

WPŁYW WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW FIZYKO-CHEMICZNYCH NA MIKROBIOLOGICZNY STAN RZEKI WISŁY W OKOLICACH WARSZAWY

Janusz Augustynowicz¹, Mariusz Nierebiński¹, Małgorzata Zawada², Stefan Russel³

¹ Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych Województwa Pomorskiego w Gdańsku, ul. Sucha 12, 80-531 Gdańsk, e-mail: j.augustynowicz@zmiuw.gda.pl

² Samodzielny Zakład Biologii Mikroorganizmów, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

³ Zakład Mikrobiologii i Biotechnologii Środowiska, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Falenty, Al. Hrabstwa 3, 05-090 Raszyn, e-mail: s.russel@itp.edu.pl

STRESZCZENIE

Rodzaje organizmów występujących w zbiornikach wodnych zależą od stopnia czystości wody i zachodzących w niej procesów biochemicznych. Dlatego jedną z metod oceny jakości wód jest określenie jej stanu poprzez oznaczenie wskaźników biologicznych, a w tym parametrów mikrobiologicznych. Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy było zbadanie wpływu wybranych wskaźników fizyko-chemicznych wody pobranej z rzeki Wisły na jej stan mikrobiologiczny. Badania przeprowadzono w próbkach wody pobranych na środkowym odcinku rzeki Wisła w okolicach Warszawy. Analizy wybranych parametrów wykonywano raz w miesiącu w ciągu całego roku. Badania mikrobiologiczne obejmowały następujące oznaczenia: liczbę bakterii wiążących azot atmosferyczny, NPL bakterii nityfikacyjnych oraz NPL bakterii redukujących siarczany. W pobranych próbkach wody dokonano pomiarów takich parametrów fizyko-chemicznych jak: temperatura, pH oraz zawartość azotu ogólnego. Badania wykazały korelację między mierzonymi parametrami mikrobiologicznymi a temperaturą oraz pH. Nie stwierdzono natomiast istotnej zależności między badanymi mikroorganizmami a zawartością azotu ogólnego w próbkach wody.

Słowa kluczowe: rzeka Wisła, liczba bakterii wiążących azot atmosferyczny, NPL bakterii nityfikacyjnych, NPL bakterii redukujących siarczany.

THE EFFECT OF SELECTED PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS ON MICROBIOLOGICAL STATUS OF THE VISTULA RIVER NEAR WARSAW

ABSTRACT

The types of organisms present in water reservoirs depend on water purity and biochemical processes that occur. Therefore, one of the methods of water quality assessment is to determine its condition by determining the biological indicators, including microbiological parameters. The aim of the experiment presented in this paper was to investigate the effects of selected physical and chemical parameters of water samples from the Vistula River on the microbiological status of water. The experiment was conducted in water samples collected in the central part of the Vistula River in Warsaw. The analyses of selected parameters were performed once a month throughout the year. Microbiological tests included: number of nitrogen fixing bacteria, MPN nitrifying bacteria, MPN sulfate-reducing bacteria. Physical and chemical parameters such as temperature, pH and total nitrogen content were determined in water samples. The results showed a correlation between temperature, pH and microbiological parameters. However, there was no significant correlation between the number of tested microorganisms and the concentration of total nitrogen in water samples.

Keywords: Vistula River, number of nitrogen fixing bacteria, MPN nitrifying bacteria, MPN sulfate-reducing bacteria.

WSTĘP

Najdłuższą rzeką zlewni Morza Bałtyckiego jest Wisła, której długość wynosi 1047,5 km. Źródła rzeki znajdują się na wysokości 1106 m n.p.m., na zachodnim stoku Baraniej Góry w Beskidzie Śląskim. Średni przepływ roczny (przy ujściu rzeki) wynosi $1054 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a maksymalna różnica stanów wody to 10 m. Bieg Wisły można podzielić się na 3 odcinki: górny (od źródeł do Sandomierza), środkowy (od Sandomierza do ujścia Narwi z Bugiem) oraz dolny (od ujścia Narwi do Bałtyku) [Buszewski i in. 2002; Piskozub 1982]. Jedną z głównych funkcji Wisły jest zaopatrzenie w wodę pitną i dostarczenie wody do celów przemysłowych. Jednakże woda ta jest złej jakości, choć począwszy od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia ulega poprawie [Miller 2005; Sadowski 1993; Zdzienicki 2006]. Decydującym czynnikiem wpływającym na jakość wody do picia jest obecność mikrozanieczyszczeń organicznych występujących w wodzie Wisły oraz powstałych w trakcie jej uzdatniania, które nie tylko pogarszają smak, zapach czy barwę, ale stanowią zagrożenie dla zdrowia. W wodzie mogą występować okresowo lub stale substancje o właściwościach mutagennych i rakotwórczych [Sadowski 1993].

