

STAN TROFICZNY JEZIORA IŃSKO

JAN TROJANOWSKI¹, AGNIESZKA PARZYCH¹, CZESŁAWA TROJANOWSKA¹,
JANUSZ BRUSKI²

¹ Pomorska Akademia Pedagogiczna, Zakład Chemii Środowiskowej, ul. Arciszewskiego 22, 76-200 Słupsk

² Gimnazjum, ul. Leśna 10, 83-425 Dziemiany

Keywords: nitrogen, phosphorus, chlorophyll, reaction, lake.

THE TROPHIC CONDITION OF LAKE IŃSKO

Researches of the water of Lake Ińsko were made in three characteristic limnological periods in years 1999–2000 and comprised research of nitrogen (average content – 1.54 mg N dm⁻³), phosphorus (0.077 mg P dm⁻³), BOD₅ (3.08 mg O₂ dm⁻³), calcium (36 mg dm⁻³), magnesium (3.9 mg dm⁻³), chlorides (12 mg dm⁻³), chlorophyll (3.60 mg m⁻³) and sulphates (39 mg dm⁻³). Lake Ińsko has four important tributaries and one ebb. About 70% of biogenic substances which are drifted by flows stay in the lake and cumulate in the bottom sediments. A lot of chemical compounds flow to the lake's water. The most of organic matter flows down from peat bog and from Lake Zamiczysko. These are the most probably organic substances of humus origin. Tributaries supply 14.9 kg N r⁻¹, 698.7 kg P r⁻¹ and the amount of pollution in form of BOD₅ – 577 kg O₂ r⁻¹. The negative influence of town of Ińsko is reflected in higher concentration of nitrogen and phosphorus compounds and sulphates. This lake showed a moderate susceptibility to deterioration and a second class of water purity.

Streszczenie

Badania wody jeziora Ińsko prowadzono w trzech charakterystycznych okresach limnologicznych w latach 1999–2000. Obejmowały one azot (średnia zawartość – 1,54 mg N dm⁻³), fosfor (0,077 mg P dm⁻³), BZT₅ (3,08 mg O₂ dm⁻³), wapń (36 mg dm⁻³), magnez (3,9 mg dm⁻³), chlorki (12 mg dm⁻³), siarczany (39 mg dm⁻³) i chlorofil (3,60 mg m⁻³). Jezioro posiada cztery istotne dopływy i jeden odpływ. Około 70% substancji biogenicznych wprowadzanych przez dopływy pozostaje w jeziorze, kumulując się w osadach dennych. Natomiast do jeziora spływa stosunkowo duża ilość związków organicznych. Najwięcej materii organicznej dopływa ciekami z torfowiska i z jeziora Zamiczysko. Są to najprawdopodobniej substancje organiczne typu humusowego. Rocznie dopływy dostarczają do jeziora 14,9 kg P r⁻¹, 698,7 kg N r⁻¹ i ładunek zanieczyszczeń w postaci BZT₅ – 577 kg O₂ r⁻¹. Negatywny wpływ miasta Ińsko odzwierciedla się wyższą koncentracją związków azotowych i fosforowych oraz siarczanów. Jezioro Ińsko charakteryzuje się II klasą czystości wody i umiarkowaną skłonnością do degradacji.

WSTĘP

Przyczyną eutrofizacji wód powierzchniowych jest nadmierne obciążenie nieorganicznymi substancjami nawozowymi, przede wszystkim azotanami i fosforanami. Jeziora eutroficzne są zbiornikami żyznymi, z dużą zawartością soli pokarmowych i materii organicznej. Są to jeziora stosunkowo płytkie, a w warstwach głębinowych często występuje deficyt tlenu. Procesy osadowe dominują nad rozkładowymi. Chcąc zmniejszyć obciążenie zbiornika wodnego tymi związkami należy najpierw ustalić ich pochodzenie i ilości, jakie co roku zostają doprowadzane do wody.

Zanieczyszczenia mogą pochodzić z wielu źródeł: z naturalnego podłoża, erozji gleb, z rozkładu materii organicznej na obszarze zlewni, ze ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych, ze spływów z terenów rolniczych i gospodarstw hodowlanych. Szczególnie narażone na intensywne wymywanie i wprowadzanie do wód substancji biogenicznych są użytki rolne znajdujące się w strefie wysokich opadów atmosferycznych [5, 12].

Związki fosforu i azotu dostają się do wody między innymi wskutek erozji gleb i spływu powierzchniowego [13, 16–18].

Sprenger [20] badając zbiornik zaporowy w Haltern stwierdził, że tylko stosunkowo niewielki procent związków fosforu i azotu wprowadzany jest do wód ze ścieków bytowo-gospodarczych. Ze ścieków przemysłowych największe ilości substancji biogenicznych wprowadzają między innymi: garbarnie, masarnie, mleczarnie, browary oraz zakłady przemysłu nawozów sztucznych. Rolnictwo uważane jest za drugie po przemyśle, co do ważności, źródło fosforanów i azotanów [6]. Wszystkie te czynniki zmniejszają wartości użytkowe wody dla celów komunalnych, rekreacyjnych i innych. Przy poborze wody zmuszają do jej oczyszczania, szczególnie z nadmiernej koncentracji azotanów.

Jednym z jezior, którego zlewnia na swoim terenie posiada zarówno pola uprawne jak i aglomerację miejską położoną bezpośrednio nad zbiornikiem wodnym, jest jezioro Insko, które poza pewnymi wzmiankami [1, 2] dotychczas nie doczekało się poważniejszych badań naukowych. Celem określenia udziału rolnictwa oraz wpływu miasta w procesie eutrofizacji wód w jeziorze Insko było:

- określenie zawartości podstawowych wskaźników zanieczyszczeń,
- oszacowanie bilansu substancji biogenicznych,
- określenie szybkości przepływu wody w ciekach związanych z tym jeziorem,
- określenie skłonności jeziora do degradacji,
- ustalenie klasy czystości wody w jeziorze w badanych okresach.

MATERIAŁ I METODA

Charakterystykę morfometryczną jeziora Insko podano w tabeli 1. Cechą charakterystyczną tego jeziora jest silnie rozwinięta linia brzegowa charakteryzująca się współczynnikiem 3,65 oraz znaczna głębokość (maksymalna 41,7 m, średnia 11,1 m).

Najczęściej występującymi roślinami w wodach jeziora Insko przy średniej głębokości 11 m są niewielkie rzęsy i pływacze. Wśród roślin wodnych zakorzenionych w dnie występują chronione, biało kwitnące grzybieńce. Pozostałe rośliny wodne to: moczarka kanadyjska, rdestnica i ramienica. Na brzegach wód występują oczerety i szuwary. Oczerety tworzone są przez kępy bezlistnych łodyg oczeretu jeziornego osiagającego 4 m wysokości. W szuwarach

