

WARUNKI TERMICZNO-TLENOWE JEZIORA IŃSKO

JAN TROJANOWSKI, AGNIESZKA PARZYCH

Pomorska Akademia Pedagogiczna, Zakład Chemii Środowiskowej, ul. Arciszewskiego 22, 76-200 Słupsk

KOMUNIKAT

Keywords: oxygen, temperature, suspension, epilimnion, lake.

THERMAL AND OXYGEN CONDITIONS OF LAKE IŃSKO

The oxygen and thermal conditions in Lake Ińsko were examined in years 1999–2000. Lake Ińsko is one of a dynamic type and its waters are mixed twice a year. This lake has a strong thermal and oxygen stratification. The oxygen conditions in the lake are very good because the total deficiency of oxygen appears only in summer, on the depth below 30 m, and only in the areas where the influence of town of Ińsko is the strongest. During autumn and winter circulation the concentration of oxygen near the bottom reaches $5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. The concentration of oxygen in the water reflects favorable conditions of biomass production, including primary production of phytoplankton in epilimnion of Lake Ińsko. The intensive development of algae has considerably influenced the transparency of water. On the background of vertical thermal and oxygen differences during the summer there were also differences in the reactions of water.

Streszczenie

Warunki termiczno-tlenowe badano w jeziorze Ińsko w latach 1999–2000. Jest to jezioro dimiktyczne, w którym wody ulegają wymieszaniu dwa razy w roku. Charakteryzuje się silną stratyfikacją termiczną i tlenową. Warunki tlenowe w jeziorze Ińsko są bardzo dobre, gdyż całkowity brak tlenu występuje tylko latem dopiero poniżej 30 m głębokości i tylko w rejonach najsilniej narażonych na wpływ aglomeracji miejskiej. Natomiast podczas cyrkulacji jesiennej i wiosennej koncentracja tlenu przy dnie osiąga $5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Koncentracja tlenu w wodzie wskazuje na sprzyjające warunki produkcji biomasy, w tym produkcji pierwotnej (fitoplanktonu) w epilimnionie jeziora Ińsko. Intensywny rozwój glonów wpływał w istotny sposób na przezroczystość wody. Na tle pionowych różnic termicznych i tlenowych w jeziorze latem występowały także pewne różnice w odczynie wody.

WSTĘP

Eutrofizacja jest procesem, któremu podlegają wszystkie wody naturalne. Proces ten w warunkach naturalnych przebiega bardzo wolno. Oddziaływanie ludzi znacznie przyspiesza

ten proces. Szczególnie intensyfikacja i rozwój rolnictwa, a zwłaszcza chemizacja wpływają na wzrost eutrofizacji zbiorników wodnych [7]. Nawożenie pól, zabiegi melioracyjne i przeciwoerozyjne zmieniają nie tylko jakość wód, ale i ich ilość [2]. Nawożenie pól coraz większymi ilościami nawozów mineralnych zwiększa wyraźnie stężenie soli pokarmowych w wodach [6]. Jednym z ubocznych skutków intensywnych zabiegów uprawowych jest także zanieczyszczenie wód przez chemiczne środki ochrony roślin tzn. pestycydy wpływające z pól ogrodów i sadów.

Wprowadzanie do wód naturalnych ścieków komunalno-bytowych, głównie z aglomeracji miejskich, dostarcza znaczne ilości detergentów i odpadów gospodarczych, które zanieczyszczają środowisko wodne i podwyższają jego stan troficzny.

Wody naturalne mają zdolności samooczyszczające, lecz zależą one w dużej mierze od zawartości tlenu w wodzie i od jej temperatury.

Temperatura wody jest bardzo ważnym czynnikiem stymulującym procesy biologiczne i przemiany chemiczne w zbiornikach wodnych. Od niej zależy rozpuszczalność tak ważnych w środowisku wodnym gazów jak tlen i dwutlenek węgla. Wraz ze zmianą temperatury zmienia się rozpuszczalność szeregu związków organicznych i nieorganicznych.

Tlen jest ważnym czynnikiem wpływającym na rozwój życia w środowisku wodnym. Podstawowym źródłem tlenu w wodzie jest atmosfera, z której dyfunduje on do powierzchniowych warstw wody, aż do osiągnięcia stopnia nasycenia zależnie od temperatury i ciśnienia atmosferycznego.

Drugim ilościowym źródłem tlenu w wodzie są procesy fotosyntezy, przy czym ilość tlenu wydzielonego przez rośliny jest proporcjonalna do nasilenia asymilacji. Proces ten obficie wzbogaca wodę w tlen, co wynika z faktu, iż w korzystnych warunkach asymilacji, np. przy zbyt jaskrawym oświetleniu i pojawieniu się glonów, występuje często przesylenie wody tlenem. Przenikanie tlenu z powietrza do wody zachodzi tylko na powierzchni zetknięcia. Stąd wody stojące wchłaniają mniej tlenu niż wody sfalowane. Z drugiej strony niedostatek tlenu w wodzie jest związany ze wzrostem temperatury. Parametry te zmieniają się również w zależności od głębokości zbiornika wodnego. Jednym z najgłębszych jezior Pomorza jest jezioro Ińsko, którego średnia głębokość wynosi 11,7 m [1]. Stanowi ono zatem doskonały obiekt do badania zmian temperatury i stężenia tlenu w profilu pionowym wody.

Celem prezentowanej pracy było:

- określenie warunków termiczno-tlenowych w jeziorze Ińsko,
- określenie zmian koncentracji tlenu w profilu pionowym i w przestrzeni tego jeziora oraz zmiany sezonowe.

MATERIAŁ I METODA

Najbardziej rozpowszechnionym typem jezior na Pojezierzu Ińskim są jeziora rynnowe. Badane jezioro Ińskie, jest drugim pod względem powierzchni akwenem Pojezierza Ińskiego – jego powierzchnia wynosi 6,1 km² (Tab. 1). Jest za to najgłębszym zbiornikiem tego obszaru, a jego maksymalna głębokość wynosi 41,7 m [1]. Jezioro Ińskie ma bardzo rozbudowaną linię brzegową (Rys. 1). Jest to bowiem jezioro powstałe z połączenia wielu rynien glacialnych w jeden basen. Rynnowość tego jeziora zaznacza się najwyraźniej na dwóch zachodnich odnogach i głębokich zatokach na północno-zachodnim brzegu. Powierzchnia wody przy brzegach porośnięta jest kożuchem roślinności bagiennej. Roślinność ta powoli rozszerza swój zasięg i w przyszłości prawdopodobnie pokryje większą część jeziora.

