

¹Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej
marp114@wp.pl

²Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie
rugosa@op.pl; Bogumil.Nowak@imgw.pl

MARIUSZ PTAK¹, BOGUMIŁ NOWAK²

Warunki termiczno-tlenowe Jeziora Białego Włodawskiego w półroczu letnim (2012–2015)

Thermal-oxygen conditions in Lake Białe Włodawskie
in the summer half year (2012–2015)

Słowa kluczowe: jeziora, temperatura, tlen rozpuszczony, zmiany klimatyczne, Pojezierze
Łęczyńsko-Włodawskie

Keywords: lakes, temperature, climate change, Łęczyńsko-Włodawskie Lakeland

WPROWADZENIE

Temperatura wód jeziornych jest uznawana za jeden z podstawowych parametrów, mający duży wpływ na funkcjonowanie całego ekosystemu wodnego. Jak podkreślają MacCallum, Merchant (2012), jest ona istotna dla przebiegu procesów biologicznych i chemicznych, jak również dla cyklu hydrologicznego. Stwierdzenie to potwierdzają liczne prace poruszające zagadnienie zmian termiki jezior (Elo i in. 1998; Dobiesz, Lester 2009; Kvambekk, Melvold 2010; Kintisch 2015; Mesyasz i in. 2015; Pelechata i in. 2015; Swinton i in. 2015). Temperatura wody wykazuje ścisłe relacje z najważniejszym gazem, jaki się w niej znajduje, tj. tlenem. Wraz ze wzrostem temperatury wody jego rozpuszczalność maleje. W skrajnych przypadkach, w okresie letnim, w wyniku deficytów tlenu może nastąpić tzw. zjawisko przyduchy, czyli wymierania organizmów aerobowych. Koncentracja i rozkład tlenu w jeziorach zależy od wielu czynników, związanych m.in. z trofią i zanieczyszczeniem wody, morfometrią, warunkami klimatycznymi, intensywnością procesów biologicznych. W jeziorach tlen, poza procesami biologicznymi, zużywany jest np. do mineralizacji materii organicznej, stąd też w sytuacjach, gdy charakteryzują się one wysokim stopniem trofii, mogą

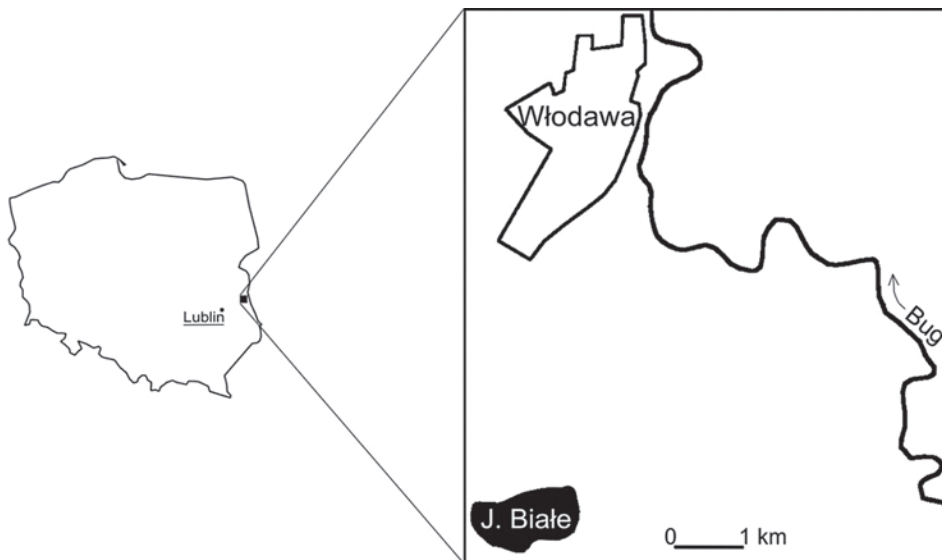
występować jego deficyty. Obserwowane zmiany klimatyczne, szczególnie sukcesywnie postępujący wzrost temperatury powietrza, wpływają na zmiany temperatury wód jeziornych, mając swoje konsekwencje w ich funkcjonowaniu.

W odniesieniu do zmian temperatury wód jeziornych i tlenu rozpuszczonego, a więc podstawowych jej cech, widoczna jest potrzeba rozszerzenia systematycznych obserwacji głębszych sektorów jezior – w celu pełniejszego zrozumienia zachodzących w nich zmian. Lukę tę mogą sukcesywnie uzupełnić obserwacje prowadzone od kilku lat przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB).

