

PIONOWE ROZMIESZCZENIE DROBNOUSTROJÓW  
WSKAŹNIKOWYCH ORAZ STOSUNKI TERMICZNO-TLENOWE  
W WODZIE PELAGIALU I PROFUNDALU JEZIORA WIGRY

EWA KORZENIEWSKA, ANNA GOTKOWSKA-PŁACHTA

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Katedra Mikrobiologii Środowiskowej  
ul. Romana Prawocheńskiego 1, 10-957 Olsztyn-Kortowo

Keywords: lake, water, indicator microorganisms, thermal-oxygen relation.

VERTICAL DISTRIBUTION OF SANITARY MICROORGANISMS  
AND THE THERMAL-OXYGEN RELATIONS IN PELAGIAL  
AND PROFUNDAL WATERS OF WIGRY LAKE

The paper presents the results of studies of sanitary microorganisms' vertical distribution in pelagial and profundal waters of Lake Wigry against the background of thermal-oxygen relations and the presence of a chosen chemical compound in the annual cycle. Total Viable Count at 20°C (TVC 20°C) and Total Viable Count at 37°C (TVC 37°C) were used as indicators of pollution, while Total Coli (TC), Faecal Coli (FC) and Faecal *Streptococcus-Enterococcus* (FS) – as indicators of the sanitary state. Water samples were collected from 3 sites situated in the centre of the lake. Pelagial and profundal waters showed a little degree of pollution. Higher bacteriological pollution was found in some of waters samples from Lake Wigry at site 1 in the vicinity of the mouth of the Czarna Hańcza River. The most numerous sanitary microorganisms were detected at the deep from 1 to 5 meters and above the bottom sediments. Number of FC bacteria was only higher at the depth of 5 meters and deeper. An important positive correlation was noted between temperature and TVC 20°C as well as TVC 37°C, while negative between TC also FC during the whole study period. The oxygen content was correlated negative with TVC 20°C, TVC 37°C and FS. The depth was correlated negatively with TVC 20°C only.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki przeprowadzonych w latach 1997–1999 badań pionowego rozmieszczenia drobnoustrojów wskaźnikowych w wodzie pelagialu i profundalu jeziora Wigry wraz z panującymi tam stosunkami termiczno-tlenowymi. Bakteriologicznymi wskaźnikami były bakterie oznaczane na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C, bakterie grupy coli, bakterie kałowe grupy coli oraz paciorkowce kałowe. Do badań wytypowano 3 stanowiska usytuowane w pobliżu najgłębszych miejsc jeziora, w różniących się od siebie w sposób znaczący pod względem morfometrycznym częściach jeziora (Płoso Północne, Płoso Szyja i Płoso Zachodnie). Wody pelagialu i profundalu jeziora Wigry na badanym obszarze Płos wykazywały tylko nieznaczne zanieczyszczenie bakteriologiczne. Większym zanieczyszczeniem charakteryzowały się jedynie niektóre próby wody pobierane na stanowiskach 1 (w rejonie ujścia rzeki Czarnej Hańczy) i 3 (w rejonie Wyspy Ostrów). Maksymalne liczebności badanych bakterii wskaźnikowych stopnia zanieczyszczenia i stanu sanitarnego stwierdzano na głębokości od 1 do 5 metrów oraz przy dnie, rzadziej zaś przy powierzchni lub na innych głębokościach. Tylko liczba kałowych bakterii grupy coli osiągała większe wartości na głębokości 5 metrów i niżej. W całym okresie badawczym stwierdzono istotnie dodatnią korelację pomiędzy temperaturą a liczebnością bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C, ujemną zaś dla bakterii grupy coli i kałowych bakterii grupy coli. Z zawartością tlenu istotnie ujemnie

skorelowana była liczebność bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C oraz liczba paciorkowców kałowych. Głębokość skorelowana była istotnie ujemnie tylko z liczebnością bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20°C w całym okresie badawczym.

## WSTĘP

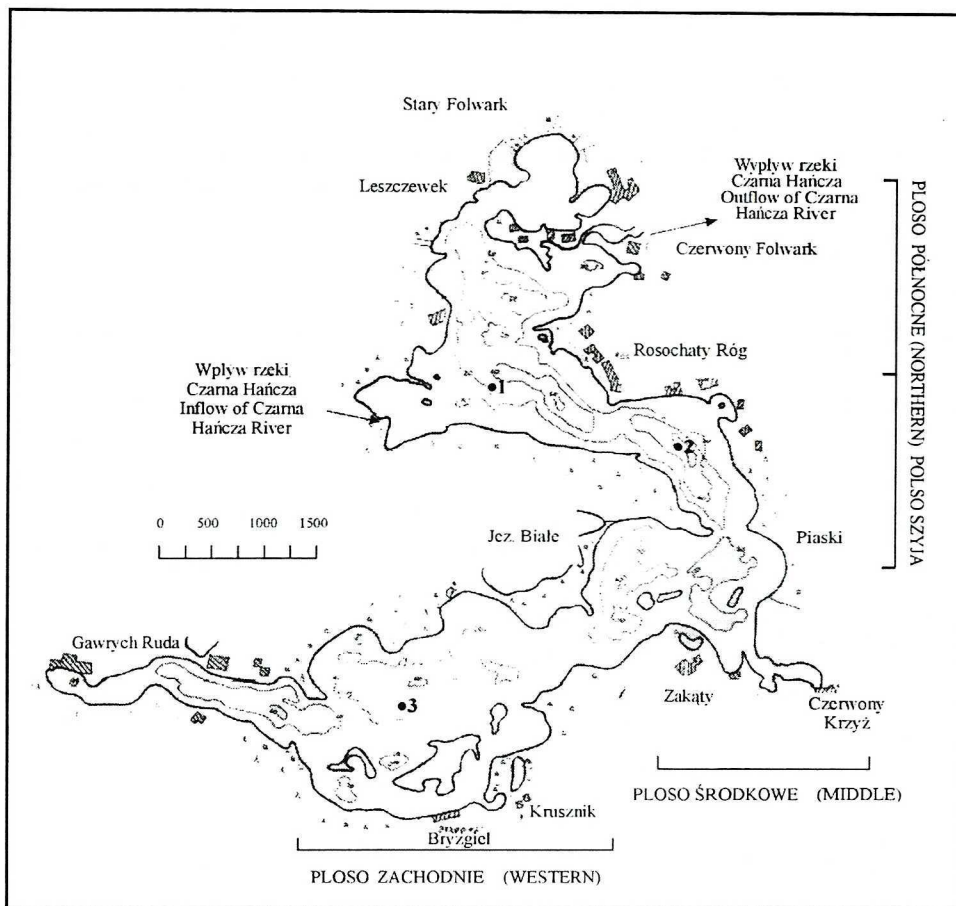
Bakterie zamieszkują wszystkie strefy i warstwy zbiorników wodnych. Chociaż ich liczebność w poszczególnych strefach jest różna i ulega wahaniom, to jednak można zauważyć pewne charakterystyczne prawidłowości w rozmieszczeniu bakterii, zarówno w płaszczyźnie horyzontalnej, jak i wertykalnej zbiornika [6]. W wodach litoralu występuje zwykle więcej bakterii niż w strefie pelagialu. Liczba bakterii wzrasta wyraźnie w pobliżu ujścia rzek i w obrębie miast [18, 20]. Różnice liczebności występują również w pionowym ich rozmieszczeniu. Niewolak [15] badając eutroficzne i dystroficzne jeziora okolic Węgorzewa na Pojezierzu Mazurskim stwierdził, że w okresie stagnacji letniej, w większości badanych jezior, bakterie występują najliczniej na głębokości 1 m, a w eutroficznym jeziorze Dgał Mały – maksima ich liczebności odnotowano ponadto w metalimnionie i w dolnej warstwie hypolimnionu. Wetzel [30] stwierdził przewagę liczebności drobnoustrojów w warstwie wody powyżej termokliny, gdzie dominują procesy produkcji biologicznej. W jeziorze Kortowskim, w okresie stagnacji letniej, Niewolak [19] stwierdził znaczny rozwój bakterii w metalimnionie. Jednolite rozmieszczenie bakterii w toni wodnej odnotował tylko w okresach cyrkulacji wiosennej i jesiennej, a także w okresie stagnacji zimowej (pod koniec lutego). W jeziorze Charzykowskim bezpośrednio pod lodem liczba bakterii była stosunkowo wysoka, a następnie malała do głębokości 3 m. W głębszych warstwach wody liczebność bakterii wzrastała osiągając maksimum przy dnie [25]. Również w innych porach roku liczebność bakterii w wodzie nadosadowej jest dużo wyższa, niż w pozostałych warstwach wód. Fonden [9] stwierdził wzrost liczebności bakterii pigmentowych w warstwie powierzchniowej w okresie letnim i jej spadek w okresie zimowym.

