

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN—POLONIA

VOL. XXXIV, 19

SECTIO C

1979

Instytut Biologicznych Podstaw Produkcji Zwierzęcej AR w Lublinie
Zakład Zoologii i Hydrobiologii

Stanisław RADWAN, Czesław KOWALCZYK

**Chemizm trzech odmiennych troficznie jezior Pojezierza
Łęczyńsko-Włodawskiego ***

Химизм трех трофически разных озер Ленчињско-Влодавского поозерья

Chemical Compounds of Three Trophically Different Lakes of the Łęczna-Włodawa
Lakeland

Dotychczasowe wiadomości o właściwościach fizyczno-chemicznych wód Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego są fragmentaryczne (26, 27, 28, 29), dlatego w latach 1970—1976 przeprowadzono systematyczne badania nad określeniem wielkości sezonowych zmian ważniejszych czynników fizycznych i chemicznych w trzech różniących się morfometrycznie i limnologicznie jeziorach. Badania te były tym bardziej uzasadnione, gdyż prowadzono je w zbiornikach leżących w zasięgu Lubelskiego Zagłębia Węglowego, które w przyszłości mieć będzie poważny wpływ na charakter zmian zachodzących w naturalnych biocenozach wodnych tego regionu. Ponadto uzyskane wyniki stanowią będą tło ekologiczne prowadzonych od wielu lat badań nad planktonem i bentosem tych jezior.

TEREN BADAŃ

Jezioro Piaseczno o powierzchni 85 ha i głębokości maksymalnej 38,8 m pod względem statyczności reprezentuje dimiktyczny typ zbiornika, pod względem trofilii zaś typ b-mezotroficzny. Brzegi jeziora na styku z wodą w większości są pokryte piaszczystą plażą, jedynie na brzegu północno-zachodnim rozciągają się podmokłe łąki z rozwiniętą silnie trzcina w strefie przybrzeżnej. Na pobrzeżu południowo-zachodnim występuje las mieszany, zaś pozostały, wschodni obszar zlewni stanowią głównie pola uprawne.

Jezioro Biczke, o powierzchni 85 ha i maksymalnej głębokości 3,3 m, ze względu na kształtujące się stosunki termiczne i tlenowe zaliczane jest do zbiorników poli-miktycznych, natomiast pod względem charakteru limnologicznego określane jest jako zbiornik eutroficzny. Brzegi ma ogroblowane i połączone kanałem z rzeką Piwonią. Zbiornik ten jest silnie zarastany przez oczeret jeziorny, osokę aloesowatą,

grąžel żółty i rdestnice. Ponadto zwartym pierścieniem jezioro opasuje trzcina. Na styku z wodą występuje gruba warstwa roślin torfowiskowych.

Jezioro Brzeżiczno, o powierzchni zaledwie 7,5 ha i głębokości maksymalnej 2,5 m, należy również do zbiorników polimiktycznych, lecz pod względem trofii jest typowym jeziorem dystroficznym. Jest to zbiornik śródleśny, silnie zarastany przez grąžel żółty, oczeret jeziorny i rdestnice. Wszystkie brzegi posiada niskie o charakterze trzęsawiskowym, porośnięte szerokim pasem roślin torfowiskowych.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiały były zbierane w cyklu całorocznym w odstępach 1—4-tygodniowych (w kolejnych latach badań zwiększano częstotliwość pobierania prób), najmniej danych zebrano z okresu zimowego.

Wodę do analiz chemicznych pobierano 5-litrowym czerpakiem typu Bernatowicza z jednego stanowiska, położonego w pelagialu w pobliżu maksymalnej głębokości zbiornika. Z płytkich jezior: Bikcze i Brzeżiczno pobierano po 2 próby, jedną z głębokości 1 m, drugą zaś z przydennych warstw 0,5—1 m nad dnem. Natomiast z głębokiego jeziora Piaseczno każdorazowo pobierano 3 próby z następujących głębokości: 1, 9 i 35 m. Pobrane do analizy próby wody o pojemności 3 l przewożono do laboratorium, gdzie wykonano oznaczenia podstawowych składników chemicznych. Ogółem poddano analizie chemicznej 251 prób. Do określania azotu (NH_3 , NO_3 , NO_2) fosforu ogólnego, utlenialności nadmanganianowej ogólnej, węglanowości (zasadowości) stosowano standardowe metody kolorymetryczne i miareczkowe opisane w pracach Marczenki (12) oraz Justa i Hermanowicza (8). Ponadto do określania metali: K, Fe, Ca użyto spektrofotometru absorpcji atomowej typu EEL 240 (Evans).

Równocześnie z pobraniem prób do analiz chemicznych określano przy pomocy „Oxytesteru” temperaturę wody z dokładnością do $0,01^\circ\text{C}$ oraz przewodnictwo elektrolityczne przeliczane w odniesieniu do temp. 20°C i podane w $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Badano również w tym czasie zmodyfikowaną metodą Winklera zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie, barwę wody, którą określano kolorymetrycznie według skali Forela-Ulego, pH przy pomocy pehametru lampowego LBS-86 o dokładności odczytu 0,05 oraz widzialność używając tarczy Secchiego.

Temperaturę, tlen i przewodnictwo elektrolityczne w płytkich jeziorach Bikcze i Brzeżiczno określano w całym słupie wody co 1 m. Natomiast w głębokim jeziorze Piaseczno odstępny 1-metrowe zachowano do 20 m głębokości, zaś poniżej tej głębokości stosowano 5-metrowe odstępny. Odczyn wody w jeziorach Bikcze i Brzeżiczno oznaczano na dwóch głębokościach, przy powierzchni i przy dnie, a w jeziorze Piaseczno w epi- i metalimnionie w 5-metrowych odstępach, zaś w hypolimnionie w odstępach 10-metrowych.

Otrzymane wyniki badań chemicznych podano w mg/l, natomiast wyniki badań fizycznych w jednostkach ogólnie przyjętych w limnologii.

WYNIKI I DYSKUSJA

Barwa wody

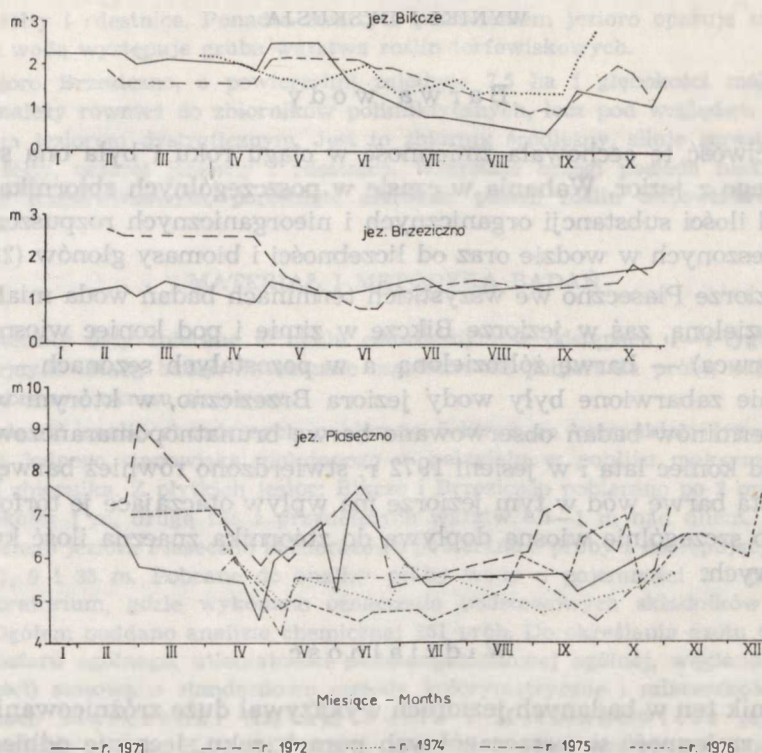
Właściwość tę cechowała zmienność w ciągu roku i była ona swoista dla każdego z jezior. Wahania w czasie w poszczególnych zbiornikach zależały od ilości substancji organicznych i nieorganicznych rozpuszczonych lub zawieszonych w wodzie oraz od liczebności i biomasy glonów (28).

W jeziorze Piaseczno we wszystkich terminach badań woda miała barwę jasnozieloną, zaś w jeziorze Bikcze w zimie i pod koniec wiosny (połowa czerwca) — barwę żółtozieloną, a w pozostałych sezonach — żółtą. Odmiennie zabarwione były wody jeziora Brzeziczno, w którym w większości terminów badań obserwowano barwę brunatnopomarańczową. Jedynie pod koniec lata i w jesieni 1972 r. stwierdzono również barwę żółtą. Na swoistą barwę wód w tym jeziorze ma wpływ otaczające je torfowisko, z którego szczególnie wiosną dopływa do zbiornika znaczna ilość kwasów humusowych.

Widzialność

Czynnik ten w badanych jeziorach wykazywał duże zróżnicowanie oraz wyraźną zmienność w poszczególnych porach roku, lecz nie odbiegał od wartości uzyskiwanych dla tego typu jezior w Polsce (20, 32, 36). Najwyższe wartości notowano zawsze w jeziorze Piaseczno, gdzie w okresie zimowym widzialność wahała się w granicach 5,8—9,1 m, a w ciepłych porach roku zamykała się w przedziale 4,2—7,6 m (ryc. 1). Porównanie wyników zebranych w 5-letnim okresie badań wskazuje na wyraźne wahania tej cechy w kolejnych latach badań (ryc. 1). W pierwszym, dwuletnim cyklu notowano wzrastającą widzialność wody, gdyż w tym okresie średnie za sezon letni (VI—IX) wynosiły: 5,7 m w r. 1971 i 6,7 m w r. 1972.

W dwu następnych latach nastąpił wyraźny spadek wartości tej cechy, na co wskazują jej średnie za okres letni, wynoszące 5,1 m w r. 1974 i 5,0 m w r. 1975. W tym czasie dość często widzialność nie przekraczała 5 m głębokości. Natomiast w ostatnim roku badań nastąpił ponowny powolny wzrost widzialności, wtedy bowiem jej średnia wartość za okres letni wynosiła 5,2 m. Stopniowy spadek, a następnie wzrost wartości tej cechy co kilka lat można tłumaczyć cyklicznymi wahaniami stopnia żyzności wód jeziornych, uzależnionymi od ilości dopływającej materii allochtonicznej. Przeprowadzone w tymże jeziorze w latach 1968—1970 pomiary widzialności (11) potwierdzają przedstawiony wyżej pogląd, ponieważ wówczas stwierdzono znacznie niższe wartości widzialności w porównaniu z wynikami zebranymi w analogicznych okresach w latach 1971—



Ryc. 1. Sezonowe zmiany widzialności w badanych jeziorach
Seasonal changes of visibility in the examined lakes

1972. Zbliżone one były raczej do wyników zebranych w analogicznych terminach w latach 1974—1975.

W eutroficznym i płytkim jeziorze Bikcze widzialność była znacznie mniejsza i bardzo zróżnicowana w czasie. W okresie zimowym zamykała się w granicach 1,5—2,3 m, zaś w pozostałych porach roku wahała się w granicach 0,5—3,0 m, najniższe jej wartości rejestrowano zawsze w okresie letnim (ryc. 1). Średnie wartości widzialności za okres letni wskazują na dość znaczny jej wzrost w kolejnych latach badań, w których wynosiła ona odpowiednio: 1,1 m w r. 1971, 1,5 m w r. 1972 i 1,6 m w r. 1974. W porównaniu z wynikami otrzymanymi w okresie letnim w r. 1968 była 4—6 razy wyższa, gdyż wtedy wahała się w granicach 0,2—0,4 m (11), a jej średnia wynosiła zaledwie 0,3 m. Sukcesywnie wzrastająca widzialność w tym jeziorze jest prawdopodobnie związana z przejściowo zmniejszającą się intensywnością produkcji biologicznej w wyniku ograniczenia dopływu do niego allochtonicznej materii organicznej (przeprowadzenie zabiegów melioracyjnych, polegających na ogroblowaniu i wykonaniu odwadniającego rowu opaskowego wokół zbiornika).

Dystroficzne jezioro Brzeżyczo wykazywało mniejsze wahania widzialności (ryc. 1). W sezonie zimowym wynosiły one 1,0—2,6 m, a w pozostałych sezonach 0,9—2,5 m. Średnia widzialność za okres letni wynosiła 1,2 m w r. 1971 oraz 1,1 m w r. 1972. Była ona nieznacznie niższa od wyników uzyskanych w r. 1968.