Celem pracy jest charakterystyka i analiza zmian warunków termiczno-tlenowych Jeziora Białego Włodawskiego na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim w latach 2012–2015.

OBIEKT BADAŃ I METODY

Jezioro Białe Włodawskie położone jest we wschodniej części Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego, 5 km na południe od Włodawy (ryc. 1).



Ryc. 1. Lokalizacja obiektu badań

Fig. 1. Location of the study area

Według Wojtanowicza (1994) geneza misy jeziornej związana jest z procesami degradacji wieloletniej zmarzliny u schyłku ostatniego okresu glacialnego. Jak podaje Michalczyk (1998), powierzchnia jeziora wynosi 106,4 ha, a głębokość maksymalna to 33,6 m. Wielkości tych parametrów sprawiają, że jest ono jednym

z większych i najgłębszych na całym Pojezierzu. Słabo rozwinięta roślinność przybrzeżna, brak terenów podmokłych wokół linii brzegowej, znaczna przezroczystość wody, tj. 3,4 m (*Raport...* 2015), przyczyniają się do chętnego wykorzystywania tego akwenu do celów rekreacyjno-wypoczynkowych.

W pracy wykorzystano dane dotyczące pomiarów tlenu rozpuszczonego w wodzie [$\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$] oraz temperatury wody [$^{\circ}\text{C}$] przeprowadzonych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB). Pomiary obu parametrów wykonywane były w latach 2012–2015 w półroczu ciepłym, tj. od maja do października – jednorazowo w każdym z tych miesięcy (łącznie 24 razy). Same pomiary dokonywane były co 1 m, w najgłębszym miejscu jeziora. W ten sposób uzyskano bardzo szczegółowe dane dotyczące rozkładu obu parametrów. Pomiarów dokonano przy pomocy sondy YSI ProOdo z dokładnością $0,1^{\circ}\text{C}$ i $0,1 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$.

Uzyskane dane pozwoliły na przedstawienie zmian zachodzących zarówno w obrębie całego pionu, jak i poszczególnych stref jeziora.

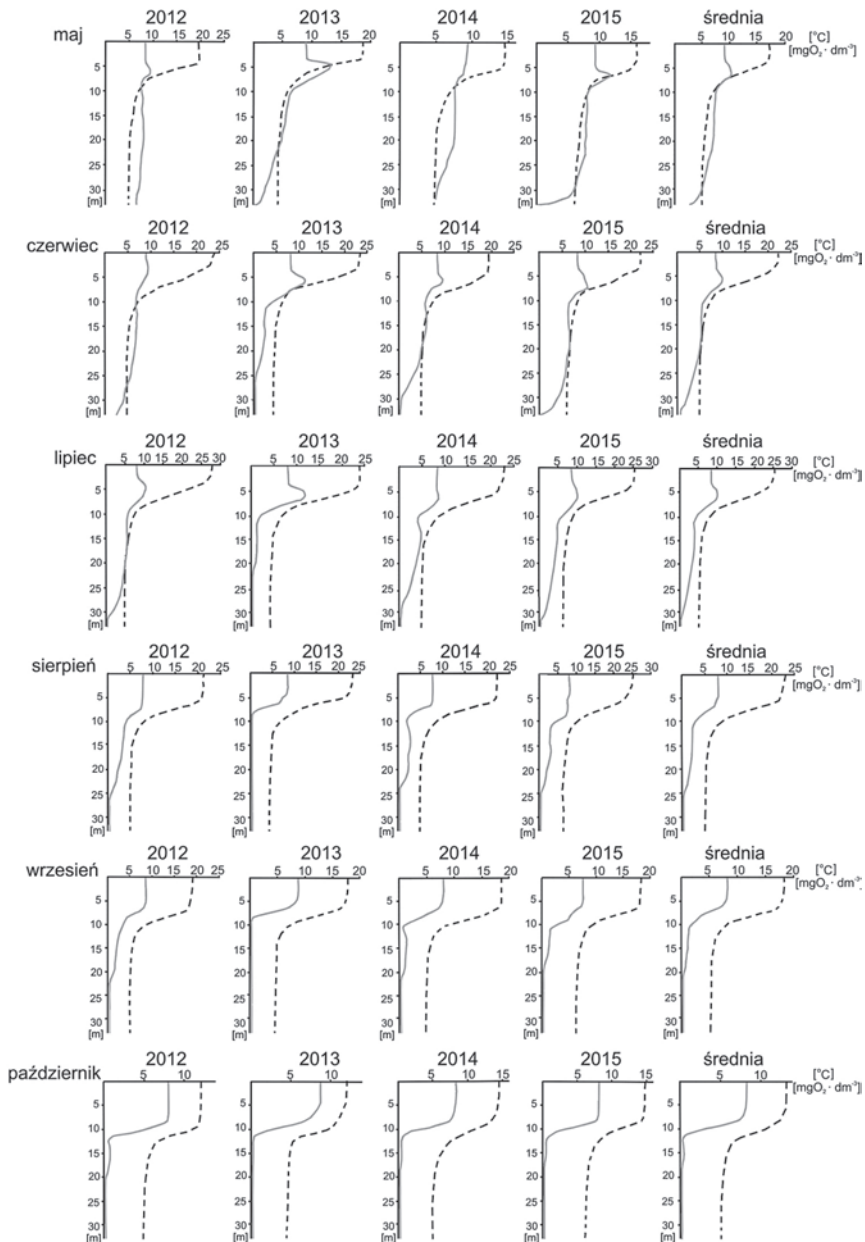
Na podstawie uzyskanych danych przedstawiono rozkład obu charakterystyk w formie graficznej, co pozwoliło na dalszą ich analizę.