Celem pracy było zbadanie zależności pomiędzy liczebnością bakterii wskaźnikowych i stanu sanitarnego a stężeniem wybranych związków chemicznych oraz stosunkami termiczno-tlenowym w profilu pionowym jeziora Wigry.

## MATERIAŁY I METODY

### OBIEKT BADAŃ

Jezioro Wigry znajduje się na Pojezierzu Suwalsko-Augustowskim w centralnej części Wigierskiego Parku Narodowego. Jest to zbiornik pochodzenia lodowcowego, rynnowo-morenowy, o powierzchni 2 118,3 ha i maksymalnej głębokości 73 m. Głównym dopływem jeziora jest rzeka Czarna Hańcza. Do jeziora dopływają jeszcze wody rzeki Wiatrołuży oraz cieki wypływające z jezior Leszczewek, Staw, Czarne oraz zespołu jezior Długie, Okrągłe i Muliczne. Woda z jeziora Wigry odpływa w rejonie tzw. Płoso Północnego rzeką Czarną Hańczą. Brzegi jeziora porośnięte są lasem iglastym, a we wschodniej, północnej i południowej części jeziora usytuowane są nieliczne zabudowania gospodarcze i letniskowe.



Rys. 1. Rozmieszczenie stanowisk poboru prób (1, 2, 3) do badań bakteriologicznych na jeziorze Wigry  
 Location sketch of Wigry Lake. 1, 2, 3 - water sampling sites

W okresie letnim występuje typowe uwarstwienie termiczne mas wody (epi-, meta- i hypolimnion). W meta- i hypolimnionie występują znaczne deficyty tlenu. W okresie tym obniża się przezroczystość wody i wzrasta zasobność zbiornika w fosfor i inne makroskładniki. Za ten stan rzeczy w dużej mierze odpowiada rzeka Czarna Hańcza (ilość oczyszczonych ścieków dopływających do rzeki z oczyszczalni w Suwałkach z trzecim stopniem oczyszczania – ok. 16–18 tys. m<sup>3</sup>/dobę), mniejsze znaczenie ma spływ ze zlewni [3, 32].

#### POBÓR PRÓB WODY

Badania prowadzono w odstępach jednomiesięcznych od kwietnia do listopada w latach 1997–1999. Objęto nimi wody strefy pelagialu i profundalu jeziora Wigry. Wybrane 3 stanowiska usytuowane były w pobliżu najgłębszych miejsc jeziora Wigry (Rys. 1). Próby wody pobierano z głębokości 0,3, 1, 2, 3, 5 i 10 m, a dalej w odstępach dziesięciometrowych



do dna. Próby wody powierzchniowej pobierano bezpośrednio do jałowych butelek o pojemności 250 cm<sup>3</sup>, a próby z głębszych warstw oraz wody przydennej (z odległości 0,3–0,5 m od dna) przyrządem Ruttnera o pojemności 2 dm<sup>3</sup>. Łącznie w okresie badawczym ze wszystkich stanowisk pobrano 440 próby wody. Wszystkie próby wody przewożono do laboratorium w termotorbach z wkładem firmowym w temperaturze 4–6°C i natychmiast poddawano analizie. Czas od chwili pobrania prób wody do wykonania analiz nie przekraczał 12 godzin.

#### BADANIA MIKROBIOLOGICZNE.

W pobieranych próbach wody jeziora Wigry oznaczano:

1. ogólną liczbę (w 1 cm<sup>3</sup> wody) bakterii na agarze odżywczym po 72 godzinach inkubacji w temperaturze 20°C,
2. ogólną liczbę (w 1 cm<sup>3</sup> wody) bakterii na agarze odżywczym po 24 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C,
3. najbardziej prawdopodobną liczbę (NPL/100 cm<sup>3</sup> wody) bakterii grupy coli na pożywce Eijkmana po 48 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C,
4. najbardziej prawdopodobną liczbę (NPL/100 cm<sup>3</sup> wody) kałowych bakterii grupy coli na pożywce Eijkmana po 24 godzinach inkubacji w temperaturze 44,5°C,
5. najbardziej prawdopodobną liczbę (NPL/100 cm<sup>3</sup> wody) paciorkowców kałowych na pożywce bulionowej z błękitem metylenowym i azydkiem sodowym po 72 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C.

