,20]. Wyniki wielu badań [1,5,21] podkreślają konieczność zarządzania temperaturą wody w systemach dystrybucji w celu ograniczenia wzrostu bakterii i utrzymania odpowiedniej jakości mikrobiologicznej wody do picia. Badania LeChevallier i in. [22] wskazują, że temperatura wody w systemach dystrybucji jest kluczowym czynnikiem wpływającym na wzrost bakterii heterotroficznych. W tem-

peraturze 15–25°C metabolizm bakterii jest najbardziej aktywny, co sprzyja ich namnażaniu. Również WHO [16] podkreśla, że wzrost temperatury powyżej 15°C może zwiększać ryzyko wzrostu liczby mikroorganizmów heterotroficznych, szczególnie w systemach z biofilmami.

Przeanalizowano zatem dostępne dane pod kontem wpływu temperatury wody w sieci wodociągowej na wzrost mikroorganizmów identyfikowanych w temperaturze 22°C. Wyniki badań zaprezentowano na rysunku 1.

**Rysunek 1.** Zależność ogólnej liczby mikroorganizmów w wodzie SZW aglomeracji Opole od jej temperatury w trakcie pobierania próbek



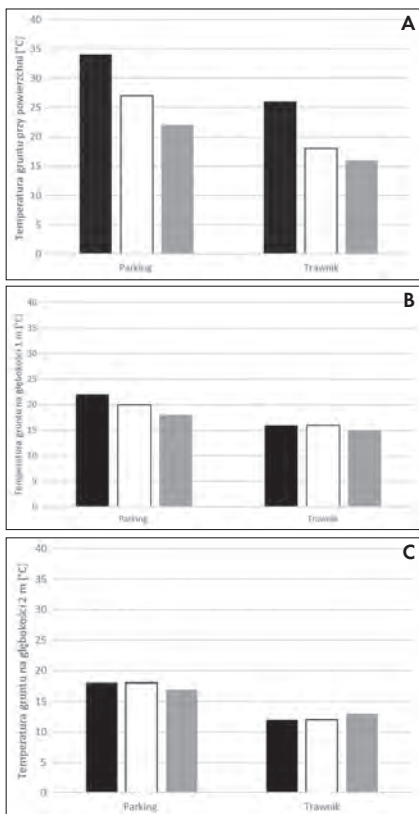
Wyniki badań jednoznacznie wskazują na fakt, że wyższa temperatura wody (powyżej 15°C) koreluje ze wzrostem liczby mikroorganizmów w wodzie. W szczególności, w przedziale 15–25°C, obserwuje się wzrost liczby mikroorganizmów, co może wynikać z bardziej sprzyjających warunków dla metabolizmu i podziału komórkowego bakterii heterotroficznych. Przy wyższych temperaturach (powyżej 20°C) obserwuje się większą zmienność w liczbie mikroorganizmów (od kilku do ponad 300 jtk/1ml). Wynika to najprawdopodobniej z lokalnych różnic w składzie chemicznym wody oraz pozostałości środka dezynfekującego. Im bliżej ujęcia wody tym ten efekt jest bardziej widoczny. W niższych temperaturach (<10°C) liczba analizowanych mikroorganizmów pozostaje na niskim poziomie, co jest zgodne z opisywanym w literaturze [23] ograniczeniem wzrostu bakterii w chłodniejszych warunkach.

Temperatura wody w sieci wodociągowej jest ściśle związana z temperaturą gruntu, w którym instalacja jest posadowiona. Jeżeli chodzi o grunt to pole temperatury w strefie przypowierzchniowej gruntu jest dość dobrze rozpoznane z powodu ważnej roli, jaką odgrywa temperatura w rolnictwie i budownictwie [8–10]. Temperatura gruntu na głębokości 1,5 m

w Polsce zmienia się w zależności od pory roku, ale wahania te są znacznie mniejsze niż na powierzchni. W zakresie głębokości, istotnych z punktu widzenia posadowienia sieci wodociągowej, grunt działa jako bufor termiczny, zmniejszając amplitudę wahań temperatury w porównaniu do strefy przypowierzchniowej. Niemniej jednak zimą temperatura na głębokości 1,5 m jest zazwyczaj dodatnia, wahając się w przedziale około 4–8°C, w zależności od regionu i struktury gleby, a latem temperatura wzrasta i utrzymuje się zwykle