Ekosystem rzeki jest połączoną pod względem funkcjonalnym całością, a określają go zmieniające się warunki fizyczne i chemiczne, co z kolei prowadzi do zmian żyzności i produktywności biocenozy. Konsekwencją są fluktuacje w obrębie struktury i dynamiki poszczególnych zespołów organizmów, a także w ogólnym obiegu poszczególnych pierwiastków [Starmach 2000]. Głównymi czynnikami środowiskowymi, wpływającymi na biocenozę wód płynących, są: temperatura, światło, zawartość tlenu, fosforu, azotu, wapnia, żelaza, węgla, substancji organicznej oraz odczyn [Allan 1998; Chełmicki 2001].

Bakterie zamieszkują wszystkie typy wód powierzchniowych, w tym wody czyste i silnie zanieczyszczone, wody płynące oraz stawy i jeziora, a także wody słodkie i słone. Powszechność występowania i opanowanie środowiska wodnego zawdzięczają bakterie swym cechom, których nie mają inne organizmy. Można do nich zaliczyć przede wszystkim bardzo wysoką dynamikę rozwojową bakterii, która pozwala im w krótkim czasie nadrabiać straty wynikłe z działania niekorzystnych warunków środowiskowych. Ponadto bakterie wykazują dużą odporność na działanie

np.: gwałtownych zmian składu chemicznego wody, ostrych deficytów tlenowych, obecności związków toksycznych, nagłych zmian temperatury wody [Postgate 1994].

W wodach powierzchniowych, obok typowej mikroflory wodnej, występują bakterie, których naturalnym siedliskiem jest gleba oraz tzw. drobnoustroje ściekowe [Szynkiewicz 1975]. Właściwe bakterie wodne żyją i rozmnażają się w wodzie. Pod względem odżywiania należą do heterotrofów, chemo- i fotoautotrofów. Pod względem stosunku do tlenu większość należy do względnych beztlenowców i tlenowców. Wśród bakterii wodnych wyróżnić można między innymi następujące rodzaje: *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Aeromonas*, *Spirillum*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Chromobacterium*. Obok bakterii heterotroficznych, występują licznie bakterie celulolityczne oraz bakterie nityfikacyjne. Większość z nich należy do grupy bakterii mezofilnych [Chełmicki 2001]. Drobnoustroje ściekowe mają największe znaczenie sanitarno-higieniczne i epidemiologiczne. Obok gatunków heterotroficznych żyjących na szczątkach pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, duża grupa tych bakterii należy do flory przewodu pokarmowego (bakterie grupy coli, paciorkowce kałowe). W wodach występują także drobnoustroje chorobotwórcze, np.: pałeczki durowe, pałeczki czerwonkowe. Najczęstszymi chorobami pochodzenia bakteryjnego szerzącymi się przez zanieczyszczone wody są: tyfus i paratyfus, czerwonka bakteryjna, tularemia, żółtaczkę zakaźną, cholera oraz gruźlica [Kłos-Trębaczki i in. 1998]. Obecność tego typu mikroorganizmów jest kluczowa dla stanu sanitarnego środowiska także w odniesieniu do problemu wzrastającej lekooporności szczepów patogennych izolowanych z wód powierzchniowych [Bhattacharjee i in., 1988; Servais i Passerat, 2009; Zurfluh i in., 2013]. Pośród innych mikroorganizmów, których obecność stwierdza się w wodach płynących istotne są również bakterie glebowe splukiwane do rzek głównie przez wody opadowe. W wodach silnie zanieczyszczonych materią organiczną utrzymują się one przez długi czas. Z mikroflory gleby do wód przedostają się bakterie należące do rodzaju *Bacillus*, saprofityczne bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*, a także promieniowce [Szynkiewicz 1975].