WYNIKI I DYSKUSJA

Jezioro Białe Włodawskie, należące do najgłębszych akwenów Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego, jest jeziorem stratyfikowanym. Z analizowanego w każdym roku okresu wynika, że wyraźne rozwarstwienie jest wykształcone już w maju i utrzymuje się co najmniej do października (ryc. 2). Janiec i Turczyński (1988) podczas pomiarów w marcu 1986 roku stwierdzili w całym pionie jednorodność termiczną. Homotermia notowana była także w kwietniu, a temperatura wody wynosiła $5,3^{\circ}\text{C}$ przy powierzchni i $4,3^{\circ}\text{C}$ przy dnie.

W rozpatrywanym okresie najwyższą temperaturę odnotowano na powierzchni w lipcu 2012 ($27,5^{\circ}\text{C}$), a najniższą przy dnie w maju 2013 roku ($4,2^{\circ}\text{C}$). Największą różnicę temperatury w całym pionie odnotowano podczas pomiarów w lipcu 2012 roku i wyniosła ona aż $22,7^{\circ}\text{C}$ ($27,5^{\circ}\text{C}$ przy powierzchni i $4,8^{\circ}\text{C}$ przy dnie). Najwyższą średnią temperaturę w całym pionie (określoną jako średnia ze wszystkich analizowanych miesięcy) charakteryzował się rok 2015 – $9,7^{\circ}\text{C}$, najniższą zaś rok 2013 – $7,8^{\circ}\text{C}$. Różnica na przestrzeni czterech lat wyniosła $1,9^{\circ}\text{C}$. Podobnymi różnicami cechowały się poszczególne miesiące. Najwyższą różnicę zanotowano w przypadku października i wyniosła ona $2,2^{\circ}\text{C}$, a najniższą zaobserwowano dla czerwca: $1,6^{\circ}\text{C}$.

Najbardziej dynamiczną pod względem zmian swej miąższości była strefa przypowierzchniowa – grubość epilimnionu wahała się od 3 (lipiec 2012) do 9 m (październik 2012). Miąższość metalimnionu wynosiła średnio ok. 3–5 m,



Ryc. 2. Rozkład tlenu rozpuszczonego i temperatury wody w analizowanym pionie Jeziora Białego Włodawskiego; kolor szary – tlen rozpuszczony w wodzie, kolor czarny (linia przerywana) – temperatura wody

Fig. 2. Distribution of dissolved oxygen content and water temperature in the depth profile of Białe Włodawskie Lake; gray colour – dissolved oxygen in the water, black colour (the dotted line) – water temperature

a głębokość jej zalegania uzależniona była od poprzedniej strefy. Hypolimnion w większości analizowanych sytuacji formował się średnio na głębokości 10–13 m. Temperatura wody w najgłębszej strefie jeziora oscylowała średnio w pobliżu 5,5 °C. Najwyższy gradient spadku temperatury wody w całym pionie odnotowano w lipcu 2012 roku i wyniósł on 0,7 °C · m⁻¹, a najmniejszy – 0,2 °C · m⁻¹, wystąpił w październiku 2012 i 2013 roku.

