

Gierszewski Piotr, Miler Karol, Kaszubski Michał. Charakterystyka stratyfikacji termicznej i chemicznej wód jeziora Ostrowite (PNBT) w roku 2015 = Features of the thermal and chemical stratification of the Ostrowite Lake water in the year 2015. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015;5(12):217-229. ISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.35354>
<http://ojs.ukw.edu.pl/index.php/johs/article/view/2015%3B5%2812%29%3A217-229>
<http://pbn.nauka.gov.pl/works/679838>
Formerly *Journal of Health Sciences*. ISSN 1429-9623 / 2300-665X. Archives 2011–2014
<http://journal.rsw.edu.pl/index.php/JHS/issue/archive>

Deklaracja.

Specyfika i zawartość merytoryczna czasopisma nie ulega zmianie.
Zgodnie z informacją MNIŚW z dnia 2 czerwca 2014 r., że w roku 2014 nie będzie przeprowadzana ocena czasopism naukowych; czasopismo o zmienionym tytule otrzymuje tyle samo punktów co na wykazie czasopism naukowych z dnia 31 grudnia 2014 r.

The journal has had 5 points in Ministry of Science and Higher Education of Poland parametric evaluation. Part B item 1089. (31.12.2014).

© The Author (s) 2015;

This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poland and Radom University in Radom, Poland
Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.
This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.
The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.
Received: 10.11.2015. Revised 25.11.2015. Accepted: 14.12.2015.

Charakterystyka stratyfikacji termicznej i chemicznej wód jeziora Ostrowite (PNBT) w roku 2015

Features of the thermal and chemical stratification of the Ostrowite Lake water in the year 2015

Piotr Gierszewski¹, Karol Miler¹, Michał Kaszubski²

- 1. Instytut Geografii, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy**
- 2. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Polska Akademia Nauk**

Abstrakt

W artykule przedstawiono problem zróżnicowania stratyfikacji termicznej i chemicznej wód w wieloakwenowym jeziorze Ostrowite położnym na obszarze Parku Narodowego „Bory Tucholskie”. Na podstawie pomiarów temperatury, koncentracji tlenu rozpuszczonego w wodzie i wartości przewodnictwa elektrolitycznego wody w okresie wiosennej cyrkulacji i letniej stagnacji wykazano różny charakter stratyfikacji wód w poszczególnych akwenach jeziora. Określono, że największym indywidualizmem pod tym względem charakteryzowała się wschodnia rynna jeziora. Ze względu na wielkość oraz cechy morfometryczne ta część jeziora wykazywała mniejszą dynamikę wód.

Słowa kluczowe: jezioro dymiktyczne, stratyfikacja wód, zróżnicowanie temperatury wody, koncentracja tlenu, przewodnictwo elektrolityczne, jezioro Ostrowite.

Abstract

The paper presents the problem of the diversity of thermal and chemical stratification in the multi-pools Ostrowite Lake, situated on the area of the National Park "Tucholskie

Forests". Based on measurements of temperature, dissolved oxygen concentration in water and the electrolytic conductivity of water conducted during spring turnover and summer stagnation of water, the diversity of water stratification in various pools of the lake has been shown. The greatest individuality due to the course of stratification, was occurred in the western channel of the lake. Taking into account the size and morphometric parameters, this part of the lake revealed a lower dynamic of water.

Key words: dimictic lake, water stratification, water temperature diversity, oxygen concentration, electrolytic conductance, Ostrowite Lake.