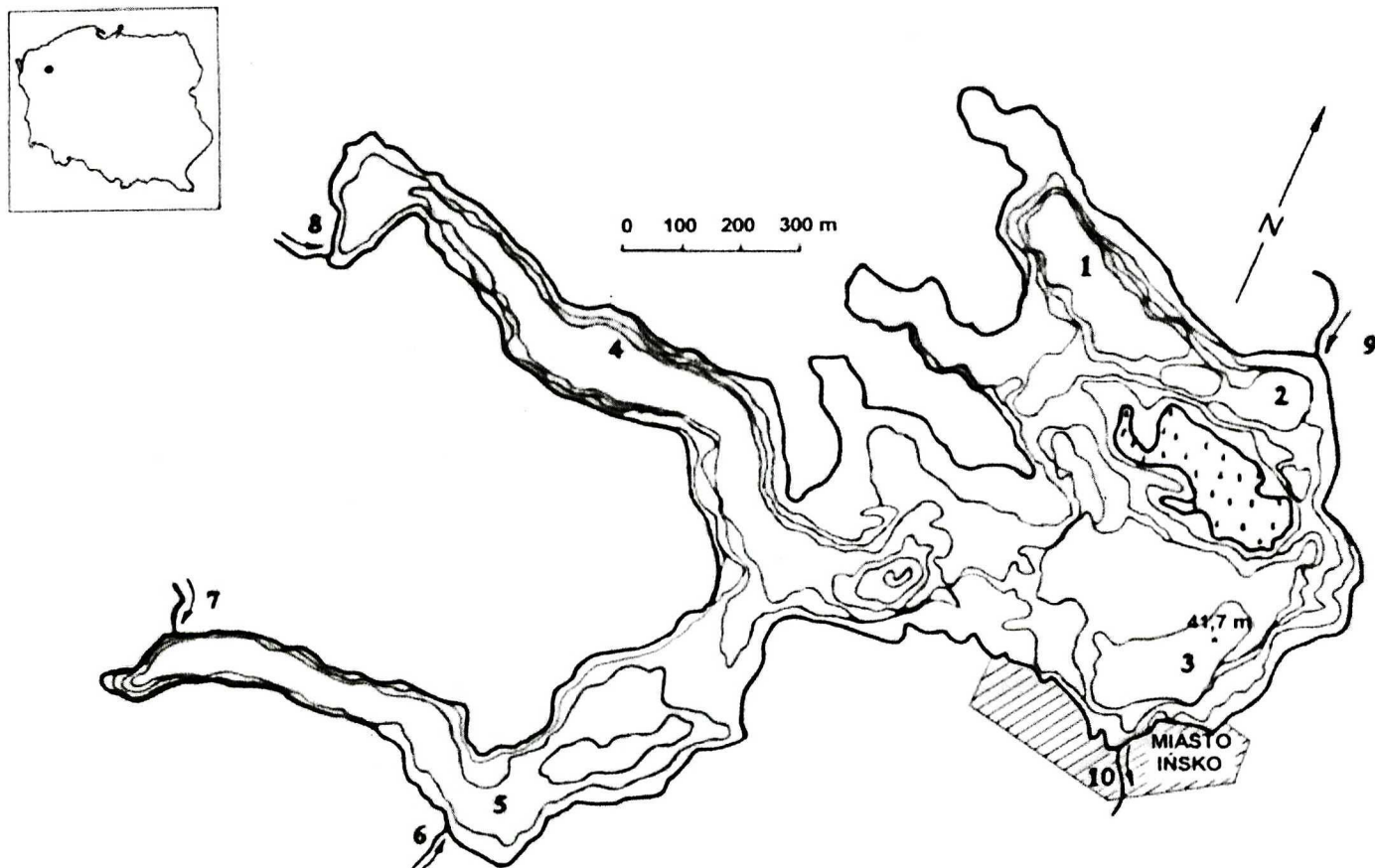
Tabela 1. Dane morfometryczne jeziora Ińsko
Morphometric data of Ińsko lake

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

dominują pałki, trzciny, tatarak. Na brzegu jeziora spotykana jest roślinność atlantycka z bardzo rzadką, zagrożoną wymarciem brzeżycą jednokwiatową

Jezioro Ińsko jest jeziorem sielawowym. Oprócz sielawy występują w nim: ukleja, sieja, płoć, leszcz, okoń, karp, węgorz i szczupak [19].

Badania wody na jeziorze Ińsko prowadzono w trzech charakterystycznych dla tego jeziora okresach limnologicznych (wiosna, lato, jesień) w latach 1999–2000. Próby pobierano



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

raz w miesiącu z dziesięciu stanowisk badawczych usytuowanych odpowiednio (Rys. 1):

- st. 1 – północna odnoga jeziora,
- st. 2 – w północnej części jeziora,
- st. 3 – w pobliżu miejscowości Ińsko,
- st. 4 – w zachodniej odnodze jeziora,
- st. 5 – w południowej odnodze jeziora,
- st. 6 – strumień z jeziora Zamczysko (przepływ $1,0 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$),
- st. 7 – ciek z torfowiska przepływający pod szosą i torami kolejowymi (przepływ $1,3 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$),
- st. 8 – dopływ strumienia przepływającego przez obszar leśny (przepływ $1,5 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$),
- st. 9 – dopływ strumienia przepływającego pod szosą drogi Ińsko – Chociwel (przepływ $1,1 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$),
- st. 10 – kanał Iński (przepływ $3,2 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$).

Prędkość przepływu wody w dopływach i odpływach badanego jeziora mierzono przy pomocy młynka hydrometrycznego typu Otta przy każdorazowym poborze prób wody.

Wodę do badań pobierano przy pomocy czepaka Ruttnera. Analizy chemiczne wody prowadzono według Standard Methods [21]. Celem oznaczenia azotu ogólnego i fosforu ogólnego próbę mineralizowano nadsiaczanem potasu. Fosfor fosforanowy oznaczono kolorymetrycznie z molibdenianem amonu i kwasem askorbinowym. Stężenie azotu azotynowego oznaczono metodą kolorymetryczną z kwasem sulfanilowym i α -naftyloaminą, azot azotanowy – metodą kolorymetryczną z kwasem fenylodisulfonowym i azot amonowy – metodą kolorymetryczną bezpośredniej nessleryzacji. BZT₅ oznaczono metodą Winklera, wapń i magnez metodą kompleksometryczną, siarczany oznaczono metodą wagową, a chlorki metodą argentometryczną.

Celem oznaczenia chlorofilu *a* próby wody sączono przez sączki Synpor (średnica porów 0,6 mm). Pozostałość homogenizowano i ekstrahowano 90% acetonem. W uzyskanym roztworze mierzono absorpcję przy 665 i 750 nm używając spektrofotometru SHIMADZU UV-1202. Stężenie chlorofilu *a* obliczono według wzoru Lorenza [11].

OMÓWIENIE WYNIKÓW

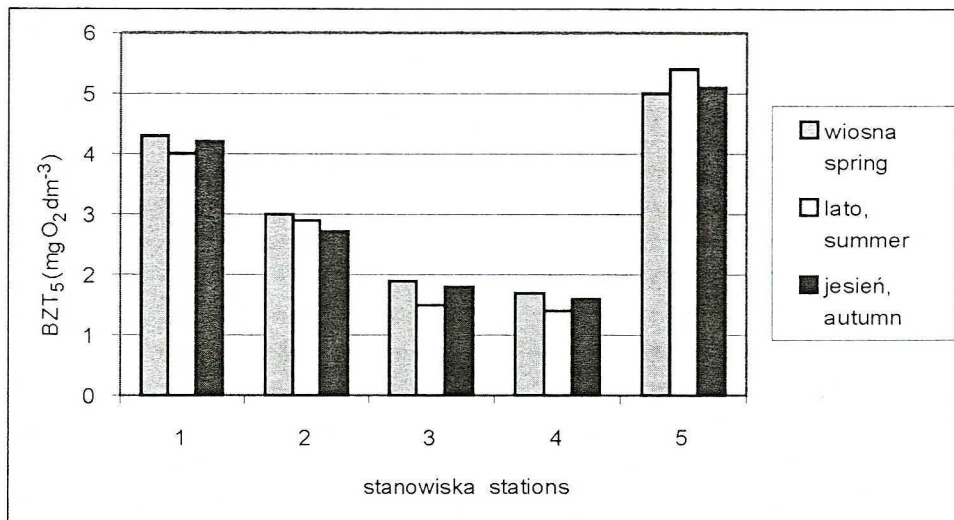
Uzyskane wyniki zebrano w tabeli 2. Wyznaczono dla nich wartości średnie (\bar{x}), odchylenie standardowe (S_x) i współczynnik zmienności (d_x). Spośród badanych współczynników największą zmienność (około 30%) wykazywały wartości BZT₅, które są proporcjonalne do zawartości materii organicznej ulegającej biodegradacji. Wartość BZT₅ w wodzie jeziora Ińsko wynosiła średnio $3,1 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ (przy zakresie $1,1\text{--}5,8 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$) w wodzie powierzchniowej i $2,5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ ($1,8\text{--}3,2 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$) w wodzie przydennej (Tab. 2). Pewne różnice między warstwą powierzchniową a przydenną obserwowano na wszystkich stanowiskach, przy czym największą różnicę odnotowano na stanowisku 1. Poziom BZT₅ w tym rejonie w warstwie powierzchniowej był o 57% większy niż przy dnie. Największe wartości tego wskaźnika w wodzie powierzchniowej obserwowano na stanowiskach 1 i 5 (Rys. 2). Wody w rejonie stanowiska 1 są pod wpływem spływu substancji humusowych z terenów bagiennych otaczających tę część jeziora. Natomiast w rejon stanowiska 5 wprowadzają swe wody dwa cieki – strumień z jeziora Zamczysko (st. 6) i ciek z torfowiska – przepływający pod szosą i torami kolejowym (st. 7). Uzyskane wyniki świadczą, że cieki te