Tabela 1. Dane morfometryczne jeziora Ińsko
Morphometric data of Ińsko lake

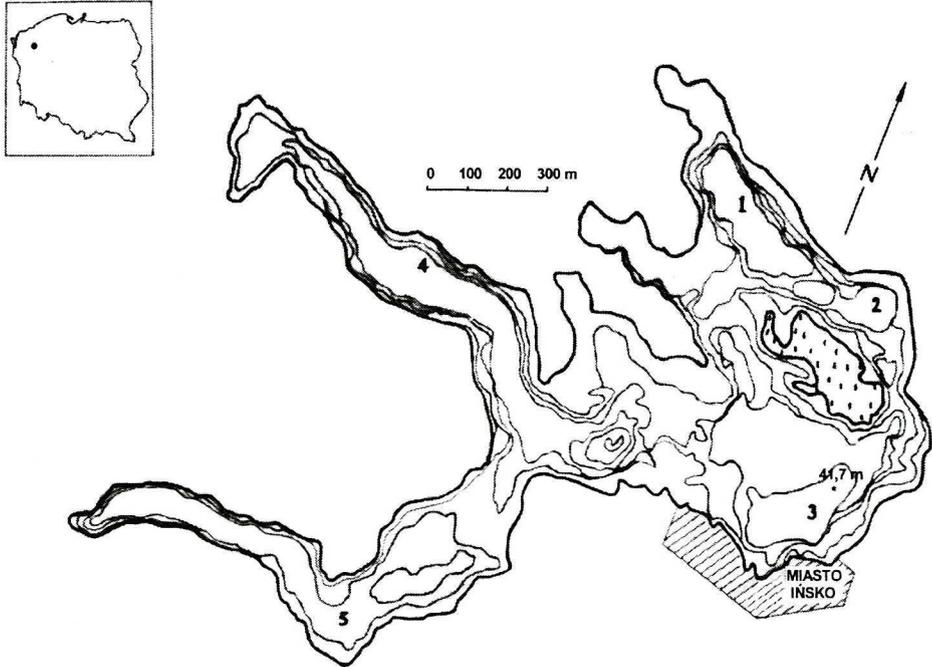
Parametry Parameters	Dane Data
Powierzchnia zwierciadła wody Surface area of water mirror	589,9 ha
Powierzchnia wysp Surface area of islands	22,3 ha
Linia brzegowa wysp Shore line of islands	2 875 m
Linia brzegowa ogółem Total shore line	31 445 m
Głębokość maksymalna Maximal depth	41,7 m
Głębokość średnia Mean depth	11,1 m
Objętość Volume	65 182 tys. m ³
Długość maksymalna Maximal length	5 400 m
Szerokość maksymalna Maximal width	2 100 m
Długość efektywna Effective length	3 500 m
Szerokość efektywna Effective width	900 m
Rok pomiarów The year of measurements	1960
Dane morfometryczne Morphometric data	Instytut Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie Inland Fisheries Institute in Olsztyn

Części obumarłych roślin opadając na dno wypełniają misę jeziorną osadami gytii i torfu.

Przystępując do badań jeziora Ińsko wyznaczono punkty pomiarowo-kontrolne. Rozmieszczono 5 stanowisk badawczych, w najbardziej charakterystycznych miejscach

(Rys. 1):

- st. 1 – północna odnoga jeziora,
- st. 2 – w północnej części jeziora,
- st. 3 – w pobliżu miejscowości Ińsko,
- st. 4 – w południowo-zachodniej odnodze jeziora,
- st. 5 – w południowej odnodze jeziora.



Rys. 1. Batymetria i rozmieszczenie stanowisk poboru prób wody w jeziorze Ińsko
Bathymetry and location sampling stations in Lake Ińsko

Próby wody pobierane były w okresie trzech pór roku (wiosna, lato, jesień) w latach 1999 i 2000. Badania letnie przypadały na sierpień lub pierwszą połowę września, czyli na szczyt stagnacji wód. We wszystkich badanych porach roku przeprowadzono badania termiczno-tlenowe na wszystkich stanowiskach badawczych. Na podstawie tych badań można było stwierdzić, czy uchwycono pełną cyrkulację wiosenną i letnią stagnację wód.

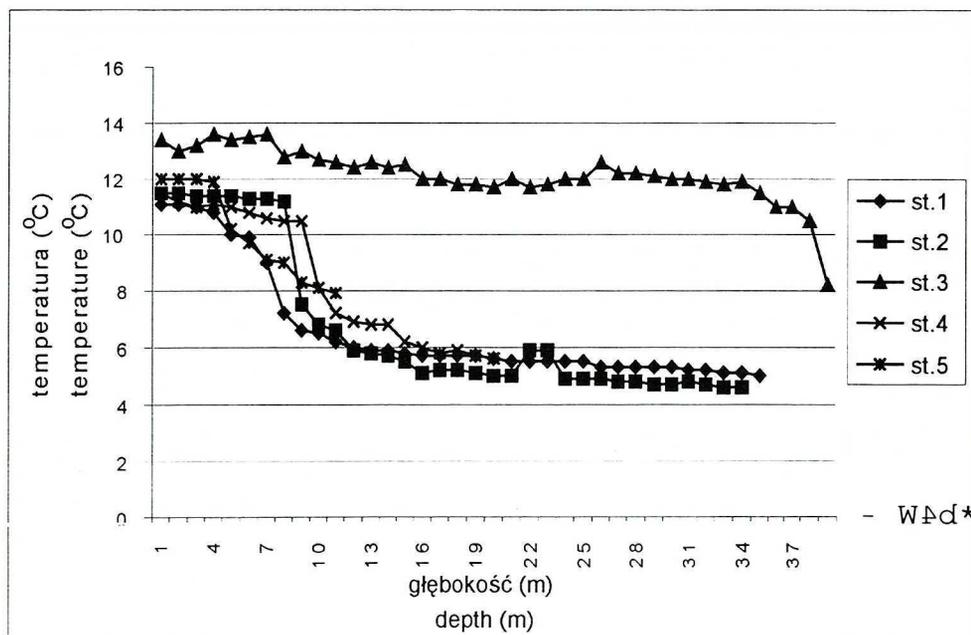
Próby wody pobierano przy pomocy czerpaka Ruthnera z wmontowanym termometrem do pomiaru temperatury na większych głębokościach. W celu ustalenia dokładnej termokliny i natlenienia jeziora pomiarów dokonywano co 1 m na poszczególnych stanowiskach. Analizy pobranych prób wykonano zgodnie z metodyką Standard Methods [8].