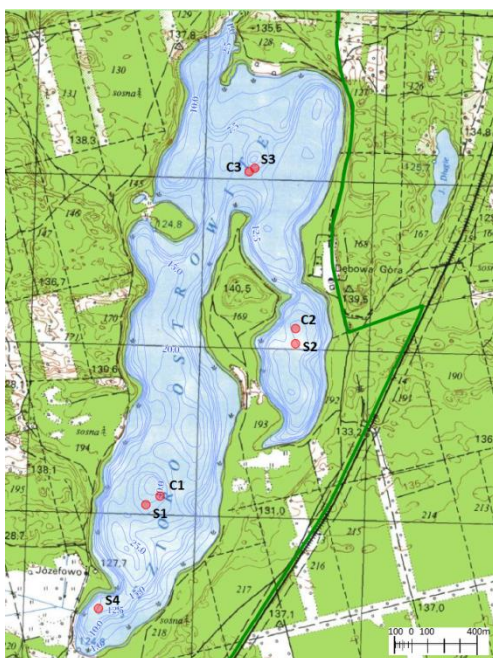
Wprowadzenie

Odpowiednia głębokość jeziora oraz czynniki wpływające na dynamikę mas wodnych przesądają o możliwościach formowania się gęstościowej stratyfikacji wód jeziornych. W przypadku polskich jezior stratyfikacja wynika przede wszystkim ze zróżnicowania temperatury wody. Termiczne uwarstwienie wody w warunkach klimatu umiarkowanego tworzy się dwukrotnie w ciągu roku, latem i zimą. Okresy stratyfikacji wód jeziornych rozdzielone są fazami jesiennej i wiosennej cyrkulacji. Czas trwania i szybkość zaniku uwarstwienia termicznego jak i faz cyrkulacyjnych zależą od parametrów misy jeziornej oraz możliwości i siły oddziaływania czynników zewnętrznych na masy wodne jeziora. Zróżnicowanie gęstościowe wód ma kompleksowy wpływ na funkcjonowanie ekosystemów jeziornych i decyduje o warunkach życia poszczególnych zbiorowisk organizmów zasiedlających wody jezior.

Z punktu widzenia funkcjonowania ekosystemu jeziornego szczególne znaczenie ma stratyfikacja wód w okresie letnim. Górna warstwa jeziora (epilimnion) jest wówczas miejscem największej produkcji biomasy, a tym samym obszarem jeziora o największym zapotrzebowaniu na substancje odżywcze. Rozwój fitoplanktonu w tej warstwie prowadzi do ich deficytu, szczególnie w jeziorach o małej antropogenicznej dostawie biogenów. Deficyt pierwiastków biogenicznych jest uzupełniany okresowo dostawą z hypolimnionu, co ma miejsce w okresach cyrkulacji wód w jeziorze. Zmiany wielkości koncentracji składników odżywczych w wodach powierzchniowych wpływają na sezonową sukcesję fitoplanktonu, a co za tym idzie również innych organizmów (Sigge 2005). Epilimnion charakteryzujący się dużą produktywnością biologiczną i obniżonymi zasobami substancji odżywczych oddzielony

jest termokliną od dolnej warstwy jeziora (hypolimnionu) o małej produktywności biologicznej i dużych zasobach substancji odżywczych. Opadające na dno szczątki planktonu jeziornego są źródłem składników odżywczych w wodach hypolimnionu oraz pożywką dla bakterii heterotroficznych. Zachodzący w tej strefie oraz w osadach jeziornych rozkład materii organicznej przyczynia się do deficytów tlenowych, a w konsekwencji również zmian warunków w których przebiegają procesy fizyczne i chemiczne. Produkty tych procesów wzbogacają wody hypolimnionu w sole biogeniczne, zwłaszcza fosforany (Lampert i Sommer 1996).

Skutkiem zróżnicowania morfometrycznych cech misy jeziornej, uwarunkowań zlewniowych i sezonowej zmienności czynników środowiskowych jest odmienność przebiegu procesów fizycznych i chemicznych, w tym również tych wpływających na stratyfikację gęstościową wód. W jeziorach o złożonej morfologii stratyfikacja wód może przebiegać odmiennie w poszczególnych akwenach. Przykładem zbiornika wieloakwenowego jest jezioro Ostrowite położone na obszarze Parku Narodowego „Bory Tucholskie”. Misa tego polodowcowego jeziora genezy rynnowej składa się z dwóch równoległych rynien oddzielonych półwyspem. W północnej części obie rynny łączą się ze sobą. Zwężenia w przebiegu rynien dzielą jezioro Ostrowite na przynajmniej trzy akweny (ryc.1).



Ryc. 1. Lokalizacja punktów badawczych. C1-C3 – seria pomiarowa kwiecień, S1-S4 – seria pomiarowa sierpień (podkład topograficzny: geoportal.gov.pl)

Określenie wpływu odrębności limnologicznej poszczególnych akwenów jeziora Ostrowite na stratyfikację gęstościową wód było głównym celem badań przeprowadzonych w roku 2015. Założono, że pionowe zróżnicowanie wartości głównych parametrów fizyczno-chemicznych wód jeziornych w różnych pod względem dynamiki wód okresach może być podstawą do wstępnego określenia zróżnicowania właściwości i warunków funkcjonowania hydroekosystemu jeziora Ostrowite.