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy było określenie wpływu podstawowych parametrów fizykochemicznych wody pobranej z Wisły na jej stan mikrobiologiczny. Jakość mi-

krobiologiczna wód powierzchniowych, z uwagi na ich kluczowe znaczenie dla życia człowieka, jest przedmiotem licznych artykułów z całego świata publikowanych na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Niezwykle ważne w tym kontekście są oznaczenia mikroorganizmów chorobotwórczych [Cabral, 2010; Obi i in., 2004], jednakże należy mieć na uwadze obecność także innych zespołów mikrobiologicznych, których aktywność jest warunkowana przez właściwości fizykochemiczne wód powierzchniowych. Dynamiczny charakter tego typu zależności legitymizuje podejmowanie badań monitoringowych jakości wód szczególnie w odniesieniu do konkretnych grup fizjologicznych mikroorganizmów. Zmiany liczebności mikroorganizmów w dłuższym okresie czasu zazwyczaj są efektem fluktuacji stężeń poszczególnych pierwiastków biogenych, natomiast krótkookresowe zmiany mogą wskazywać na incydentalne dopływy zanieczyszczeń ze źródeł obcych dla systemu rzeczno-

METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w próbkach wody pobranych na środkowym odcinku rzeki Wisły w okolicach Warszawy. Analizy wybranych parametrów mikrobiologicznych i fizykochemicznych wykonywano raz w miesiącu w ciągu całego roku. Próbkę wody pochodziły z następujących punktów kontrolnych:

- Kazuń – 549 km Wisły,
- Dziekanów Polski – 538 km Wisły,
- Most Poniatowskiego – 510 km Wisły,
- Kępa Zawadowska – 496 km Wisły,
- Góra Kalwaria – 477 km Wisły.

Analizy mikrobiologiczne wykonano w trzech powtórzeniach. Obejmowały następujące oznaczenia:

- liczbę bakterii wiążących azot atmosferyczny – metodą płytkową, na pożywce bezazotowej o następującym składzie: woda destylowana 1000 cm³, mannitol 10,0 g, K₂HPO₄ 0,2 g, MgSO₄·7H₂O 0,2 g, NaCl 0,2 g, CaCO₃ 5,0 g, Na₂MoO₄ 0,01 g, FeCl₃ 0,01 g, MnSO₄·4H₂O 0,01 g.
- NPL bakterii nitryfikacyjnych (I i II fazy) – metodą rozcieńczeń na pożywce wg Winoградского [Parkinson i in. 1971],
- NPL bakterii redukujących siarczany (VI) – metodą rozcieńczeń na pożywce wg Wilsona-Blaira [Różalski 1996].

W pobranych próbkach wody dokonano pomiarów takich parametrów fizyko-chemicznych, w trzech powtórzeniach, jak:

- temperatura, wg PN-77/C-04584,
- odczyn, wg PN-90/C-04540.01,
- azot ogólny, wg PN-73/C-04576.14.

Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej, obliczając współczynnik korelacji (r) między wartościami wskaźników mikrobiologicznych a poszczególnymi parametrami fizyko-chemicznymi (przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$). W celu zwiększenia przejrzystości pracy do analiz statystycznych wybrano te punkty kontrolne, w których uzyskano skrajne średnie roczne wartości badanych parametrów mikrobiologicznych (minimalne i maksymalne). Ponadto dla uzyskanych w poszczególnych punktach badawczych w ciągu całego roku wartości liczby bakterii wiążących azot atmosferyczny, NPL bakterii nitryfikacyjnych oraz NPL bakterii redukujących siarczany obliczono odchylenie standardowe (SD).

WYNIKI I DYSKUSJA

Najniższe wartości temperatury w badanych próbkach wody zanotowano w miesiącach styczeń–marzec (1–5 °C), najwyższe natomiast na przełomie lipca i sierpnia (16–22 °C) (tab. 1). Zaobserwowano niewielkie różnice temperatur wody pomiędzy próbkami z poszczególnych punktów badawczych w poszczególnych miesiącach. Na uwagę zasługują wartości zanotowane w punkcie „Most Poniatowskiego”, które znacznie odbiegają od wyników uzyskanych w pozostałych punktach badawczych.

Odczyn wody pobranej z rzeki Wisły w ciągu całego roku, we wszystkich punktach badawczych, był zasadowy (tab. 2). Skrajne wartości badanego wskaźnika zanotowano w punkcie „Kazuń”: najniższą w lipcu (7,1), a najwyższą w maju (9,2). Na uwagę zasługuje fakt, iż wyniki uzyskane w punktach kontrolnych w całym okresie badań były zbliżone do siebie.