Tabela 2. Chemiczny skład wody jeziora Ińsko (X_{\min} – wartość najmniejsza, X_{\max} – wartość największa, X – wartość średnia, S_x – odchylenie standardowe, d_x – współczynnik zmienności)The chemical composition of water in Lake Ińsko (X_{\min} – least value, X_{\max} – greatest value, X – average value, S_x – standard deviation, d_x – coefficient of variation)

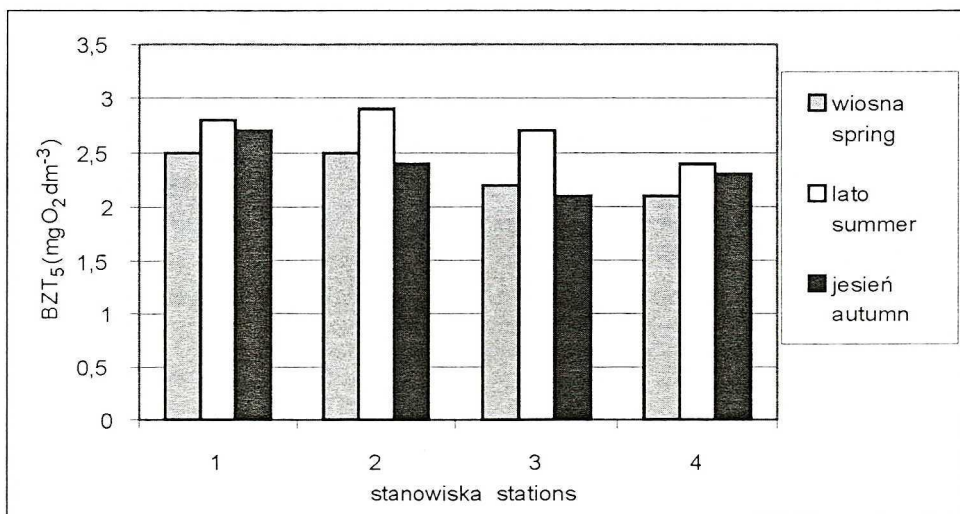
Parametry Parameters	Stanowisko Station 1	Stanowisko Station 2	Stanowisko Station 3	Stanowisko Station 4	Stanowisko Station 5	X_{\min}	X_{\max}	X	S_x	d_x (%)
T-P (mg P dm ⁻³), [a]	0,103	0,070	0,056	0,063	0,091	0,011	0,122	0,077	0,008	10,3
T-P (mg P dm ⁻³), [b]	0,116	0,073	0,091	0,056	–	0,046	0,143	0,084	0,012	14,3
PO ₄ -P (mg P dm ⁻³), [a]	0,014	0,007	0,041	0,007	0,007	0,003	0,061	0,015	0,003	20,0
PO ₄ -P (mg P dm ⁻³), [b]	0,017	0,007	0,067	0,008	–	0,005	0,080	0,018	0,004	22,2
T-N (mg N dm ⁻³), [a]	1,733	1,696	1,501	0,956	1,802	0,751	2,134	1,538	0,251	16,3
T-N (mg N dm ⁻³), [b]	1,366	1,183	1,243	1,003	1,433	0,835	2,083	1,246	0,228	18,3
I-N (mg N dm ⁻³), [a]	0,120	0,440	0,323	0,176	0,216	0,091	0,559	0,255	0,059	23,1
Chl. <i>a</i> (mg m ⁻³), [a]	2,50	3,20	4,60	3,63	4,07	2,03	5,28	3,60	0,82	27,8
BZT ₅ , [a]	4,1	2,8	1,7	1,5	5,2	1,2	5,8	3,1	0,94	30,5
BZT ₅ , [b]	2,6	2,6	2,4	2,3	–	1,8	3,2	2,5	0,75	29,8
pH	7,9	7,8	7,8	7,7	7,7	7,2	8,0	7,8	0,08	10,3
Ca (mg dm ⁻³)	36	37	35	37	35	34	38	36	0,27	7,5
Mg (mg dm ⁻³)	4,2	3,5	2,5	4,9	4,3	2,0	5,1	3,9	0,05	12,8
SO ₄ (mg dm ⁻³)	38	44	42	34	36	31	46	39	0,04	10,2
Cl ⁻ (mg dm ⁻³)	12	13	14	11	12	11	15	12	0,01	8,3

T-P – fosfor całkowity, PO₄-P – fosfor fosforanowy, T-N – azot całkowity, I-N – azot mineralny, Chl. *a* – chlorofil *a*, BZT₅, pH – odczyn wody, Ca – wapń, Mg – magnez, SO₄²⁻ – siarczany, Cl⁻ – chlorki, [a] – 1 m pod powierzchnią wody, [b] – 1 m nad dnemT-P – total phosphorus, PO₄-P – phosphate, T-N – total nitrogen, I-N – mineral nitrogen, Chl. *a* – chlorofil *a*, BOD₅, pH – reaction of water, Ca – calcium, Mg – magnesium, SO₄²⁻ – sulphates, Cl⁻ – chlorides, [a] – 1 m under surface of water, [b] – 1 m over bottom

muszą wprowadzać duże ilości materii organicznej łatwo ulegającej biodegradacji do substancji biogenicznych, które potęgają rozwój glonów, a więc i większe zapotrzebowanie na tlen. Potwierdzają to najwyższe wartości tego wskaźnika latem, kiedy procesy fotosyntezy zachodzą najintensywniej. Najniższy poziom BZT_5 obserwowano na stanowisku 4, co oznacza, że w tej odnodze jeziora Ińsko koncentracja materii organicznej jest najmniejsza. W warstwie przydennej poziom BZT_5 na wszystkich stanowiskach był podobny i wynosił średnio $2,5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ (Rys. 3).