Obszar i metody badań

Jeziro Ostrowite położone jest na Równinie Charzykowskiej w granicach Parku Narodowego Bory Tucholskie (PNBT). Jest ono największym i najgłębszym jeziorem PNBT. Jego powierzchnia wynosi 280 ha, a maksymalna głębokość 43 metry. (Marszelewski i in. 2006). Południkowo rozciągająca się rynna jeziora o długości 3,9 km jest wcięta w piaszczysty stożek sandrowy, którego powierzchnię urozmaicają również inne rynny jeziorne, zagłębienia wytopiskowe i deflacyjne oraz formy wydymowe. W otoczeniu jeziora przeważają obszary borów sosnowych oraz łąk. Pod względem hydrologicznym Jezioro Ostrowite reprezentuje typ odpływowy. Z jeziora wypływa Struga Siedmiu Jezior, która przepływając przez osiem jezior uchodzi do jeziora Charzykowskiego. Jezioro nie posiada naturalnych dopływów powierzchniowych i jest zasilane bezpośrednio przez opad atmosferyczny oraz płytki dopływ podziemny z pierwszego poziomu wodonośnego. Ze względu na dużą głębokość jeziora możliwe jest jego zasilanie wodami podziemnymi z głębszych poziomów wodonośnych (Choiński i in. 2012).

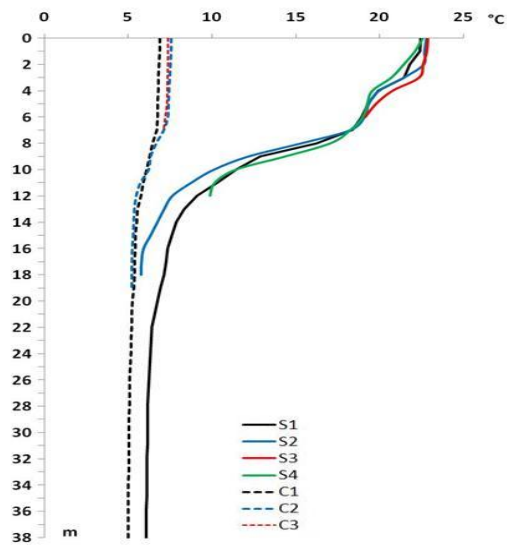
Przeprowadzone do tej pory badania odnoszące się do problemu stratyfikacji wód jeziora Ostrowite obejmowały przede wszystkim pomiary rozkładu temperatury i natlenienia wody w pionie (m.in. Marszelewski i in. 2006, Skowron i Piasecki 2014) oraz badania hydrochemiczne (m.in., Zdanowski i in. 2000). Badania te były realizowane z przerwami od połowy lat 60-tych XX wieku przez różne instytucje (m.in. IRŚ, WIOŚ Bydgoszcz i Gdańsk, PNBT oraz uczelnie wyższe) i odnosiły się przede wszystkim do warunków panujących w głębozku rynny zachodniej. W pracach tych zwracano uwagę między innymi na problem deficytu tlenu w naddennych warstwach wody oraz na zależność średniej koncentracji tlenu w wodzie od długości zalegania pokrywy lodowej na jeziorze. W kontekście pionowego zróżnicowania koncentracji tlenu podczas stagnacji letniej wskazywano, że przebieg krzywej

tlenowej miał postać heterogrody dodatniej (Marszelewski i in. 2006). Zwrócono uwagę na małą objętość epilimnionu (jeziro metatermiczne), niską średnią temperaturę wody w jeziorze oraz niską temperaturą wód przydennych (Choinski i in. 2012).

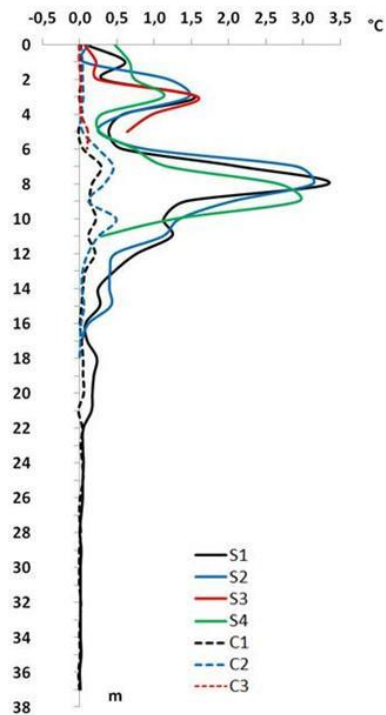
Badania termicznego i chemicznego zróżnicowania wody jeziora Ostrowite przeprowadzone przez autorów w 2015 roku obejmowały dwie serie pomiarowe. Terminy badań charakteryzowały warunki występujące podczas wiosennej cyrkulacji wody (17 kwietnia) oraz w czasie letniej stagnacji wody (7 sierpnia). Pomiarów wiosenne wykonano w trzech pionach (C1, C2, C3) a letnie w czterech (S1, S2, S3, S4). Położenie pionów określono za pomocą odbiornika DGPS i przedstawiono na mapie (ryc. 1). Ich lokalizacja odzwierciedla charakter zróżnicowania morfologii misy jeziora. Piony C1, S1 oraz C2 i S2 odnoszą się do warunków charakterystycznych dla głębokowodnych części rynny zachodniej i izolowanego basenu rynny wschodniej. Pion C3 i S3 został zlokalizowany w północnej części rynny zachodniej, a pion S4 w południowej części tej samej rynny. Badania limnologiczne obejmowały pomiary głębokości jeziora w miejscu lokalizacji pionów, pomiar widzialności biało-czarnego krążka Secchiego o średnicy 20 cm oraz pomiar temperatury wody, koncentracji tlenu rozpuszczonego w wodzie oraz wartości przewodnictwa elektrolitycznego wody. Pomiary te wykonywano, co jeden metr głębokości, za pomocą wieloparametrowej głowicy pomiarowej Hanna HI-9829.