W pobranych próbkach oznaczono: tlen, temperaturę i odczyn wody oraz zawiesinę.

Tlen rozpuszczony oznaczono metodą Winklera, odczyn wody mierzono przy pomocy pHametri, a zawiesinę określono wagowo. Na wszystkich stanowiskach mierzono przezroczystość wody używając krążek Secchiego.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

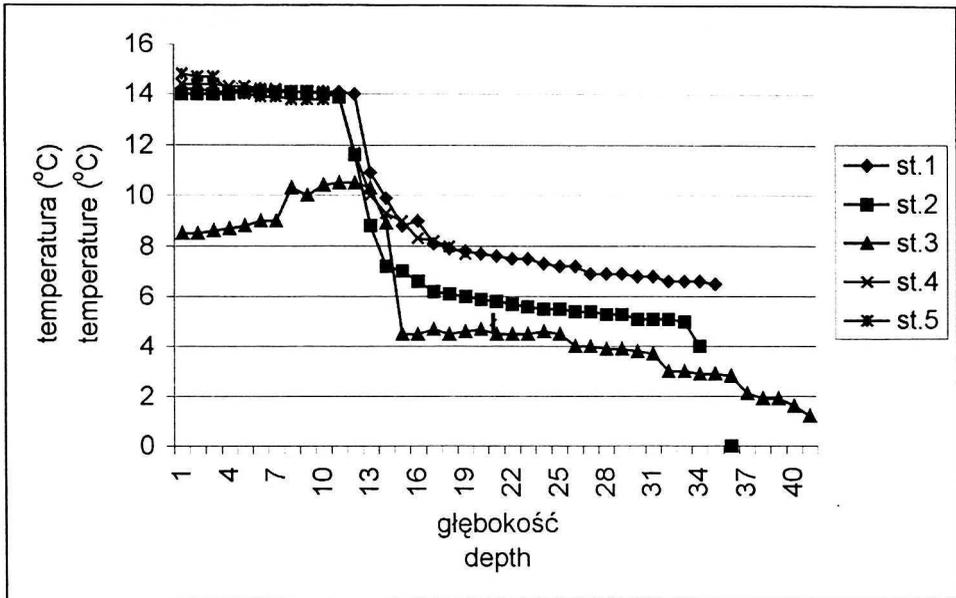
Stratyfikację termiczną w jeziorze Ińsko obserwowano prawie na wszystkich stanowiskach. W rejonie jeziora o największej głębokości – 41,7 m (st. 3), dokonane pomiary wczesną wiosną (30.03.99) uchwyciły okres po homotermii (Rys. 2).



Rys. 2. Warunki termiczne w jeziorze Ińsko w okresie wiosny (st. 3 – 30.03.99; st. 1, 2, 4, 5 – 28.04.99)

Thermal conditions in Lake Ińsko in spring (st. 3 – 30.03.99; st. 1, 2, 4, 5 – 28.04.99)

Od powierzchni do głębokości około 16 m temperatura wody zmniejszała się stopniowo od 13 do 12°C. Temperatura 12°C utrzymywała się aż do poziomu 34 m, następnie malała do 8°C przy samym dnie. W późniejszym terminie wiosennym (28.04.99), jak wynika z rysunku zaczynał się już powoli tworzyć metalimnion. Epilimnion o temperaturze około 11,5°C na stanowiskach 1 i 5 sięgał do głębokości 6 m, a na stanowiskach 2 i 4 do 8 m. Poniżej 10 m na stanowiskach 1, 2 i 4 zaczynał się hypolimnion o średniej temperaturze 5,5°C, a na stanowisku 5 hypolimnion zaczynał się na głębokości 8 m o temperaturze około 8°C. W przeważającej części jeziora metalimnion zaczynał się na głębokości 8 m i sięgał do 10 m przy gradiencie 2,5°C m⁻¹ (st. 3). Wraz z podwyższeniem temperatury wody metalimnion przesuwał się na głębokość 13 m (Rys. 3).



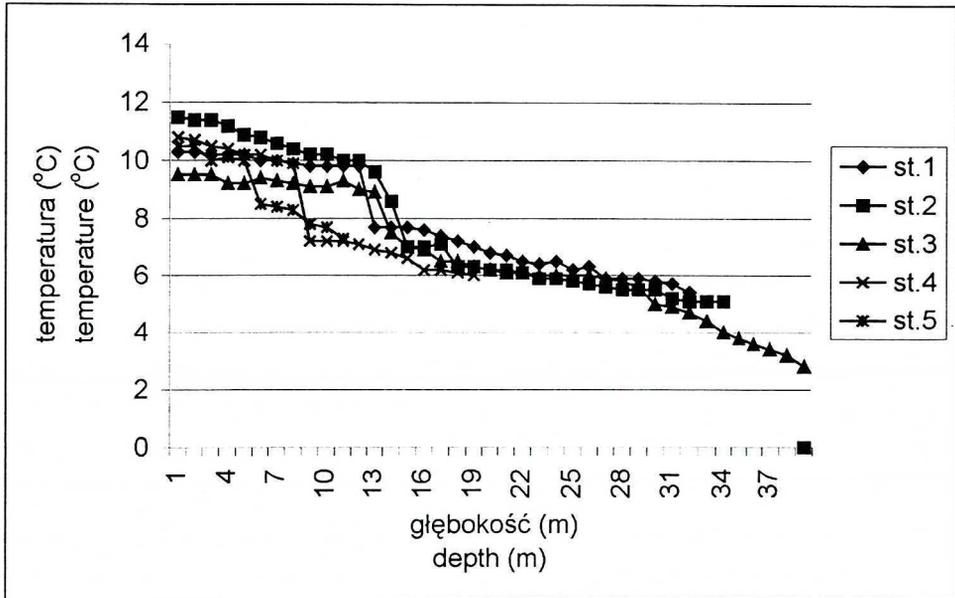
Rys. 3. Warunki termiczne w jeziorze Ińsko w okresie letnim (st. 3 – 30.06.99; st. 1, 2, 4, 5 – 20.07.99)