Rys. 2. Wartości BZT_5 w wodzie jeziora Ińsko (1 m pod powierzchnią wody)
 BOD_5 values in Lake Ińsko water (1 m under surface of water)

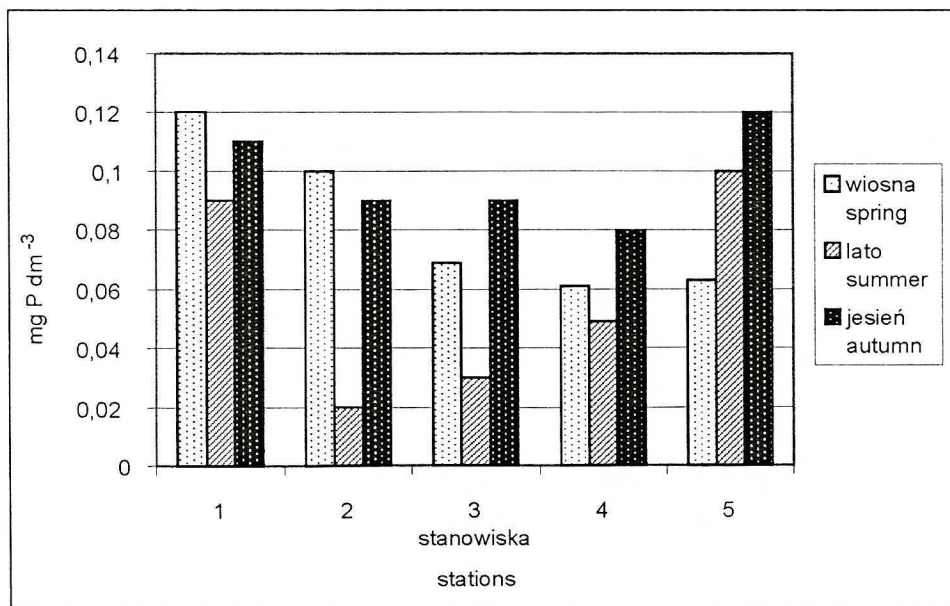


Rys. 3. Wartości BZT_5 w wodzie jeziora Ińsko (1 m nad dnem)
 BOD_5 values in Lake Ińsko water (1 m over bottom)

Jak ilustrują rysunki 2 i 3 w latach 1999 i 2000 nie obserwowano w wodzie jeziora Ińsko zbyt wielkich różnic w wartościach BZT_5 w poszczególnych sezonach, szczególnie małe zmiany notowano w warstwie powierzchniowej.

Wody jeziora Ińsko charakteryzują się bardzo niską zawartością związków fosforowych – średnio $0,078 \text{ mg P dm}^{-3}$ (od $0,011 \text{ mg P dm}^{-3}$ st. 4 do $0,122 \text{ mg P dm}^{-3}$ st. 1 i st. 5) w wodzie powierzchniowej. Wartość ta jest trzykrotnie mniejsza niż w jeziorze Łętowskim [23].

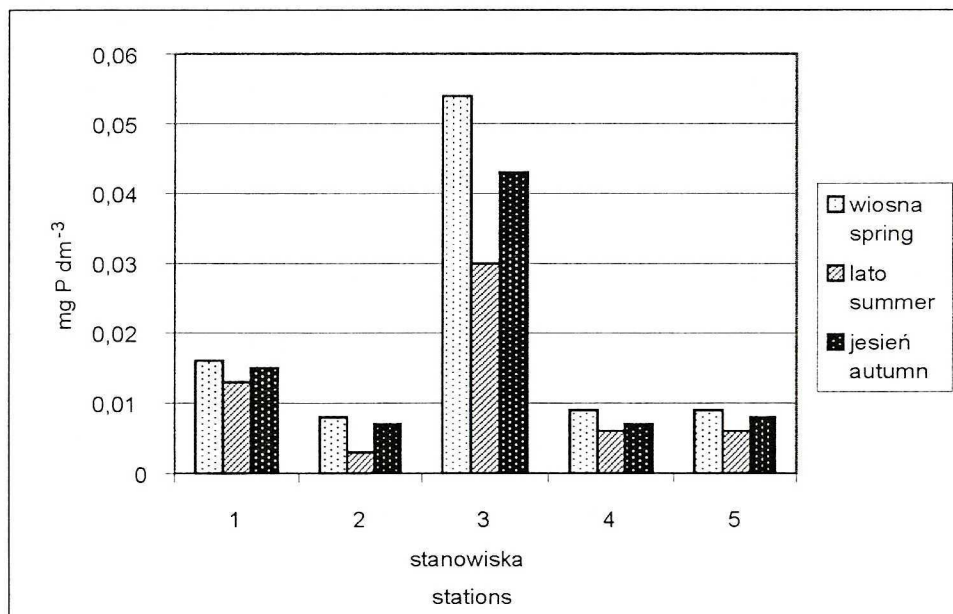
W całym jeziorze Ińsko największe stężenie fosforu całkowitego obserwowano wiosną i jesienią (średnio $-0,091 \text{ mg P dm}^{-3}$), a najmniejsze latem (średnio $-0,054 \text{ mg P dm}^{-3}$) (Rys. 4). Dostatecznie istotne różnice obserwowano między stężeniem fosforu całkowitego w warstwie powierzchniowej jeziora (średnio $-0,077 \text{ mg P dm}^{-3}$) a w warstwie naddennej ($0,084 \text{ mg P dm}^{-3}$) (Tab. 2), szczególnie na stanowisku 1 i 3. Na stanowisku 3, gdzie jezioro jest najbardziej narażone na oddziaływanie aglomeracji miejskiej Ińska, zawartość fosforu ogólnego przy dnie jest prawie dwukrotnie większa. Natomiast na stanowisku 1 woda zawiera najwięcej związków fosforowych zarówno przy powierzchni jak i przy dnie. Prawdopodobnie przyczyną tego są spływające w tym miejscu wody z pól użytkowanych rolniczo. Na spływ ten narażone są wody w rejonie stanowiska 2, gdzie wody również charakteryzują się dużą ilością fosforu ogólnego.



Rys. 4. Zawartość fosforu całkowitego w wodzie jeziora Ińsko (1 m pod powierzchnią wody)
The content of total phosphorus in Lake Ińsko water (1 m under surface of water)

W przypadku fosforanów obserwowano niezwykle niskie ich stężenia w wodzie badanego jeziora, o średniej wartości $0,015 \text{ mg P dm}^{-3}$ przy dużej rozpiętości od $0,003$ do $0,061 \text{ mg P dm}^{-3}$ (Rys. 5). Gdyby nie uwzględniano poziomu fosforanów na stanowisku 3, gdzie jego stężenie kilkakrotnie przewyższało stężenia na pozostałych stanowiskach, to średnie stężenie miałyby wartość $0,010 \text{ mg P dm}^{-3}$. W okresie letnim stężenie fosforu fosforanowego, było najniższe – średnio $0,010 \text{ mg P dm}^{-3}$ (Rys. 5). W tym okresie czasu

udział procentowy fosforu nieorganicznego w fosforze całkowitym również był najniższy (3–33%), czyli dominującą formą fosforu w wodzie tego jeziora był fosfor organiczny. Dominował on również jesienią i wiosną, z wyjątkiem stanowiska 3. W rejonie tego stanowiska dominował w znacznej przewadze fosfor fosforanowy (wiosną 90% i jesienią 60%). Sześciokrotnie większe stężenie fosforanów w wodzie w tym miejscu wyraźnie wskazuje na znaczny ładunek tego wskaźnika spływający z miasta Ińska do jeziora. Wiosną i jesienią na skutek większych opadów spływu te są znacznie większe i wnoszą więc więcej związków pochodzących również z aglomeracji miejskich. Stężenie fosforanów w jeziorze Ińsko jest kilkanaście razy mniejsze niż w jeziorach Klasztornym [26] i Człuchowskim [25].