Wyniki badań i dyskusja

Pomiary temperatury wody w dniu 17 kwietnia przeprowadzono w okresie obejmującym końcową fazę cyrkulacji wód i początek formowania się stratyfikacji termicznej w jeziorze. Pionowy rozkład temperatury charakteryzował się małym zróżnicowaniem, które w głęboczku jeziora (pion C1) nie przekraczało 1,9°C (ryc. 2). W tym samym pionie warstwa wody do głębokości około 7 m zawierała nieco chłodniejsze wody (ok. 0,5°C) w porównaniu z temperaturą wody w płytszych pionach charakteryzujących wschodnią rynnę jeziora (C2) oraz północną część rynny zachodniej (C3) (ryc. 2). Na głębokości od 6 do 14 m stwierdzono nieznacznie silniejsze spadki temperatury wody, co należy wiązać z początkową fazą kształtowania się warstwy metalimnionu. Do jej uformowania dochodzi szybciej w krótszej, wschodniej rynnę jeziora (ryc. 2).

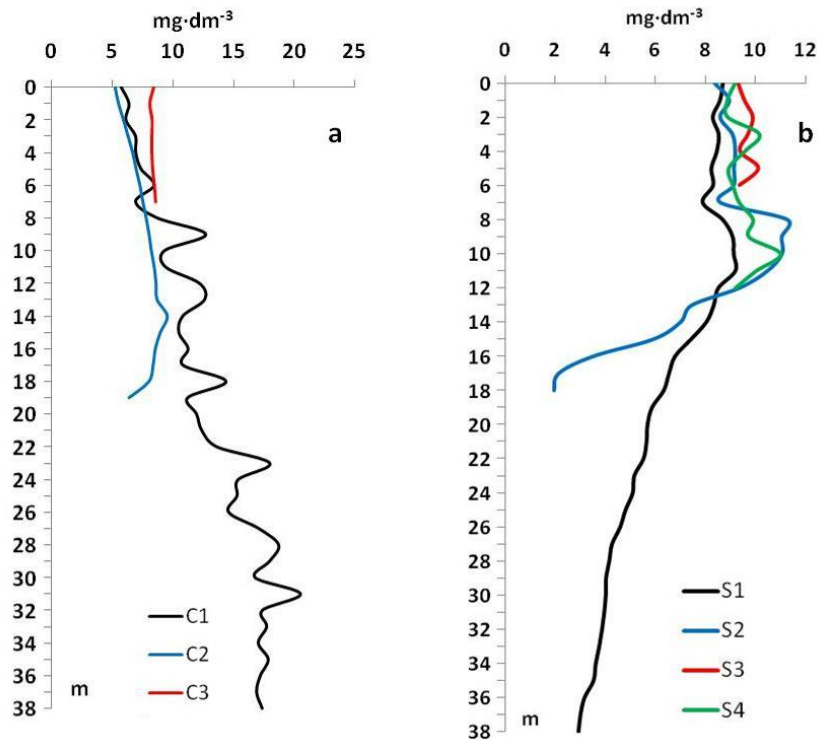


Ryc. 2. Zróźnicowanie temperatury wody w pionach: S1-S4 – faza stagnacji letniej, C1-C3 – faza cyrkulacji wiosennej.



Ryc. 3. Zróźnicowanie wielkości gradientu termicznego w °C na 1 m głębokości w pionach: S1-S4 – faza stagnacji letniej, C1-C3 – faza cyrkulacji wiosennej.