Thermal conditions in Lake Ińsko in summer (st. 3 – 30.06.99; st. 1, 2, 4, 5 – 20.07.99)

Temperatura wody w epilimnionie wynosiła przeszło 14°C. Znacznie niższą temperaturę obserwowano na st. 3, ponieważ pomiaru na tym stanowisku dokonano znacznie wcześniej niż na pozostałych stanowiskach. Badania dokonane pod koniec czerwca (30.06.99) po kilkudniowym ochłodzeniu wykazały, że temperatura wody na powierzchni epilimnionu wynosiła 8,5°C i wzrastała wraz z głębokością do 10,5°C na głębokości 7–12 m. Tymczasem temperatura hypolimnionu wynosiła około 4°C.

Latem obserwowano znacznie silniejsze rozwarstwienie termiczne wody. Grubość epilimnionu wzrosła do 11–12 m. W lipcu (20.07.99) temperatura wody epilimnionu wzrosła do 14°C i była podobna na wszystkich stanowiskach. Metalimnion przesunął się w głąb jeziora między 11 a 14 m o gradiencie 2,3°C m⁻¹ (st. 2) i 1,3°C m⁻¹ (st. 1 i 4). Na stanowisku 1 temperatura hypolimnionu zmieniała się wraz z głębokością od 8°C do 6°C, na stanowisku 2 od 6°C do 4°C i na stanowisku 3 od 4,4°C do 1,2°C. W południowej odnodze jeziora (st. 5), gdzie maksymalna głębokość wynosi 11 m, latem nie obserwowano stratyfikacji termicznej, gdyż epilimnion sięgał do głębokości 11–12 m.

Podczas pomiarów jesiennych (14.10.99) jeszcze nie doszło do wymieszania wód epilimnionu i hypolimnionu (Rys. 4). Metalimnion posiadał już grubość tylko 1 m o skoku temperaturowym od około 9 do 7°C. Niższe temperatury jesiennie schłodziły wodę na powierzchni do około 10–11°C, co spowodowało, że metalimnion w głębszych partiach jeziora przesunął się nieznacznie na głębokość 13–14 m, w wyniku rozpoczynającego się mieszania wód, a na płytszych przesunął się w górę do 8 m na stanowisku 4 i do 5 m na stanowisku 5.



Rys. 4. Warunki termiczne w jeziorze Ińsko w okresie jesiennym (14.10.99)
Thermal conditions in Lake Ińsko in autumn (14.10.99)

Zawartość tlenu w wodzie jeziora Ińsko w epilimnionie wahała się w granicach 6–15 mg O₂ dm⁻³ (Rys. 5–7). Średnie nasycenie tej warstwy wody tlenem wynosiło 136%.

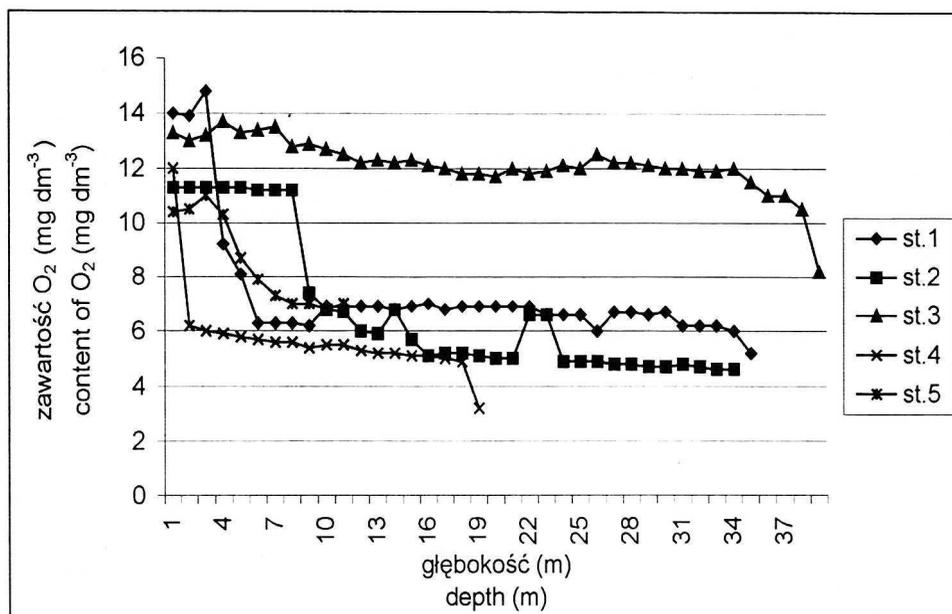
Wiosną, w latach 1999–2000, najniższą koncentrację tlenu w wodzie powierzchniowej obserwowano na stanowisku 5 (około 10,5 mg O₂ dm⁻³), a najwyższą na stanowisku 1 (14,0 mg O₂ dm⁻³) (Tab. 2).

Tabela 2. Koncentracja tlenu (mg O₂ dm⁻³) w wodzie powierzchniowej jeziora Ińsko w latach 1999–2000 (x' – wartość średnia, S_x – odchylenie standardowe, d_x – współczynnik zmienności, W – wiosna, L – lato, J – jesień)

Concentration of oxygen (mg O₂ dm⁻³) in surface water of Lake Ińsko (x' – average value, S_x – standard deviation, d_x – coefficient of variation, W – spring, L – summer, J – autumn)

Rok Year	Sezon Season	Stanowiska Stations					x'	S _x	d _x (%)
		1	2	3	4	5			
1999	W	14,0	11,4	13,4	12,0	10,4	12,4	1,19	9,6
	L	8,8	14,0	8,3	9,8	9,2	10,0	2,29	20,9
	J	10,0	11,3	9,3	10,4	11,2	10,5	0,95	9,1
2000	W	12,6	11,7	12,9	12,6	11,0	12,4	1,05	8,5
	L	8,5	10,4	8,2	9,0	9,4	9,1	0,86	9,4
	J	12,0	12,4	10,7	11,8	12,5	11,9	0,72	6,0
x'		11,3	11,9	10,6	10,9	10,6			
S _x		1,25	1,08	1,41	0,84	0,68			
d _x (%)		11,1	9,1	13,3	7,7	6,4			

Jednakże już na głębokości 2 m na stanowisku 4 koncentracja tlenu wynosiła zaledwie $6 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ (Rys. 5).