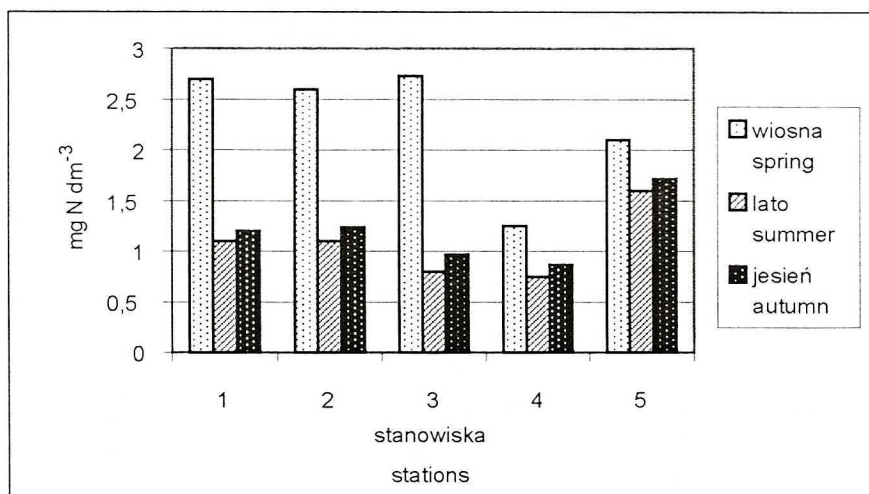
Rys. 5. Zawartość fosforanów w wodzie jeziora Ińsko (1 m pod powierzchnią wody)
The content of phosphates in Lake Ińsko water (1 m under surface of water)

W odróżnieniu od związków fosforowych omawiane jezioro zawierało znaczne ilości związków azotowych. Średnie ich stężenie, wynosiło $1,54 \text{ mg N dm}^{-3}$ ($0,75\text{--}2,13 \text{ mg N dm}^{-3}$), (Tab. 2) i było porównywalne z zawartością azotu ogólnego w umiarkowanie eutroficznym jeziorze Rżuno [27] i w jeziorze Jasiień [9]. Bardzo wysoką zawartość tych związków odnotowano wiosną na stanowiskach 1, 2 i 3 (około $2,7 \text{ mg N dm}^{-3}$), (Rys. 6). Najniższą koncentrację tego pierwiastka obserwowano latem na stanowiskach 3 i 4 (średnio $0,8 \text{ mg N dm}^{-3}$). Należy stwierdzić, że związki azotu wykazują w wodzie badanego jeziora bardzo duże zróżnicowanie zarówno między stanowiskami jak i w poszczególnych sezonach. Ogólnie najniższym stężeniem związków azotowych i fosforowych charakteryzowały się wody w zachodniej odnodze jeziora (st. 4), prawdopodobnie ciek 8 wprowadza niewielkie ilości tych składników.

Niższa koncentracja azotu całkowitego przy dnie badanego jeziora wskazuje, że zasilanie wewnętrzne wody jeziornej w związki azotowe jest mniejsze niż zasilanie zewnętrzne.

Głównym składnikiem azotu ogólnego był azot organiczny (79%), szczególnie w okresie letnim, kiedy azot mineralny stanowił od 5 do 21% azotu ogólnego. Najwyższy udział

procentowy azotu nieorganicznego, na który składają się azot azotanowy (III i V) i amonowy obserwowano na stanowisku 2 wiosną (odpowiednio 26%). W rejonie tego stanowiska notowano również najwyższe stężenia tej formy azotu $0,65 \text{ mg N dm}^{-3}$ przez cały rok. Prawdopodobnie przyczyną tych dużych stężeń na stanowisku 2 są spływające z pobliskich pól związki azotowe stosowane w nawozach mineralnych. Natomiast równie wysokie stężenie tego składnika obserwowano na stanowisku 3, co wskazuje, że spływające wody z miasta Ińska zawierają również duże ilości azotu. Najniższą zawartość azotu nieorganicznego notowano na stanowisku 4 (średnio $0,17 \text{ mg N dm}^{-3}$).



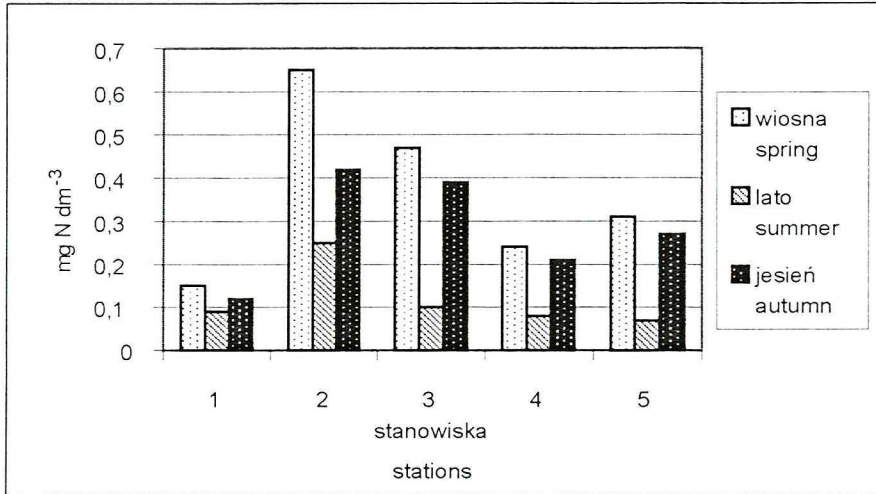
Rys. 6. Zawartość azotu całkowitego w wodzie jeziora Ińsko (1 m pod powierzchnią wody)
The content of total nitrogen in Lake Ińsko water (1 m under surface of water)

W okresie letnim stężenie azotu mineralnego było najniższe (Rys. 7) i wynosiło w badanym jeziorze średnio $0,13 \text{ mg N dm}^{-3}$. Niskie stężenie azotu i fosforu mineralnego w tym okresie wynika ze wzmożonej wegetacji organizmów, co wiąże się ze znacznym zużyciem tych substancji biogenicznych. Koncentracja azotu mineralnego przy dnie była podobna jak w warstwie powierzchniowej.

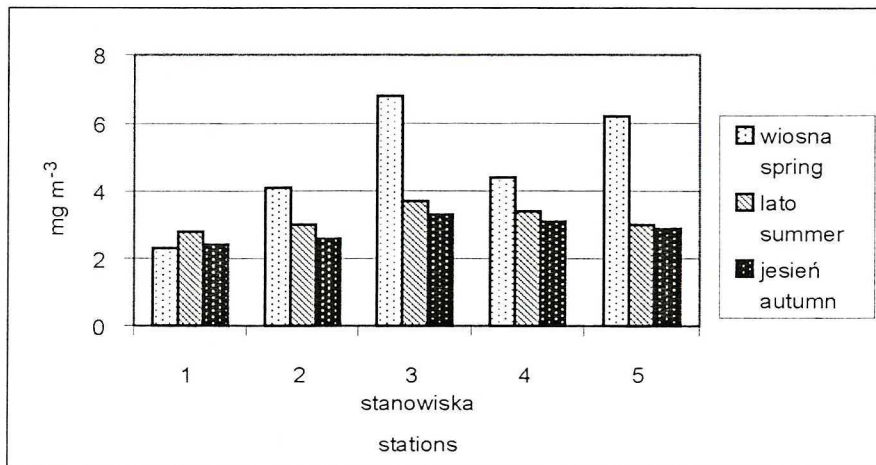
Na uwagę zasługuje bardzo wysoki udział azotu organicznego w azocie ogólnym (około 92%) na stanowisku 1. Przy niskich stężeniach fosforu fosforanowego ($0,014 \text{ mg P dm}^{-3}$) i azotu mineralnego ($0,12 \text{ mg N dm}^{-3}$) należy sądzić, że tak duże ilości fosforu organicznego i azotu organicznego wprowadzane są z zlewni tego jeziora. Zawartość azotu mineralnego jest znacznie mniejsza niż w jeziorze Jasiień ($1,14 \text{ mg N dm}^{-3}$) [9] i podobna jak w jeziorze Rzuno ($0,22 \text{ mg N dm}^{-3}$) [27].