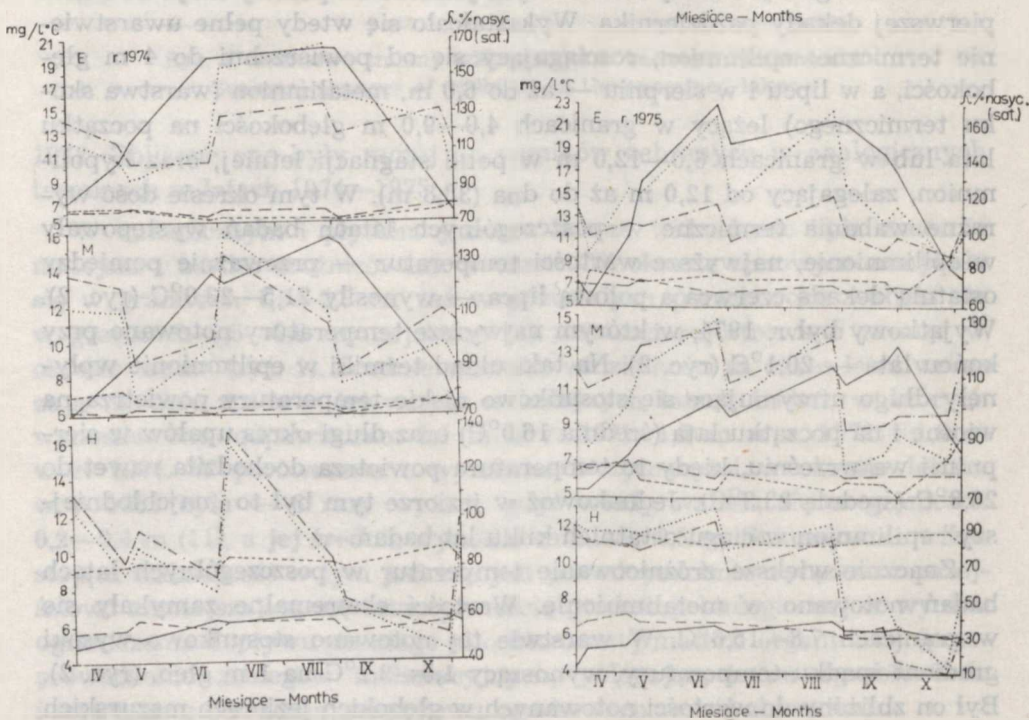
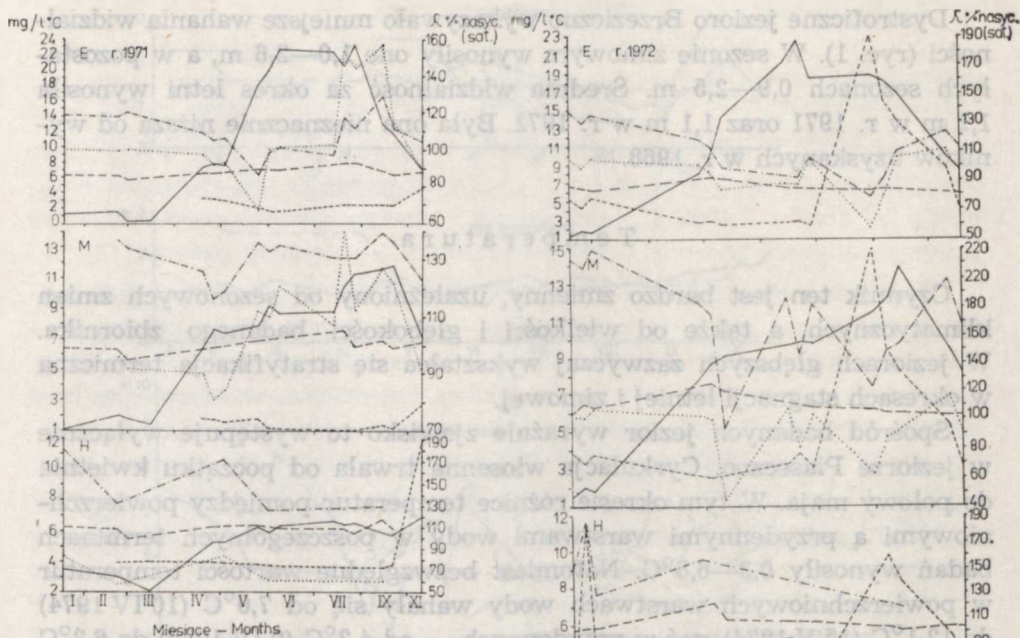
Temperatura

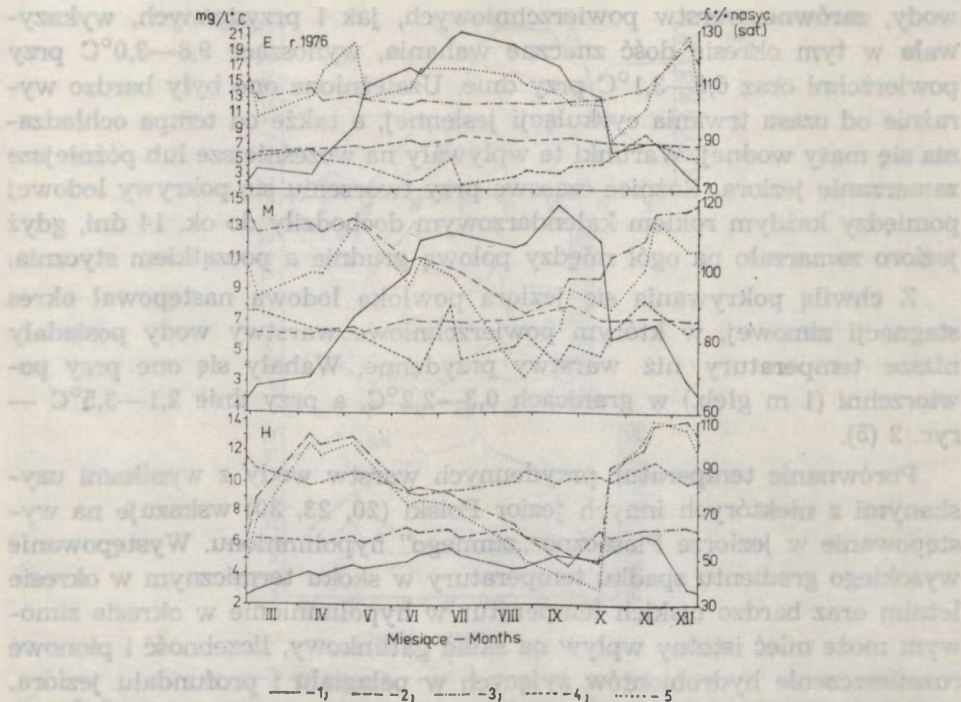
Czynnik ten jest bardzo zmienny, uzależniony od sezonowych zmian klimatycznych, a także od wielkości i głębokości badanego zbiornika. W jeziorach głębszych zazwyczaj wykształca się stratyfikacja termiczna w okresach stagnacji letniej i zimowej.

Spśród badanych jezior wyraźnie zjawisko to występuje wyłącznie w jeziorze Piaseczno. Cyrkulacja wiosenna trwała od początku kwietnia do połowy maja. W tym okresie różnice temperatur pomiędzy powierzchniowymi a przydennymi warstwami wody w poszczególnych terminach badań wynosiły 0,3—6,8°C. Natomiast bezwzględne wartości temperatur w powierzchniowych warstwach wody wahały się od 7,0°C (10 IV 1974) do 12,1°C (15 V 1974), zaś w przydennych — od 4,2°C (9 IV 1975) do 6,3°C (6 V 1970).

Okres stagnacji letniej trwał w tym jeziorze od połowy maja do końca pierwszej dekady października. Wykształcało się wtedy pełne uwarstwienie termiczne: epilimnion, rozciągający się od powierzchni do 4 m głębokości, a w lipcu i w sierpniu — aż do 6,0 m, metalimnion (warstwa skoku termicznego) leżący w granicach 4,0—9,0 m głębokości na początku lata lub w granicach 6,0—12,0 m w pełni stagnacji letniej, oraz hypolimnion, zalegający od 12,0 m aż do dna (38,8 m). W tym okresie dość wyraźne wahania termiczne w poszczególnych latach badań występowały w epilimnionie, najwyższe wartości temperatur — przeważnie pomiędzy ostatnią dekadą czerwca a połową lipca — wynosiły 21,5—23,0°C (ryc. 2). Wyjątkowy był r. 1974, w którym najwyższe temperatury notowano przy końcu lata — 20,1°C (ryc. 2). Na taki układ termiki w epilimnionie wpłynęły długo utrzymujące się stosunkowo niskie temperatury powietrza na wiosnę i na początku lata (średnia 16,0°C) oraz długi okres upałów w sierpniu i we wrześniu, kiedy to temperatura powietrza dochodziła nawet do 26,8°C (średnia 23,3°C). Jednakowoż w jeziorze tym był to „najchłodniejszy” epilimnion w ciągu ostatnich kilku lat badań.

Znacznie większe zróżnicowanie temperatur w poszczególnych latach badań notowano w metalimnionie. Wartości ekstremalne zamykały się w granicach 7,8—15,6°C. W warstwie tej notowano stosunkowo wysoki gradient spadku temperatury, wynoszący 1,5—2,2°C na 1 m głęb. (ryc. 2). Był on zbliżony do wartości notowanych w głębokich jeziorach mazurskich





Ryc. 2. Sezonowe zmiany ważniejszych czynników fizycznych i chemicznych w jeziorze Piaseczno; 1 — temperatura, 2 — pH , 3 — O_2 (mg/l), 4 — przewodnictwo, 5 — O_2 (% nasycenia)

Seasonal changes of more important physical and chemical factors in the Piaseczno lake; 1 — temperature, 2 — pH , 3 — O_2 (mg/l), 4 — conductivity, 5 — O_2 (saturation percentage)

(23). Woda w tej warstwie termicznej nagrzewała się znacznie wolniej i najwyższe temperatury osiągała dopiero pod koniec sierpnia lub w drugiej połowie września. W r. 1971 na głębokości 9,0 m wahały się one od $11,8^{\circ}C$ we wrześniu aż do $15,6^{\circ}C$ w sierpniu (ryc. 2) i okazało się, iż był to najcieplejszy metalimnion w okresie badań.

Przydenne warstwy wody były stosunkowo ciepłe, gdyż ich temperatura często przekraczała $6,0^{\circ}C$. Jedynie w r. 1972 i w r. 1976 kształtowała się ona na niższym poziomie, wynoszącym $4,4$ — $5,8^{\circ}C$ (ryc. 2). Otrzymane wartości należą do rzadko notowanych w tej strefie klimatycznej w innych jeziorach Polski (19, 32). Od połowy września następowało powolne wyrównywanie się temperatur pomiędzy epilimnionem i całym metalimnionem, bardzo wyraźnie zaznaczał się jeszcze hypolimnion (ryc. 2).

Jesienne wyrównywanie termiczne trwało od drugiej dekady października do połowy grudnia. W poszczególnych latach badań temperatura

wody, zarówno warstw powierzchniowych, jak i przydennych, wykazywała w tym okresie dość znaczne wahania, wynoszące 9,8—3,0°C przy powierzchni oraz 6,6—3,1°C przy dnie. Uzależnione one były bardzo wyraźnie od czasu trwania cyrkulacji jesiennej, a także od tempa ochładzania się masy wodnej. Warunki te wpływały na wcześniejsze lub późniejsze zamarzanie jeziora. Różnice czasowe przy tworzeniu się pokrywy lodowej pomiędzy każdym rokiem kalendarzowym dochodziły do ok. 14 dni, gdyż jezioro zamarzało na ogół między połową grudnia a początkiem stycznia.

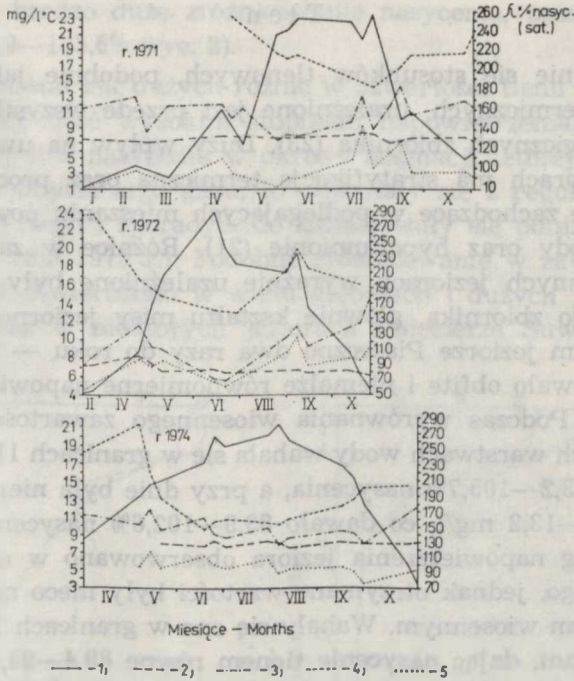
Z chwilą pokrywania się jeziora powłoką lodową następował okres stagnacji zimowej, w którym powierzchniowe warstwy wody posiadały niższe temperatury niż warstwy przydenne. Wahaly się one przy powierzchni (1 m głęb.) w granicach 0,3—2,2°C, a przy dnie 2,1—3,5°C — ryc. 2 (5).

