

Mariusz Ptak¹, Bogumił Nowak²

¹Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań; e-mail: marp114@wp.pl

²IMGW-PIB Oddział we Wrocławiu, ul. Dąbrowskiego 174/176, 60-594 Poznań; e-mail: rugosa@op.pl

WARUNKI TERMICZNO-TLENOWE JEZIORA LUCIEŃSKIEGO (CENTRALNA POLSKA)

Ptak M., Nowak B. **Термические и кислородные условия оз. Люциенского в Центральной Польше.** Представлен анализ термических и кислородных условий оз. Люциенского, расположенного в Центральной Польше. В 2012–2015 гг. в период с мая по октябрь, были проведены подробные измерения температуры воды и растворенного кислорода в глубочайшей точке озера (19 м). За анализируемый период, самую высокую температуру воды отмечено в июне 2014 г. под поверхностью зеркала озера (25,7°C), самую низкую же – в мае 2013 г. (6,2°C). Кривая распределения кислорода за анализируемый период является клиноградой, где концентрация растворенного кислорода уменьшается по глубине. Данное распределение кислорода в нижних частях озера нужно считать очень неблагоприятным. В месяцах июль и август за анализируемый период, на глубине 6–7 м (около 2/3 максимальной глубины), присутствовали практически анаэробные условия – содержание растворенного кислорода в воде было ниже 0,3 мг О₂ · дм⁻³.

Ptak M., Nowak B. **Thermal-oxygen conditions in Lake Lucieńskie (Central Poland).** The paper presents the analysis of thermal-oxygen conditions in Lake Lucieńskie located in central Poland. In the years 2012–2015, in the period from May to October, detailed measurements of water temperature and dissolved oxygen were performed in the deepest place in the lake (19 m). In the analysed period, the highest water temperature was recorded in June 2014 under the water surface (25.7°C). The lowest temperature was recorded in the deepest zone of the lake in May 2013 (6.2°C). The oxygen curve in all of the analysed months take the form of a clinograde, where dissolved oxygen concentration decreases with depth. The distribution of oxygen in the lower parts of the lake is considered very unfavourable. In July and August in the analysed period, at a depth of 6–7 m (approximately 2/3 of the maximum depth), practically anaerobic conditions occurred – the content of oxygen dissolved in water decreased below 0.3 mg O₂ dm⁻³.

Słowa kluczowe: jeziora, temperatura, warunki termiczno-tlenowe, anoksja

Ключевые слова: озера, температура, термические и кислородные условия, аноксия

Key words: lakes, temperature, thermal-oxygen conditions, anoxia

Zarys treści

Представлено анализ условий термично-тленовых Jeziora Lucieńskiego położonego w centralnej Polsce. W latach 2012–2015, w okresie od maja do października, dokonano szczegółowych pomiarów temperatury wody i tlenu rozpuszczonego w najgłębszym miejscu jeziora (19 m). W analizowanym okresie najwyższą temperaturę wody odnotowano w czerwcu 2014 roku pod powierzchnią lustra jeziora (25,7°C), najniższą natomiast – w najgłębszej części jeziora w maju 2013 roku (6,2°C). Krzywa tlenu we wszystkich analizowanych miesiącach przyjmuje postać klinogradi, gdzie stężenie tlenu rozpuszczonego obniża się wraz z głębokością. Rozkład tlenu w dolnych częściach jeziora należy uznać jako bardzo niekorzystny. W lipcu i sierpniu w analizowanym okresie, na głębokości 6–7 m (około 2/3 maksymalnej głębokości), występowały praktycznie warunki beztlenowe – zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie spadła poniżej 0,3 mg O₂ · dm⁻³.

kości), występowały praktycznie warunki beztlenowe – zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie spadła poniżej 0,3 mg O₂ · dm⁻³.