Zawartość w wodzie chlorofilu *a* jest coraz częściej stosowanym wskaźnikiem produkcji pierwotnej. Istnieje wprost proporcjonalna zależność między koncentracją chlorofilu *a* i biomasą fitoplanktonu. W pomiarach wykonanych na jeziorze Ińsko najwyższa wartość chlorofilu *a* wystąpiła w okresie wiosennym na stanowiskach 3 i 5 (przeszło 6 mg m^{-3}), a najmniejsza wartość wystąpiła na stanowisku 1 ($2,3 \text{ mg m}^{-3}$) (Rys. 8). Chlorofil *a* będący wskaźnikiem biomasy fitoplanktonu w zbiornikach wodnych, w jeziorze Ińsko najwyższą wartość wykazywał wiosną (średnio $4,8 \text{ mg m}^{-3}$), z wyjątkiem stanowiska 1 gdzie maksimum obserwowano latem. W okresie letnim i wiosennym poziom chlorofilu *a* był podobny i wynosił

około 3 mg m^{-3} . Średnia koncentracja chlorofilu *a* w całym jeziorze wynosiła $3,6 \text{ mg m}^{-3}$ i była mniejsza niż w jeziorze Łętowskim [8]. Stosunkowo wysokie wartości chlorofilu *a* na stanowiskach 4 i 5 wynikają ze sprzyjających warunków rozwoju fitoplanktonu w tych odnogach jeziora. Są to najpłytsze rejony jeziora, a więc charakteryzujące się najlepiej nagrzanymi wodami.



Rys. 7. Zawartość azotu mineralnego w wodzie jeziora Ińsko (1 m pod powierzchnią wody)
The content of mineral nitrogen in Lake Ińsko water (1 m under surface of water)



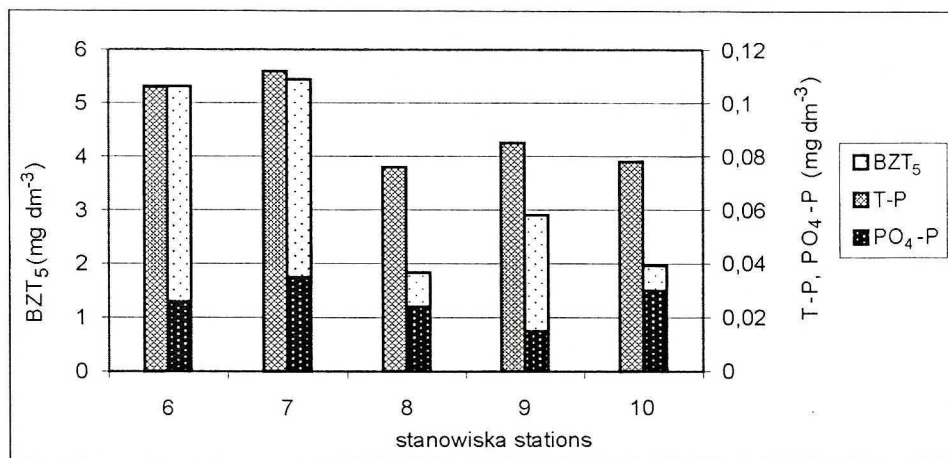
Rys. 8. Zawartość chlorofilu *a* w wodzie jeziora Ińsko (1 m pod powierzchnią wody)
The content of chlorophyll *a* in Lake Ińsko water (1 m under surface of water)

Zawartość wapnia w wodach jeziora Ińsko była rozmieszczona równomiernie i wykazywała niewielki zakres zmian od 34 do 38 mg dm^{-3} . Poziom tego metalu był niewielki i utrzymywał się niezmiennie przez cały rok (Tab. 2). Większe zmiany obserwowano w przypadku magnezu $2,0$ – $5,1 \text{ mg dm}^{-3}$. Zmiany te były bardzo nieregularne, jedynie na stanowisku 3 koncentracja tego metalu była najniższa (średnio – $2,5 \text{ mg dm}^{-3}$) i nie zmieniała

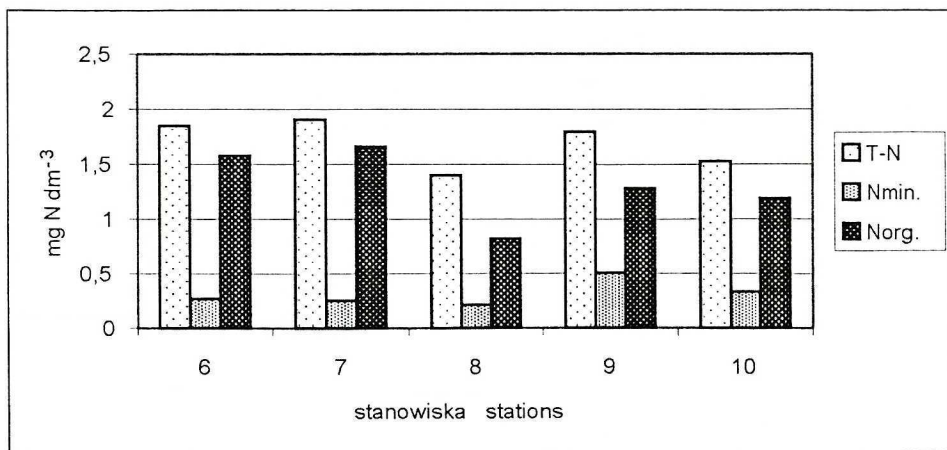
się w sposób istotny w ciągu roku.

Poziom chlorków w wodzie badanego jeziora był bardzo niski ($11\text{--}15\text{ mg dm}^{-3}$) i właściwie niezmienny przez cały okres badawczy (Tab. 2). Natomiast stężenie siarczanów reprezentowało poziom średni przy większym zakresie od $31\text{ do }46\text{ mg dm}^{-3}$. Woda na stanowiskach 4 i 5 zawierała najmniej siarczanów – średnio 35 mg dm^{-3} . Odczyn wody jeziora Ińsko w ciągu roku wahał się w niewielkim zakresie pH $7,2\text{--}8,0$ (Tab. 2).

W oparciu o prędkość przepływu wody w ciekach i stężenia związków azotu i fosforu oraz wartości BZT_5 (Rys. 9 i 10) wyznaczono ładunek dobowy i roczny, jaki te cieki wprowadzają do jeziora Ińsko (Tab. 3). Ładunek mierzony wartościami BZT_5 wskazuje, że najbardziej materią organiczną obciążają badane jezioro cieki 6 i 7, dlatego też woda na stanowisku 5 wykazuje najwyższe wartości tego wskaźnika. W ciągu doby do jeziora wprowadzany jest przez wszystkie dopływy ładunek BZT_5 w wysokości $1,58\text{ kg O}_2\text{ d}^{-1}$.