Porównanie temperatur przydennych warstw wody z wynikami uzyskanymi z niektórych innych jezior Polski (20, 23, 30) wskazuje na występowanie w jeziorze Piaseczno „zimnego” hypolimnionu. Występowanie wysokiego gradientu spadku temperatury w skoku termicznym w okresie letnim oraz bardzo niskich temperatur w hypolimnionie w okresie zimowym może mieć istotny wpływ na skład gatunkowy, liczebność i pionowe rozmieszczenie hydrobiontów żyjących w pelagialu i profundału jeziora.

Odmiennie kształtowały się stosunki termiczne w jeziorach Brzeziczo i Bikcze. Ze względu na ich niewielką głębokość maksymalną nie występowała w nich stratyfikacja termiczna i tlenowa. W ciągu całego roku obserwowano prawie całkowite wyrównanie termiczne od powierzchni do dna. Różnice temperatur pomiędzy tymi warstwami wynosiły 0,0—2,0°C.

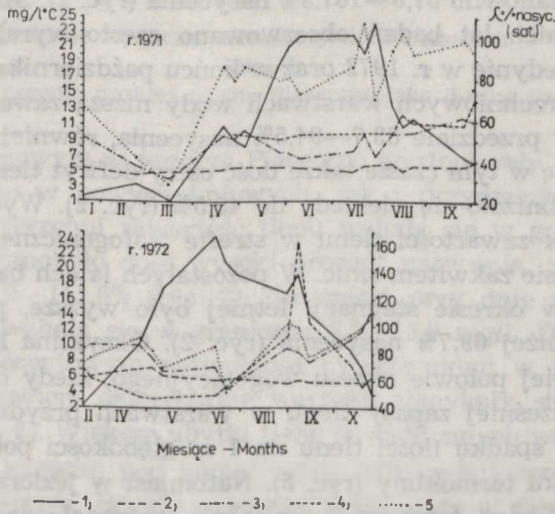
W obydwu jeziorach najwyższe temperatury na głęb. 1 m stwierdzono w tych samych terminach badań, przypadających na koniec wiosny i początek lata. Wartości ich zamykały się w granicach 21,2—25,1°C w jeziorze Bikcze oraz 20,0—24,7°C w jeziorze Brzeziczo (ryc. 3, 4). W jeziorach tych, pomimo odmiennych warunków topograficznych (jezioro Bikcze usytuowane jest bowiem na otwartym, płaskim terenie, zaś jezioro Brzeziczo jest typowym śródleśnym zbiornikiem), stwierdzono minimalną różnicę w wartościach letnich temperatur, wynosiła ona zaledwie 1,1°C. Patałas (23) zwrócił uwagę, że w płytkich zbiornikach mazurskich na wielkość letnich temperatur powierzchniowych warstw wody wyraźny wpływ mają zadrzewienia leśne.

W okresie zimowym zaznaczały się pewne różnice w wartościach temperatur wody w obu jeziorach: w jeziorze Bikcze stwierdzono nieco wyższe temperatury niż w jeziorze Brzeziczo. W pierwszym wahały się one w granicach 1,2—4,4°C, w drugim 0,0—3,4°C (ryc. 3, 4).



Ryc. 3. Sezonowe zmiany ważniejszych czynników fizycznych i chemicznych w jeziorze Bikcze, oznaczenia patrz ryc. 2

Seasonal changes of more important physical and chemical factors in the Bikcze lake, for explanation see Fig. 2



Ryc. 4. Sezonowe zmiany ważniejszych czynników fizycznych i chemicznych w jeziorze Brzeżniczno w latach 1971 i 1972, oznaczenia patrz ryc. 2

Seasonal changes of more important physical and chemical factors in the Brzeżniczno lake in 1971 and 1972, for explanation see Fig. 2

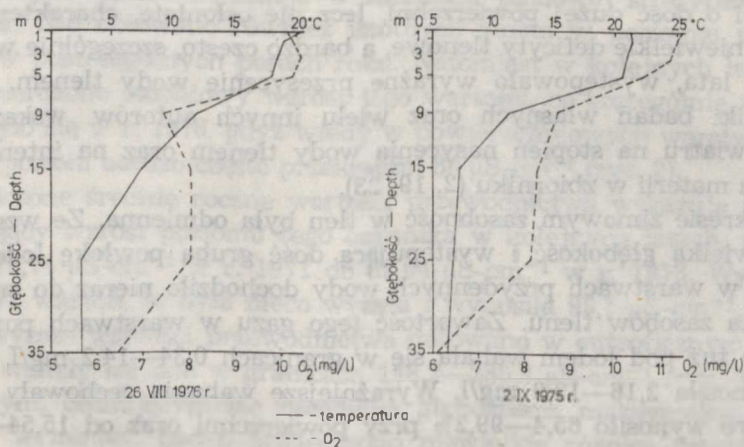
Tlen

Kształtowanie się stosunków tlenowych, podobnie jak wytworzenie się układów termicznych, uzależnione jest przede wszystkim od właściwości morfologicznych zbiornika (23). Duży wpływ na uwarstwienie tlenowe w jeziorach ma stratyfikacja termiczna oraz procesy chemiczne i biochemiczne zachodzące w podlegających mieszaniu powierzchniowych warstwach wody oraz hypolimnionie (21). Różnice w zawartości tlenu w trzech badanych jeziorach wyraźnie uzależnione były od charakteru limnologicznego zbiornika, głównie kształtu misy jeziornej. W głębokim holomiktycznym jeziorze Piaseczno dwa razy do roku — wiosną i jesienią — następowało obfite i niemalże równomierne napowietrzenie całego słupa wody. Podczas wyrównania wiosennego zawartość tlenu w powierzchniowych warstwach wody wahała się w granicach 11,1—14,24 mg/l, co stanowiło 93,2—105,7% nasycenia, a przy dnie była nieznacznie niższa, wynosiła 10,2—13,2 mg/l, co dawało 83,9—102,6% nasycenia tlenem. Podobny przebieg napowietrzenia jeziora obserwowano w okresie wyrównania jesiennego, jednak otrzymane wartości były nieco niższe w porównaniu z okresem wiosennym. Wahały się one w granicach 10,8—11,8 mg/l przy powierzchni, dając nasycenie tlenem równe 89,4—94,4% oraz 10,0—11,5 mg/l przy dnie, gdzie nasycenie tlenem wynosiło 89,2—91,5% (ryc. 2).

W okresie stagnacji letniej zawartość tlenu w powierzchniowych warstwach wody była wyraźnie zróżnicowana i wahała się w granicach 5,50—15,30 mg/l, co stanowiło 57,8—167,3% nasycenia (ryc. 2). Szczególnie w ciągu kilku ostatnich lat badań obserwowano często wyraźne przesylenie wody tlenem. Jedynie w r. 1972 oraz w końcu października 1975 r. stwierdzono w powierzchniowych warstwach wody niższą zawartość tlenu, zamykającą się w przedziale 83,7—94,5% nasycenia, również w metalimnionie zaznaczył się w tym czasie także dość ostry deficyt tlenowy, nasycenie wody tlenem obniżało się niekiedy do 45,5% (ryc. 2). Wydaje się, że tak wyraźny spadek zawartości tlenu w strefie trofogenicznej spowodowany był w tym okresie zakwitaniem sinic. W pozostałych latach badań natlenienie metalimnionu w okresie stagnacji letniej było wyższe, ponieważ nigdy nie spadało poniżej 69,7% nasycenia (ryc. 2). Oksykлина kształtowała się dopiero w drugiej połowie okresu wegetacyjnego, kiedy obniżały się nagromadzone wcześniej zapasy tlenu w warstwach przydennych. Maksymalny gradient spadku ilości tlenu na 1 m głębokości położony był najczęściej w środku termokliny (ryc. 5). Natomiast w jeziorach mazurskich, o pełnej stratyfikacji termicznej, wyraźnie wykształcona oksykлина występowała zazwyczaj w górnej części metalimnionu (20). W warstwach przydennych zawartość tlenu w wodzie wykazywała znacznie większe wahania niż w warstwach powierzchniowych. Wynosiły one 1,74—16,6 mg/l,

co powodowało bardzo duże zróżnicowanie nasycenia, zamykającego się w przedziale 13,9—133,6% (ryc. 2).

Jednakże pomimo tak dużych różnic w zawartości tlenu strefa ta charakteryzowała się dość wysokim stopniem napowietrzenia, rzadko spadającym poniżej 50% nasycenia w okresie stagnacji letniej. Jeśli występowały większe ubytki tego gazu, to pojawiały się z reguły pod koniec sezonu wegetacyjnego i sporadycznie kształtowały się poniżej 20% nasycenia (13,9% — 28 X 1975 r.). Podobne zróżnicowanie w zawartości tlenu w hypolimnionie stwierdzono w wielu głębokich i dużych jeziorach mazurskich (20) oraz w niektórych jeziorach Pojezierza Suwalskiego (32).



Ryc. 5. Wybrane przekroje termiczno-tlenowe jeziora Piaseczno w okresie stagnacji letniej

Selected thermic-oxygenic profiles of the Piaseczno lake during summer stagnation

W sezonie zimowym w jeziorze Piaseczno występowały dobre warunki tlenowe, zarówno w powierzchniowych, jak i przydennych warstwach wody. Przy powierzchni zawartość tlenu wahała się w granicach 11,9—15,29 mg/l, co stanowiło dość wysoki procent nasycenia, zamykający się w przedziale 84,0—111,6% (ryc. 2). Natomiast przy dnie zawartość tego gazu w wodzie wahała się w granicach 6,5—13,0 mg/l. Dawało to dużą rozpiętość w procentowym natlenieniu hypolimnionu w poszczególnych latach badań, bowiem ekstremalne wartości zamykały się w granicach 47,7—96,1% (ryc. 2). Większe ubytki tlenu w naddennych warstwach wody występowały najczęściej pod koniec zimy, lecz wyjątkowo tylko spadały poniżej 50% nasycenia. Bogate napowietrzenie wody w strefie przydennej wskazuje na niewielką intensywność wyczerpywania się tlenu w okresie zimy.

W płytkich jeziorach Bikecze i Brzeziczno w sezonie wegetacyjnym wy-

stępowały stosunkowo małe różnice w zawartości tlenu pomiędzy powierzchniowymi a przydennymi warstwami wody, nie przekraczały one 1,5 mg/l O₂. W całym słupie wody w tych jeziorach stwierdzono wtedy dość wysokie natlenienie. W poszczególnych terminach badań wahało się ono w granicach 4,6—15,76 mg/l, co stanowiło 51,2—164,53% nasycenia (ryc. 3, 4). Jednakże należy zaznaczyć, że w jeziorze Brzeziczno w niewielkich tylko przypadkach przesycone tlenem były powierzchniowe i przydenne warstwy wody, przeważnie jednak deficyty tlenowe dochodziły nawet do 51,2%. Zjawisko to można tłumaczyć małym oddziaływaniem wiatrów na mieszanie się wody w zbiorniku otoczonym lasem, posiadającym niewielką powierzchnię i głębokość. Natomiast jezioro Bikcze, płytkie i o dość dużej powierzchni, lecz nie osłonięte, charakteryzowały na ogół niewielkie deficyty tlenowe, a bardzo często, szczególnie w drugiej połowie lata, występowało wyraźne przesylenie wody tlenem.

Wyniki badań własnych oraz wielu innych autorów wskazują na wpływ wiatru na stopień nasycenia wody tlenem oraz na intensywność krążenia materii w zbiorniku (2, 19, 23).

W okresie zimowym zasobność w tlen była odmienna. Ze względu na ich niewielką głębokość i występującą dość grubą powłokę lodową (ok. 0,45 m) w warstwach przydennych wody dochodziło nieraz do znacznego obniżenia zasobów tlenu. Zawartość tego gazu w warstwach powierzchniowych tuż pod lodem wahała się w granicach 0,34—14,2 mg/l, a bliżej dna wynosiła 2,16—12,9 mg/l. Wyraźniejsze wahania cechowały nasycenie, które wynosiło 65,4—99,2% przy powierzchni oraz od 15,54—98,32% przy dnie. Różnice w zawartości tlenu pomiędzy obydwoma warstwami wody były bardzo duże, ponieważ wynoszą 0,2—8,6 mg/l, stanowiąc 2,43—57,41% nasycenia. Zmniejszenie zawartości tlenu w obydwu jeziorach nastąpiło pod koniec zimy, notowano wahania w przedziale 15,6—27,4% nasycenia (ryc. 3, 4).

Przewodnictwo elektrolityczne

Czynnik ten wyraża ogólną zawartość elektrolitów w wodzie. Jego wielkość uzależniona jest od charakteru zlewni, typu troficznego zbiornika oraz od temperatury. Zależności te dość wyraźnie zaznaczyły się w trzech badanych jeziorach.