Rys. 5. Warunki tlenowe w jeziorze Ińsko w okresie wiosennym (st. 3 – 30.03.99; st. 1, 2, 4, 5 – 28.04.99)

Oxygen conditions in Lake Ińsko in spring (st. 3 – 30.03.99; st. 1, 2, 4, 5 – 28.04.99).

Natomiast latem najniższą zawartość tlenu w warstwie powierzchniowej wody notowano na stanowisku 3 ($8,2 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$), a najwyższą na stanowisku 2 ($14,0 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ w 1999 r i $10,4 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ w 2000 r.). Tak wysoka koncentracja tlenu w tym sezonie jest prawdopodobnie spowodowana dopływem wody do stanowiska 2 z ciekłu zawierającego kilka spiętrzeń, silnie napowietrzających wodę. Te wartości rzutują na wielkość odchylenia standardowego i wskaźnika zmienności w 1999 r ($S_x = 2,29$, $d_x = 20,9\%$).

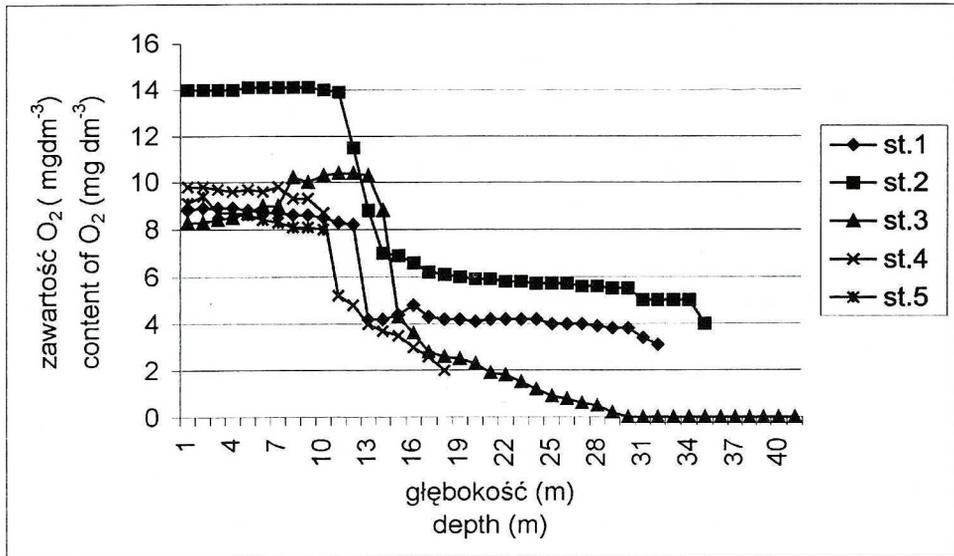
Z kolei jesienią stężenie tlenu było bardziej wyrównane i mieściło się w zakresie od $9,3$ (st. 3) do $12,5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ (st. 2). W ciągu dwóch badanych lat największe zmiany w stężeniu tlenu obserwowano na stanowisku 3, gdzie średnia jego wartość wynosiła $11,9 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$, a odchylenie standardowe i wskaźnik zmienności miał najwyższą wartość ($S_x = 1,41$, $d_x = 13,3\%$). Wody w tym rejonie najbardziej są narażone na oddziaływanie aglomeracji miejskiej.

Podobny stopień nasycenia wody tlenem jak w jeziorze Ińsko obserwowano w jeziorze Łętowskim [5] i w jeziorze Długim [2], a w zbiorniku zaporowym Dzierżno Małe nawet 200% [6]. W jeziorze Ukiel [7] podobnie jak w badanym jeziorze warunki anaerobowe podczas stagnacji letniej zaczynają się już poniżej 15 m.

Wczesną wiosną (koniec marca), w najgłębszym rejonie jeziora (st. 3), obserwowano tworzenie się stratyfikacji tlenowej pokrywającej się z stratyfikacją termiczną. Koncentracja tlenu w epilimnionie wynosiła około $13 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$, w hypolimnionie przy głębokości 17 m – $12 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$, a przy dnie tylko $8 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ (Rys. 5). W późniejszym okresie wiosennym (kwiecień) na stanowisku 2 przebieg linii stężenia tlenu w profilu pionowym również pokrywał

się ze stratyfikacją termiczną. Stężenie tlenu z $11,0 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ przy powierzchni, stopniowo zmniejszało się do około $6 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ na głębokości 12 m, a przy dnie spadało $4,8 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Na stanowisku 1, obserwowano silną, płytką stratyfikację tlenową. Dobrze natleniona warstwa (około $14 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$) sięgała tylko do 3 m głębokości. Gradient skoku oksyliny wynosił $5,6 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-1}$. W hypolimnionie zawartość tlenu utrzymywała się w wąskiej granicy od 6 do $7 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Na stanowisku 4 obserwowano jeszcze płytszą oksylinę o największym gradiencie w jeziorze ($5,8 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-1}$) w okresie wiosennym. Warstwa powierzchniowa o stężeniu tlenu $12 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ sięgała zaledwie do 1 m głębokości. Poniżej 2 m zawartość tlenu aż do 18 m głębokości mieściła się w bardzo wąskim przedziale $5\text{--}6 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$, spadając przy samym dnie do $3 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Na najpłytszym stanowisku 5 (11 m) wiosną obserwowano słabą stratyfikację tlenową o gradiencie skoku oksyliny $1,2 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-1}$. Stężenie tlenu w hypolimnionie wynosiło $7 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$.

Latem na stanowisku 3 silna stratyfikacja tlenowa pokrywa się ze stratyfikacją termiczną (Rys. 6).