Wszystkie oznaczenia wykonywano w 3 równoległych powtórzeniach tej samej próby wody. Ogólną liczbę bakterii na agarze odżywczym w temperaturze 20 i 37°C badano zgodnie z wytycznymi podanymi przez Polską Normę [21]. NPL/100 cm<sup>3</sup> bakterii grupy coli, kałowych bakterii grupy coli i paciorkowców kałowych określono zgodnie z wytycznymi zawartymi w A.P.H.A. Standard Methods [1] i odczytano z tablic Mc Crady'ego.

#### BADANIA FIZYKO-CHEMICZNE

Obejmowały one oznaczenie w wodzie zawartości wybranych związków chemicznych, takich jak stężenie: azotu amonowego (N-NH<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>), azotu azotynowego (N-NO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>), azotu azotanowego (N-NO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>), azotu organicznego (Norg/dm<sup>3</sup>), azotu ogólnego (Nog/dm<sup>3</sup>), fosforu mineralnego (P-PO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>), fosforu organicznego (Porg/dm<sup>3</sup>) oraz fosforu ogólnego (Pog/dm<sup>3</sup>). W wodach pelagialu i profundalu jeziora Wigry zbadano także zawartość tlenu (O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) oraz temperaturę wody.

#### WYNIKI BADAŃ

Graficznie przedstawiono wyniki badań odzwierciedlające układ pionowy drobnoustrojów wskaźnikowych w toni wodnej wraz z warunkami termiczno-tlenowymi w miesiącach sierpniu, kwietniu i listopadzie, charakterystycznych odpowiednio dla okresu letniej stagnacji oraz wiosennej i jesiennej cyrkulacji. Pozostałe wyniki (dostępne u autorów pracy) uwzględniono przy obliczeniach statystycznych.

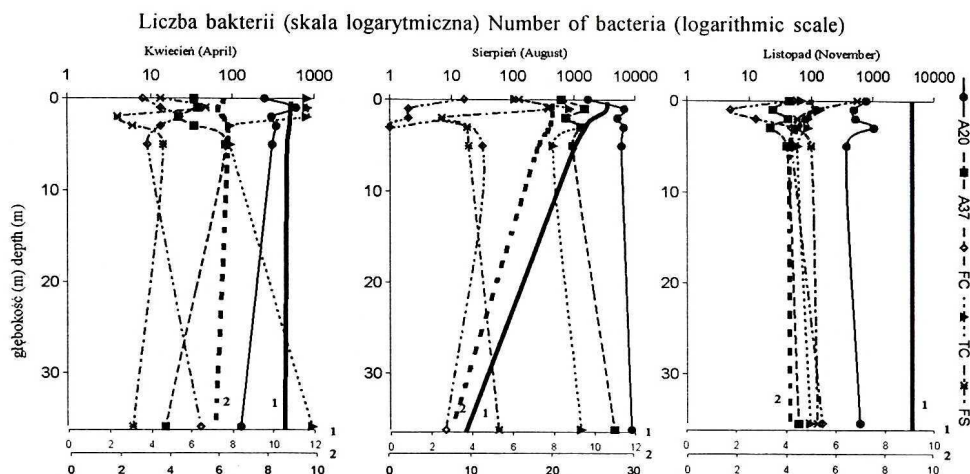
**Bakterie wskaźnikowe stopnia zanieczyszczenia i stanu sanitarnego w wodzie jeziora Wigry.** Ogólna liczba bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C w wodzie jeziora Wigry wahała się odpowiednio od 16 jtk/1 cm<sup>3</sup> na stanowisku 3 w warstwie wody powierzchniowej w sierpniu 1999 r. do 31,1 tys. jtk/1 cm<sup>3</sup> na stanowisku 2 w warstwie wody na głębokości 10 m w sierpniu 1998 r. i od 3 jtk/1 cm<sup>3</sup> na stanowisku 2 na głębokości 2 m w kwietniu 1998 r. do 13,3 tys. jtk/1 cm<sup>3</sup> na tym samym stanowisku w warstwie wody przydennej w sierpniu 1997 r.

Ogólna liczba bakterii grupy coli i liczba paciorkowców kałowych wahała się od <3 do 1,4 tys. NPL/100 cm<sup>3</sup> na różnych stanowiskach, w różnym okresie badawczym. Liczba kałowych bakterii grupy coli mieściła się w przedziale od <3 do 250 NPL/100 cm<sup>3</sup> wody na różnych stanowiskach i w różnym okresie badawczym, osiągając maksymalne wartości w sierpniu 1999 r.

**Pionowe rozmieszczenie oraz sezonowe zmiany liczebności bakterii wskaźnikowych stopnia zanieczyszczenia i stanu sanitarnego w wodzie jeziora Wigry.** W okresie stagnacji letniej (w sierpniu), maksymalne liczebności bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20°C występowały na głębokości około 10 m czasem nad dnem, bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 37°C na głębokości od 1 do 2 m oraz poniżej 5 m. Liczba bakterii kałowych grupy coli była w tym czasie nieznacznie niższa na głębokości od 1 do 10 m. Bakterie grupy coli występowały liczniej na głębokości 1 m, paciorkowce kałowe zaś na głębokości około 10 m oraz nad dnem. Porównując okres stagnacji letniej z okresami homotermii, tj. kwietniem (cyrkulacja wiosenna) i listopadem (cyrkulacja jesienna) stwierdzono wyrównaną zawartość bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20°C w toni wodnej wiosną, natomiast jesienią maksymalne liczebności tych bakterii w wodzie występowały zazwyczaj w warstwie powierzchniowej od 0 do 1 m, rzadziej na innych głębokościach. Liczebność bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 37°C pozostaje w okresach homotermii z niewielkimi odchyleniami wyrównana w całej toni wodnej. W tym czasie wyższe liczebności bakterii grupy coli stwierdzano najczęściej na głębokościach od 0 do 5 m. Kałowe bakterie grupy coli występowały liczniej wiosną na głębokości od 1 do 5 m a jesienią w wodzie nad dnem. Najwyższe liczebności paciorkowców kałowych stwierdzano wiosną na głębokości 3 do 5 m, jesienią zaś przy powierzchni oraz na głębokości około 10 m. W okresie badawczym bakterie oznaczane na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C, jak również bakterie grupy coli występowały liczniej w sierpniu. Liczba paciorkowców kałowych osiągała maksymalne wartości w miesiącu listopadzie. Kałowe bakterie grupy coli stwierdzano liczniej w sierpniu i listopadzie (Rys. 2, 3 i 4).