w granicach 10–16°C. Wiosną i jesienią temperatury w gruncie zmieniają się powoli, osiągając wartości pośrednie między latem, a zimą. Amplitudy rocznych wahań temperatury na głębokości 1,5 m są znacznie mniejsze w porównaniu do powierzchni gruntu i wynoszą zwykle około 5–8°C [11]. Dzieje się tak dlatego, że grunt działa jak swoisty „akumulator ciepła”. W ciągu dnia pochłania on energię słoneczną, a w nocy ją oddaje, co powoduje, że zmiany temperatury są bardziej wygładzone. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że amplituda sezonowych wahań temperatury gruntu zależy nie tylko od głębokości, ale i od rodzaju pokrycia powierzchni gruntu. Fluktuacje temperatury gruntu pod trawnikiem są łagodniejsze, niż te w przypadku powierzchni asfaltowych [11].

Na rysunku 2 zaprezentowano temperatury gruntu pod trawnikiem i parkingiem dla trzech dowolnie wybranych dni letnich dla trzech różnych głębokości pomiaru. Temperatura gruntu pod parkingiem, na głębokości 2 m, dla wybranych do analizy dni, była ponad 40% wyższa od tej odnotowanej pod trawnikiem. Zgodnie z zaleceniami normy PN-B-10725 [12] przewody powinny być układane poniżej strefy przemarzania gruntu, co w Polsce wynosi od 0,8 do 1,4 m



Rysunek 2.

Temperatura gruntu na różnych głębokościach dla trzech wybranych dni w okresie letnim: A – przy powierzchni gruntu; B – na głębokości 1 m; C – na głębokości 2 m, opracowanie własne w oparciu o [11]

w zależności od regionu. Zatem można przypuszczać, że temperatura powietrza pośrednio, a temperatura gruntu bezpośrednio, będą oddziaływały na temperaturę wody w przewodach wodociągowych. Co istotne, maksimum temperatury gruntu na głębokości, na której posadowione są przewody wodociągowe występuje zwykle z pewnym przesunięciem czasowym w odniesieniu do odnotowywanego maksimum temperatury powietrza.

## Podsumowanie

Wpływ temperatury powietrza (i gruntu) na temperaturę wody w sieci wodociągowej, a w konsekwencji na ryzyko namnażania się bakterii heterotroficznych, nie był dotychczas szeroko analizowany w kontekście zmieniających się warunków

klimatycznych w Polsce. Coraz częściej odnotowywane i utrzymujące się przez dłuższy czas wysokie temperatury powietrza, wskazują na wzrastającą wagę tego problemu. Konieczność jego szczegółowego rozpoznania w odniesieniu do lokalnych warunków wydaje się niezmiernie ważna dla utrzymania bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody do picia.

W odpowiedzi na te wyzwania planowane jest rozszerzenie zakresu badań, obejmujące dodatkowe aglomeracje, co pozwoli na lepsze zrozumienie regionalnych uwarunkowań. Ponadto, zamierza się przeprowadzić szczegółową identyfikację szczepów bakterii odpowiedzialnych za wzrost liczebności mikroorganizmów obserwowany w niniejszym badaniu. Taki kierunek badań umożliwi pełniejsze poznanie mechanizmów wzrostu mikroorganizmów w systemach wodociągowych w warunkach zmieniającego się klimatu, a także pozwoli na opracowanie skutecznych strategii zarządzania jakością wody do picia.