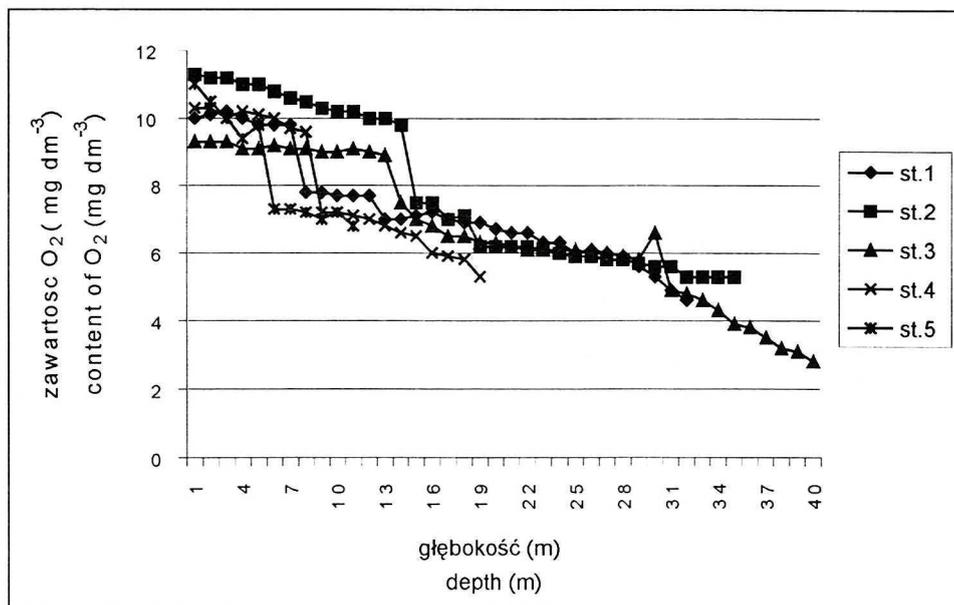


Rys. 6. Warunki tlenowe w jeziorze Ińsko w okresie letnim (st. 3 – 30.06.99; st. 1, 2, 4, 5 – 20.07.99)
Oxygen conditions in Lake Ińsko in summer (st. 3 – 30.06.99; st. 1, 2, 4, 5 – 20.07.99)

W epilimnionie wraz z głębokością wzrastała zawartość tlenu, osiągając maksymalną wartość przy 12 m ($10,5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$). Prawdopodobnie zużycie tlenu przy powierzchni było znacznie większe niż w głębszych partiach epilimnionu lub proces fotosyntezy był na tym poziomie silniejszy. Gradient skoku oksyliny wynosił $3,0 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-1}$. Zawartość tlenu w hypolimnionie była najmniejsza w całym jeziorze i już na głębokości 20 m wynosiła tylko $2,0 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Deficyt tlenowy obserwowano poniżej 20 m, a poniżej 30 m występował całkowity brak tlenu, ale nie stwierdzono całkowitego wyczerpania tlenu. Na stanowisku 2 stratyfikacja tlenowa i termiczna pokrywały się i koncentracja tlenu w epilimnionie wynosiła około $14 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$, a w hypolimnionie $6 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Od głębokości 29 m zawartość tlenu systematycznie spadała do $4 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ przy dnie. Latem na stanowisku 1, tak jak na

poprzednich stanowiskach, przebieg oksykliny i termokliny był podobny. Gradient skoku oksykliny był niższy niż wiosną i wynosił $4 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-1}$. Stężenie tlenu w hypolimnionie było wyrównane i wynosiło około $4 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Na stanowisku 4 skok oksykliny latem przesunął się na głębokość 11 m. Zawartość tlenu w hypolimnionie zmniejszała się z $5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ przy 12 m do $2 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ przy dnie. W tym okresie nie obserwowano stratyfikacji tlenowej na stanowisku 5, a różnica w stężeniu tlenu między powierzchnią a dnem wynosiła $1 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Cała warstwa od powierzchni do dna była epilimnionem.

Jesienią na stanowisku 3 obserwowano znacznie słabszą stratyfikację tlenową niż latem (Rys. 7).



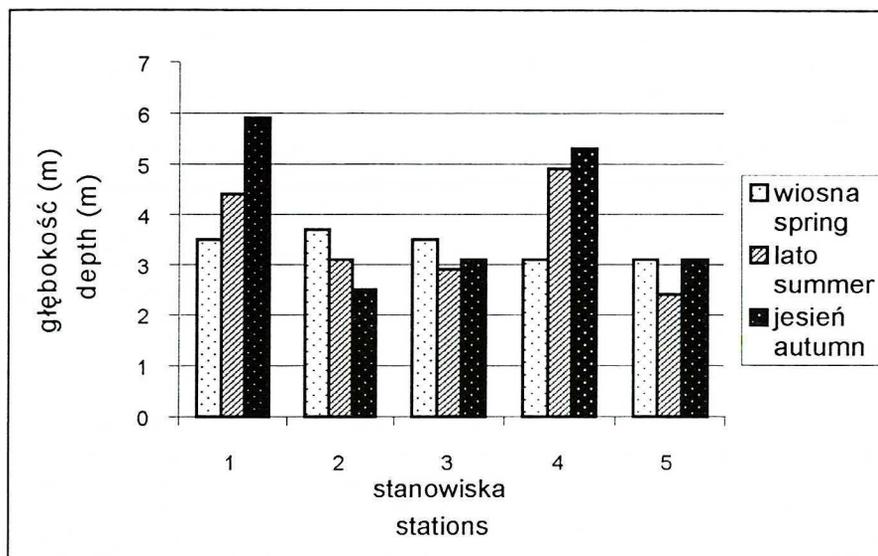
Rys. 7. Warunki tlenowe w jeziorze Ińsko w okresie jesiennym (14.10.99)
Oxygen conditions in Lake Ińsko in autumn (14.10.99)

Koncentracja tlenu w epilimnionie wynosiła około $9 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ i utrzymywała się do głębokości 13 m. W hypolimnionie zaczynającym się na głębokości 15 m zawartość tlenu wynosiła około $6 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$, a przy samym dnie tylko $3 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Gradient skoku oksykliny wynosił $1,3 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$.