WSTĘP

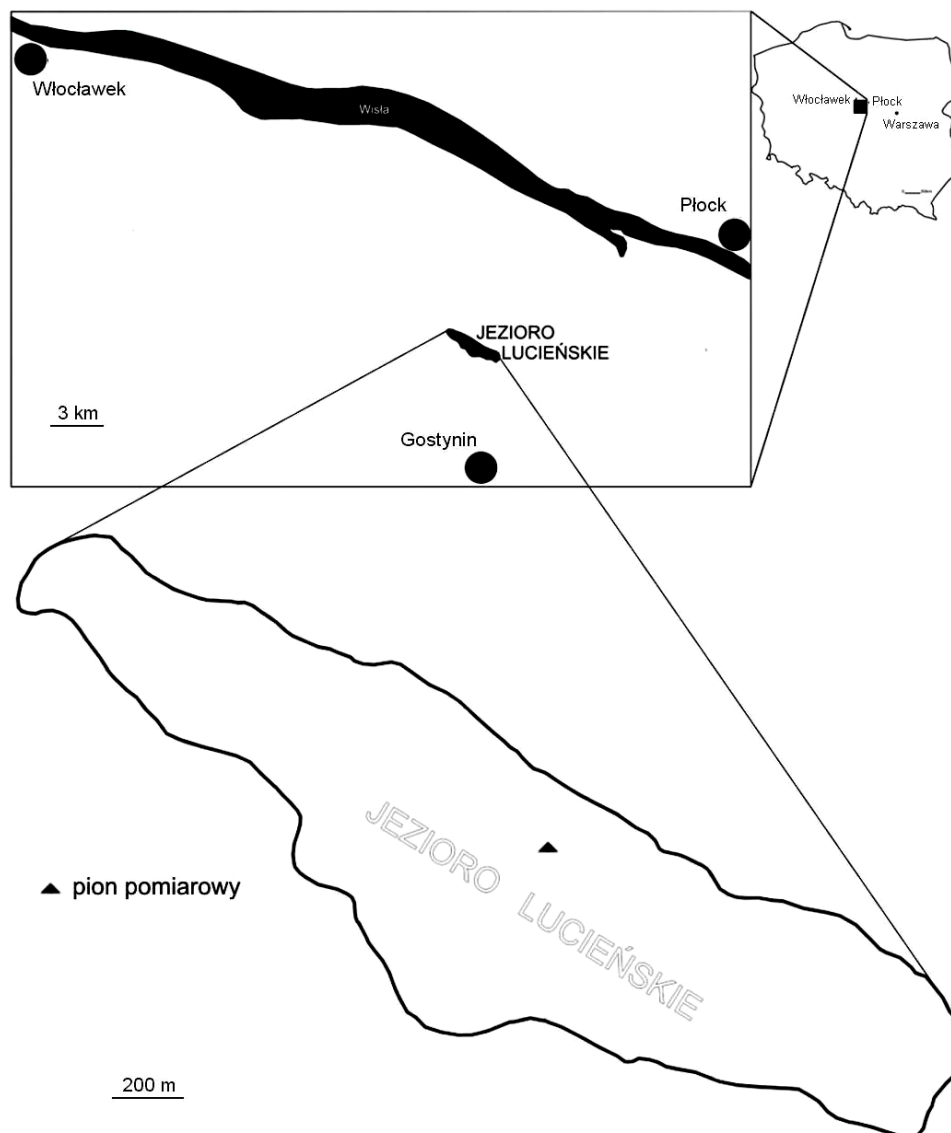
Jeziora stanowią w Polsce istotny element środowiska przyrodniczego, mający wpływ na wiele aspektów jego funkcjonowania. Naturalne akweny występują głównie w obrębie trzech wielkich pojezierzy: Pomorskiego, Mazurskiego i Wielkopolsko-Kujawskiego, wydzielanych w związku z zasięgiem ostatniego zlodowacenia. Na południe od niego większa grupa naturalnych jezior występuje na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim. Ponadto RZĘTAŁA i JAGUŚ (2012) na południe od linii ostatniego zlodowacenia, tj. na Wy-

żynie Śląskiej, wydzieli jeszcze jedno pojezierze, lecz jeziora tam istniejące są pochodzenia antropogenicznego. Rola jezior jest widoczna zarówno w przebiegu procesów naturalnych (zmiana warunków topoklimatycznych, zmiana przepływu rzek itd.), jak i sztucznych, związanych z działalnością człowieka (wykorzystanie do nawodnień rolniczych, do cykli produkcyjnych w przemyśle itd.). Jeziora, z uwagi na swoje cechy, są bardzo podatne na wszelkie zmiany odnoszące się do ilości wody w nich zmagazynowanych (osuszenia, retencja) jak i cech fizyko-chemicznych (zanieczyszczenia).