Zawartość azotu ogólnego w próbkach wody pobranych z rzeki Wisły w ciągu roku wahała się od 0,0010 mg N·cm⁻³ do 0,0058 mg N·cm⁻³ (tab. 3). Najniższą wartość badanego wskaźnika zanotowano w punkcie kontrolnym „Góra Kalwaria” w październiku, a najwyższą w punkcie „Dziekanów Polski” w lutym. W okresie styczeń – kwiecień zawartość azotu w próbkach wody pobranych w punkcie „Most Poniatowskiego” była

Tabela 1. Temperatura wody w zależności od lokalizacji punktu badawczego [° C]**Table 1.** The temperature of the water depending on sampling point location [° C]

Miesiąc	Miejsce poboru próbek				
	Kazuń	Dziekanów Polski	Most Poniatowskiego	Kępa Zawadowska	Góra Kalwaria
Styczeń	1	1	1	1	1
Luty	2	2	4	2	2
Marzec	1	1	5	1	1
Kwiecień	10	10	11,5	10	9
Maj	14	14	12	14	14
Czerwiec	22	22	18,5	21	21
Lipiec	16	18,2	22	18	16
Sierpień	20	20	20	20	20
Wrzesień	19	19	16	19	19
Październik	14	13,9	10,5	14	14
Listopad	12	12	5,8	12	12
Grudzień	5	5	3,5	4	4

Tabela 2. pH wody w zależności od lokalizacji punktu badawczego [-]**Table 2.** pH of the water depending on sampling point location [-]

Miesiąc	Miejsce poboru próbek				
	Kazuń	Dziekanów Polski	Most Poniatowskiego	Kępa Zawadowska	Góra Kalwaria
Styczeń	8,0	8,0	8,1	7,9	7,9
Luty	8,0	8,0	8,0	8,0	7,9
Marzec	8,0	8,0	8,0	7,9	8,0
Kwiecień	7,8	7,8	8,3	7,9	7,7
Maj	9,2	8,4	8,3	8,3	8,3
Czerwiec	8,9	8,9	8,7	8,7	8,7
Lipiec	7,1	7,2	8,4	8,5	8,3
Sierpień	7,8	7,6	8,0	7,5	7,5
Wrzesień	8,4	8,5	8,2	8,3	8,2
Październik	8,2	8,3	8,5	8,3	8,3
Listopad	8,7	8,1	8,3	8,1	8,0
Grudzień	7,9	7,9	8,0	7,8	7,3

znacznie większa w stosunku do pozostałych miejsc badawczych.

Największą liczbę bakterii wiążących azot atmosferyczny zaobserwowano w okresie wiosenno-letnim (od maja do września), a najmniejszą w okresie jesienno-zimowym (rys. 1). Na uwagę zasługuje fakt, iż w całym okresie badań najwyższe wartości badanego wskaźnika zaobserwowano w punkcie pomiarowym „Most Poniatowskiego”.

W okresie wiosenno-letnim (od maja do sierpnia) zaobserwowano największą liczbę bakterii nitryfikacyjnych, a najmniejszą w okresie jesienno-zimowym (od listopada do marca) (rys. 2). W ciągu całego roku badań, za wyjątkiem wrze-

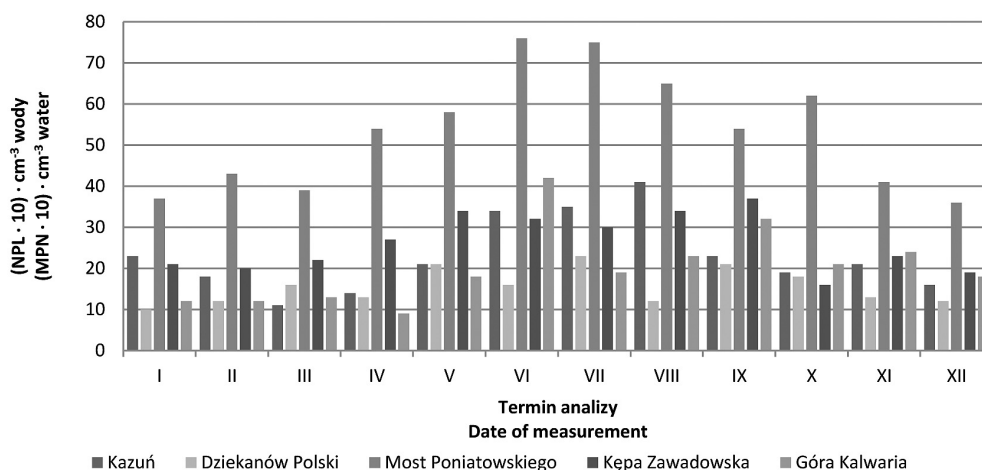
śnia i listopada, najwyższe wartości analizowanego parametru zanotowano w przypadku próbek wody pobranych w punkcie „Most Poniatowskiego”.