Jesienna cyrkulacja powodowała powolne wyrównywanie zawartości tlenu między epilimnionem i hypolimnionem, jednakże jeszcze obserwowano stratyfikację tlenową pokrywającą się najczęściej z termiczną. W całej masie wody badanego jeziora zawartość tlenu znacznie wzrosła jesienią, w epilimnionie do $9\text{--}12 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ i w hypolimnionie do około $6 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. W tym okresie stratyfikacja tlenowa na stanowisku 1 nie pokrywała się z termiczną. Skok oksykliny występował między 7 i 8 m, a nie na poziomie 12 m. Na stanowisku 4 oksykliny przesunęła się do poziomu 9 m i pokrywała się z termokliną. Stężenie tlenu w hypolimnionie w tym okresie było wyższe niż latem i wahało się w zakresie od $5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ do $7 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Z kolei na stanowisku 5 jesienią podobnie jak wiosną znów miała miejsce

stratyfikacja z oksykliną na głębokości 5 m i gradientem $2,1 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-1}$.

Przezroczystość wody mierzono przy pomocy krążka Secchiego. Średnia wartość tego wskaźnika dla całego jeziora wynosiła 3,7 m przy najniższej przezroczystości 2,4 m (st. 5) i najwyższej 5,9 m na stanowisku 1 (Rys. 8).



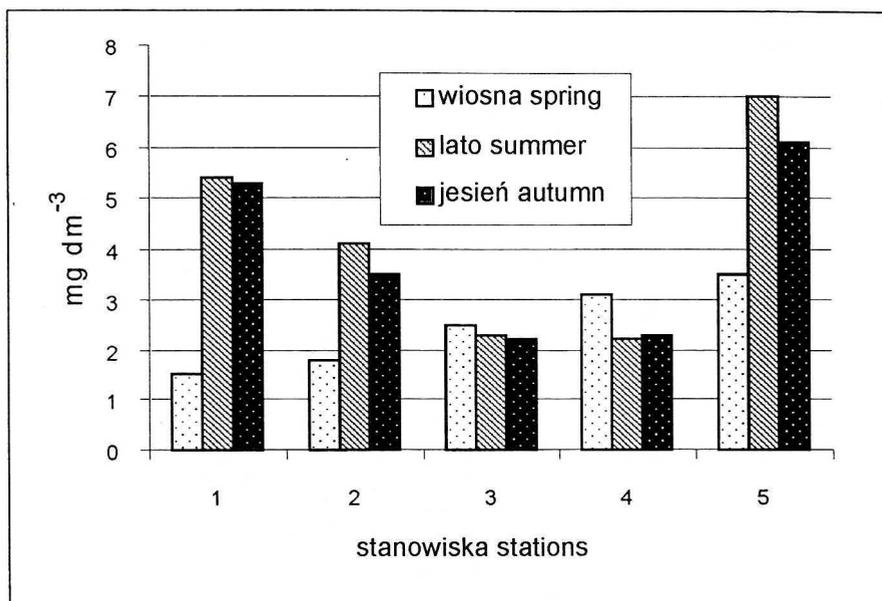
Rys. 8. Widzialność krążka Secchiego w jeziorze Insko
Visibility of Secchi's disc in Lake Insko

Wielkość ta zmieniała się w ciągu roku. Najmniejszą przezroczystością charakteryzowały się wody jeziora Insko latem (średnio 2,8 m) z wyjątkiem stanowisk 1 i 4, a największą jesienią (4,6 m). Letnie minimum wynika z większej liczby glonów, a zatem i większej zawartości zawiesin. W porównaniu do jezior człuchowskich [11] wartości tego wskaźnika w badanym jeziorze są dwukrotnie większe.

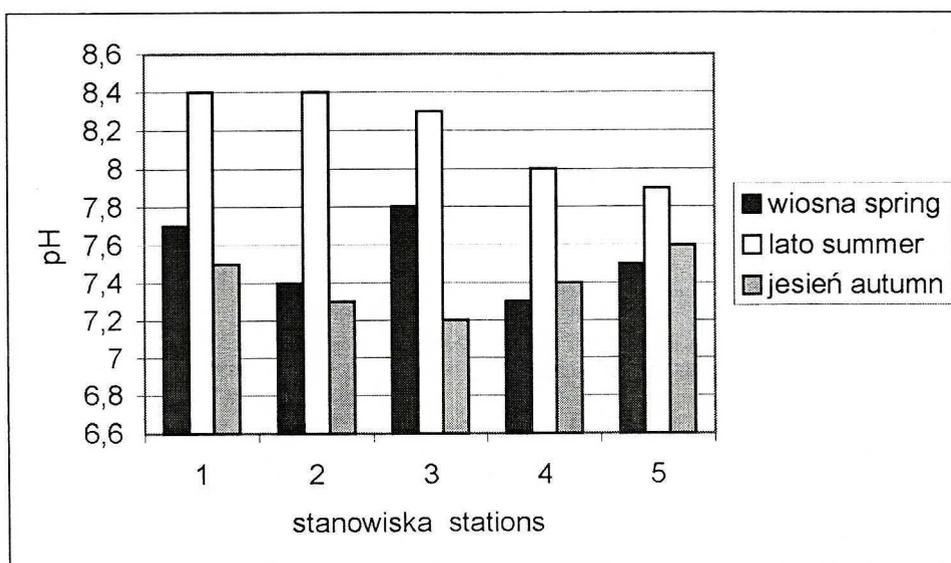
Zawiesina, inaczej zwana sestonem, w wodach jeziora Insko jest znacznie mniejsza niż w innych jeziorach [9, 10]. Zawartość zawiesiny w badanym jeziorze mieściła się w przedziale 1,5 (st. 3 wiosną) do $7,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (st. 5 latem) o średniej wartości $3,5 \text{ mg dm}^{-3}$ (Rys. 9).

Poziom zawiesin w badanym jeziorze jest niewielki, gdyż jezioro Rzuno, umiarkowanie eutroficzne, zawierało jej dwukrotnie więcej ($7,0 \text{ mg dm}^{-3}$), a eutroficzne jezioro Szczytno Małe trzykrotnie więcej [9]. W badanym jeziorze najwięcej zawiesin obserwowano na stanowisku 5 (średnio $5,6 \text{ mg dm}^{-3}$), a najmniej na stanowiskach 1 i 4 (średnio $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$). Zmiany sezonowe wykazały, że najwięcej zawiesin było latem z wyjątkiem stanowisk 1 i 4, gdzie obserwowano niewielkie różnice sezonowe. Przeszło dwukrotnie większy poziom zawiesin w okresie letnim niż wiosną wskazuje, że zawiesiny w tym jeziorze są głównie pochodzenia autochtonicznego.