W a-mezotroficznym jeziorze Piaseczno występowały stosunkowo niskie wartości przewodnictwa i utrzymywały się na wyrównanym niemalże poziomie. Ekstremalne ich wielkości wynosiły 61,06—98,52 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Wyższe wartości przewodnictwa występowały wtedy zazwyczaj w przydennych warstwach wody, a tylko w kilku terminach badań notowano odwrotne jego układy (ryc. 2). W obydwu przypadkach różnice te były

bardzo małe, zamykające się w przedziale $0,2-22,06 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Jedynie w listopadzie 1971 r. i w lutym 1972 r. w przydennych warstwach oraz w sierpniu i we wrześniu 1972 r. w całym słupie wody notowano znacznie wyższy poziom przewodnictwa, wynoszący $130,7-231,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. W tym czasie występowały również najwyższe różnice w wielkościach tego czynnika między powierzchniowymi i przydennymi warstwami wody (ryc. 2). Biorąc pod uwagę dość dużą głębokość maksymalną zbiornika oraz wyraźnie występującą w nim stratyfikację termiczno-tlenową należało przypuszczać, iż zaznaczy się podobne zróżnicowanie w układzie pionowym przewodnictwa. Jednakże w poszczególnych okresach badań nie wystąpiła nawet tendencja w kierunku pionowej stratyfikacji tego czynnika. Nie notowano również istotnych zmian w poziomie przewodnictwa w poszczególnych porach roku. Natomiast w kolejnych latach badań stwierdzono stopniowy wzrost jego wartości, co szczególnie wyraźnie zaznaczyło się w r. 1976, gdyż wtedy w powierzchniowych warstwach wody jego poziom bardzo często przekraczał $80 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (ryc. 2).

Wyliczone średnie roczne wartości przewodnictwa wskazują także na postępujący wzrost poziomu tego czynnika w kolejnych latach, poczynając od $76,74 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ w r. 1971 do $82,64 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ w r. 1976. Wyjątkowo w r. 1972 wartość ta była nieco wyższa i wynosiła $95,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Najwyższe wartości przewodnictwa notowano w eutroficznym jeziorze Bikcze, wahały się one w granicach $148,2-286,8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (ryc. 3). W jeziorze tym, cechującym się niewielką głębokością maksymalną, w niektórych terminach badań stwierdzono niewielkie różnice pomiędzy powierzchniowymi a przydennymi warstwami wody, wynosiły one: $0,1-54,8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Wówczas na ogół wyższe wartości tego czynnika rejestrowano w powierzchniowych warstwach wody (ryc. 3).

W zbiorniku tym najniższe wartości przewodnictwa notowano zazwyczaj od maja do września. Wykazywało ono wtedy niewielkie wahania, zamykające się w granicach $148,2-193,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Natomiast od października do kwietnia występowały wyższe wartości tego wskaźnika, kształtujące się na poziomie $200,0-286,8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, z wyjątkiem późnej jesieni 1972 r., kiedy nastąpił dość znaczny spadek wielkości tej cechy do $192,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (ryc. 3). Średnie roczne wartości przewodnictwa w kolejnych latach badań wykazywały niewielką tendencję spadkową od $214,41 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ w r. 1971 do $187,08 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ w r. 1974.

W dystroficznym i płytkim jeziorze Brzeziczno, podobnie jak w jeziorze Piaseczno, poziom przewodnictwa był stosunkowo niski: $46,3-169,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (ryc. 4). W zbiorniku tym stwierdzono nieznaczne różnice wartości przewodnictwa pomiędzy powierzchniowymi a przydennymi warstwami wody: $0,1-7,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i zazwyczaj były wyższe w przydennych warstwach wody. Natomiast dość wyraźnie zaznaczyły się sezonowe zmia-

ny wartości tego czynnika. Najniższe występowały wiosną i wahały się w granicach 46,3—52,9 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. W pozostałych okresach roku były one znacznie wyższe: 52,9—73,2 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Podobnie jak w jeziorze Piaseczno, wyjątkowo wysokie przewodnictwo notowano w sierpniu i we wrześniu 1972 r., wahające się w granicach 93,5—169,3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (ryc. 4). Średnie roczne wartości tego czynnika wskazują na niewielki jego wzrost w dwu kolejnych latach badań, wynoszący 14,45 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Odczyn wody (pH)

Na charakter troficzny każdego zbiornika duży wpływ ma odczyn wody, ulegający często znacznym zmianom w ciągu roku. W badanych jeziorach zaznaczyły się dość wyraźnie sezonowe wahania tego czynnika, przy minimalnych równocześnie różnicach pomiędzy powierzchniowymi a przydennymi warstwami wody w poszczególnych terminach badań.

W jeziorze Piaseczno rejestrowano znaczne zmiany wartości pH, zamykały się one w granicach 5,4—8,2 w powierzchniowych warstwach wody oraz 4,6—6,9 przy dnie (ryc. 2). Jednakże w poszczególnych latach badań występowały mniejsze wahania tej cechy niż w Bikczu, gdyż różnica pomiędzy wartościami ekstremalnymi wynosiła 0,6—1,4 przy dnie i 0,7—1,2 przy powierzchni. Odczyn wody oscylował wtedy najczęściej od obojętnego do lekko kwaśnego, a wyjątkowo, zwłaszcza przy powierzchni, przesuwał się w kierunku słabo alkalicznego. Zaznaczało się także pewne pionowe zróżnicowanie wartości pH, osiągające maksymalne wielkości przy powierzchni wody i minimalne przy dnie (ryc. 2). Różnice pomiędzy obydwo ma warstwami wody wynosiły 0,1—3,2.

Nieco odmienny przebieg zmian wartości pH notowano w r. 1976, ponieważ wystąpiły wtedy duże wahania tego czynnika, wynoszące 6,0—8,2 w warstwach powierzchniowych i 4,6—7,1 w warstwach przydennych wody. Jednakowoż w tej ostatniej warstwie wyjątkowo tylko pH spadało poniżej 6,0 (ryc. 2). Na tak znaczne wahania odczynu wody wpłynęły prawdopodobnie zmieniające się warunki troficzne w zbiorniku, spowodowane nasilającym się w ostatnich latach ruchem turystyczno-rekreacyjnym. Pod wpływem obficie spływającej do jeziora, zwłaszcza w okresie letnim, materii allochtonicznej nastąpiło wzmoczenie produkcji biologicznej, która prowadziła do użyźniania wód jeziornych, a tym samym do wzrostu wartości pH. W obydwu warstwach wody zaznaczyła się wtedy dość wyraźnie sezonowość występowania tego czynnika, wyrażająca się najniższymi wartościami pH w okresie zimowym i wczesnowiosennym 6,0—7,7 oraz najwyższymi w okresie letnio-jesiennym 7,1—8,2. Podobny kierunek zmian odczynu wody w zależności od sezonu obserwowano w mezo- i eutroficznych jeziorach mazurskich (25).

W ciągu roku największe wahania odczynu wody stwierdzono w jeziorze Błkce: 6,0—8,3 przy powierzchni oraz 6,9—8,4 przy dnie. Najniższe *pH* wody, zbliżone do słabo kwaśnego, występowało w okresie wiosenno-letnim w r. 1972. Natomiast w pozostałych terminach badań obserwowano nieznaczną tendencję do alkaliczności wód, gdyż odczyn dość często wynosił ponad 7,5 (ryc. 3). Prawdopodobnie w tym okresie wystąpił pewien niedobór wolnego CO₂, nadmiernie zużywanego w procesie intensywnej produkcji pierwotnej, w konsekwencji nastąpił wzrost zawartości wapnia, który spowodował alkalizację środowiska.

W jeziorze Brzeziczno odczyn wody miał charakter kwaśny i wykazywał najmniejsze wahania, zarówno przy powierzchni, jak i przy dnie zamykał się w przedziale 4,4—6,3. Szczególnie niskie *pH* występowało w r. 1971, albowiem jego wartości ekstremalne wahały się w granicach 4,4—6,1 (ryc. 4).

Ze względu na niewielką głębokość maksymalną w zbiorniku tym występowały minimalne różnice wartości *pH* pomiędzy przydennymi a powierzchniowymi warstwami wody, wynoszące 0,2—0,6 i tylko w sporadycznych przypadkach dochodziły do 1,2 (luty 1972 r.). Natomiast obserwowano w nim sezonowe zmiany odczynu wody. Jednak nie wykazywały one takiego kierunku zmian jak w jeziorze Piaseczno, bowiem w r. 1970 i r. 1972 wyższe wartości *pH* notowano w okresie zimowym i wiosennym, zaś znacznie niższe w okresie letnio-jesiennym. Odwrotne zjawisko obserwowano w r. 1971, kiedy to w okresie zimowym i wiosennym wystąpiło wyraźne zwiększenie się kwasowości wód tego zbiornika, a *pH* nie przekraczało nigdy wartości 5,4, zaś w sezonie letnio-jesiennym wykazywało niewielką tendencję wzrostową, osiągając maksymalną wartość 6,1 (ryc. 4).

Wydaje się, iż na kwaśny charakter wód jeziora Brzeziczno ma wpływ otaczające go torfowisko wysokie, ponieważ wpływają do jeziora w ciągu całego roku znaczne ilości kwasów humusowych utrzymujących tendencję do zakwaszania wód tego zbiornika.

U t l e n i a l n o ść

Jest to konwencjonalny wskaźnik oceny ilości materii organicznej zawartej w wodzie. Czynnikiem ten w zależności od stopnia zżyzności i czystości wód może wykazywać duże wahania (29).

W badanych jeziorach ilości rozpuszczonej materii organicznej były stosunkowo wysokie, aczkolwiek występowały wyraźne różnice pomiędzy poszczególnymi zbiornikami.

Najmniejsze ilości materii organicznej notowano w jeziorze Piaseczno: 4,21—10,14 mg/l O₂ w powierzchniowych warstwach wody oraz 3,49—10,77 mg/l O₂ w przydennych warstwach wody (tab. 1). Pomimo

Tab. 1. Skład chemiczny wody jeziora Piaseczno
 Chemical composition of water of lake Piaseczno

Data Date	Głębokość (m)	Temp. (°C)	Przewodność elektryczna (Przewodność elektryczna)	pH	O ₂ (mg/l)	Utlenialność (mg O ₂ /l)	Zasadowość (alkalinity Total)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Fe (mg/l)	P (mg/l)
11 III	1,0	1,2	—	6,8	11,9	4,75	3,9	—	—	—	6,9	3,6	—	—
	9,0	1,9	—	6,8	11,8	4,85	3,8	—	—	—	6,8	3,6	—	—
	35,0	3,4	—	6,8	6,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6 V	1,0	9,3	—	6,9	11,6	4,4	3,6	—	0,05	0,1	6,4	3,6	—	—
	9,0	9,6	—	7,0	12,2	4,3	3,6	—	0,08	0,1	6,3	3,6	—	—
	35,0	6,3	—	6,9	10,2	4,2	3,6	—	0,15	0,1	—	3,5	—	—
22 V	1,0	16,1	—	7,2	11,2	4,6	3,6	—	0,04	0,2	6,4	3,5	—	—
	9,0	9,8	—	6,8	12,2	4,3	3,6	—	0,08	0,15	6,6	3,5	—	—
	35,0	6,6	—	6,7	12,1	4,2	3,6	—	0,12	0,2	6,6	3,5	—	—
8 VII	1,0	22,4	—	6,7	9,7	5,5	3,65	—	0,04	0,1	6,6	3,6	—	—
	9,0	12,0	—	6,1	12,6	5,0	3,65	—	0,05	0,1	6,6	3,6	—	—
	35,0	6,6	—	5,6	10,1	4,4	3,65	—	0,13	0,15	6,6	3,6	—	—
25 VIII	1,0	18,2	—	6,2	9,8	5,25	3,65	—	0,03	0,15	—	3,5	—	—
	9,0	11,2	—	6,1	9,4	4,5	3,65	—	0,04	0,015	—	3,5	—	—
	35,0	5,0	—	5,6	6,0	4,4	3,65	—	0,15	0,08	—	3,5	—	—
28 IX	1,0	12,1	—	6,6	10,0	5,3	3,65	—	0,03	0,013	6,5	3,6	—	—
	9,0	12,3	—	6,6	10,0	4,75	3,65	—	0,04	0,015	6,5	3,6	—	—
	35,0	5,5	—	5,4	5,9	4,1	3,65	—	0,15	0,08	6,5	3,6	—	—
3 XI	1,0	7,0	—	6,2	10,6	4,25	3,7	—	0,05	0,017	6,5	3,5	—	—
	9,0	7,0	—	6,2	10,7	4,3	3,7	—	0,05	0,015	6,5	3,5	—	—
	35,0	—	—	5,7	4,7	4,0	3,7	—	0,15	0,1	6,5	3,5	—	—
23 II	1,0	2,0	70,4	6,4	13,6	—	—	—	0,022	0,125	8,0	3,4	—	—
	9,0	2,0	70,4	6,5	13,9	—	—	—	0,022	0,082	8,0	3,5	—	—
	35,0	3,0	185,8	5,8	11,4	—	—	—	0,016	0,08	8,0	3,4	—	—
10 V	1,0	14,3	61,3	7,5	8,7	—	—	0,002	—	0,025	7,75	3,725	—	—
	9,0	9,1	62,5	7,2	5,2	—	—	0,001	—	0,025	7,75	3,725	—	—
	35,0	5,0	68,1	6,3	—	—	—	0,003	—	0,025	7,0	3,4	—	—