**Zawartość tlenu w wodzie.** W okresie badawczym zawartość tlenu wahała się od 0,96 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> na stanowisku 3 w lipcu 1999 r. do 14,08 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> na stanowisku 2 w kwietniu 1999 r. na obu stanowiskach w wodzie przydennej. Podczas cyrkulacji wiosennej zawartość tlenu w wodzie wyraźnie wzrastała; podczas cyrkulacji jesiennej była ona mniej więcej wyrównana w toni wodnej na wszystkich stanowiskach. Podczas stagnacji letniej stwierdzano drastyczny spadek zawartości tlenu w wodzie przydennej. Tego rodzaju regularność stwierdzano na wszystkich trzech stanowiskach usytuowanych w najgłębszych miejscach jeziora, zarówno w 1998 jak i w 1999 r.

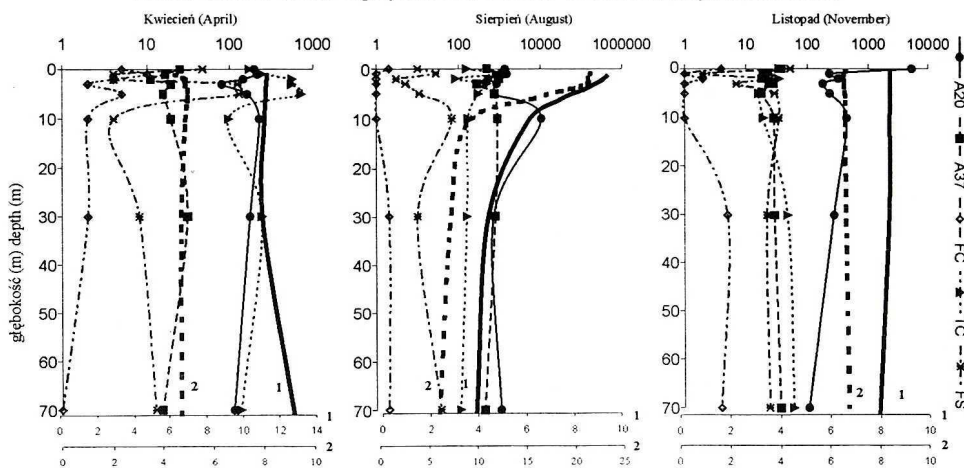




Rys. 2. Pionowe rozmieszczenie bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temp. 20°C (TVC 20°C) (jtk/cm<sup>3</sup>), bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temp. 37°C (TVC 37°C) (jtk/cm<sup>3</sup>), kałowych bakterii grupy coli (FC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), ogólnej liczby bakterii grupy coli (TC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), paciorkowców kałowych (FS) (NPL/100 cm<sup>3</sup>) i zawartości tlenu (1) (mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) w wodzie jeziora Wigry na stanowisku 1 w okresie homotermii wiosennej (kwiecień), stagnacji letniej (sierpień) i w okresie homotermii jesiennej (listopad) oraz temperatura badanej wody (2) (°C).

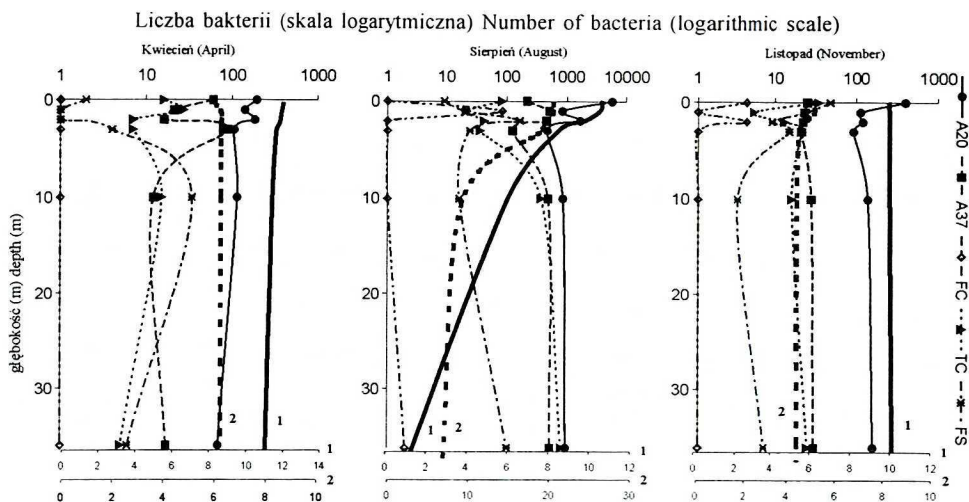
Vertical distribution of total viable counts at 20°C (TVC 20°C) (colony/cm<sup>3</sup>), total viable counts at 37°C (TVC 37°C) (colony/cm<sup>3</sup>), faecal coliforms (FC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), total coliforms (TC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), faecal streptococci (FS) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), oxygen content (1) (mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) in the water of Lake Wigry at the 1 station at the spring circulation (April), summer stagnation (August) and autumn circulation (November) also temperature of water (2) (°C).

Liczba bakterii (skala logarymiczna) Number of bacteria (logarithmic scale)



Rys. 3. Pionowe rozmieszczenie bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temp. 20°C (TVC 20°C) (jtk/cm<sup>3</sup>), bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temp. 37°C (TVC 37°C) (jtk/cm<sup>3</sup>), kałowych bakterii grupy coli (FC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), ogólnej liczby bakterii grupy coli (TC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), paciorkowców kałowych (FS) (NPL/100 cm<sup>3</sup>) i zawartości tlenu (1) (mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) w wodzie jeziora Wigry na stanowisku 2 w okresie homotermii wiosennej (kwiecień), stagnacji letniej (sierpień) i w okresie homotermii jesiennej (listopad) oraz temperatura badanej wody (2) (°C).