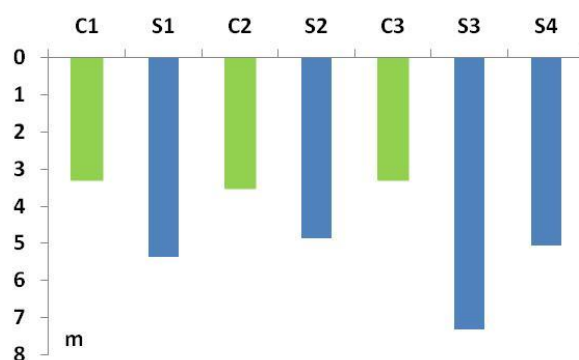
W czasie stagnacji letniej stwierdzono w pełni wykształconą stratyfikację termiczną w głęboczkach rynny zachodniej (S1) oraz rynny wschodniej (S2). W płytszych miejscach jeziora (piony S4 i S3) uwarstwienie obejmuje dwie górne warstwy tj. epilimnion i metalimnion (ryc. 2). Zmiany wielkości gradientu temperatury w pionach S1, S2 i S4 wskazują na obecność tzw. podwójnego metalimnionu (ryc. 3). Wykształcony w taki sposób metalimnion funkcjonuje zazwyczaj przez krótki czas i z tego powodu niewiele jest opisów tego zjawiska w literaturze. W istniejących na ten temat pracach podkreśla znaczenie dużej dynamiki wody, jako głównego czynnika wpływającego na taki charakter przebiegu temperatury wody w górnych warstwach jeziora (Jańczak, Maślanka 2006). Główna warstwa metalimnionu rozciąga się na głębokości 7-12 metrów. Największy skok temperatury wynoszący $3,3^{\circ}\text{C}$ stwierdzono między 8 i 9 metrem głębokości. Mniejszy gradient termiczny osiągający maksymalnie $1,5^{\circ}\text{C}$ zaobserwowano na głębokości 3-5 metrów. Przebieg temperatury wody w pionach charakteryzuje się pewnymi odmiennościami, które świadczą o indywidualizmie określonych basenów jeziornych. Polegają one na występowaniu nieznacznie cieplejszych wód, w epilimnionach północnej - płytkowodnej części rynny zachodniej oraz w rynnach wschodniej. Rynnę wschodnią odróżnia również nieco słabiej rozbudowany i charakteryzujący się większym gradientem termicznym metalimnion. Jego średnia wartość wynosi $2,1^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ podczas gdy w rynnach zachodniej są to wartości od 1,7 do $1,9^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ odpowiednio w pionach S4 i S1. Charakterystyczną cechą termiki wód w rynnach wschodniej jest również niższa temperatura wód w hypolimnionie w porównaniu z wartościami zarejestrowanymi w rynnach zachodniej (ryc. 2). Wszystkie te cechy świadczą o szybszym formowaniu się uwarstwienia termicznego w rynnach wschodniej, czemu sprzyja mniejsza dynamika wód w tej części jeziora. Na taki stan dynamiki wód wpływają przede wszystkim rozmiary tej części jeziora, które decydują o krótszej efektywnej długości rozbiegu fali wiatrowej.



Ryc. 4. Zróznicowanie koncentracji tlenu rozpuszczonego w pionach: a – C1-C3 faza cyrkulacji wiosennej, b - S1-S4 faza stagnacji letniej.

Natlenienie wód większości jezior w czasie homotermii wiosennej jest zazwyczaj wysokie i mało zróżnicowane w profilu pionowym (Lampert i Sommer 1996). Takie warunki tlenowe występowały w północnej części rynny zachodniej. W całym pionie (C3) o głębokości 7,3 m zawartość tlenu wynosiła od 8,1 do 8,6 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, co odpowiada nasyceniu na poziomie 70-73% (ryc. 4a). W najgłębszych miejscach wschodniej i zachodniej rynny jeziora Ostrowite stwierdzono zupełnie inną sytuację. Charakteryzowała się ona wzrostem koncentracji tlenu wraz z głębokością (ryc. 4a). Autorom nie udało się znaleźć w literaturze opisów pionowego zróżnicowania zawartości tlenu o podobnym charakterze. Z tego powodu dokonano kilkakrotnej kalibracji sondy tlenowej w celu wyeliminowania ewentualnych błędów instrumentalnych. Ostatecznie wyniki pomiarów wykazały, że przy powierzchni koncentracja tlenu wynosiła 5,7 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w głębozku rynny zachodniej (C1) i 5,3 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w głębozku rynny wschodniej (C2), co odpowiada saturacji wody tlenem na poziomie odpowiednio 48 i 45%. Wraz z głębokością koncentracja tlenu wzrastała (ryc. 4a). W rynn timer wschodniej (pion C2) wzrost ten był jednostajny i nawiązywał do zmian temperatury, co potwierdza wartość współczynnika korelacji wynosząca 0,7. Natlenienie wody wzrastało do głębokości 14 m, gdzie koncentracja tlenu osiągnęła 9,5 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Poniżej, aż do dna, jego