1. 1970

1972

27 VI	1,0	18,4	60,3	6,4	9,8	—	—	0,002	0,03	0,025	6,03	3,25	—
	9,0	9,8	66,9	6,3	12,0	—	—	0,003	0,03	0,025	3,5	3,325	—
	35,0	5,1	68,2	6,2	—	—	—	0,003	0,03	0,03	5,2	3,325	—
30 VIII	1,0	18,7	189,5	6,2	5,5	—	—	—	0,03	—	6,75	—	—
	9,0	11,5	231,1	6,2	7,4	—	—	—	0,03	—	7,0	—	—
	35,0	4,4	—	5,9	—	—	—	—	0,03	—	7,5	—	—
17 X	1,0	8,4	71,5	5,9	11,1	—	—	—	—	—	5,7	—	—
	9,0	8,3	69,9	5,9	10,9	—	—	—	—	—	5,55	—	—
	35,0	4,5	73,4	5,9	—	—	—	—	—	—	6,4	—	—
10 IV	1,0	7,0	78,2	6,2	14,0	10,14	—	0,032	0,080	0,56	5,44	3,01	0,070
	9,0	6,0	78,8	6,2	13,7	7,52	—	0,049	0,075	0,46	5,10	3,01	0,070
	35,0	4,8	79,7	5,6	13,2	10,77	—	0,016	0,057	0,69	6,16	2,01	0,046
8 V	1,0	10,3	78,1	6,2	12,0	—	0,5	0,007	0,063	0,33	3,89	3,80	0,103
	9,0	8,5	80,1	5,6	13,0	—	0,6	0,016	0,069	0,33	3,69	2,85	0,165
	35,0	5,4	81,5	5,8	9,5	—	0,7	0,000	0,103	0,20	4,65	2,85	0,082
15 V	1,0	12,1	77,7	6,4	10,2	4,88	0,50	0,000	0,046	0,098	4,95	2,81	0,060
	9,0	9,1	75,8	6,3	8,8	4,80	0,45	0,065	0,058	0,164	4,70	4,69	0,040
	35,0	5,3	80,2	6,3	11,2	4,56	0,50	0,000	0,075	0,197	4,45	2,81	0,110
26 VI	1,0	19,5	72,4	5,6	10,3	5,10	0,50	—	0,069	0,33	1,54	2,93	0,051
	9,0	13,8	72,8	5,8	10,2	5,14	0,50	—	0,075	0,46	1,15	2,93	0,034
	35,0	6,3	80,2	5,8	8,65	4,90	0,45	—	0,115	0,33	1,15	1,95	0,051
3 VII	1,0	19,3	73,2	6,2	14,3	4,85	0,50	—	0,063	0,72	—	—	—
	9,0	13,2	74,1	6,2	14,85	4,93	0,45	—	0,069	1,05	1,15	7,81	0,034
	35,0	6,2	83,7	6,2	16,6	4,77	0,40	—	0,126	0,62	—	—	—
28 VIII	1,0	20,1	72,4	6,2	15,3	4,21	0,45	0,032	0,103	1,41	1,54	2,93	0,34
	9,0	15,6	74,6	6,3	11,0	3,76	0,50	0,000	0,075	0,85	1,62	4,88	0,34
	35,0	6,6	81,7	6,3	9,65	3,52	0,50	0,097	0,161	0,92	1,54	1,95	0,51
4 IX	1,0	20,1	71,6	5,4	12,8	4,30	0,45	0,000	0,069	0,66	1,35	7,81	0,084
	9,0	15,3	72,5	5,6	8,4	3,49	0,50	0,016	0,080	0,32	1,54	4,88	0,084
	35,0	6,7	80,2	5,6	7,4	3,49	0,45	0,00	0,195	0,79	1,54	1,95	0,036
30 X	1,0	7,7	76,6	6,6	14,9	8,16	—	0,016	0,115	0,51	5,03	2,94	0,020
	9,0	8,0	77,2	6,8	11,75	8,24	—	0,006	0,023	0,59	5,03	2,94	0,020
	35,0	6,5	88,7	6,2	5,5	7,68	—	0,00	0,178	0,46	5,23	2,91	0,036
6 XI	1,0	5,9	80,5	6,6	11,8	5,68	—	0,00	0,052	0,59	4,83	4,91	0,090
	9,0	5,9	80,5	6,6	11,1	5,76	—	0,00	0,052	0,52	5,23	4,91	0,050
	35,0	4,5	82,0	6,8	11,5	6,80	—	0,03	0,060	0,66	—	—	—

r. 1972

r. 1974

Ciąg dalszy tab. 1 — Table 1 continued

Data Date	Głębokość (m)	Temp. (°C)	Przewodność elektryczna	pH	O ₂ (mg/l)	Ułetniałość (mg O ₂ /l)	Zasadowość ogólna	Total alkalinity	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Fe (mg/l)	P (mg/l)
9 IV	1,0	7,2	61,06	6,95	13,6	4,93	0,42	0,016	0,017	0,43	5,64	—	—	—	—
	9,0	5,4	80,05	6,45	11,9	5,17	0,42	0,032	0,037	0,46	5,28	—	—	—	—
	35,0	4,2	83,12	6,52	11,8	5,22	0,45	0,016	0,043	0,36	6,57	—	—	—	—
15 IV	1,0	5,8	79,49	6,95	11,3	5,38	0,41	0,016	0,033	0,39	7,44	—	—	—	—
	9,0	5,4	78,97	6,85	11,0	5,09	0,42	0,00	0,038	0,29	5,64	—	—	—	—
	35,0	5,3	81,58	6,85	11,1	5,62	0,43	0,006	0,033	0,29	4,21	—	—	—	—
6 V	1,0	11,2	75,18	6,90	12,4	5,46	0,42	0,00	0,060	0,39	5,75	—	—	—	—
	9,0	7,3	83,00	6,70	12,1	5,22	0,42	0,016	0,046	0,36	5,23	—	—	—	—
	35,0	5,5	79,45	7,25	11,0	5,33	0,53	0,006	0,060	0,39	5,64	—	—	—	—
13 V	1,0	16,1	73,92	7,36	12,1	5,54	0,43	0,031	0,013	0,39	5,39	—	—	—	—
	9,0	8,2	75,89	7,07	13,4	5,73	0,43	0,016	0,016	0,36	5,23	—	—	—	—
	35,0	6,2	84,78	6,8	10,7	5,73	0,41	0,021	0,018	0,33	2,26	—	—	—	—
24 VI	1,0	23,0	76,85	6,32	14,2	6,37	0,45	0,032	0,031	0,60	7,03	7,69	0,084	0,009	0,010
	9,0	10,4	72,76	6,10	14,4	5,64	0,44	0,032	0,034	0,70	3,67	4,81	0,141	0,004	0,010
	35,0	6,6	79,75	6,79	12,3	5,32	0,45	0,016	0,069	0,69	4,58	4,81	0,141	0,009	0,027
1 VII	1,0	19,5	75,20	—	11,0	6,04	0,40	0,032	0,080	0,45	6,11	4,81	0,084	0,020	0,015
	9,0	9,5	78,21	6,80	11,4	5,00	0,42	0,032	0,048	0,56	5,50	4,81	0,141	0,010	0,010
	35,0	6,3	80,75	—	9,65	5,00	0,41	0,032	0,034	1,05	1,10	6,73	0,141	0,027	0,015
26 VIII	1,0	21,6	74,82	7,0	14,9	7,23	0,40	0,071	0,026	0,56	3,81	4,81	—	—	0,015
	9,0	12,3	73,11	6,55	13,8	6,68	0,41	0,065	0,052	0,52	3,81	6,73	—	—	0,010
	35,0	6,9	79,78	6,28	11,3	6,10	0,40	0,210	0,046	0,73	5,80	2,88	—	—	0,018
2 IX	1,0	21,3	74,86	6,52	11,4	7,46	0,47	0,065	0,011	0,82	4,53	4,81	0,073	0,015	0,015
	9,0	11,3	75,58	6,2	8,8	7,92	0,42	0,032	0,025	0,72	4,71	4,81	0,073	0,017	0,015
	35,0	6,4	80,76	6,08	6,1	6,68	0,42	0,032	0,063	0,72	3,99	4,81	0,263	0,021	0,021
30 IX	1,0	16,9	65,9	6,78	11,3	6,09	0,42	0,016	0,057	0,52	3,81	2,88	0,205	0,0046	0,0046
	9,0	13,4	71,3	6,28	9,65	5,79	0,42	0,097	0,075	0,52	4,35	6,73	0,146	0,0028	0,0028
	35,0	6,5	85,8	6,09	4,7	5,42	0,50	0,00	0,115	0,52	4,35	2,88	0,058	0,0061	0,0061

28 X	1,0 9,0 35,0	8,5 8,6 6,0	87,01 83,97 87,34	6,35 6,30 6,10	9,8 9,7 1,7	7,70 7,78 7,48	0,40 0,40 0,44	0,032 0,026 0,032	0,015 0,015 0,013	0,56 0,66 0,66	3,79 3,49 4,00	— — —	0,0137 0,0047 0,0039
4 XI	1,0 9,0 35,0	7,6 7,6 6,1	98,52 90,12 82,53	6,22 6,28 5,75	12,1 12,7 6,1	6,88 6,13 7,48	0,42 0,42 0,46	0,00 0,00 0,006	0,052 0,069 0,057	0,69 0,82 0,66	3,03 3,27 3,49	— — —	0,0016 0,0055 0,0122
4 III	1,0 9,0 35,0	3,8 2,6 2,9	88,7 88,5 89,5	5,95 6,20 6,30	12,79 12,69 8,92	6,59 6,51 6,91	0,40 0,45 0,47	0,065 0,065 0,016	0,069 0,069 0,103	0,295 0,328 0,324	3,22 3,28 3,25	1,12 2,25 1,12	0,0061 0,0046 0,0053
8 IV	1,0 9,0 35,0	3,0 3,3 4,1	87,1 85,4 82,1	6,3 6,15 6,18	14,24 13,27 13,07	6,81 6,49 6,65	0,42 0,45 0,42	0,032 0,016 0,00	0,121 0,121 0,121	0,492 0,492 0,426	3,14 3,34 3,40	2,94 0,98 1,96	0,0053 0,0068 0,0089
6 V	1,0 9,0 35,0	9,2 7,2 4,6	80,4 82,8 86,7	6,7 6,62 6,5	13,22 13,62 12,92	7,44 7,36 7,20	0,45 0,42 0,40	0,00 0,032 0,032	0,052 0,069 0,092	0,459 0,457 0,590	3,48 3,31 3,43	1,98 2,98 0,99	0,0069 0,0055 0,0055
18 VI	1,0 9,0 35,0	16,1 12,2 5,3	73,6 72,3 78,0	7,05 7,05 6,85	10,74 11,12 9,69	7,21 6,59 6,43	0,40 0,42 0,42	0,081 0,081 0,081	0,011 0,017 0,098	0,787 0,656 0,656	3,15 3,41 3,47	— — —	0,0118 0,0097 0,0090
15 VII	1,0 9,0 35,0	21,5 12,6 5,3	72,3 75,3 80,3	8,15 6,88 6,50	10,22 10,22 8,90	6,82 6,51 6,35	— — —	0,00 0,00 0,016	0,046 0,046 0,126	0,722 0,754 0,754	4,85 4,96 5,23	1,96 2,94 2,94	0,0139 0,0116 0,0108
19 VIII	1,0 9,0 35,0	18,8 11,8 4,4	75,3 78,4 82,3	7,40 7,15 7,05	10,32 7,92 7,28	7,20 7,12 6,80	— — —	0,032 0,006 0,049	0,046 0,040 0,138	0,164 0,393 0,295	8,23 10,33 10,22	— — —	0,0161 0,0134 0,0188
17 IX	1,0 9,0 35,0	17,0 15,0 5,3	76,5 73,8 82,6	— — —	10,35 8,51 5,47	7,96 6,83 7,32	0,47 0,47 0,47	0,00 0,00 0,00	0,023 0,023 0,023	0,446 0,492 0,525	8,12 8,52 8,52	— — —	0,038 0,019 0,019
21 X	1,0 9,0 35,0	5,9 5,8 5,5	83,5 83,4 83,8	7,2 7,1 6,5	11,15 11,20 11,05	6,72 6,32 5,76	— — —	0,00 0,016 0,00	0,006 0,00 0,029	0,525 0,590 0,590	7,38 7,94 9,08	— — —	0,0080 0,0074 0,0074
19 XI	1,0 9,0 35,0	7,2 6,8 6,4	88,3 89,5 92,0	7,2 7,25 7,05	13,5 14,01 13,66	6,48 6,48 6,64	0,42 0,45 0,40	0,00 0,00 0,016	0,029 0,034 0,034	0,557 0,538 0,492	5,25 4,94 5,71	1,13 1,13 1,13	0,0090 0,0092 0,0088
10 XII	1,0 9,0 35,0	3,0 3,0 3,1	83,4 83,4 83,2	7,05 7,0 7,1	17,15 14,2 14,2	5,74 6,21 5,90	0,40 0,40 0,42	0,00 0,00 0,00	0,044 0,052 0,046	0,486 0,492 0,525	6,12 5,42 5,70	1,34 — 1,34	0,0082 0,0080 0,0082