Vertical distribution of total viable counts at 20°C (TVC 20°C) (colony/cm<sup>3</sup>), total viable counts at 37°C (TVC 37°C) (colony/cm<sup>3</sup>), faecal coliforms (FC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), total coliforms (TC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), faecal streptococci (FS) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), oxygen content (1) (mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) in the water of Lake Wigry at the 2 station at the spring circulation (April), summer stagnation (August) and autumn circulation (November) also temperature of water (2) (°C).



Rys. 4. Pionowe rozmieszczenie bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temp. 20°C (TVC 20°C) (jtk/cm<sup>3</sup>), bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temp. 37°C (TVC 37°C) (jtk/cm<sup>3</sup>), kałowych bakterii grupy coli (FC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), ogólnej liczby bakterii grupy coli (TC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), paciorkowców kałowych (FS) (NPL/100 cm<sup>3</sup>) i zawartości tlenu (1) (mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) w wodzie jeziora Wigry na stanowisku 3 w okresie homotermii wiosennej (kwiecień), stagnacji letniej (sierpień) i w okresie homotermii jesiennej (listopad) oraz temperatura badanej wody (2) (°C).

Vertical distribution of total viable counts at 20°C (TVC 20°C) (colony/cm<sup>3</sup>), total viable counts at 37°C (TVC 37°C) (colony/cm<sup>3</sup>), faecal coliforms (FC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), total coliforms (TC) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), faecal streptococci (FS) (NPL/100 cm<sup>3</sup>), oxygen content (1) (mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) in the water of Lake Wigry at the 3 station at the spring circulation (April), summer stagnation (August) and autumn circulation (November) also temperature of water (2) (°C).

**Obliczenia statystyczne.** Przeprowadzono ocenę statystyczną uzyskanych wyników badań uwzględniającą współczynniki korelacji rang Spearmana pomiędzy głębokością, czasem poboru próby, temperaturą wody, zawartością tlenu oraz związków azotu i fosforu w wodzie a liczebnością drobnoustrojów. Na podstawie otrzymanych wyników przedstawionych w tabeli 1 stwierdzono istotne korelacje pomiędzy liczebnością wszystkich grup drobnoustrojów z wyjątkiem paciorkowców kałowych a temperaturą w całym okresie badawczym. Korelacja ta była dodatnia dla bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temperaturze 20 i 37°C, ujemna zaś dla bakterii grupy coli i kałowych bakterii grupy coli. Biorąc pod uwagę sezonowe zależności (wyliczenia dostępne u autorów pracy) nie stwierdzono jednak istotnych różnic pomiędzy liczebnością drobnoustrojów a temperaturą w sezonie letnim, stwierdzono zaś istotnie ujemną korelację w sezonie jesiennym dla bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temperaturze 37°C oraz kałowych bakterii grupy coli i paciorkowców kałowych. W sezonie wiosennym tylko liczba bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temperaturze 37°C była istotnie dodatnio skorelowana z temperaturą wody.

Tabela 1. Ocena statystyczna metodą korelacji rang Spearmana uzyskanych podczas całego okresu badawczego wyników oznaczeń liczebności wszystkich badanych grup drobnoustrojów a temperaturą wody, głębokością poboru prób, zawartością tlenu a także zawartością wybranych związków chemicznych (zawartość azotu amonowego, azotu azotanowego, azotu azotanowego, azotu organicznego, azotu ogólnego, fosforu mineralnego, fosforu organicznego oraz fosforu ogólnego) w wodzie jeziora Wigry (TVC 20°C - bakterie oznaczane na agarze odżywcym w temperaturze 20°C, TVC 37°C - bakterie oznaczane na agarze odżywcym w temperaturze 37°C, FC - bakterie kałowe grupy coli, TC - bakterie grupy coli, FS - paciorkowce kałowe)

Statistic estimation by Spearman' correlation between all group bacteria numbers received during whole study period and temperature of water, depth, oxygen content and some chemical compounds (ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, organic nitrogen, total nitrogen, mineral phosphorus, organic phosphorus, total phosphorus) in the water of Lake Wigry (TVC 20°C - total viable counts at 20°C, TVC 37°C - total viable counts at 37°C, FC - faecal coliforms, TC - total coliforms, FS - faecal streptococci)

	Korelacja porządku rang Spearmana BD usuwane parami. Zaznaczone korelacje są istotne z $p < 0,05000$ Estimation by Spearman' correlation. BD eliminated in couple. Important correlations ( $p < 0,05000$ ) marked.						
	Głębokość [m] Depth [m]	Temperatura °C Temperature °C	TVC 20°C	TVC 37°C	FC	TC	FS
Głębokość [m] Depth [m]	1,000000	-0,457341	-0,107400	0,002948	-0,004786	0,013116	0,092352
Temperatura °C Temperature °C	-0,457341	1,000000	0,550282	0,442167	-0,171715	-0,150153	0,009034
TVC 20°C	-0,107400	0,350282	1,000000	0,599297	0,061801	0,034229	0,154697
TVC 37°C	0,002948	0,442167	0,599297	1,000000	-0,038819	-0,018517	0,133933
FC	-0,004786	-0,171715	0,061801	-0,038819	1,000000	0,466363	0,255589
TC	0,013116	-0,150153	0,034229	-0,018517	0,466363	1,000000	0,337149
FS	0,092352	0,009034	0,154697	0,133933	0,255589	0,337149	1,000000
Azot amonowy mg N-NH <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup> Ammonium nitrogen mg N-NH <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup>	0,047896	0,041967	0,014643	-0,014732	0,004383	-0,066324	0,136386
Azot azotanowy mg N-NO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> Nitrite nitrogen mg N-NO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	0,229453	-0,118004	-0,202425	-0,244265	0,112232	0,181900	0,173289
Azot azotanowy mg N-NO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup> Nitrate nitrogen mg N-NO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	0,367325	-0,075986	-0,094366	-0,127342	0,116567	0,144188	0,149610
Azot organiczny mg Norg/dm <sup>3</sup> Organic nitrogen mg Norg/dm <sup>3</sup>	-0,033562	0,464370	0,273140	0,502514	-0,180890	-0,145373	0,043430
Azot ogólny mg Nog/dm <sup>3</sup> Total nitrogen mg Nog/dm <sup>3</sup>	0,233053	0,338708	0,176189	0,328874	-0,079853	-0,006018	0,180242
Fosfor mineralny mg P-PO <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup> Mineral phosphorus mg P-PO <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup>	0,451617	0,068087	-0,128603	-0,171987	0,133777	0,043326	0,198363
Fosfor organiczny mg Porg/dm <sup>3</sup> Organic phosphorus mg Porg/dm <sup>3</sup>	-0,039525	0,509163	0,274565	0,528804	-0,037000	0,031999	0,327380
Fosfor ogólny mg Pog/dm <sup>3</sup> Total phosphorus mg Pog/dm <sup>3</sup>	0,400406	0,337050	0,024641	0,215798	-0,012166	0,112079	0,362095
Tlen mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> Oxygen mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	-0,293317	-0,350311	-0,324869	-0,342397	0,013570	0,162767	-0,407346



Dla całego okresu badawczego stwierdzono istotnie ujemną korelację z głębokością jedynie dla bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20°C. W poszczególnych sezonach w większości przypadków skorelowana była ona ujemnie z liczebnością wszystkich grup drobnoustrojów, istotnie dodatnio zaś tylko wiosną z liczebnością bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20°C i latem z liczebnością kałowych bakterii grupy coli.