W dobie powszechnej transformacji środowiska przyrodniczego, jego najbardziej naturalnym komponentem pozostają lasy. MAŁEK i GAWĘDA (2006) wskazują, że jednym z ważniejszych zasobów leśnych jest woda. Szczególnie istotna jest wysoka zdolność reten-

cyjna ekosystemów leśnych. Jak wspomina MILER (2008), dzięki retencji leśnej nie tylko następuje opóźnienie odpływu, ale także poprawa jakości wody (poprzez wydłużenie czasu na samooczyszczenie) oraz regulacja transportu rumowiska. W przypadku obszarów nizinnych w Polsce, najbardziej preferowanym układem dla wypoczynku i rekreacji jest właśnie bliskość lasów i jezior (PTAK, 2012).

Utrzymanie jezior w co najmniej obecnym stanie lub podjęcie działań rekultywacyjnych na najbardziej zdegradowanych akwenach, wymaga dysponowania szczegółowymi danymi dotyczącymi różnych aspektów ich funkcjonowania. Informacje takie są cenne zwłaszcza w przypadku obiektów znajdujących się na obszarach chronionych. Takim przykładem może być Jez. Lucieńskie, leżące na terenie Włocławskiego Parku Krajobrazowego w centralnej Polsce (rys. 1, fot. 1).



Rys. 1. Lokalizacja obiektu badań
 Рис. 1. Местоположение исследуемого объекта
 Fig. 1. Location of the study area



Fot. 1. Jezioro Lucieńskie –
widok ogólny (fot. B.
Nowak)
Фот. 1. Озеро Люциен-
ское – общий вид (фот.:
Б. Новак)
Photo 1. Lake Lucieńskie –
general view (phot. by
B. Nowak)

Najcenniejsze przyrodniczo tereny, przylegające bezpośrednio do Jeziora Lucieńskiego oraz część samego jeziora (trzciniowiska) zostały włączone w granice dwóch rezerwatów: „Lucień” oraz „Komory”. Cały akwen wraz z pasem przybrzeżnym, zgodnie z zarządzeniem Wojewody Płockiego (15/98 z dnia 27.04.1998), został dodatkowo objęty ochroną wynikającą z nadania mu statusu zespołu przyrodniczo-krajobrazowego.

Celem pracy jest analiza przebiegu oraz zmian warunków termicznych i tlenowych Jeziora Lucieńskiego w latach 2012–2015.