Najmniejszą liczbę bakterii redukujących siarczany zaobserwowano w miesiącach jesienno-zimowych (od listopada do marca), największą natomiast w okresie wiosenno-letnim (od maja do sierpnia) (rys. 3). Podobnie jak w przypadku pozostałych poddanych analizie parametrów mikrobiologicznych najwyższe wartości badanego wskaźnika w całym okresie badań zanotowano w próbkach wody pobranych w punkcie pomiarowym „Most Poniatowskiego”.

Na podstawie wyników liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów w pięciu punk-

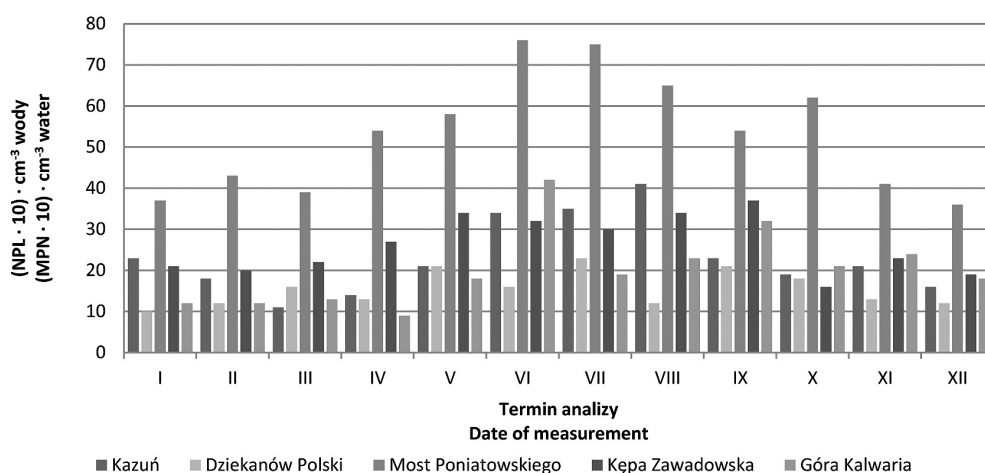
Tabela 3. Zawartość azotu ogólnego w próbkach wody w zależności od lokalizacji punktu badawczego [mg N·cm⁻³]
Table 3. Total nitrogen content in water depending on sampling point location [mg N·cm⁻³]

Miesiąc	Miejsce poboru próbek				
	Kazuń	Dziekanów Polski	Most Poniatońskiego	Kępa Zawadowska	Góra Kalwaria
Styczeń	0,0023	0,0033	0,0042	0,0021	0,0023
Luty	0,0045	0,0058	0,0052	0,0033	0,0033
Marzec	0,0035	0,0032	0,0045	0,0018	0,0024
Kwiecień	0,0013	0,0020	0,0042	0,0013	0,0024
Maj	0,0025	0,0033	0,0027	0,0026	0,0023
Czerwiec	0,0023	0,0022	0,0033	0,0020	0,0027
Lipiec	0,0023	0,0026	0,0024	0,0017	0,0018
Sierpień	0,0027	0,0020	0,0035	0,0030	0,0031
Wrzesień	0,0021	0,0020	0,0022	0,0025	0,0021
Październik	0,0030	0,0031	0,0025	0,0023	0,0010
Listopad	0,0033	0,0035	0,0030	0,0025	0,0022
Grudzień	0,0023	0,0027	0,0030	0,0018	0,0020



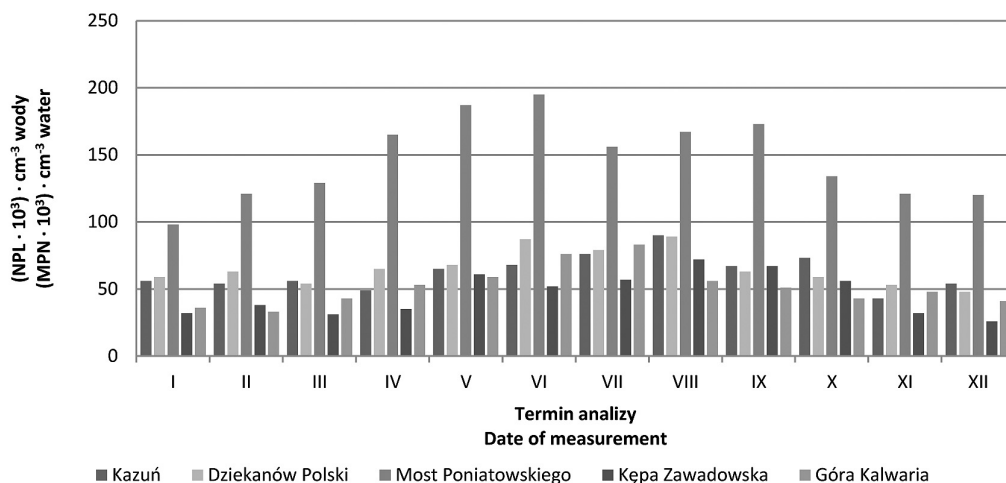
Rys. 1. Zmiany liczby bakterii wiążących azot atmosferyczny w próbkach wody pobranych z rzeki Wisły w zależności od terminu badań