W całym okresie badawczym zawartość tlenu istotnie ujemnie skorelowana była z liczebnością bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C oraz z liczbą paciorkowców kałowych. Uwzględniając sezonowe zależności tylko liczebność kałowych bakterii grupy coli była skorelowana istotnie ujemnie w sezonie wiosennym oraz istotnie dodatnio latem z zawartością tlenu.

Zawartość azotu ogólnego (Nog/dm<sup>3</sup>) i organicznego (Norg/dm<sup>3</sup>) oraz fosforu organicznego (Porg/dm<sup>3</sup>) w pobieranych próbach wody była istotnie dodatnio skorelowana z liczebnością bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 37°C, natomiast liczba paciorkowców kałowych była istotnie dodatnio skorelowana z ilością fosforu ogólnego (Pog/dm<sup>3</sup>) i organicznego. Obecność pozostałych badanych związków chemicznych (azotu amonowego N-NH<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>, azotynów N-NO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, azotanów N-NO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> i fosforu mineralnego P-PO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>) nie była istotnie skorelowana z liczebnością żadnej z badanych grup bakterii w całym okresie badawczym.

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Zróznicowany charakter północnej, środkowej i południowej części jeziora Wigry pod względem morfometrii, zagospodarowania obszarów łądu (lasy, pola uprawne, łąki), dopływów (Czarna Hańcza, Wiatrołuża oraz ciekii wodne) znajduje odzwierciedlenie w różnym stopniu zanieczyszczenia bakteriologicznego wody. Większe zanieczyszczenie drobnoustrojami wskaźnikowymi stwierdzano na stanowisku usytuowanym na terenie Płoso Północnego (stanowisko 1). Zbliżone wyniki otrzymał Niewola [17, 18] w badaniach przeprowadzonych na tym zbiorniku w latach 1994–1996. Zanieczyszczenia bakteriologiczne wody Zatoki Hańczańskiej związane są z ich dopływem rzeką Czarną Hańczą [17, 18, 26]. W rezultacie woda w tej części jeziora Wigry wykazuje nie tylko wyższy stopień eutrofizacji [13, 31, 32], ale również niezadowalający stan sanitarno-bakteriologiczny.

Wysokie liczebności bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 37°C, stwierdzone w większości badanych prób wody jeziora Wigry, potwierdzają dopływ do jeziora zanieczyszczeń allochtonicznych zwłaszcza w sierpniu. Wpływ na to mieć mogło wzmoczone rekreacyjne wykorzystanie wód jeziora, niekiedy także większa ilość opadów deszczu notowana przed poborem prób. Wraz z wodą deszczową mogą być wyplukiwane do jeziora większe ilości zanieczyszczeń z okolicznych pól i lasów, a także z sąsiednich łąk i pastwisk, zajmujących duże powierzchnie nad północnym i zachodnim brzegiem jeziora Wigry. Użytki rolne zajmują 70% całkowitej zlewni jeziora Wigry (w tym grunty orne 58%, łąki i pastwiska 12%) pozostały obszar to głównie lasy (23%), tworzące zwarty kompleks leśny w południowej części zlewni bezpośredniej tego zbiornika [3]. Faust i Goff [8], badając wodę rzeki Rhode w Stanach Zjednoczonych oraz spływy ze zlewni o przewadze gruntów ornych, o charakterze pastwiskowym i terenów miejskich, stwierdzali wyższą liczebność bakterii wskaźnikowych w czasie opadów burzowych; najwyższe liczebności zaś stwierdzali oni w spływach z pastwisk. Latem liczebność tych bakterii

w spływach z terenów o przewodze gruntów ornych wzrastała 10 do 20-krotnie w porównaniu z okresem wiosennym, podczas gdy z terenów miejskich tylko 3 do 4-krotnie. Według tych samych autorów dzienny dopływ zanieczyszczeń pochodzących od 1 człowieka wynosi  $26 \times 10^8$  komórek bakterii kałowych grupy coli oraz  $11 \times 10^8$  komórek paciorkowców kałowych, od 1 zwierzęcia zaś  $1810 \times 10^8$  komórek bakterii kałowych grupy coli oraz  $1950 \times 10^8$  komórek paciorkowców kałowych. Valiela i Costa [29] podają, iż ze zlewni wraz z opadami deszczu do wód Zatoki Buttermilk przedostaje się rocznie  $6,7 \times 10^{12}$  komórek bakterii kałowych grupy coli.