Odczyn wody jeziora Insko zmieniał się w zakresie pH 7,2–8,4 (Rys. 10) przyjmując najwyższe wartości w okresie letnim, kiedy procesy biochemiczne wynikające z wzmożonej vegetacji glonów i mikroorganizmów wyzwalały składniki alkalizujące środowisko wodne.



Rys. 9. Sucha masa sestonu w wodzie jeziora Ińsko (1 m pod powierzchnią)
Dry matter of seston (1 m under surface of water)



Rys. 10. Odczyn wody w jeziorze Ińsko
Reaction of water in Lake Ińsko

Przy niewielkich różnicach między stanowiskami w ciągu roku, średnia wartość pH w okresie letnim wynosiła 8,1, a wiosną i jesienią – 7,4.

WNIOSKI

Ruch wody wynikający z warunków hydrologicznych (usytuowanie dopływów i odpływu) oraz ruch mas wodnych wynikający z wpływu wiatrów na zbiornik ma zasadniczy wpływ na stosunki termiczno-tlenowe ekosystemu. Jezioro Ińsko jest jeziorem dimiktycznym, w którym wody ulegają wymieszaniu dwa razy w roku. Charakteryzuje się silną stratyfikacją termiczną i tlenową. Epilimnion w tym jeziorze sięga do głębokości około 11 m i jest dobrze natleniony. Natomiast w hypolimnionie deficyt tlenowy występował jedynie latem i to poniżej 30 m. Jedynie w pobliżu miejscowości Ińsko (st. 3) deficyt tlenowy miał miejsce już na głębokości 20 m, a poniżej 30 m występował całkowity brak tlenu.

W porównaniu do innych jezior północnej Polski [5] należy stwierdzić, że warunki tlenowe w jeziorze Ińsko w latach 1999–2000 były bardzo dobre, gdyż całkowity brak tlenu występuje tylko latem dopiero poniżej 30 m głębokości i tylko w rejonie najsilniej narażonym na wpływ aglomeracji miejskiej. Natomiast podczas cyrkulacji jesiennej i wiosennej koncentracja tlenu przy dnie osiąga $5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$.

Koncentracja tlenu w wodzie wskazuje na sprzyjające warunki produkcji biomasy, w tym produkcji pierwotnej (fitoplanktonu) w epilimnionie jeziora Ińsko. Intensywny rozwój glonów latem w istotny sposób zmniejszał przezroczystość wody i powodował wzrost stężenia zawiesin. Na tle pionowych różnic termicznych i tlenowych w jeziorze latem występowały również pewne różnice w odczynie wody. W epilimnionie woda charakteryzowała się najwyższymi wartościami pH, a w miarę oddalania się od powierzchni wody wartość ta zmniejszała się stopniowo. Przyczyną tych zmian prawdopodobnie są odmienne procesy biochemiczne przebiegające w poszczególnych warstwach wody. Zużycie dwutlenku węgla na powierzchni wody przez fitoplankton sprzyja alkalizacji środowiska. Z kolei deficyt tlenowy przy dnie sprzyja reakcjom denitryfikacji, które prawdopodobnie spowodowały obniżenie pH wody. Ogólne zmniejszanie się wartości pH wody jesienią może być spowodowane nasilonymi opadami deszczu, który ma odczyn kwaśny [4].

LITERATURA

- [1] *Atlas jezior Polski*, (red. J. Jańczak), IMGW, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 1996.
- [2] Drozd H., K. Lossow, F. Więclawski: *Morfometria i chemizm dwóch jezior w Szczytnie*, Zesz. Nauk. ART., Olsztyn, **3**, 12–27 (1974).
- [3] Korycka A.: *Charakterystyka składu chemicznego wody w jeziorach północnej Polski*, Roczn. Nauk Biol., H, **102**, 7–112 (1991).
- [4] Korzeniewski K., L. Falkowska: *Atmosfera jako źródło materii trofogenicznej*, [w:] Zlewnia przymorskiej rzeki Łupawy, E. Pieprzyk-Bagińska, G. Polak-Grydziuszek (red.), WSP w Słupsku 1992, 187–198.
- [5] Korzeniewski K., J. Trojanowski, Cz. Trojanowska, A. Moczulska-Salata, H. Ratajczyk: *Nutrient transfer in the lakes with trout cage culture*, Pol. Ecol., **14**, 335–384 (1988).
- [6] Kostecki M., A. Domura, E. Kowalski, J. Kozłowski: *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe, Cz. IV. Stosunki termiczno-tlenowe oraz wybrane fizyczno-chemiczne wskaźniki jakości wody*, Arch. Ochr. Środ., **24**, 4, 131–163 (1998).
- [7] Mientki Cz., M. Teodorowicz, J. Dunajska, G. Wiśniewski: *Physical and chemical water properties of the Ukiel Lake in Olsztyn, 1991–1993*, Pol. Arch. Hydrobiol., **43**, 3, 287–297 (1996).
- [8] *Standard methods for the examination of water and wastewater including bottom sediments and sludges*, American Public Health Association, New York 1992.
- [9] Trojanowski J., H. Ratajczyk, Cz. Trojanowska, K. Korzeniewski: *Chlorophyll relationships in Łętowo and Szczytno Małe lakes with trout cage culture*, Pol. Arch. Hydrobiol.,

- 34, 3, 397–308 (1987).
- [10] Trojanowski J., Cz. Trojanowska, A. Moczulska: *Sorption of cations by bottom sediments of Wicko Lake*. *Baltic Coastal Zone.*, 2, 15–24 (1998).
- [11] Trojanowski J., Cz. Trojanowska: *Stan zanieczyszczenia jezior czluchowskich*, *Arch. Environ. Prot.*, 25, 3, 91–109 (1999).

Wpłynęło: 27 grudnia 2002, zaakceptowano do druku: 20 kwietnia 2004.