Fig. 1. Changes of number of nitrogen fixing bacteria in water samples taken from the river Vistula depending on date of measurement



Rys. 2. Zmiany NPL bakterii nityfikacyjnych w próbkach wody pobranych z rzeki Wisły w zależności od terminu badań

Fig. 2. Changes of MPN nitrifying bacteria in water samples taken from the river Vistula depending on date of measurement



Rys. 3. Zmiany NPL bakterii redukujących siarczany w próbkach wody pobranych z rzeki Wisły w zależności od terminu badań

Fig. 3. Changes of MPN sulfate-reducing bacteria in water samples taken from the river Vistula depending on date of measurement

tach badawczych obliczono wartości średnie dla tych mikroorganizmów w ciągu roku (tab. 4). Najwyższe wartości dla wszystkich badanych wskaźników mikrobiologicznych uzyskano w punkcie kontrolnym „Most Poniatońskiego”. Najniższe wartości liczby bakterii wiążących azot atmosferyczny oraz bakterii nityfikacyjnych zanotowano w punkcie „Dziekanów Polski”, a w przypadku bakterii redukujących siarczany w „Kępie Zawadowskiej”.

Silną dodatnią zależność pomiędzy liczbą bakterii wiążących azot atmosferyczny a wskaźnikami fizyko-chemicznymi zaobserwowano tylko w przypadku temperatury i odczynu, z wyłączeniem punktu kontrolnego „Dziekanów Polski” w odniesieniu do pH wody (tab. 5). Współczynnik korelacji w odniesieniu do wartości azotu ogólnego wskazuje na małą ujemną zależność.

Silną dodatnią zależność w przypadku liczby bakterii nityfikacyjnych zanotowano wyłącznie w punkcie kontrolnym „Most Poniatońskiego”

dla temperatury i odczynu (tab. 6). W pozostałych przypadkach wartość współczynnika korelacji była niska. Na uwagę zasługuje wartość współczynnika korelacji uzyskana dla azotu ogólnego, w punktach „Most Poniatońskiego” i „Dziekanów Polski” oraz pH, w punkcie kontrolnym „Dziekanów Polski”, gdzie współczynnik ten był ujemny.

Silną zależność liczby bakterii redukujących siarczany zaobserwowano wyłącznie z temperaturą i pH wody z wyłączeniem punktu badawczego „Kępa Zawadowska” dla odczynu (tab. 7). W przypadku azotu ogólnego współczynnik korelacji wskazuje na małą zależność pomiędzy wartościami badanych parametrów.

Wyniki badań przedstawionych w niniejszej pracy wskazują na silną (wysoki współczynnik korelacji) dodatnią zależność pomiędzy liczebnością analizowanych grup drobnoustrojów a temperaturą wody, z wyjątkiem punktu kontrolnego „Dziekanów Polski”, w przypadku bakterii redukujących siarczany. Według Kajaka [1998]

Tabela 4. Średnia liczebność poszczególnych grup drobnoustrojów w zależności od lokalizacji punktu badawczego
Table 4. Average values of the amount of different microbial groups depending on sampling point location

Miejsce poboru próbek	Wskaźnik					
	liczba bakterii wiążących azot atmosferyczny (NPL×10) × cm ⁻³ wody		NPL bakterii nityfikacyjnych NPL × cm ⁻³ wody		NPL bakterii redukujących siarczany (NPL×10 ³) × cm ⁻³ wody	
Kazuń	23	SD = 9	37	SD = 18	62	SD = 13
Dziekanów Polski	15	SD = 4	25	SD = 6	65	SD = 13
Most Poniatońskiego	53	SD = 14	69	SD = 33	147	SD = 31
Kępa Zawadowska	26	SD = 7	39	SD = 14	46	SD = 16
Góra Kalwaria	20	SD = 9	26	SD = 16	52	SD = 15