Współczynnik stratyfikacji termicznej w odniesieniu do średniego rozkładu temperatury (z analizowanego okresu) dla poszczególnych miesięcy wahał się w przedziale od 0,4 do 0,6. Średni gradient temperatury wody w metalimnionie wyniósł 2,1 °C · m⁻¹. Średnia różnica temperatury wody pomiędzy warstwą powierzchniową a przydenną wahała się od 8,1 °C (w październiku) do 19,8 °C (w lipcu). Z kolei średnia temperatura wody w epilimnionie była równa 13,1 °C w październiku i 24,2 °C w lipcu.

Rozkład stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie [mgO₂ · dm⁻³] miał złożony charakter. Największe zróżnicowanie obserwowano w trzech pierwszych miesiącach objętych analizą, tj. od maja do lipca. W maju i czerwcu dominujący rozkład tlenu w badanym pionie przyjmował postać heterograzy dodatniej, gdzie maksymalna zawartość tlenu występuje w metalimnionie wskutek falowania i przemieszczania tlenu z epilimnionu. Ponadto w maju 2012 roku rozkład tlenu przyjmował postać ortograzy, a więc braku gradientu. W późniejszym okresie (sierpień–wrzesień) krzywa rozkładu tlenu przyjmowała postać klinograzy, czyli powstała stratyfikacja w wyniku procesów utleniających odbywających się w hypolimnionie.

Analogiczne porównanie jak w przypadku temperatury, określające średnie stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie (jako średnia ze wszystkich analizowanych miesięcy), pozwala stwierdzić, że najwyższą zawartością: 4,7 [mgO₂ · dm⁻³] charakteryzował się rok 2012, a najniższym stężeniem 3,0 [mgO₂ · dm⁻³] rok 2013. Tak jak w przypadku temperatury wody duże zróżnicowanie zauważono w rozkładzie pionowym. Maksymalne stężenie tlenu wyniosło 13,5 [mgO₂ · dm⁻³] – maj 2013, a wartość minimalna wielokrotnie spadała do zera. Całkowity brak tlenu występował każdorazowo w sierpniu, wrześniu i październiku. Najszybciej pojawił się w czerwcu 2013 (na głębokości 26 m), a najpóźniej w sierpniu 2015 roku (na głębokości 28 m). Największa warstwa wody całkowicie bez tlenu została zanotowana w sierpniu 2013 roku, gdyż już od głębokości 11 m rozpoczęła się strefa beztlenowa. Na podstawie rozkładu tlenu w odniesieniu do średnich miesięcznych z całego badanego okresu ustalono deficyt tlenowy, przyjmując poziom 50%. Średnia tlenowa z czerwca wskazuje, że strefa taka zalegała poniżej 10 m, w lipcu poniżej 8 m, w sierpniu i wrześniu rozpoczynała się poniżej 7 m, w październiku zaś występowała poniżej 9 m.