zawartość zmniejszyła się do $6,4 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, co odpowiada saturacji 52%. Bardziej zróżnicowany był przebieg koncentracji tlenu w głębozku rynny zachodniej (pion C1). Do głębokości 31 metrów zmiany koncentracji tlenu były różnokierunkowe z widoczną jednak tendencją do wzrostu koncentracji i bez związku ze zmianami temperatury wody (ryc. 4a). W efekcie na głębokości 31 m koncentracja tlenu wynosiła $20,5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, co odpowiadało saturacji równej 162%. Poniżej zawartość tlenu zmieszała się osiągając przy dnie około $18 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ i nasycenie 140%. Według autorów inwersja wiosennej zawartości tlenu w pionach zlokalizowanych w głębozłkach jeziora może być związana z aktywnie przebiegającymi w tym czasie procesami hydrodynamicznymi. Przemieszczanie się mas wodnych w wyniku trwającej jeszcze cyrkulacji termicznej jest wzmacniane cyrkulacją prądową pochodzenia wiatrowego. W tym samym czasie tj. w kwietniu w większości jezior na niżu europejskim, w tym również w Polsce, ma miejsce wiosenna kulminacja zakwitów okrzemek (Sigge 2005).



Ryc. 5. Zróżnicowanie widzialności krążka Secchiego w pionach: C1-C3 – faza cyrkulacji wiosennej, S1-S4 – faza stagnacji letniej.

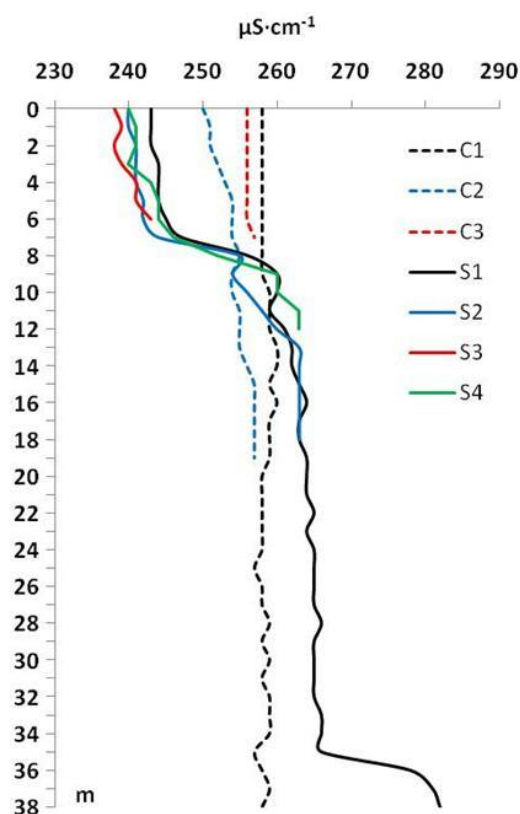
Zachodząca z ich udziałem intensywna fotosynteza prowadzi do przetlenienia wody w strefie eufotycznej (Lampert, Sommer 1996, Kajak 1998). Pomiary widzialności krążka Secchiego wykazały mniejszą przezroczystość wody w tym okresie w pionach C1 i C2, co dowodzi obecności zakwitów okrzemkowych (ryc. 5). Duża dynamika wody w tym czasie powoduje, że bardziej natlenione wody powierzchniowe przemieszczają się w głębsze partie jeziora, a w ich miejsce napływają słabiej natlenione wody z warstwy przydennej.

Zróżnicowanie zawartości tlenu w fazie stagnacji letniej wykazywało typowy układ polegający na zmniejszaniu się jego koncentracji wraz z głębokością. W epilimnionie koncentracja tlenu wynosiła od $8,7$ do $9,3 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, a nasycenie od 100 do 108%. Nieznacznie bardziej natleniona woda występowała w epilimnionach płytszych pionów S3 i S4 (ryc. 4b). W tych samych miejscach dobre natlenienie wód stwierdzono do samego dna,