## LITERATURA

- [1] Swinamer, R.; Anderson, L.E.; Redden, D.; Bjorndahl, P.; Campbell, J.; Krkošek, W.H.; Gagnon, G.A. Climate-Driven Increases in Source Water Natural Organic Matter: Implications for the Sustainability of Drinking Water Treatment. *Environ. Sci. Technol.* **2024**, *58*, 11958–11969, doi:10.1021/acs.est.4c01894.
- [2] Dąbrowski, W.; Dąbrowska, B. Intensyfikowanie procesów produkcji wody bezpiecznej mikrobiologicznie. *Instal* **2012**, *6*, 37–41.
- [3] Kowalska, B.; Kowalski, D.; Suchorab, P.; Iwanek, M. Problem wtórnego zanieczyszczenia wody w wybranym wodociągu wiejskim. *Instal* **2016**, *7/8*, 58–61.
- [4] Biedroń, I.; Traczewska, T.M. Ekologiczny aspekt biofilmu w systemie dystrybucji wody do picia. *Instal* **2016**, *2*, 46–49.
- [5] Carabin, A.; Cassivi, A.; Dorea, C.; Rodriguez, M.; Huot, C. Heterotrophic plate counts (HPC) in drinking water distribution systems: A comprehensive review and meta-analysis. *Water Qual. Res. J.* **2024**, *59*, 126–158, doi:10.2166/wqrj.2024.027.
- [6] World Health Organization *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*; Geneva, Switzerland, 2022;
- [7] Ministerstwo Zdrowia *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi*; 2017;
- [8] WU, J.-H.; TANG, C.-S.; SHI, B.; GAO, L.; JIANG, H.-T.; DANIELS, J.L. Effect of Ground Covers on Soil Temperature in Urban and Rural Areas. *Environ. Eng. Geosci.* **2014**, *20*, 225–237, doi:10.2113/gsegeosci.20.3.225.
- [9] Oleskiewicz-Popiel, C.; Wojtkowiak, J. Naturalne pole temperatury gruntu. *Ciepłownictwo, Ogrzew. Went.* **2012**, *43*, 205–209.
- [10] Kapuściński, J. Próba określenia warunków termicznych gleby temperaturą powietrza. *Rocz. Glebozn.* **1991**, *1*.
- [11] Biernacka, B. *Badania doświadczalne naturalnego pola temperatury gruntu*, Politechnika Białostocka: Białystok, 2006.
- [12] Norma PN-B-10725:Podstawowe Wymagania dla Sieci Wodociągowej;
- [13] Tebkowska, M.; Pajor, E.; Rutkowska-Narozniak, A.; Kwietniewski, M.; Wąsowski, J.; Kowalski, D. Badania nad rozwojem mikroorganizmów w przewodach wodociągowych z żeliwa sferoidalnego z wykładziną cementową. *Ochr. Sr.* **2011**, *33*, 9–13.
- [14] Flemming, H.-C.; Wingender, J. The biofilm matrix. *Nat. Rev. Microbiol.* **2010**, *8*, 623–633, doi:10.1038/nrmicro2415.
- [15] Matuszewska, R.; Guśpiel, A. Biofilm w wewnętrznych systemach wodociągowych – zagrożenia mikrobiologiczne i wpływ na jakość wody. *Instal* **2024**, *7–8*, 38–43.
- [16] WHO Guidelines for drinking-water quality – first addendum to third edition 2006.
- [17] Prest, E.I.; Hammes, F.; van Loosdrecht, M.C.M.; Vrouwenvelder, J.S. Biological Stability of Drinking Water: Controlling Factors, Methods, and Challenges. *Front. Microbiol.* **2016**, *7*, doi:10.3389/fmicb.2016.00045.
- [18] Sokółowska, A.; Olańczuk-Neyman, K. Badania zmian jakości mikrobiologicznej wody w sieci wodociągowej aglomeracji trójmiejskiej. *Ochr. Sr.* **2009**, *31*, 15–19.
- [19] Reasoner, D.J.; Geldreich, E.E. A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water. *Appl. Environ. Microbiol.* **1985**, *49*, 1–7, doi:10.1128/aem.49.1.1-7.1985.
- [20] Szewczyk, U.; Szewczyk, R.; Manz, W.; Schleifer, K.-H. Microbiological Safety of Drinking Water. *Annu. Rev. Microbiol.* **2000**, *54*, 81–127, doi:10.1146/annurev.micro.54.1.81.
- [21] Agudelo-Vera, C.; Avvedimento, S.; Boxall, J.; Creaco, E.; de Kater, H.; Di Nardo, A.; Djukic, A.; Douterelo, I.; Fish, K.E.; Iglesias Rey, P.L.; et al. Drinking Water Temperature around the Globe: Understanding, Policies, Challenges and Opportunities. *Water* **2020**, *12*, 1049, doi:10.3390/w12041049.
- [22] Chowdhury, S. Heterotrophic bacteria in drinking water distribution system: a review. *Environ. Monit. Assess.* **2012**, *184*, 6087–6137, doi:10.1007/s10661-011-2407-x.
- [23] van der Wielen, P.W.J.J.; Dignum, M.; Donocik, A.; Prest, E.I. Influence of Temperature on Growth of Four Different Opportunistic Pathogens in Drinking Water Biofilms. *Microorganisms* **2023**, *11*, 1574, doi:10.3390/microorganisms11061574.



Zachęcamy do zamawiania prenumeraty miesięcznika Instal. Druk zamówienia na [www.informacjainstal.com.pl](http://www.informacjainstal.com.pl) i na okładce.