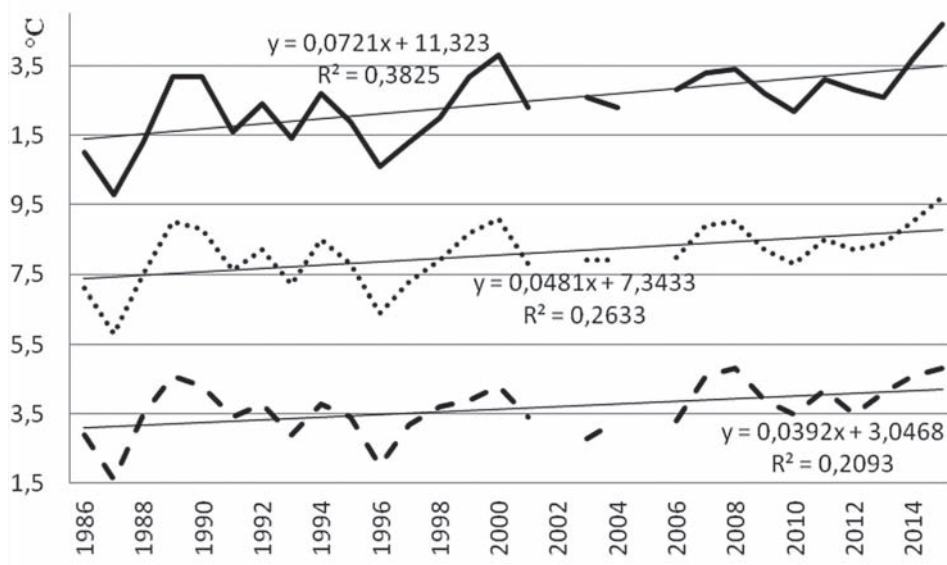
Uzyskane wyniki dotyczące rozkładu temperatury generalnie nawiązują do wcześniejszych obserwacji prowadzonych na tym jeziorze: Wilgat (1954), Radwan i in. (1973), *Atlas...* (1992). Jednakże pojedynczy charakter tych badań (a nie co najmniej kilkuletni) nie uprawnia do wyciągania informacji na temat zmian zaistniałych w nawiązaniu do obecnych pomiarów. Inny charakter posiadają opracowania Jańca i Turczyńskiego (1988) oraz Turczyńskiego (1998), gdzie pomiary temperatury wody miały charakter cykliczny. Stwierdzono wówczas m.in. pogłębianie się termokliny wraz z upływem lata. Zjawisko to obserwowane jest także aktualnie.

Przedstawione w pracy wyniki dotyczące warunków termiczno-tlenowych Jeziora Białego Włodawskiego stanowią nowy, interesujący zbiór informacji obu charakterystyk. Podjęte systematyczne pomiary, prowadzone w każdym miesiącu półrocza letniego, będą stanowiły szczegółowy zbiór danych dla dalszych analiz podejmowanych w przyszłości. Kontynuacja monitoringu obu parametrów, rozszerzająca aktualny stan wiedzy o okres kilkunastu lub kilkudziesięciu lat, pozwoli na określenie pewnych prawidłowości decydujących o ich przebiegu. Kluczową kwestią będzie określenie wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na funkcjonowanie tego ekosystemu. Obserwowane co najmniej od kilku dekad zmiany klimatyczne wpływają na sukcesywne przekształcanie dotychczasowych warunków środowiskowych. Dobrym wskaźnikiem ocieplenia klimatu jest zmiana temperatury wód jeziornych (Choiński 2007; Adrian i in. 2009; Skowron 2011; Katsev i in. 2014; O'Reilly i in. 2015). Wzrost temperatury wód w akwenach został odnotowany także w Polsce (Dąbrowski i in. 2004; Wrzesiński i in. 2015).

Na podstawie danych dotyczących temperatury powietrza w latach 1986–2015 dla stacji Włodawa można stwierdzić, że następuje jej znaczny wzrost (ryc. 3). Średnia roczna temperatura powietrza wzrasta o $0,4 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{dek}^{-1}$. Tendencja ta jest istotna statystycznie na poziomie 0,05.

Choć na podstawie czteroletniego cyklu obserwacji nie jest możliwe ustalenie tendencji zmian temperatury Jeziora Białego Włodawskiego, to widoczne są jej wyraźne związki z warunkami klimatycznymi. W rozpatrywanym okresie najwyższa średnia temperatura wody ($9,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$) przypadła na rok 2015, podobnie jak najwyższa temperatura powietrza dla Włodawy, która był odnotowana w tym samym roku. Na uwagę zasługuje fakt, że temperatura wody w najgłębszej partii akwenu była wówczas wyższa od $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w trzech pozostałych latach oscylowała na poziomie $4\text{--}5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Przykładowo w lipcu roku 2013 na głębokości 20 m temperatura wody była równa $4,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i obniżyła się do $4,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nad głębokością. W lipcu 2015 roku analogiczny rozkład wahał się od $6,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ do $6,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zmiany klimatu będą miały konsekwencje w funkcjonowaniu ekosystemów jeziornych (Zhang 2015). Stwierdzenie to można odnieść zarówno do aspek-



Brak danych dla roku 2002 i 2005

Ryc. 3. Temperatury powietrza dla stacji Włodawa w latach 1986–2015 (www.tuttempo.net); temperatura roczna: a) średnia maksymalna, b) średnia, c) średnia minimalna

Fig. 3. Air temperature at station Włodawa in the years 1986–2015 (www.tuttempo.net); annual temperature: a) average maximum, b) average c) average minimum

tów biotycznych, jak i abiotycznych. Elementem łączącym oba zagadnienia jest ilość tlenu znajdującego się w wodzie, który wykazuje ścisłą zależność od jej temperatury.