gdzie w przypadku pionu S3 na głębokości 6 m saturacja wody tlenem wynosiła 102%, a w głębszym pionie S4 na głębokości 12 m 82%. W głębozłkach obydwu rynien widoczny był skokowy wzrost koncentracji tlenu na głębokości metalimnionu (ryc. 4b). Wyraźniejsza oksykliną ukształtowała się w głębozłku rynny wschodniej (S2), gdzie na głębokości 8-10 metrów jego koncentracja wzrosła do ponad $11 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (saturacja 103-113%). W głębozłku rynny zachodniej (S1) wzrost koncentracji tlenu był mniejszy. Na głębokości 11 m wynosiła ona $9,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a saturacja 83%. Poniżej maksimum osiągniętego w oksyklinie koncentracja tlenu zmniejszała się aż do dna, gdzie osiągnęła wartości około $2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w głębozłku rynny wschodniej i $2,9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w głębozłku rynny zachodniej. Oznacza to, że w najgłębszych miejscach jeziora nasycenie wody tlenem w sezonie letnim utrzymywało się na poziomie 16 - 26%. Porównanie przebiegu natlenienia wody w pionach zlokalizowanych w głębozłkach poszczególnych rynien wskazuje na bardziej ostre zmiany koncentracji tlenu w rynnie wschodniej. Przebieg krzywych charakteryzujących warunki tlenowe w głębozłkach obydwu rynien ma postać heterogradi dodatniej. Układ z dodatnim odchyleniem stężenia tlenu w metalimnionie jest charakterystyczny dla jezior oligotroficznycł i mezotroficznycł (Kajak 1998, Wetzel 2001). Podwyższona zawartość tlenu w tej warstwie to efekt sprężenia, co najmniej dwóch czynnikół warunkujących jego dostawę przez fotosyntetyzujący fitoplankton tj. odpowiednich warunkół świetlnycł i dostatecznej ilości zasobół pierwiastkół biogenicznycł (Lampert, Sommer 1996, Kajak 1998).

Zmiany mineralizacji wody w profilach pionowych określono na podstawie przewodności elektrolitycznej (EC). Przewodnictwo elektrolityczne w przypadku wół o charakterze węglanowym i małej zawartości rozpuszczonej materii organicznej może być uznane za dobry wskaźnik koncentracji głównycł jonół rozpuszczonych w wodzie (Dojlido 1980).

Pomiary EC w okresie wiosennej cyrkulacji wody wykazały brak istotnego zróżnicowania mineralizacji wody we wszystkich profilach pionowych (ryc. 6). Wartości EC zawierały się w przedziale od 250 do $260 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Największym zróżnicowaniem przewodnictwa elektrolitycznego charakteryzowały się wody w głębozłku rynny wschodniej (C2) gdzie zwiększało się ono nieznacznie, bo o $7 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, w kierunku dna.



Ryc. 6. Zróżnicowanie przewodnictwa elektrolitycznego wody w pionach: C1-C3 – faza cyrkulacji wiosennej, S1-S4 – faza stagnacji letniej.

W okresie stagnacji letniej stwierdzono wyraźną stratyfikację wód jeziora ze względu na zróżnicowanie ich zmineralizowania. Zmiany przebiegu EC w pionie mają charakter typowy dla jezior dymiktycznych w Polsce, polegający na wzroście w kierunku dna (Maślanaka 2009). W górnej, przypowierzchniowej warstwie jeziora, EC wynosi 238-247 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Zasięg tej strefy pokrywa się zasadniczo z epilimnionem jeziora i sięga do głębokości 7 m. Wzrost EC w tej warstwie był nieznaczny i wynosił 4-6 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Poniżej, w głębszych pionach S1, S2 i S4, rozciąga się chemoklina charakteryzująca się skokowym wzrostem EC, który wynosił od 11-16 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (ryc. 6). Wzrost wartości EC, ale słabszy był kontynuowany poniżej chemokliny, aż do dna jeziora. W przypadku głęboczka położonego we wschodniej rynnicy (pion S2) wartość EC przy dnie wzrosła do 263 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. W rynnicy zachodniej do głębokości 35 m EC wzrosło o 6 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ do 266 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a następnie skokowo do dna do wartości 282 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (ryc. 6).

Pionowe zróżnicowanie wartości przewodnictwa elektrolitycznego w jeziorach stratyfikowanych jest efektem przemian związanych z funkcjonowaniem tzw. układu wapń-