Wielokrotnie wyższe liczebności paciorkowców kałowych w większości badanych prób wody jeziora Wigry, aniżeli bakterii kałowych z grupy pałeczki okrężnicy wskazują, iż głównym źródłem zanieczyszczenia tego zbiornika były odchody dzikich zwierząt [10]. Mogło nimi być ptactwo wodne [4, 5, 28], znajdujące dogodne warunki gniazdowania w silnie rozwiniętej roślinności przybrzeżnej zarówno jeziora, jak również jego wysp i wysepek. W warunkach jeziora Wigry dotyczy to dzikich kaczek, łysiek, łabędzia niemego, dzikich gęsi, mew i kormoranów, zajmujących określone nisze lub przemieszczających się na inne siedliska, tu zaś znajdujące się tylko czasowo. Alderisio i DeLuca [2] badając wodę zbiornika Kensico w stanie Nowy York (Stany Zjednoczone), stwierdzali istotną korelację pomiędzy liczebnością mew i gęsi kanadyjskich a liczebnością bakterii kałowych grupy coli. W odchodach mew stwierdzali oni  $3,7 \times 10^8$  komórek bakterii kałowych grupy coli, w odchodach gęsi kanadyjskich zaś  $1,5 \times 10^4$  komórek bakterii kałowych grupy coli. Z uwagi na 15-krotnie większy ciężar odchodów gęsi w porównaniu do odchodów mew, w znaczny sposób przyczyniały się one do zanieczyszczenia badanego zbiornika, zwłaszcza w sezonie wiosennym i letnim. W rejonie ujścia rzeki Czarnej Hańczy do jeziora Wigry znajduje się utworzony w 1959 r. rezerwat „Ostoja Bobrów Stary Folwark”, skąd również zanieczyszczenia wydalone przez te zwierzęta mogą być wypłukiwane do jeziora [24]. Wyższe liczebności bakterii kałowych grupy coli, stwierdzane najczęściej w wodzie pobieranej na stanowisku usytuowanym na terenie Płoso Północnego, rzadziej w innych miejscach, związane są zapewne z dużą ilością tych bakterii wnoszonych wraz z wodą rzeki Czarnej Hańczy do Zatoki Hańczańskiej, zwłaszcza w okresach wezbrań wiosną (w kwietniu) i jesienią (we wrześniu lub październiku) [3]. W badaniach tej rzeki przeprowadzonych w latach 1994–1996 przez Niewolaka [18] liczba tych bakterii w wodzie osiągała w tym okresie wartości rzędu do 450 tys. NPL w  $100 \text{ cm}^3$ .

Większe ilości bakterii wskaźnikowych stopnia zanieczyszczenia i stanu sanitarnego w okresie stagnacji letniej w warstwie wody na głębokości od 1 do 5 m mogły być związane z pochłanianiem bakteriobójczych promieni UV, już w powierzchniowej (jednometrowej) warstwie wody, a tym samym zwiększoną przeżywalnością tych drobnoustrojów poniżej [7, 19, 22]. Wzrost ich liczebności w wodzie przydennej mógł być związany z gromadzeniem się tutaj zawieszin organicznych i mineralnych sedymentujących z górnych warstw wody wraz z zaadsorbowanymi komórkami drobnoustrojów. Poza tym do wody przydennej bakterie te przedostawać się mogą z powierzchniowej warstwy osadów dennych, w wyniku zmian w zasoleniu i zawartości substancji organicznej [11, 16], wzruszania dna przez organizmy bentosowe [12], czy też poprzez oddziaływanie prądów konwekcyjnych [14]. Wiosną i jesienią znaczenie mieć mogły zjawiska okresowej cyrkulacji pionowej wody, transportujące z warstw przydennych zawieszinę z zaadsorbowanymi komórkami bakterii [27]. W głębszych jeziorach, takich jak Wigry, duża objętość mas wodnych może maskować wpływ osadów dennych na zanieczyszczenie wód wskutek dużego rozcieńczenia desorbujących bakterii.



Poza tym zależnie od stopnia zasolenia osadów dennych proces desorpcji bakterii jelitowych może się znacznie wahać. *Escherichia coli*, silnie zaadsorbowana do słonych osadów, ulega łatwo desorpcji w rozcieńczonych elektrolitach [23].

#### WNIOSKI

1. W okresie homotermii (w kwietniu i listopadzie) maksymalne liczebności badanych bakterii wskaźnikowych stopnia zanieczyszczenia i stanu sanitarnego oraz bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C w wodzie jeziora Wigry występowały zazwyczaj w warstwie powierzchniowej od 0 do 1 m oraz przy dnie, rzadziej zaś na innych głębokościach. Tylko liczba bakterii grupy coli najczęściej nie wykazywała różnic w wodzie na poszczególnych głębokościach.
2. W okresie stagnacji letniej (w sierpniu) liczebności wszystkich badanych grup drobnoustrojów były zazwyczaj niższe w wodzie warstwy powierzchniowej, wyższe zaś na głębokościach od 1 do 5 m, czasem nad dnem.
3. Większe liczebności badanych bakterii wskaźnikowych stopnia zanieczyszczenia oraz stanu sanitarnego stwierdzano w rejonie Płoso Północnego i Zatoki Hańczańskiej w pobliżu dopływu rzek Czarnej Hańcy i Wiatrołuży oraz w rejonie Płoso Środkowego w pobliżu miejscowości Bryzgiel i Krusznik.
4. Ocena statystyczna uzyskanych podczas całego okresu badawczego wyników badań wykazała korelacje istotnie ujemne pomiędzy liczebnością wszystkich badanych drobnoustrojów a zawartością tlenu i pomiędzy liczebnością kałowych bakterii grupy coli i bakterii grupy coli a temperaturą wody, a także istotnie dodatnie pomiędzy liczebnością bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C a temperaturą wody, pomiędzy liczebnością bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 37°C a zawartością azotu organicznego i ogólnego oraz fosforu organicznego oraz pomiędzy liczebnością paciorkowców kałowych a zawartością fosforu organicznego i ogólnego.

#### LITERATURA

- [1] A.P.H.A. (American Public Health Association): *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18 Ed., Eds.: G.E. Greenberg, L.S. Clesceri, A.D. Eaton, Publ. Office American Public Health Association, Washington 1992, D.C. 9-1-9-147.
- [2] Alderisio K.A., N. DeLuca: *Seasonal enumeration of fecal coliform bacteria from the feces of Ring-Billed Gulls (*Larus delawarensis*) and Canada Geese (*Branta Canadensis*)*, Appl. Environ. Microbiol., **65**, 5628-5630 (1999).
- [3] Bajkiewicz-Grabowska E.: *Sieć hydrograficzna, warunki odpływu i wymiany wód w jeziorach*, [w:] Jeziora Wigierskiego Parku Narodowego, Stan eutrofizacji i kierunki ochrony, Opracowanie zbiorowe pod redakcją B. Zdanowskiego, PAN. Komitet Naukowy przy Prezydium PAN, Człowiek i Środowisko, Zeszyty Naukowe 3. Zakł. Narod. im. Ossolińskich Wrocław-Warszawa-Kraków 1992, 21-34.
- [4] Brierley J.A., D.K. Brandvold, C.J. Popp: *Waterfowl refuge effect on water quality: I. Bacterial populations*, Journ. Water Pollution Control Federation, **47**, 1892-1900 (1975).
- [5] Buchsbaum R., I. Valiela: *Variability in the chemistry of estuarine plants and its effect on feeding by Canada geese*, Oecologia, **73**, 146-153 (1987).
- [6] Donderski W., E. Strzelczyk: *Bacteriological studies of the mesotrophic Lake Jasne*, AUNC Toruń, Prace limnologiczne, **10**, 15-27 (1977).
- [7] Drury D.D., R.A. Gearheart: *Bacterial population dynamics and dissolved oxygen minimum*,