Odnosząc się do tlenu rozpuszczonego, można stwierdzić, że największe różnice w jego pionowym rozkładzie występują w okresie letniej stratyfikacji termicznej z uwagi na izolacje dolnych partii mas wodnych. Szybszy wzrost temperatury wody wpływa na przyspieszenie powstania rozwarstwienia letniego, a tym samym na dłuższy czas szczypania tlenu przy jednoczesnym braku możliwości jego dostawy w najgłębsze partie zbiorników. Rolę głębokości hypolimnionu na wzrost deficytu tlenowego podkreślają m.in. Borowiak i in. (2012).

Czynniki odpowiedzialne za obserwowane deficyty tlenowe nie są związane wyłącznie z procesami naturalnymi. Wzrost aktywności człowieka w obrębie zlewni oraz coraz szersza adaptacja jezior skutkują sukcesywną zmianą ich trofii. Koncentracja tlenu w okresie kilkudziesięciu lat została zaburzona pod wpływem antropopresji, co wpłynęło na silną eutrofizację, w wyniku której coraz częściej obserwowane są w wielu jeziorach zakwity glonów, zużywających tlen do oddychania, który następnie niezbędny jest do ich rozkładu (Marszelewski 1997).

Szczególnym zagrożeniem dla jezior są ich osady. W pewnych warunkach znajdujące się tam pierwiastki mogą zanieczyszczać toń wodną (Poleszczuk i in. 2014). W przypadku wyczerpania zasobów tlenu w hypolimnionie obserwuje się wzmożone uwalnianie związków fosforu z osadów dennych, co następnie powoduje wzmożoną produkcję substancji organicznej w przyszłym sezonie w warstwie powierzchniowej wody (Biedka 2012).

Badany akwen z uwagi na swoje cechy morfometryczne posiada wysoką odporność na degradację. Według badań przeprowadzonych w ostatnich latach przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Lublinie Jezioro Białe Włodawskie cechuje się dobrym stanem ekologicznym. Taki sam stan przypisano, uwzględniając ocenę Jednolitych Części Wód (JCW). Jeszcze kilkadziesiąt lat temu było ono zaliczane do jezior oligotroficznych (Fijałkowski 1959), a obecnie posiada cechy jeziora mezotroficznego (Kolejko 2010). Głównym zagrożeniem dla tego ekosystemu jest intensywnie rozwijającą się baza rekreacyjno-wypoczynkowa. Krukowska i in. (2010) stwierdzili znaczny wzrost obszarów zabudowanych i działek rekreacyjnych w bezpośrednim sąsiedztwie jeziora. Antropopresja związana z powyższą sytuacją wpływa i będzie coraz silniej wpływała na dalsze przekształcenia cech fizyko-chemicznych wody. Trudnym zagadnieniem jest właściwe wykorzystanie jezior jako miejsca rekreacji wypoczynku. Dochodzi bowiem do konfliktu pomiędzy powszechnym i jak najszerzym wykorzystaniem walorów, które jeziora mogą „zaoferować” wypoczywającym, a racjonalnym ich wykorzystywaniem, tak aby nie przyspieszać ich degradacji (Ptak 2012). Skutki antropopresji może zdynamizować wzrost temperatury wody, co wpłynie na gorszą zdolność do rozpuszczania różnych substancji, a to z kolei będzie decydowało o jej jakości.

PODSUMOWANIE

Zainicjowane kilka lat temu systematyczne pomiary temperatury wody i tlenu rozpuszczonego nie tylko szczegółowo charakteryzują aktualny stan jeziora w tym względzie, lecz stanowią cenne źródło informacji dla dalszych analiz. Kontynuowanie tych obserwacji w przyszłości pozwoli ocenić skalę zmian, jakim podlegają podstawowe parametry wody. Tlen rozpuszczony w wodzie jest jednym z podstawowych wskaźników świadczących o jej jakości. Jezioro Białe Włodawskie na przestrzeni kilkadziesiątu lat zmieniło swój stan troficzny, z oligotrofii na mezotrofię. Aktualnie akwen ten narażony jest na silną antropopresję. Dzięki korzystnym cechom morfometrycznym i wysokiej odporności na degradację, ciągle jednak posiada swoje wysokie walory. Chcąc utrzymać ten stan, należałoby ograniczyć wykorzystanie jeziora jako miejsca rekreacji i wypoczynku.