kwas węglowy. Procesy biogeochemiczne składające się na jego funkcjonowanie wpływają nie tylko na zmiany stężeń kationów wapnia i anionów wodorowęglanowych, ale również na ogólną mineralizację wody i wielkość przewodności elektrolitycznej ze względu na duży wpływ tych jonów na wielkość całkowitej mineralizacji. Niższe wartości przewodnictwa elektrolitycznego w eufotycznej - trofogenicznej części epilimnionu są skutkiem zachodzącej tam fotosyntezy. W jej wyniku, wskutek pojawienia się deficytu CO₂ i przesunięcia się równowagi chemicznej między formami wapnia obecnymi w wodzie dochodzi do przekształcenia łatwo rozpuszczalnego dwuwęglanu wapnia w trudno rozpuszczalny węglan wapnia (Lampert, Sommer 1996, Kajak 1998). Procesy te nazywane "biologicznym odwapnieniem wody" prowadzą do sedymentacji powstałego węglanu wapnia i obniżenia stężeń jonów wodorowęglanowych i wapniowych. Część sedymentującego CaCO₃ poniżej dolnej granicy strefy eufotycznej podlega powtórnemu przekształceniu w formę rozpuszczalną, co znajduje odzwierciedlenie w zwiększeniu stężenia kationów wapnia i wartości przewodnictwa elektrolitycznego w wodach meta- i hypolimnionu (Wetzel 2001).

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że poszczególne akweny jeziora Ostrowite wykazują pewną odrębność ze względu na sposób wykształcenia i przebieg stratyfikacji termicznej i chemicznej. Największym indywidualizmem charakteryzuje się rywna wschodnia. W tej części jeziora stwierdzono szybsze formowanie się stratyfikacji letniej. W czasie letniego rozwarstwienia wody ten obszar jeziora charakteryzuje się cieplejszym epilimnionem, bardziej mięszym metalimnionem z silniejszym gradientem temperatury oraz chłodniejszymi wodami hypolimnionu na porównywalnych z innymi pionami głębokościach. Obecność podwójnego metalimnionu świadczy o dużej podatności jeziora Ostrowite na mieszanie wody przez wiatr. Pod tym względem, o czym świadczą cechy termiki wód, rywna wschodnia charakteryzuje się mniejszą dynamiką.

Na przełomie okresu wiosennej cyrkulacji i letniej stagnacji wód stwierdzono charakterystyczny inwersyjny układ koncentracji tlenu w profilach pionowych, który można łączyć z intensywnie przebiegającą miksją wody w okresie wiosennego zakwitu okrzemkowego. Przebieg krzywych tlenowych w fazie letniej stagnacji wykazuje układ hyterogradi dodatniej. Ten charakterystyczny dla jezior oligotroficznych i α -mezotroficznych był również opisywany wcześniej. Saturacja wód tlenem przy dnie jeziora na poziomie 16-26% wskazuje, że w roku 2015 nie wystąpiły deficyty tlenowe.

Stratyfikacja chemiczna jeziora wyrażona zróżnicowaniem wartości przewodnictwa elektrolitycznego wody wykazują typową dla większości jezior prawidłowość polegającą na występowaniu słabiej zmineralizowanych wód w epilimnionie i bardziej zmineralizowanych w hypolimnionie. Taki przebieg wartości przewodnictwa elektrolitycznego związany jest z funkcjonowaniem układu węglanowego.

Literatura

- Choiński A., Marszelewski W., Skowron R., 2012. Indywidualizm jezior Parku Narodowego „Bory Tucholskie” na tle jezior w narodowych parkach polskich. *Stud. Limnol. Telmatol.*, 6, 1, 19–26.
- Dojlido, J., 1980. Instrumentalne badania wody i ścieków. Arkady, Warszawa
- Jańczak J., Maślanka W., 2006. Cases of occurrence of secondary metalimnia in some lakes of the Elk Lakeland. *Limnological Review*, 6, 123-128.
- Kajak Z., 1998. *Hydrobiologia-limnologia: ekosystemy wód śródlądowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Lampert W., Sommer U., 1996. *Ekologia wód śródlądowych*, PWN, Warszawa.
- Marszelewski W., Błoniarczyk W., Pestka J., 2006. Seasonal changes in the concentrations of dissolved oxygen in the lakes of the “Bory Tucholskie” National Park. *Limnological Review*, 6, 193-200.
- Maślanka W., 2009. Atypical summer vertical diversity of physical-chemical properties of lake waters. *Limnological Review*, 9, 2-3, 91-96.
- Sigee D. C., 2005. *Freshwater Microbiology Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Skowron R., Piasecki A., 2014. Water temperature and its diversity in the deepest lakes of the Tuchola Forest and the Kashubian and Brodnickie Lakelands. *Bulletin of Geography – Physical Geography Series*, 7, 105–119.
- Wetzel R.G., 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Academic Press, San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo.
- Zdanowski B., Stawecki K., Prusik S., Hutorowicz J. 2000-2003. *Fizykochemiczne właściwości wód*. W: Plan Ochrony Parku Narodowego „Bory Tucholskie”, Operat ochrony ekosystemów wodnych, Warszawa.