Tab. 2. Skład chemiczny wody jeziora Bikcze
 Chemical composition of water of lake Bikcze

Data Date	Głębokość (m) Depth	Temp. (°C)	Przewodnic- two elektro- lityczne conductivity	pH	O ₂ (mg/l)	Utlenalność Oxidability (mg O ₂ /l)	Zasadowość alkalinity Total	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Fe (mg/l)
1970	10 III	1,9	—	6,9	2,16	12,5	2,44	—	—	—	45,7	1,7	—
	21 V	17,1	—	—	—	19,8	2,27	0,002	0,06	0,05	37,3	1,7	—
	7 VII	23,5	—	7,6	14,15	17,2	2,10	0,003	0,05	0,50	38,4	1,7	—
	26 VIII	18,2	—	7,8	11,60	20,1	2,10	0,003	0,06	0,50	—	1,6	—
	29 IX	8,3	—	7,4	11,00	12,4	2,01	0,003	0,06	0,40	36,8	1,6	—
3 XI	6,5	—	7,5	10,96	12,7	2,53	0,004	0,08	0,60	42,4	1,7	—	
1972	24 II	0,99	286,8	7,35	9,34	20,1	—	—	0,036	0,16	56,0	4,1	0,2
	11 V	17,0	182,1	6,9	9,2	—	—	0,001	—	0,05	37,5	1,6	0,2
	28 VI	18,3	162,7	—	—	—	—	0,002	0,040	0,05	1,8	1,5	0,22
	31 VIII	17,3	224,6	6,5	11,0	—	—	0,002	0,050	0,03	2,2	1,6	0,2
	18 X	6,4	192,9	—	12,0	—	—	—	—	—	11,3	0,65	0,405
1974	1 IV	8,5	245,9	—	11,3	10,4	2,6	0,00	0,103	0,72	16,8	0,00	0,21
	1,5	8,4	246,5	—	11,3	10,5	2,6	0,00	0,063	0,72	19,0	0,00	0,24
	0,0	—	—	—	10,4	14,6	2,6	0,00	0,046	0,82	20,9	0,00	0,29
	1,5	—	—	—	11,1	14,6	2,65	0,00	0,057	0,99	20,6	0,00	0,27
	7 V	13,3	228,6	—	10,34	10,0	2,5	0,03	0,05	0,23	18,7	1,88	0,08
1,5	13,4	282,2	—	10,33	10,0	2,5	0,00	0,03	0,33	18,95	4,69	0,04	
14 V	14,9	223,2	—	11,65	9,8	2,4	0,00	0,06	0,33	18,7	1,88	0,08	
1,5	14,8	221,5	—	12,03	9,5	2,4	0,00	0,075	0,03	18,95	4,69	0,04	
21 V	15,4	187,6	8,1	10,13	21,8	2,2	0,00	0,103	1,05	16,7	3,75	0,06	
1,5	15,2	188,7	8,1	9,86	22,5	2,2	0,00	0,103	1,02	17,4	2,81	0,10	

18 VI	0,0 1,5	17,8 17,1	154,0 148,2	8,0 7,9	10,7 11,0	— —	1,7 1,7	— —	0,13 0,075	0,88 0,82	7,89 —	7,81 —	0,08 —
25 VI	0,0 1,5	20,0 20,0	159,0 158,0	8,4 8,4	9,8 9,34	14,2 13,1	1,65 1,60	0,00 0,00	0,07 0,10	0,85 0,78	10,97 10,78	6,83 1,95	0,135 0,135
2 VII	0,0 1,5	19,6 19,0	156,8 160,9	7,9 7,9	8,74 8,95	15,04 14,9	1,60 1,55	0,00 0,00	0,11 0,07	0,79 1,08	10,97 —	7,81 —	0,34 —
30 VII	0,0 1,5	20,6 20,2	153,8 156,4	8,3 8,3	9,53 9,86	15,04 14,2	1,60 1,60	0,097 0,097	0,07 0,07	0,39 0,43	11,58 10,87	10,18 8,15	0,36 0,31
6 VIII	0,0 1,5	21,2 21,2	153,7 153,7	8,2 8,1	8,27 8,05	15,20 14,7	1,80 1,80	0,190 0,190	0,092 0,098	0,56 0,65	11,55 11,17	1,95 7,81	0,118 0,135
13 VIII	0,0 1,5	19,5 19,5	159,9 160,9	7,7 7,7	9,06 8,80	— —	1,50 1,30	0,03 0,03	0,098 0,109	0,85 1,02	6,16 5,97	4,88 4,88	0,051 0,094
17 IX	0,0 1,5	16,8 16,8	177,5 177,5	8,1 8,2	9,68 9,55	13,2 13,6	— —	0,03 0,03	0,05 0,00	0,39 0,36	11,47 10,66	4,91 7,85	0,18 0,16
24 IX	0,0 1,5	15,8 15,8	187,7 185,5	8,1 8,1	9,12 9,14	13,1 13,6	3,0 3,0	0,049 0,016	0,17 0,00	0,56 0,52	14,08 16,50	2,94 6,87	0,21 0,14
1 X	0,0 1,5	12,5 12,5	200,0 200,0	8,0 7,9	8,40 8,10	12,6 12,9	2,0 2,1	0,008 0,011	0,05 0,06	0,62 0,62	14,89 15,09	4,91 2,94	0,09 0,18
29 X	0,0 1,5	5,8 5,8	206,1 204,5	7,9 7,9	11,48 11,27	12,0 12,2	2,04 2,08	0,008 0,030	0,06 0,03	0,47 0,52	14,49 14,89	7,85 6,87	0,14 0,14
5 XI	0,0 1,5	3,3 3,3	— —	8,0 8,0	12,20 12,09	11,8 11,8	2,0 1,90	0,080 0,060	0,09 0,13	0,92 0,89	14,69 13,88	4,91 2,94	0,09 0,05

Tab. 3. Skład chemiczny wody jeziora Brzeżiczno
Chemical composition of water of lake Brzeżiczno

Data Date	Głębokość Depth (m)	Temp. (°C)	Przewodnic- two elektro- lityczne conductivity	pH	O ₂ (mg/l)	Utlenalność Oxidability (mg O ₂ /l)	Zasadowość ogólna Total alkalinity	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Fe (mg/l)
1970	10 III	0,6	—	5,8	11,6	13,6	0,75	—	—	—	3,6	2,7	—
	21 V	18,9	—	6,8	10,2	23,6	1,1	—	0,06	0,7	3,0	3,1	—
	7 VII	20,0	—	5,53	11,3	25,5	1,15	—	0,09	0,6	3,7	3,2	—
	26 VIII	18,8	—	5,3	9,6	20,8	1,2	—	0,1	0,6	—	3,3	—
	29 IX	9,3	—	5,2	10,6	18,6	1,2	—	0,1	0,65	3,4	3,3	—
26 X	6,2	—	—	—	9,8	1,1	—	0,1	0,5	3,3	3,2	—	
1972	24 II	0,85	60,4	6,1	11,9	31,1	—	—	0,025	0,09	6,0	3,2	0,9
	11 V	17,8	48,4	6,3	7,6	—	—	0,002	—	0,06	6,0	3,075	0,38
	28 VI	20,2	—	5,3	—	—	—	0,003	0,06	0,05	4,08	3,075	0,22
	31 VIII	17,3	96,4	5,2	9,5	—	—	0,003	0,07	0,05	4,3	2,9	0,5
	18 X	7,4	57,4	5,3	12,6	—	—	—	—	0,02	4,8	0,12	0,315

znacznej głębokości, nie stwierdzono w tym jeziorze wyraźnej stratyfikacji pionowej tego czynnika, gdyż różnice pomiędzy powierzchnią a dnem zamykały się w przedziale 0,08—1,13 mg/l O₂. Podobne stosunki stwierdziła K o r y c k a (10) w jeziorach mazurskich. Nie zaznaczyły się również wyraźniej sezonowe zmiany w wielkościach utlenialności, bowiem w ciągu kilkuletnich badań we wszystkich porach roku utrzymywała się ona na wyrównanym i niskim poziomie, sporadycznie przekraczając granicę 10 mg/l O₂ (tab. 1). Niski poziom utlenialności w wodzie jeziora Piaseczno wskazuje na nieznaczny tylko dopływ allochtonicznej materii organicznej. Podobne niskie wartości tej cechy rejestrowano w jeziorach łobeliowych na Pomorzu (37, 38), w jeziorach Rajgrodzkich (5), oraz w mezotroficznych jeziorach mazurskich (10, 20).

Znacznie wyższy poziom utlenialności stwierdzono w eutroficznym jeziorze Białce. Wahał się on w granicach 9,8—21,8 mg/l O₂ przy powierzchni oraz 9,5—22,5 mg/l O₂ przy dnie. W jeziorze tym notowano także niewielkie różnice w zawartości materii organicznej pomiędzy powierzchnią a dnem, wynoszące 0,1—1,1 mg/l O₂, dość często nieco wyższe wartości tego czynnika stwierdzono w warstwach przydennych wody. Zaznaczała się również pewna sezonowość w kształtowaniu się poziomu utlenialności, gdyż najwyższe jej wartości notowano w okresie letnim, zaś znacznie niższe w pozostałych sezonach (tab. 2). Wysoki poziom utlenialności, przypadający na okres letni, kształtował się pod wpływem dużej ilości materii autochtonicznej, a zwłaszcza licznie rozwijającego się w tym czasie planktonu roślinnego i zwierzęcego.

W większości jezior mazurskich nie notowano regularnych zmian sezonowych tego czynnika, jedynie w niektórych z nich zaznaczała się tendencja wzrostowa w okresie letnim (10).

W jeziorze Brzeziczo stwierdzono najwyższy poziom utlenialności, chociaż dokonano zaledwie kilku oznaczeń w różnych porach roku. Wartości jej wahały się w granicach 13,6—31,1 mg/l O₂ (tab. 3). Wysoka zawartość materii organicznej w tym jeziorze wiąże się z jego charakterem troficznym. Jest to typowy zbiornik dystroficzny, do którego dopływa w ciągu całego sezonu wegetacyjnego duża ilość związków humusowych. Wysoką zawartość związków humusowych potwierdza intensywne, brunatno-czerwone zabarwienie wody. W kilku innych jeziorach dystroficznych Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego notowano także stosunkowo wysokie wartości utlenialności (27).

Węglanowość (zasadowość)

Pojęcie węglanowości zostało wprowadzone przez Olszewskiego (17) i oznaczone symbolem „MC”, zamiast stosowanych dotąd terminów:

alkaliczność, zdolność wiązania kwasów lub zasadowość. Stanowi ona jeden z ważnych czynników limnologicznej charakterystyki jezior, gdyż daje m. in. ogólną orientację o zmianach zachodzących w wodzie pomiędzy różnymi postaciami CO_2 i jego połączeniami oraz pozwala analizować intensywność przemian biochemicznych (21).

W badanych jeziorach czynnik ten wykazywał dużą zmienność. Najniższy poziom węglanowości notowano w jeziorze Piaseczno w latach 1974—1976, w warstwach powierzchniowych i przydennych wody wynosił 0,4—0,5 mval/l. Wyjątkowo wysokie wartości węglanowości stwierdzone zostały w tym jeziorze w r. 1970: 3,6—3,9 mval/l (tab. 1). Zjawisko to można tłumaczyć bujnym rozwojem planktonu pod wpływem przenikania w tymże roku większej ilości biogenów z intensywnie nawożonych i przylegających bezpośrednio do jeziora pól uprawnych. W większości terminów badań notowano tylko nieznaczne różnice w wartościach węglanowości między powierzchniową i przydenną warstwą wody. Wynosiły one 0,01—0,2 mval/l i częściej były wyższe w przydennych warstwach wody (tab. 1).

W płytkim i dystroficznym jeziorze Brzeziczo węglanowość wahała się w granicach 0,75—1,2 mval/l (tab. 3).

Wartości tego czynnika z obydwu analizowanych jezior mieściły się w granicach 0,0—1,5 mval/l i odpowiadały grupie jezior o najniższej węglanowości (20).