Tabela 5. Współczynniki korelacji: liczba bakterii wiążących azot atmosferyczny – parametry fizyko – chemiczne (przedstawione wartości są istotne statystycznie, $p < 0,05$)

Table 5. The correlation coefficients: number of nitrogen fixing bacteria – physico – chemical parameters (The values presented are statistically significant, $p < 0,05$)

Miejsce poboru próbek	Wskaźnik		
	temperatura wody	pH wody	azot ogólny
Most Poniatowskiego	$r = 0,92677$	$r = 0,70782$	$r = -0,46910$
Dzieskanów Polski	$r = 0,54400$	$r = 0,10063$	$r = -0,25170$

Tabela 6. Współczynniki korelacji: NPL bakterii nityfikacyjnych – parametry fizyko – chemiczne (przedstawione wartości są istotne statystycznie, $p < 0,05$)

Table 6. The correlation coefficients: MPN nitrifying bacteria – physico – chemical parameters (The values presented are statistically significant, $p < 0,05$)

Miejsce poboru próbek	Wskaźnik		
	temperatura wody	pH wody	azot ogólny
Most Poniatowskiego	$r = 0,89579$	$r = 0,61327$	$r = -0,39350$
Dzieskanów Polski	$r = 0,39206$	$r = -0,06470$	$r = -0,15930$

Tabela 7. Współczynniki korelacji: NPL bakterii redukujących siarczany – parametry fizyko – chemiczne (przedstawione wartości są istotne statystycznie, $p < 0,05$)

Table 7. The correlation coefficients: MPN sulfate-reducing bacteria – physico – chemical parameters (The values presented are statistically significant, $p < 0,05$)

Miejsce poboru próbek	Wskaźnik		
	temperatura wody	pH wody	azot ogólny
Most Poniatowskiego	$r = 0,81186$	$r = 0,52380$	$r = -0,40620$
Kępa Zawadowska	$r = 0,82842$	$r = 0,28075$	$r = 0,39223$

temperatura wody wpływa na liczebność drobnoustrojów, ponieważ warunkuje przeprowadzane przez nie procesy biochemiczne.

Wyniki badań Świąteckiego [1997] wskazują natomiast, że intensywność procesów biochemicznych, a tym samym liczebność drobnoustrojów wzrasta wraz z temperaturą wody. Interesująca jest jednak stwierdzona istotna statystycznie korelacja pomiędzy temperaturą wody a liczbą bakterii w przypadku próbek pobranych w okolicy Mostu Poniatowskiego. Analogicznej silnej zależności nie stwierdzono natomiast w próbkach z Dzieskanowa Polskiego. Stwierdzone różnice współczynników korelacji są tu bardzo duże i wymagają one osobnego komentarza. Wydaje się, że w obrębie Warszawy część mikroflory bakteryjnej może być reprezentowana przez okresowo tam bytujące gatunki mikroorganizmów, które mogą pochodzić ze źródeł o innym reżimie termicznym. Np. zrzuty wody z kolektorów burzowych czy też ściekowych a także z systemów chłodzenia elektrowni potencjalnie mogą zawierać mikroorganizmy mezofilne, które w normalnych warunkach by-

łyby mniej licznie reprezentowane w wodzie z Wisły. Stąd, im bardziej temperatura wody odbiega od naturalnych fluktuacji tym bardziej aktywność metaboliczna bakterii powinna ulegać wpływom tego czynnika z uwagi na obecność szczepów bardziej wrażliwych na te zmiany. W przypadku cieków wodnych nie podlegających antropopresji sezonowe zmiany liczebności mikroorganizmów pod wpływem temperatury czy też innych czynników mogą być zamaskowane przez zastępowalność przystosowanych do tych zmian zespołów mikrobiologicznych. Istotnym czynnikiem środowiskowym mającym wpływ na aktywność drobnoustrojów jest pH wody [Mikulski 1982].

Wyniki badań wskazują na silną dodatnią zależność pomiędzy badanymi grupami drobnoustrojów a odczynem wody w przypadku punktu kontrolnego „Most Poniatowskiego”. Wartości analizowanego wskaźnika pokazują, iż wody rzeki Wisły w całym okresie badań miały charakter alkaliczny. Według Chełmickiego [2001] optymalnymi warunkami do życia i rozwoju organizmów wodnych jest środowisko lekko zasa-

dowe. Wyniki prezentowane w niniejszej pracy wskazują na małą (niski współczynnik korelacji) zależność pomiędzy liczbą badanych grup drobnoustrojów a zawartością azotu ogólnego. Jak podaje Pawlaczyk-Szpilowa [1978] w wodach powierzchniowych związki azotu organicznego pochodzą głównie ze ścieków komunalnych i są one wykorzystywane w procesach biochemicznych przez różne grupy drobnoustrojów.