Rys. 9. Wartości BZT_5 i stężenia związków fosforowych w dopływach i odpływie jeziora Ińsko
BOD₅ values and concentrations of phosphorus compounds in inflows and outflow in Lake Ińsko



Rys. 10. Stężenia związków azotowych w dopływach i odpływie jeziora Ińsko
Concentrations of nitrogen compounds in inflows and outflow in Lake Ińsko

Tabela 3. Bilans BZT₅ oraz związków azotu i fosforu w jeziorze Ińsko uwzględniający tylko dopływy i odpływy
 The balance of BOD₅, nitrogen compounds and phosphorus compounds in Lake Ińsko taking into consideration only inflows and outflows

Parametry Parameters	Dopływy / Inflows		Odpływ / Outflow		Pozostaje w jeziorze / Stays in lake		
	W ciągu doby During the day (g d ⁻¹)	W ciągu roku During the year (kg r ⁻¹)	W ciągu doby During the day (g d ⁻¹)	W ciągu roku During the year (kg r ⁻¹)	W ciągu doby During the day (g d ⁻¹)	W ciągu roku During the year (kg r ⁻¹)	%
BZT ₅	1582,1	577,5	514,2	187,7	1067,9	389,8	67,5
T -P	40,73	14,87	21,56	7,87	19,17	6,00	47,1
PO ₄ -P	10,98	4,01	8,29	3,03	2,69	0,98	24,5
T-N	698,7	255,0	423,0	154,4	275,7	100,6	39,5
Nnieorg.	129,32	47,20	92,07	33,61	37,25	13,59	28,8
Norg.	569,3	207,8	330,9	120,7	233,4	87,0	10,7

T-P – fosfor całkowity, PO₄-P – fosfor fosforanowy, T-N – azot całkowity, Nnieorg. – azot nieorganiczny, Norg. – azot organiczny
 T-P – total phosphorus, PO₄-P – phosphate, T-N – total nitrogen, Nnieorg. – inorganic nitrogen, Norg. – organic nitrogen

Najwięcej związków fosforowych do jeziora wprowadzają ciek 7 i 9, a ładunek dobowy ze wszystkich cieków wynosił $40,7 \text{ g P d}^{-1}$. Ciek 9 wprowadza do jeziora przeszło dwukrotnie więcej azotu mineralnego niż pozostałe ciek. Ogólny ładunek tego składnika dostarczany w ciągu doby wynosi $129,3 \text{ g N d}^{-1}$. Analizowane ciek wprowadzają prawie pięć razy więcej azotu organicznego niż nieorganicznego. Ładunek dobowy azotu organicznego wynosił $0,57 \text{ kg N d}^{-1}$. Uogólniając, wszystkie dopływy, pomijając dopływ podziemny i opady atmosferyczne, w ciągu roku wprowadzają do jeziora ładunek BZT_5 w wysokości $577 \text{ kg O}_2 \text{ r}^{-1}$, a odprowadzane jest jedynym odpływem tylko $187 \text{ kg O}_2 \text{ r}^{-1}$. Zatem w jeziorze rocznie pozostaje $389 \text{ kg O}_2 \text{ r}^{-1}$, czyli 68% dostarczanego ładunku jeżeli pominie się odpływ podziemny. W tym samym okresie czasu do jeziora dostaje się $14,9 \text{ kg P r}^{-1}$ fosforu, a wypływa $7,8 \text{ kg P r}^{-1}$ i pozostaje $6,0 \text{ kg P r}^{-1}$, czyli pozostaje 47%. Wody jeziora Ińsko w ciągu roku przyjmują $698,7 \text{ kg N r}^{-1}$, wypływa $423,0 \text{ kg N r}^{-1}$ i pozostaje $180,6 \text{ kg N r}^{-1}$, co stanowi 39% azotu wpływającego. Zatem znaczna część azotu i fosforu pozostaje w jeziorze, z czego część najprawdopodobniej wydostaje się z jeziora odpływami podziemnymi, jeżeli takie istnieją.

Znając dokładne dane o zlewni i jej ciekach oraz dane morfometryczne jeziora Ińsko obliczono kategorie skłonności do degradacji tego jeziora według [10]. W oparciu o wartości potrzebne do wyznaczenia kategorii jezioro Ińsko zakwalifikowano do I kategorii. Oznacza to, że badane jezioro wykazuje najmniejszą skłonność do degradacji, czyli doskonale może się bronić przed wpływami czynników antropogenicznych. Wskaźnikami, które najbardziej podwyższały jego skłonność do degradacji były stosunek pojemności jeziora do jego linii brzegowej oraz sposób zagospodarowania zlewni bezpośredniej (10% ziemi ornej).

Klasyfikacji jakościowej wody jeziora Ińsko również dokonano według [10]. W metodzie tej uwzględniono takie wskaźniki jak BZT_5 , koncentracja fosforu fosforanowego i ogólnego, koncentracja azotu mineralnego i ogólnego oraz chlorofilu *a*. W oparciu o wielkości tych parametrów oszacowano, że ogólna punktacja wynosi 1,75 co pozwala zaliczyć jezioro Ińsko do II klasy czystości pod względem jakości wody. O przynależności tego jeziora do II klasy czystości zdecydowały stężenie związków azotowych i fosforowych oraz wartość BZT_5 .

WNIOSKI

Dynamika procesów fizykochemicznych i zachowanie się zanieczyszczeń wprowadzanych do jeziora zależy w dużej mierze od warunków mieszania wód, uzależnionych z kolei od ukształtowania misy jeziornej i jej otoczenia.

Jezioro Ińsko jest jeziorem o dużej głębokości i bardzo urozmaiconej linii brzegowej. Posiada cztery istotne dopływy i jeden odpływ. Ogólnie nie wnoszą one zbyt dużych ilości substancji biogenicznych, lecz biorąc pod uwagę, że około 70% wpływających substancji biogenicznych pozostaje w jeziorze, kumulując się w osadach dennych, należy nie dopuszczać, aby ich koncentracja w wodach dopływów ulegała podwyższeniu, dążąc jednocześnie do obniżenia ich stężeń. Natomiast do jeziora splywa stosunkowo duża ilość związków organicznych. Najwięcej materii organicznej dopływa ciekami z torfowiska i z jeziora Zamczysko. Są to najprawdopodobniej substancje organiczne typu humusowego. Rocznie dopływy te dostarczają do jeziora $14,9 \text{ kg P r}^{-1}$, $698,7 \text{ kg N r}^{-1}$ i ładunek zanieczyszczeń w postaci BZT_5 – $577 \text{ kg O}_2 \text{ r}^{-1}$.

Negatywny wpływ miasta Ińsko odzwierciedla się wyższą koncentracją związków

azotowych i fosforowych oraz siarczanów. Natomiast część jeziora w rejonie stanowiska 2 narażona jest na spływające z okolicznych pól związki azotu i fosforu, jako pozostałości po stosowanych nawozach mineralnych. Zawartość związków fosforu w wodach jeziornych jest bardzo istotna dla oceny jakości jezior. Fosfor jest uważany za kluczowy element eutrofogeniczny.

Również azot ma ogromne znaczenie w produktywności wód. W badanym jeziorze występował głównie w postaci azotu organicznego, a z azotu mineralnego w postaci azotu amonowego. Azot amonowy przeważał nad azotanowym przede wszystkim latem i wczesną wiosną. Wskazuje to, że w okresie tym procesy denitryfikacyjne przeważają nad nityfikacyjnymi. Jak wiadomo, odniesienie azotu amonowego do azotanowego jest uzależnione przede wszystkim od wielkości deficytu tlenowego i długości jego trwania, co następuje zwykle w małych i głębokich jeziorach o utrudnionym krążeniu [15]. Niewielka zawartość azotanów w okresie wegetacyjnym może wskazywać na wyczerpywanie ich przez rozwijający się fitoplankton. Z kolei szybkie wyczerpywanie tlenu hamuje utlenianie uwalnianego amoniaku do azotanów [3]. Jak stwierdzili Trojanowski i in. [28] w jeziorze Ińsko w okresie letnim poniżej 17 m panuje deficyt tlenowy. Ogólnie jednak jezioro to należy do dobrze natlenionych.