- J. Am. Water Works Assoc., 67, 154–158 (1975).
- [8] Faust M.A., N.M. Goff: *Sources of bacterial pollution in an estuary*, Coastal Zone '78, the Proceedings of the Symposium on Technical, Environmental, Socioeconomic and Regulatory Aspects of Coastal Zone Management ASCE/San Francisco, California, 819–839 (1978).
- [9] Fonden R.: *Heterotrophic Bacteria in Lake Malaren and Lake Hjalmaren*, Water Poll. Abs. (G.B.), 43, 2273–2278 (1970).
- [10] Geldreich E.E.: *Bacterial populations and indicator concepts in feces, sewage, stormwater and solid wastes*, [w:] *Indicators of Viruses in Water and Food*, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Michigan, 51–97 (1978).
- [11] Grimes D.J.: *Release of sediment – bound fecal coliforms by dredging*, Appl. Microbiol., 29, 109–111, 1975.
- [12] Grundmanis V., J.W. Murray: *Nitrification and denitrification in marine sediment from Puled Sound*, Limnol. Oceanogr., 22, 803–813 (1977).
- [13] Hutorowicz A.: *Zbiorowisko fitoplanktonu jako wskaźnik eutrofizacji jeziora Wigry*, [w:] *Funkcjonowanie i ochrona ekosystemów wodnych na obszarach chronionych*, Opracowanie zbiorowe pod redakcją B. Zdanowskiego, M. Kamińskiego i A. Martyniaka, Wyd. IRS, Olsztyn, 279–288 (1999).
- [14] Kuzniecowa S.I.: *Mikroflora ozier i jeje geochimiczeskaja diejatielnost*, Izd., „Nauka”, Leningradskoje otdielenije, Leningrad (1970).
- [15] Niewolak S.: *The occurrence of microorganisms in the water of some lakes in the district of Wegorzewo*, Acta Hydrobiol., 4, 371–390 (1975).
- [16] Niewolak S.: *Badania porównawcze nad przeżywalnością niektórych bakterii jelitowych w wodzie i osadach dennych jezior różnych typów*, Zesz. Nauk. ART Olsztyn, 10, 71–83 (1980).
- [17] Niewolak S.: *Bacteriological Monitoring of Lake Water in Wigry National Park in the Summer*, Polish Journal of Environmental Studies, 8, 231–249 (1999).
- [18] Niewolak S.: *The evaluation of the contamination degree and the sanitary and bacteriological state of the waters in the Czarna Hańcza River in the region of Suwałki and the Wigry National Park*, Polish Journal of Environmental Studies, 7, 229–241 (1998).
- [19] Niewolak S.: *The occurrence of microorganisms in the water of the Kortowskie Lake*, Pol. Arch. Hydrobiol., 21, 315–333 (1974).
- [20] Niewolak S.: *Total Viable Count and Concentration of Enteric Bacteria in Bottom Sediments from the Czarna Hańcza River, Northeast Poland*, Polish Journal of Environmental Studies, 7, 295–306 (1998).
- [21] Polska Norma PN-75/C-04615/03: *Woda i Ścieki. Badania mikrobiologiczne, Oznaczanie liczby bakterii metodą płytkową*, Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości 1975.
- [22] Rhodes M.W., H.I. Kator: *Effects of sunlight and autochthonous microbiota on Escherichia coli survival in an estuarine environment*, Curr. Microbiol., 21: 65–73, (1990).
- [23] Ropper M.M., K.C. Marshall: *Modification of the interaction between Escherichia coli and bacteriophage in saline sediment*, Microb. Ecol., 1, 1–13 (1974).
- [24] Skinner Q.D., J.J. Speck, M. Smith, J.C. Adams: *Stream water quality as influenced by beaver with grazing systems in Wyoming*, J. Range Manag., 37, 142–146, (1984).
- [25] Szulkowska-Wojaczek E.: *Dynamika stosunków ilościowych bakterii w wodzie jezior i próba jej ekologicznej interpretacji*, PTPN, Opole 1973.
- [26] Świątecki A., D. Górniak, A. Cierpikowska, K. Rydzińska: *Bakteriologiczna ocena zanieczyszczeń wód systemu rzeczno-jeziorowego rzeki Czarnej Hańczy*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Olsztynie – 6, Prace Biologiczne, zeszyt 1, 97–104 (1997).
- [27] Toerien D.F., D.N. Sadie, P. Stegman: *Factors influencing viable bacteria in a turbid man-made impoundments*, J. Limnol. Soc. South. Afr., 4, 89–94 (1978).
- [28] Valiela I., M. Alber, M. LaMontagne: *Fecal coliform loadings and Stocks in Buttermilk Bay, Massachusetts, USA, and Management implication*, Environmental Management, 15, 659–674 (1991).
- [29] Valiela I., J.E. Costa: *Eutrophication of Buttermilk Bay, a Cape Cod coastal embayment: Concentrations of nutrients and watershed nutrient budgets*, Environmental Management, 12, 539–553 (1988).
- [30] Wetzel R.G.: *Limnology*, W.B. Saunders Co., Philadelphia 1975, 743.
- [31] Zdanowski B.: *Eutrofizacja jezior Wigierskiego Parku Narodowego: zagrożenie i ocena*, [w:] *Funkcjonowanie i ochrona ekosystemów wodnych na obszarach chronionych*,

Opracowanie zbiorowe pod red. B. Zdanowskiego, M. Kamińskiego i A. Martyniaka, Wydawnictwo IRS, Olsztyn 1999, 261–288.

- [32] Zdanowski B., A. Karpiński, S. Prusik: *Warunki środowiskowe wód jezior Wigierskiego Parku Narodowego*, [w:] Jeziora Wigierskiego Parku Narodowego, Stan eutrofizacji i kierunki ochrony, Oprac. zbiorowe pod redakcją B. Zdanowskiego, PAN, Komitet Naukowy przy Prezydium PAN, Człowiek i Środowisko, Zeszyty Naukowe 3, Wrocław – Warszawa – Kraków, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, 35–62 (1992).

Wpłynęło: 21 października 2003, zaakceptowano do druku: 27 lutego 2004.