WNIOSKI

1. Stwierdzono silną zależność (wysoki współczynnik korelacji) pomiędzy liczbą bakterii wiążących azot atmosferyczny, NPL bakterii nitryfikacyjnych oraz NPL bakterii redukujących siarczany a pH wody w rzece Wisła wyłącznie w punkcie badawczym „Most Poniatowskiego”.
2. Wraz ze wzrostem temperatury wody wzrasta liczba bakterii wiążących azot atmosferyczny, nitryfikacyjnych oraz redukujących siarczany.
3. Nie stwierdzono wpływu zawartości azotu ogólnego na liczbę bakterii wiążących azot atmosferyczny, NPL bakterii nitryfikacyjnych oraz NPL bakterii redukujących siarczany.

LITERATURA

1. Allan J.D., 1998. Ekologia Wód Płynących, Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 452.
2. Bhattacherjee J.W., Pathak S.P., Gaur A., 1988. Antibiotic resistance and metal tolerance of coliform bacteria isolated from Gomati River water at Lucknow city. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 34, 391–399.
3. Buszewski B., Fudała J., Kosobucki P., Kowalkowski T., Kowalska J., Zbytowski A., 2002. Wisła czystsza, ale... *Ekoprofit* nr 4, 166–174.
4. Cabral J.P.S., 2010. Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7, 3657–3703. doi:10.3390/ijerph7103657.
5. Chelmiński W., 2001. Woda – zasoby, degradacja, ochrona. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 305.
6. Kajak Z., 1998. Hydrobiologia – Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 94.
7. Kłós-Trębaczewicz H., Osuch-Pajdzińska E., Roman M., 1998. Wytyczne WHO dotyczące jakości wody do picia. *Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych*, s. 18.
8. Mikulski J., 1982. *Biologia wód śródlądowych*. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 491.
9. Miller P., 2005. Dzika rzeka – Wisła. *Przyroda Polska* 1, 10–11.
10. Obi C.L., Potgieter N., Bessong P.O., Matsaung G., 2004. Assessment of the microbial quality of river water sources in rural Venda communities in South Africa. *Water SA*, 28, 287–292.
11. Parkinson D., Gray T.R., Williams T.S., 1971. *Methods for studying of soil microorganisms*. IBP Handbook no 19. Oxford: Blackwell, ss. 116.
12. Pawlaczyk-Szpilowa Z., 1978. *Mikrobiologia wody i ścieków*. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 43–71.
13. Piskozub A., 1982. *Wisła – monografia rzeki*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, ss. 181.
14. PN-77/C-04584. *Woda i ścieki. Pomiar temperatury*.
15. PN-90/C-04540.01. *Woda i ścieki. Badania pH, kwasowości i zasadowości*.
16. PN-73/C-04576.14. *Woda i ścieki. Badania zawartości związków azotu. Obliczanie azotu ogólnego*.
17. Postgate J., 1994. *Człowiek i drobnoustroje*. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 307.
18. Różalski A., 1996. *Ćwiczenia z mikrobiologii ogólnej – skrypt dla studentów biologii*. Wydawnictwo UŁ, Łódź, ss. 216.
19. Sadowski S., 1993. Jakość wody uzdatnianej do picia, cz. 2. *Wiadomości Zielarskie*, 35(1), 13–15.
20. Servais P., Passerat J., 2009. Antimicrobial resistance of fecal bacteria in waters of the Seine river watershed (France). *Science of The Total Environment*, 408, 365–372. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.09.042
21. Starmach J., 2000. Kierunki badań ekologicznych ekosystemów wodnych rzek i zbiorników zaporowych. *Kosmos* 1-2, 279–286.
22. Szykiewicz Z., 1975. *Mikrobiologia*. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 290.
23. Świątecki A., 1997. Spatial and seasonal changes in bacterioplankton of heated Konińskie lakes. *Archives of Polish Fisheries*, Vol. 5, 167–181.
24. Zdzenicki T., 2006. Śmigus-dyngus brudną wodą. *Przyroda Polska* 4, 20–22.
25. Zurfluh K., Hachler H., Nuesch-Inderbinen M., Stephan R., 2013. Characteristics of extended-spectrum – Lactamase- and Carbapenemase-producing enterobacteriaceae isolates from rivers and lakes in Switzerland. *Applied and Environmental Microbiology*, 79, 3021–3026. doi:10.1128/AEM.00054-13.