Jednakże z uwagi na chęć obcowania człowieka z wodą (a tym samym jak największe wykorzystanie walorów, które mogą „zaoferować” wypoczywającym jeziora) założenie takie wydaje się jedynie czysto teoretyczne. Dochodzi bowiem do konfliktu pomiędzy powszechnym a racjonalnym (tj. takim, które nie będzie przyspieszało degradacji) ich wykorzystywaniem.

SUMMARY

The article presents thermal-oxygen conditions of Lake Białe Włodawskie in the warm half-year (May–October) in the years 2012–2015. Due to its morphometric parameters, summer stratification develops in the lake. In the period analysed in the paper, the highest temperature was recorded in July 2012 (27.5°C), and the lowest at the bottom in May 2013 (4.2°C). The highest difference in temperature throughout the water column was recorded during measurements in July 2012. It amounted to 22.7°C (27.5°C at the surface and 4.8°C at the bottom). The highest mean temperature throughout the water column (determined as the mean from all of the analysed months) occurred in 2015 (9.7°C), and the lowest in 2013 (7.8°C). The highest water temperature corresponded to the highest air temperature for station Włodawa, located several kilometres north of the lake. The mean concentration of oxygen dissolved in water (as the mean from all of the analysed months) suggests that the highest value 4.7 [mgO₂ · dm⁻³] occurred in 2012, and the lowest 3.0 [mgO₂ · dm⁻³] in 2013. In vertical distribution, the maximum oxygen concentration amounted to 13.5 [mgO₂ · dm⁻³] in May 2013, and the minimum value decreased to zero multiple times. Complete lack of oxygen occurred each time in August, September, and October. It appeared the earliest in June 2013 (at a depth of 26 m), and the latest in August 2015 (at a depth of 28 m). The thickest water layer without oxygen was recorded in August 2013 already at a depth of 11 m. The studied lake is prone to strong anthropopressure. Due to favourable morphometric parameters and high resistance to degradation, however, it still maintains its high recreational values, although such a state may change in the near future in the context of increasing anthropopressure and observed climatic changes.

LITERATURA

- Adrian R., O'Reilly C. M., Zagarese H., Baines S. B., Hessen D. O., Keller W., Livingstone D. M., Sommaruga R., Straile D., Van Donk E., Weyhenmeyer G. A., Winder M., 2009: *Lakes as sentinels of climate change*, *Limnology and Oceanography*, 54, 6, 2, 2283–2297.
- Bauersachs T., Rochelmeier J., Schwark L., 2015: *Seasonal lake surface water temperature trends reflected by heterocyst glycolipid-based molecular thermometers*, *Biogeosciences*, 12, 12, 3741–3751.
- Borowiak D., Nowiński K., Barańczuk J., Marszelewski W., Skowron R., Solarczyk A., 2012: *Relationship between areal hypolimnetic oxygen depletion rate and the trophic state of five lakes in northern Poland*, *Limnological Review*, 11, 4, 135–142.
- Biedka P., 2012: *Sezonowe zmiany stężenia tlenu i potencjału oksydoredukcyjnego w hypolimnionach wybranych jezior Pojezierza Suwalsko-Augustowskiego*, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 1, 225–232.
- Choiński A., 2007: *Limnologia fizyczna Polski*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań.