Biorąc pod uwagę trzy badane zbiorniki stwierdzono, że najwyższy poziom węglanowości występował w płytkim i eutroficznym jeziorze Bikcze, gdzie wahał się w granicach 1,6—3,0 mval/l przy powierzchni oraz 1,3—3,0 mval/l przy dnie (tab. 2). Stosunkowo rzadko zaznaczały się różnice w wielkościach tego czynnika pomiędzy powierzchniowymi a przydennymi warstwami wody, wahające się w granicach 0,05—0,2 mval/l. Jezioro Bikcze należy więc do zbiorników o przeciętnej węglanowości (20).

Ca, K, Fe

Wśród składników mineralnych dominującym kationem był wapń. Jego stężenie w badanych jeziorach wahało się bardzo wyraźnie w czasie, zarówno w powierzchniowych, jak i przydennych warstwach wody. W strefie powierzchniowej minimalna zawartość tego kationu występowała w jeziorze Piaseczno i wynosiła 1,35 mg/l, zaś maksymalna w jeziorze Bikcze — 56,0 mg/l. W strefie przydennej również najniższe stężenie notowano w jeziorze Piaseczno — 1,1 mg/l, a najwyższe w jeziorze Bikcze — 20,6 mg/l (tab. 1—3). W niektórych latach we wszystkich badanych zbiornikach występowały także stosunkowo duże różnice w zawartości wapnia pomiędzy powierzchnią a dnem, wahające się w granicach 0,003—5,01 mg/l.

Wówczas wyższe jego stężenie występowało zazwyczaj w przydennych warstwach wody (tab. 1—3). Natomiast nie notowano w nich wyraźnych zmian sezonowych w zawartości wapnia. Jedynie w lecie 1974 r. w jeziorze Piaseczno stwierdzono 3—5-krotnie niższe wartości tego czynnika niż w pozostałych porach roku. Wahaly się one w granicach 1,15—1,54 mg/l Ca. Występująca w tym okresie wyraźna tendencja do spadku zawartości wapnia w wodzie wskazywała na wzmożone procesy produkcji biologicznej, podczas której nastąpiło intensywne odwapnianie wód. Zjawisko to uważane jest za dobry wskaźnik tempa produkcji pierwotnej (22).

Porównanie uzyskanych wyników z trzech badanych jezior wskazuje, iż najwyższe wartości wapnia i zarazem największe jego zróżnicowanie notowano w eutroficznym jeziorze Bikcze: 1,8—56,0 mg/l. Natomiast w jeziorach: a-mezotroficznym Piaseczno i dystroficznym Brzeziczo stężenie tego kationu było znacznie niższe, ekstremalne wartości zamykały się w przedziale 1,1—10,2 mg/l Ca. Jednakże tylko w jeziorze Brzeziczo stwierdzono najmniejsze wahania wapnia w ciągu roku: 3,0—6,0 mg/l (tab. 3). Wysoka zazwyczaj zawartość wapnia w jeziorze Bikcze wskazuje na wysoki stopień jego żyzności (22, 32), zaś ubogie w wapń wody jezior Piaseczno i Brzeziczo świadczą o ich niskim stopniu żyzności.

Zawartość potasu, zarówno w przydennych, jak i powierzchniowych warstwach wody badanych jezior, kształtowała się w dość dużym zakresie stężeń. Najmniejsze zmiany tego czynnika występowały w jeziorze Brzeziczo i wynosiły 0,12—3,3 mg/l (tab. 3). Natomiast w jeziorach Piaseczno i Bikcze zaznaczyły się wyraźnie jego wahania wynoszące 0,99—7,81 mg/l w Piasecznie (tab. 1) oraz od wielkości śladowych do 10,8 mg/l w Bikczu (tab. 2). W kolejnych latach badań obserwowano w obydwu jeziorach wzrost zawartości potasu, który osiągnął najwyższe wartości w r. 1974 w jeziorze Bikcze oraz w latach 1974—1975 w jeziorze Piaseczno. W tym ostatnim zbiorniku już w następnym roku — 1976 nastąpił gwałtowny spadek stężenia tego kationu aż do poziomu wód ubogich w potas, jego wartości ekstremalne wahaly się wówczas w granicach 0,99—2,94 mg/l (tab. 1). Występujące wahania stężenia potasu nie mają jednak charakteru zmian sezonowych, ponieważ najwyższe wartości tego kationu notowano w różnych porach roku, a nie tylko w określonym sezonie wegetacyjnym. Zmieniająca się zawartość potasu może być związana z różnym stopniem intensyfikacji nawożenia mineralnego pól uprawnych, przylegających do tych dwu zbiorników wodnych (26).

W jeziorach Bikcze i Piaseczno występowały stosunkowo duże różnice w zawartości potasu pomiędzy powierzchnią a dnem, wynoszące 0,1—5,86 mg/l, przy czym wyższe wartości częściej notowano w powierzchniowych warstwach wody. Różnice te były wielokrotnie wyższe niż war-

tości uzyskiwane w wodach jezior mazurskich, w których nie przekraczały 0,6 mg/l K (10, 22).

Według przyjętej przez Ohlego (15) skali, badane jeziora zaliczyć można do zbiorników o różnym stopniu zasobności w potas. Jezioro Brzeziczno posiada wody średnio zasobne, zaś jeziora Bikcze i Piaseczno mają wody bogate w ten składnik. Należy stwierdzić, że zawartość potasu w trzech badanych jeziorach jest zbliżona do wyników uzyskiwanych z jezior mazurskich (10, 22) oraz z jezior pomorskich (14, 34).

Niektórzy autorzy uważają, że w wodach ubogich w wapń występują również niewielkie ilości potasu (15, 22). Korycka (10) stwierdziła w kilku jeziorach mazurskich odwrotną zależność pomiędzy zawartością wapnia i potasu. Natomiast w jeziorach Bikcze, Brzeziczno i Piaseczno nie stwierdzono żadnej korelacji pomiędzy poziomem wapnia i potasu.

Zawartość żelaza w badanych jeziorach wahała się w dość dużych granicach, od 0,017 mg/l Fe w Piasecznie do 0,9 mg/l Fe w Brzezicznie, największe jego wartości występowały w wodach jeziora Brzeziczno i wynosiły 0,2—0,9 mg/l Fe (tab. 3). W dwu pozostałych jeziorach koncentracja tego pierwiastka była znacznie niższa: 0,017—0,4 mg/l Fe (tab. 1—2). Dość często zaznaczały się różnice pomiędzy zawartością żelaza w przydennych i powierzchniowych warstwach wody we wszystkich badanych zbiornikach i wahały się w granicach 0,02—0,2 mg/l Fe. W jeziorach Bikcze i Brzeziczno wyższe wartości tego kationu występowały częściej w powierzchniowych warstwach wody, zaś w jeziorze Piaseczno w przydennych warstwach wody. Podobną zależność jak w Piasecznie stwierdził Solski (31) w głębszych Jeziorach Charzykowskich.

Zasobność wód badanych jezior w żelazo jest podobna do wielkości uzyskiwanych w innych regionach kraju (3, 9, 10, 22, 32).

Przyjmując zastosowane przez Stangenberga (32) spektra chemiczne dla zbiorników wodnych Suwalszczyzny, jezioro Piaseczno zaliczyć by można do zbiorników w oligotypie, a jeziora Brzeziczno i Bikcze — do zbiorników w oligo- i częściowo w mezotypie.

NO₂, NO₃, NH₄, P

W wodach jeziornych azot nieorganiczny występował w trzech podstawowych postaciach: azotanowej, azotynowej i amonowej. Spośród wymienionych form azotu w niewielkich ilościach spotykano azotyny. Wody badanych jezior były bardzo ubogie w ten związek, jego zawartość wahała się od 0,00 mg/l w jeziorach Bikcze i Piaseczno do 0,097 mg/l w jeziorze Piaseczno. Tylko w dwu terminach badań poziom azotynów był wyższy: 0,19 mg/l w jeziorze Bikcze i 0,21 mg/l w jeziorze Piaseczno (tab. 1—2). W dystroficznym jeziorze Brzeziczno kształtował się na naj-

niższym i wyrównanym poziomie: 0,002—0,003 mg/l (tab. 3). Przeciętnie zawartość azotynów w badanych jeziorach zbliżona była do wartości określanych w innych jeziorach Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego (27) oraz do wartości stwierdzonych w wielu jeziorach mazurskich i pomorskich (9, 13).

W jeziorach Bikcze i Piaseczno zaznaczało się także pionowe zróżnicowanie wartości tego czynnika. W niektórych terminach badań wyższą zawartość azotynów notowano w przydennych, w innych zaś w powierzchniowych warstwach wody. W obydwu przypadkach różnice te były bardzo wyraźne, ponieważ dochodziły nawet do 0,139 mg/l NO₂ (jeziro Piaseczno). W niektórych jeziorach Pojezierza Mazurskiego (13) i Pomorskiego (9, 31) wyższe stężenie azotynów notowano przeważnie w przydennych warstwach wody.

W badanych zbiornikach zaznaczyły się również zmiany sezonowe. Najwyższy poziom tego anionu kształtował się w okresie letnim (największa produkcja zooplanktonu). W pozostałych porach roku, a szczególnie w okresie jesiennym, stwierdzono najniższą zawartość azotynów, bardzo często zbliżoną do wartości śladowych (tab. 1—3). Podobne zmiany tego czynnika w czasie występowały w wielu jeziorach mazurskich (10, 13) i pomorskich (9). Natomiast Rybak (30) największą zawartość azotynów w wodach jeziornych notował w okresie jesiennym.

Na uwagę zasługuje fakt wzrastającej zawartości azotynów w kolejnych latach badań w jeziorach Bikcze i Piaseczno (tab. 1—3). Wydaje się, iż to spowodowane było przenikaniem większych ilości KCl do tych jezior z pobliskich intensywniej nawożonych solami potasu łąk i pól uprawnych. Nadmiar soli potasowych w wodach wpływa bowiem hamująco na pełny przebieg nitryfikacji (35).

Zasobność badanych jezior w azotany była bardzo zmienna, wahała się w powierzchniowych warstwach wody od 0,01 mg/l w jeziorze Piaseczno do 0,17 mg/l w jeziorze Bikcze, a w przydennych warstwach wody od 0,0 mg/l w jeziorze Bikcze do 0,20 mg/l w jeziorze Piaseczno, (tab. 1—3). W jeziorach Bikcze i Piaseczno często występowało dość wyraźne pionowe zróżnicowanie wartości tego czynnika. Różnice te pomiędzy powierzchniowymi a przydennymi warstwami wody wahały się w granicach 0,002—0,17 mg/l. Jednakowoż należy zaznaczyć, że w płytkim, eutroficznym jeziorze Bikcze większe ilości azotanów występowały częściej przy powierzchni, a w mezotroficznym jeziorze Piaseczno — przy dnie (tab. 1—2). Aczkolwiek w wodach badanych jezior zaznaczały się zmiany sezonowe w występowaniu azotanów, to jednak w zależności od charakteru limnologicznego zbiornika najwyższe ich wartości przypadają na inną porę roku. W dystroficznym jeziorze Brzeziczno i eutroficznym jeziorze Bikcze — na koniec lata i wczesną jesień, a w mezotroficznym

jeziorze Piaseczno — na okres wczesnoletni lub jesienny (tab. 1—3). W jeziorach mazurskich największe ilości azotanów notowano przede wszystkim w okresie jesienno-zimowym i wiosennym (10, 13, 22). Były one zwykle wyższe niż w jeziorach Łęczyńsko-Włodawskich.

Średnia zawartość azotanów była najwyższa w jeziorze Piaseczno, nieznacznie niższa w jeziorze Bikcze oraz najniższa w jeziorze Brzeziczo. Zróznicowane zawartości azotanów w poszczególnych jeziorach odzwierciedlają ich charakter troficzny. Wiadomo bowiem, że najbogatsze w ten związek są wody a-mezotroficzne, a najuboższe — wody eutroficzne i dystroficzne (16, 31, 33).

Wśród mineralnych związków pochodzenia organicznego dominującym składnikiem badanych wód był amoniak. Jego stężenie wahało się przy powierzchni od 0,02 mg/l w jeziorze Brzeziczo do 1,41 mg/l w jeziorze Piaseczno, zaś przy dnie od 0,02 mg/l w jeziorze Piaseczno do 1,08 mg/l w jeziorze Bikcze (tab. 1—3). W większości terminów badań w jeziorach Bikcze i Piaseczno notowano większe ilości tego składnika w przydennych warstwach wody. Były one zazwyczaj o 0,01—0,6 mg/l wyższe niż w powierzchniowych warstwach wody i największe różnice występowały w okresie letnim. Również w wielu innych jeziorach Polski i Europy stwierdzano większe stężenie NH_3 w przydennych warstwach wody (5, 7, 9, 13, 16, 18, 20). Jednakże w niektórych terminach badań zasobniejsze w ten składnik były powierzchniowe warstwy wody. Na wyższą zawartość amoniaku przy powierzchni miały prawdopodobnie wpływ powolne procesy rozkładu martwej materii organicznej, nagromadzonej w profundalu oraz równoczesne wydzielanie znacznych ilości amoniaku przez zooplankton zasiedlający górne warstwy pelagialu (27). Kształtowanie się poziomu amoniaku w wodach badanych jezior uzależnione było od pory roku. Najniższe wartości osiągał on przeważnie w okresie zimowo-wiosennym, a najwyższe w okresie letnim. Jedynie w r. 1972 w jeziorach Bikcze i Piaseczno (w nich prowadzono wieloletnie badania) maksymalną zawartość tego anionu stwierdzono w okresie zimowym (tab. 1—2). Podobne zmiany tego czynnika w ciągu roku notowano w wodach niektórych jezior mazurskich (5).