Ilość fosforanów w badanym jeziorze jest bardzo mała. Dziesięciokrotnie mniejsza niż w silnie eutroficznym jeziorze Brudno [28]. Wskazuje to na niewielki dopływ fosforu fosforanowego pochodzenia allochtonicznego, a więc z przyległych terenów miejskich oraz pól i łąk.

W związku z tym wydaje się, że czynnikiem limitującym w tym jeziorze jest fosfor. Jego niewielkie ilości powodują, że produkcja pierwotna nie jest zbyt duża, a więc BZT₅ na poziomie 3 mg O₂ dm⁻³, a chlorofil *a* – 3,5 mg m⁻³.

Podkreśleniem niskiego zanieczyszczenia jeziora ściekami komunalnymi były niskie zawartości chlorków. Wartości te były podobne jak w czystych jeziorach [7, 27, 29] i były dziesięciokrotnie mniejsze od zawartości w bardzo zanieczyszczonych jeziorach [2, 4, 24]. Natomiast stężenie siarczanów utrzymywało się na poziomie średnim od 31 do 46 mg dm⁻³.

Twardość ogólna, zawartości wapnia i magnezu były podobne do wartości spotykanych również w jeziorach nie zanieczyszczonych [7, 14].

Procent wymiany wód dla jeziora Ińsko (12%) i inne wskaźniki morfometryczne pozwalają zaszeregować ten wynik do I kategorii uwzględniającej degradację jeziora. Oznacza to, że jezioro ma duże możliwości obronne przed negatywną działalnością człowieka.

Biorąc pod uwagę wielkość analizowanych wskaźników należy stwierdzić, że jezioro Ińsko jest jeziorem charakteryzującym się niskim stopniem eutrofizacji i należy go zaliczyć do jezior umiarkowanie eutroficznych.

Ze względu na poziom BZT₅, stężenie związków azotowych i fosforowych jakoś wód tego jeziora przypisano do II klasy czystości. Jak wykazała analiza porównawcza do roku 1980 jakoś wód tego jeziora zmniejsza się z biegiem czasu. Należałoby więc podjąć określone działania aby powstrzymać ten proces, mając na uwadze, że niewiele jest jezior w Polsce o takiej klasie czystości. Konieczne jest maksymalne ograniczenie dopływu substancji biogenicznych i zanieczyszczeń z miejscowości Ińsko. W tym celu należy skanalizować obszary nie podłączone jeszcze do miejskiej oczyszczalni ścieków, założyć separatory na wylotach kolektorów kanalizacji deszczowej i rozdzielić kanalizację deszczową od ogólnospławnej.

LITERATURA

- [1] *Atlas jezior Polski*, (Red. J. Jańczak), Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 1996.
- [2] Cydzik D., H. Soszka, D. Kudelska: *Stan czystości rzek, jezior i Bałtyku*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1992.
- [3] Georing J.J., V.A. Dudgeale: *Estimates of the rates of denitrification in a subarctic lake*, *Limnol. Oceanogr.*, **11**, 113–117 (1966).
- [4] Januszkiewicz T.: *Badania chemiczne jeziora Klasztorne jako odbiornika ścieków*, Instytut Gospodarki Wodnej, V, 23, 1969.
- [5] Januszkiewicz T.: *Zagadnienie fosforu w eutrofizacji i ochronie wód*, *Gosp. Wodna*, **35**, 58–66 (1975).
- [6] Kajak Z.: *Hydrobiologia-limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*, PWN, Warszawa 1998.
- [7] Korycka A.: *Seasonal changes in water chemical composition in seven lake*, *Pol. Arch. Hydrobiol.*, **16**, 1–29 (1969).
- [8] Korzeniewski K., J. Trojanowski, Cz. Trojanowska, A. Moczulska, W. Sałat, H. Ratajczyk: *Nutrient transfer in the lakes with trout cage culture*, *Pol. Ekol. Stud.*, **14**, 335–383 (1988).
- [9] Korzeniewski K., A. Moczulska, Cz. Trojanowska, H. Ratajczyk: *Eutrophication of a springwater Lake Jasień during the period 1960-1986*, *Pol. Arch. Hydrobiol.*, **39**, 2, 173–189 (1992).
- [10] Kudelska D., D. Cydzik, H. Soszka, *System oceny jakości jezior*, IKS, Warszawa 1983.
- [11] Lorenzen C.J.: *Determination of chlorophyll and phaeopigments: Spectrophotometric equations*, *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 343–346 (1967).
- [12] 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).
- [13] Niewola S., A. Korycka, K. Kraśnicki.: *Rozpuszczanie niektórych związków mineralnych fosforu przez drobnoustroje w osadach dennych jezior nawożonych*, *Rocz. Nauk Rol.*, **1**, 99, 141–174 (1978).
- [14] Olszewski P., J. Paschalski: *Wstępna charakterystyka limnologiczna niektórych jezior Pojezierza Mazurskiego*, *Zesz. Nauk. WSR Olsztyn*, 1959.
- [15] Patalas K.: *Charakterystyka składu chemicznego wody 48 jezior okolic Węgorzewa*, *Rocz. Nauk Rol.*, **77-B**, 243–297 (1960).
- [16] Pawlaczek-Szpilowa M.: *Mikrobiologia wody i ścieków*, PWN, Warszawa 1978.
- [17] Rheinheimer G.: *Mikrobiologia wód*, PWRiL, Warszawa 1977.
- [18] Schwoerbel J.: *Einführung in die Limnologie*, Lipsk-Jena 1977.
- [19] Spis materiałowy i księgowość Gospodarstwa Rybackiego w Ińsku.
- [20] Sprenger K.: *Hydrochemical conditions of the Haltern Lake*, 16th Baltic Marine Biologists Symposium, June 1999, Klaipeda, Lithuania, p. 48.
- [21] *Standard methods for the examination of water and wastewater including bottom sediments and sludge*, American Public Health Association, New York 1992.
- [22] Stańczykowska A.: *Ekologia naszych wód*, WSiP, Warszawa 1997.
- [23] Trojanowski J., Cz. Trojanowska, H. Ratajczyk: *Primary production in lakes with cage trout culture*, *Pol. Arch. Hydrobiol.*, **32**, 113–129 (1985).
- [24] Trojanowski J., Cz. Trojanowska, K. Korzeniewski: *Trophic state of coastal lakes*, *Pol. Arch. Hydrobiol.*, **38**, 23–34 (1991).
- [25] Trojanowski J., Cz. Trojanowska: *Stan zanieczyszczenia jezior człuchowskich*, *Arch. Environ. Prot.*, **25**, 3, 91–109 (1999).
- [26] Trojanowski J., J. Bruski: *Thermic and oxygen conditions of Klasztorne lakes in Kartuzy*, *Słup. Prace Przyrod.*, **1**, 19–29 (2002).
- [27] Trojanowski J., J. Bruski: *Thermal and oxygen characteristic of Rżuno Lake (Kaszuby Lakeland)*, *Arch. Ochr. Środ.*, **28**, 1, 81–95 (2002).
- [28] Trojanowski J., A. Parzych, Cz. Trojanowska: *Warunki termiczno-tlenowe jeziora Ińsko*, *Arch. Environ. Prot.*, **30**, 3, 147–160.
- [29] Wojciechowska W., W. Pęczuła, A. Zykubek: *Long-term changes in protected Lakes (Sobibór Landscape Park, eastern Poland)*, *Ekol. Pol.*, **44**, 179–191 (1996).

Wpłynęło: 27 grudnia 2002, zaakceptowano do druku: 4 maja 2004.