- Dąbrowski M., Marszelewski W., Skowron R., 2004: *The trends and dependencies between air and water temperatures in lakes in northern Poland from 1961–2000*, Hydrology and Earth System Sciences, 8, 1, 79–87.
- Dobiesz N. E., Lester N. P., 2009: *Changes in mid-summer water temperature and clarity across the Great Lakes between 1968 and 2002*, Journal of Great Lakes Research, 35, 3, 371–384.
- Elo A.-R., Huttula T., Peltonen A., Virta J., 1998: *The effects of climate change on the temperature conditions of lakes*, Boreal Environment Research, 3, 2, 137–150.
- Fijałkowski D., 1959: *Szata roślinna jezior łączyńsko-włodawskich i przylegających do nich torfowisk*, Ann. UMCS, sec. B, 14, 3, 131–206.
- Janiec B., Turczyński M., 1988: *Wiosenno-letnia faza cyklu termicznego najgłębszych jezior Pojezierza Łączyńsko-Włodawskiego*, [w:] Z. Michalczyk, H. Wojciechowski (red.), *Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska*, Lublin.
- Katsev S., Aaberg A. A., Crowe S. A., Hecky R. E., 2014: *Recent warming of lake Kivu*, PLoS ONE, 9, 10, Article number e109084.
- Kintisch E., 2015: *Earth's lakes are warming faster than its air: First ever global survey reveals summer lake temperatures rising at an alarming rate*, Science, 350, 6267, 1449.
- Kolejko M., 2010: *Analysis of the structure of ichthyofauna of two mesotrophic lakes of Łęczna-Włodawa Lakeland*, Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przynr., 7, 138–145.
- Krukowska R., Skowronek E., Krukowski M., 2010: *Wpływ użytkowania rekreacyjnego na przemiany krajobrazu gminy Włodawa w latach 1980–2005*, Problemy Ekologii Krajobrazu PAEK, 27, 217–225.
- Kvambekk Å. S., Melvold K., 2010: *Long-term trends in water temperature and ice cover in the subalpine lake, Øvre Heimdalsvatn, and nearby lakes and rivers*, Hydrobiologia, 642, 1, 47–60.
- MacCallum S. N., Merchant C. J., 2012: *Surface water temperature observations of large lakes by optima estimation*, Canadian Journal of Remote Sensing, 38, 1, 25–45.
- Marszelewski W., 1997: *Zmiany koncentracji tlenu w jeziorach Pojezierza Mazurskiego*, [w:] A. Choiński (red.), *Wpływ antropopresji na jeziora*, Wyd. Homini, Poznań–Bydgoszcz.
- Michalczyk Z., 1998: *Stosunki wodne Pojezierza Łączyńsko-Włodawskiego. Jeziora*, [w:] M. Harsimiuk, Z. Michalczyk, M. Turczyński, *Jeziora łączyńsko-włodawskie. Monografia przyrodnicza*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Lublin, 63–66.
- O'Reilly C. M., Sharma S., Gray D. K., Hampton S. E., Read J. S., i in., 2015: *Rapid and highly variables warming of lake surface waters around the globe*, Geophysical Research Letters, 42, 24, 10773–10781.
- Pelechata A., Pelechaty M., Pukacz A., 2015: *Winter temperature and shifts in phytoplankton assemblages in a small Chara-lake*, Aquatic Botany, 124, 10–18.
- Poleszczuk G., Svobodová Z., Bucior-Kwaczyńska A., Miller T., 2014: *Turkusowe Lake (Wolin Island, Poland) – surface waters quality changes in years 1986–2010*, Ecological Chemistry and Engineering S, 21, 2, 201–214.
- Ptak M., 2012: *Jeziora Pojezierza Wielkopolsko-Kujawskiego jako baza rekreacyjno-wypoczynkowa*, Badania Fizjograficzne, A, 63, 111–120.
- Raport o stanie środowiska województwa lubelskiego w 2014 roku*, 2015, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Lublin.
- Skowron R., 2011: *Zróźnicowanie i zmienność wybranych elementów reżimu termicznego wody w jeziorach na Niżu Polskim*, Wyd. Nauk. UMK, Toruń.
- Swinton M. W., Eichler L. W., Farrell J. L., Boylen C. W., 2015: *Evidence for water temperature increase in Lake George, NY: Impact on growing season duration and degree days*, Lake and Reservoir Management, 31, 3, 241–253.

- Turczyński M., 1998: *Termika najgłębszych jezior łączynsko-włodawskich*, [w:] M. Harasimiuk, Z. Michalczyk, M. Turczyński, *Jeziora łączynsko-włodawskie. Monografia przyrodnicza*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Lublin, 105–111.
- Wojtanowicz J., 1994: *O termokrasowej genezie jezior łączynsko-włodawskich*, Ann. UMCS, sec. B, XLIX, 1–18.
- Wrzesiński D., Choiński A., Ptak M., 2015: *Effect of the North Atlantic Oscillation on the thermal characteristics of lakes in Poland*, Acta Geophysica, 63, 3, 863–883.
- Zhang Y., 2015: *Effect of climate warming on lake thermal and dissolved oxygen stratifications: A review*, Advances in Water Science, 26, 1, 130–139.