Niektórzy autorzy (1, 6, 22) stwierdzili ujemną zależność pomiędzy zawartością amoniaku i tlenu w wodach. W jeziorach Łęczyńsko-Włodawskich nie stwierdzono występowania istotnych korelacji pomiędzy tymi czynnikami (29).

Wyniki kilkuletnich badań wskazują na cykliczne zmiany poziomu amoniaku w tych zbiornikach, zaznaczające się co pewien okres obniżaniem lub wzrostem jego zawartości (tab. 1—3).

Porównanie otrzymanych rezultatów ze spektrami chemicznymi Stangenberga (32) wskazuje na to, że jeziora Piaseczno i Bikcze

zaliczać można do średnio zasobnych, a jezioro Brzeziczno do ubogich w amoniak.

Fosfor ogólny określano tylko w Jeziorze Piaseczno w dwu ostatnich latach badań, gdyż w początkowym okresie trudno znaleźć odpowiednio czułą metodę określenia tego czynnika w wodach powierzchniowych. Stwierdzany był w niewielkich ilościach: 0,0016—0,021 mg/l. Wyższą jego zawartość w wodach jeziora Piaseczno notowano przeważnie w okresie letnim (tab. 1).

Prześledzenie zmian zawartości oraz pionowego rozmieszczenia ważniejszych czynników fizycznych i chemicznych w wodach trzech badanych jezior pozwoliło na wszechstronniejsze poznanie warunków ekologicznych poszczególnych zbiorników. Rezultaty te, podobnie jak wyniki równoległe prowadzonych badań nad dynamiką liczebności i biomasy planktonu (4), wskazują na wyraźne różnice pomiędzy a-mezotroficznym jeziorem Piaseczno a eutroficznym jeziorem Biczno oraz dystroficznym jeziorem Brzeziczno.

Autorzy składają serdeczne podziękowania Pani mgr Barbarze Stępień za wykonanie większości analiz chemicznych oraz Panu inż. Lucjanowi Szydłowskiemu za opracowanie dokumentacji graficznej do niniejszej pracy.

PIŚMIENNICTWO

1. Barica J.: Untersuchungen über Stickstoff-Kreislauf des Titisee und seiner Quellen. Arch. Hydrobiol. Suppl. 38, 212—235 (1970).
2. Berger F.: Die Dichte natürlicher Wässer und die Konzentrationsstabilität in Seen. Arch. Hydrobiol. Suppl. 22 (1955).
3. Biliński J., Czyż K., Moraczewski J.: Charakterystyka stanu zanieczyszczenia rzeki Bug. Prace Inst. Gosp. Wodnej 3, 35—102 (1965).
4. Brzęk G., Kowalczyk Cz., Lecewicz W., Radwan S., Wojciechowska W., Wojciechowski J.: Influence of Abiotic Environmental Factors on Plankton in Lakes of Different Trophy. Pol. Arch. Hydrobiol. 22, 123—139 (1975).
5. Czczuga B., Baszyński T.: Niektóre dane hydrochemiczne wód Jeziora Rajgrodzkiego. Pol. Arch. Hydrobiol. 11, 267—274 (1963).
6. Elster H. J.: Untersuchungen über den limnochemischen Stoffwechsel der Hochschwarzwaldseen. Ber. naturf. Ges. Freiburg Br. 51, 149—208 (1961).
7. Januszkiewicz T., Jakubowska L.: Jezioro Klasztorne w Kartuzach. Studium Hydrochemiczne. Pol. Arch. Hydrobiol. 11, 275—326 (1963).
8. Just J., Hermanowicz W.: Fizyczne i chemiczne badania wody do picia i potrzeb gospodarczych. Warszawa 1964, 1—368.

* Praca wykonana częściowo w ramach problemu węzłowego 09.1.7.

9. Korzeniowski K.: Hydrochemical Study of Springwater Lake on the Example of the Lake Jasioń. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **15**, 153—175 (1968).
10. Korycka A.: Seasonal Changes in Water Chemical Composition in Seven Lakes. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **16**, 1—29 (1969).
11. Kowalczyk Cz., Popiołek B., Radwan S.: Porównanie liczebności i biomasy zooplanktonu w wybranych okresach w trzech jeziorach o różnej trofii. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio C* **31**, 237—256 (1976).
12. Marczenko Z.: Kolorymetryczne oznaczanie pierwiastków. Warszawa 1968, 163—164.
13. Mientki Cz.: Hydrochemistry of Kortowskie Lake in 15th Year of the Experiment on its Rejuvenation. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **22**, 487—496 (1975).
14. Niewolak S.: The Microbiological Character of Iława Lakes in the Years 1960—1963. I — Some Physicochemical Properties of Water in Iława Lakes. *Zeszyty Nauk. UMK Toruń. Prace St. Limnol. w Iławie* **2**, 33—53 (1966).
15. Ohle W.: Über den Kaliumgehalt der Binnengewässer. *Vom Wasser* **14**, (1940).
16. Ohle W.: Der Stoffhaushalt der Seen als Grundlage einer allgemeinen Stoffwechselformen der Gewässer. *Kieler Meeresforsch.* **18**, 107—120 (1962).
17. Olszewski P.: Pierwsze limnologiczne badania jeziora Rożnowskiego. *Prace Komisji do badań nauk. w Rożnowie* **2**, 1—55 (1946).
18. Olszewski P.: Obserwacje chemiczne z jeziora Tajty. *RNR, seria D* **67**, 23—65 (1953).
19. Olszewski P.: Stopień nasilenia wpływu wiatru na jeziora. *Zeszyty Nauk. WSR Olsztyn* **4**, 111—132 (1959).
20. Olszewski P., Paschalski J.: Wstępna charakterystyka limnologiczna niektórych jezior Pojezierza Mazurskiego. *Zeszyty Nauk. WSR Olsztyn* **4**, 1—109 (1959).
21. Paschalski J.: Letnie uwarstwienie węglanowości w jeziorach mazurskich. *Zeszyty Nauk. WSR Olsztyn* **14**, 405—423 (1962).
22. Patalas K.: Charakterystyka składu chemicznego wody 48 jezior okolic Węgorzewa. *RNR, seria B* **77**, 243—297 (1960).
23. Patalas K.: Stosunki termiczne i tlenowe oraz przezroczystość wody w 44 jeziorach okolic Węgorzewa. *RNR, seria B* **77**, 105—222 (1960).
24. Patalas K.: Punktowa ocena pierwotnej produktywności jezior okolic Węgorzewa. *RNR, seria B* **77**, 299—326 (1960).
25. Planter M.: Physico-chemical Properties of the Water of Reed-Belts in Mikołajskie, Tałtowisko and Śnirdwy Lakes. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **17**, 337—356 (1970).
26. Radwan S., Podgórski W., Kowalczyk Cz.: Materiały do hydrochemii Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego, Część I. Stosunki mineralne. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio C* **26**, 155—168 (1971).
27. Radwan S., Podgórski W., Kowalczyk Cz.: Materiały do hydrochemii Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego. Część II. Substancja organiczna i związki azotowe. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio C* **27**, 17—30 (1972).
28. Radwan S., Kowalczyk Cz., Podgórski W., Fall J.: Materiały do hydrochemii Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego. Część III. Właściwości fizyczne i chemiczne. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio C* **28**, 97—108 (1973).
29. Radwan S., Podgórski W., Kowalczyk Cz.: Charakterystyka jezior Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego na podstawie abiotycznych czynników

- środowiskowych. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio C 29, 231—246 (1974).
30. Rybak J. I.: Spatial and Time Changes of some Environmental Factors in the Pelagial of Mikołajskie Lake. Ekol. Pol. 20, 541—560 (1970).
 31. Solski A.: Szkic limnologiczny jezior charzykowskich i jeziora Wdzydze. Pol. Arch. Hydrobiol. 12, 189—231 (1964).
 32. Stangenberg M.: Szkic limnologiczny na tle stosunków hydrochemicznych pojezierza suwalskiego. Rozpr. i Spraw. Inst. Bad. Lasów Państw., seria A 19, 7—85 (1936).
 33. Stangenberg M.: Fosforany, azotany, siarczany i chlorki jezior Wigierskich w czasie cyrkulacji jesiennej. Rozpr. i Spraw. Inst. Badaw. Las. Państw., seria A 25, 5—20 (1937).
 34. Stangenberg M.: Przyrodnicze podstawy gospodarstwa jeziorowego. Pol. Arch. Hydrobiol. 3, 363—402 (1956).
 35. Starmach K.: Wody śródlądowe, zarys hydrobiologii. Nakł. Uniw. Jagiell. Kraków 1969, 1—188.
 36. Szczepański A.: Limnology of the Krutynia Drainage Area. Pol. Arch. Hydrobiol. 15, 191—209 (1968).
 37. Szm al Z.: Badania hydrochemiczne jezior lobeliowych Pomorza Zachodniego. PTPN, Wydz. Mat.-Przyr. Prace Kom. Biol. 19, 1—196 (1959).
 38. Szm al Z., Szm al B.: Badania hydrochemiczne jezior lobelowych województwa gdańskiego i koszalińskiego. PTPN, Wydz. Mat.-Przyr. Prace Kom. Biol. 30, 2—56 (1965).
 39. Wilgat T.: Jeziora Łęczyńsko-Włodawskie. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio B 8, 37—121 (1954).

РЕЗЮМЕ

В работе представлены результаты исследований, проведенных в 1970—1976 гг. в трех лимнологически разных озерах: Пясечно, Бикче и Бжезично, расположенных в Ленчиньско-Влодавском поозерье. Определялись величины и сезонные изменения важнейших физических и химических факторов, до сих пор не исследованных в натуральных водоемах этого региона.

Исследовали следующие факторы: цвет воды, видимость, температуру, кислород, электрическую проводимость, реакцию воды (pH), окисляемость, основность, кальций, калий, железо, общий фосфор, азот (NO_2 , NO_3 , NH_3). Установлено, что большинство изучаемых факторов подвергалось сезонным изменениям, а их величины в отдельные годы заметно колебались. Характер этих изменений был связан с трофностью водоема и с прогрессирующей в этом регионе антропопрессией (развитие зон отдыха, интенсификация сельскохозяйственной продукции и т.п.).

В а-мезотрофном озере Пясечно и в эвтрофном озере Бикче наблюдали вертикальную дифференциацию величин следующих факторов: температуры, O_2 , Са, К, NO_2 , NO_3 , NH_3 . Анализ изменений, происходящих в содержании и вертикальном размещении важнейших абиотических факторов в водах этих озер, дал возможность всестороннее изучить экологические условия отдельных водоемов. Эти результаты, как и результаты параллельных исследований по динамике численности и биомассы лимнопланктона и бентоса, указывают на отчетливые различия между а-мезотрофным озером Пясечно, эвтрофным озером Бикче и дистрофным Бжезично.

SUMMARY

The paper presents the results of studies conducted in 1970—1976 in three different limnological lakes: Piaseczno, Bikcze and Brzeziczno, situated in the Łęczna-Włodawa Lake District. The size of the lakes as well as more important physical and chemical factors have been examined in the natural water reservoirs of the region.

The following factors were subject to the investigations: water colour, visibility, temperature, oxygen, electrolytic conductivity, *pH*, oxidability, alkalinity, and the contents of calcium, potassium, ferrum, total phosphorus and nitrogen (NO_2 , NO_3 , NH_3). It was found that the most of the examined factors revealed both seasonal changes and distinct fluctuations of their values in the subsequent years of the investigations. The nature of these changes was related with the trophic nature of the reservoir and the increasing anthropopression (development of tourism, intensification of mineral fertilization).

In a-mesotrophic Piaseczno lake and eutrophic Bikcze lake distinct vertical differentiation of the values of such factors as temperature, O_2 , Ca, K, NO_2 , NH_3 were found.

The variations in the contents and vertical distribution of more important abiotic factors in water of the three examined lakes permitted a more comprehensive study of the ecological conditions in the particular reservoirs. These results, as well as the results of parallel studies on the dynamics of the abundance and biomass of limnoplankton and benthos, show distinct differences between a-mesotrophic Piaseczno lake and eutrophic Bikcze lake and dystrophic Brzeziczno lake.