MATERIAŁY I METODY

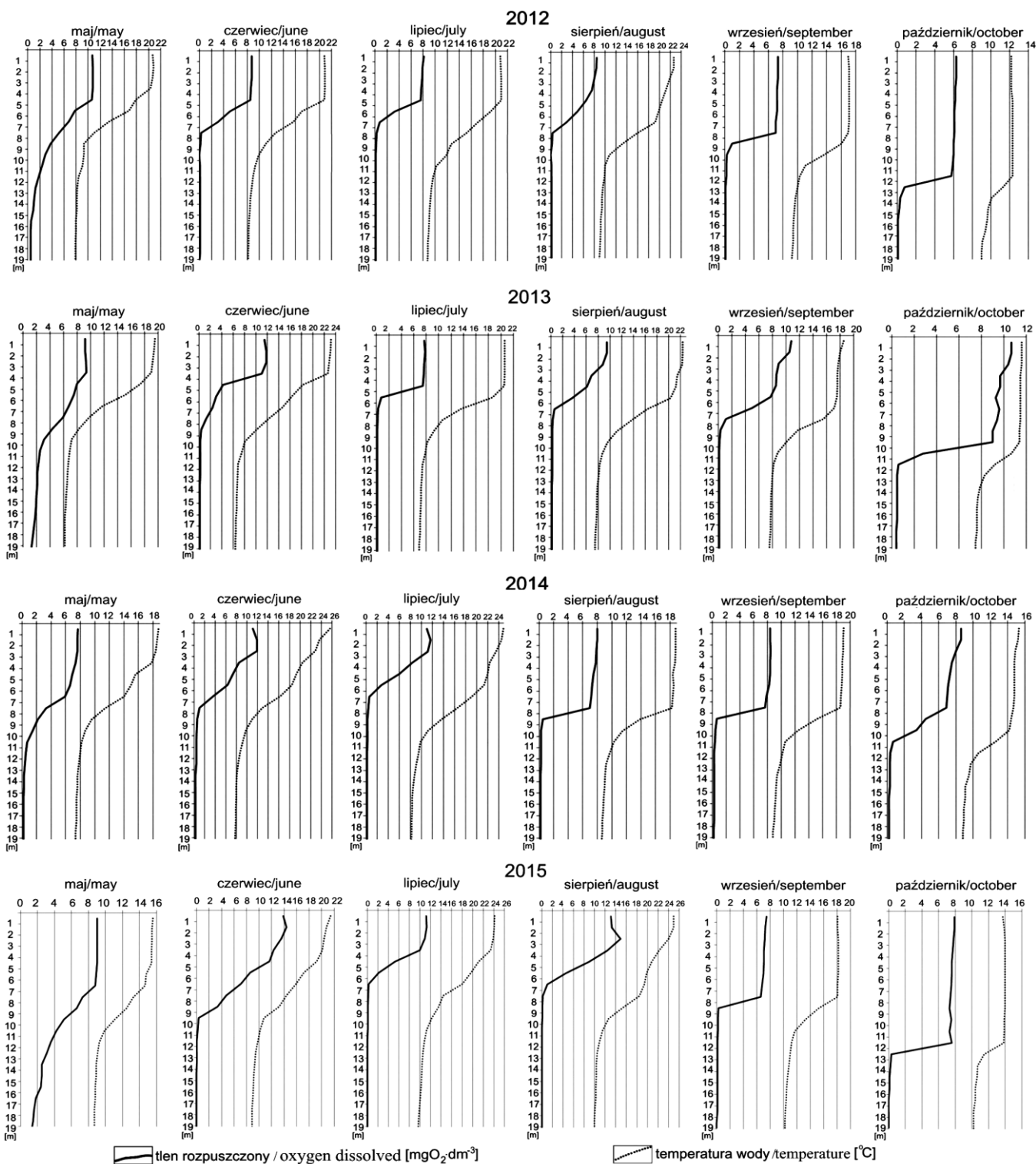
W pracy wykorzystano dane dotyczące pomiarów stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie [$\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$] oraz temperatury wody [$^{\circ}\text{C}$], przeprowadzone przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB). Pomiarów stężenia tlenu i temperatury wody prowadzone były w półroczu letnim, tj. od maja do października – jednorazowo w każdym z tych miesięcy (łącznie 24 razy). Same pomiary prowadzone były co 1 m, w najgłębszym miejscu jeziora (19 m). W ten sposób uzyskano bardzo szczegółowe dane dotyczące rozkładu obu parametrów (łącznie w analizowanym wieloleciu 912 rekordów). Pomiarów dokonywano przy użyciu sondy YSI Professional oraz YSI ProOdo.

WYNIKI I DYSKUSJA

Jezioro Lucieńskie, z uwagi na swoje parametry morfometryczne, jest jeziorem stratyfikowanym, co oznacza, że są w nim wykształcone trzy charakterystycz-

ne strefy. Strefy te, poprzez swoje cechy, wpływają na funkcjonowanie jeziora. Epilimnion mający kontakt z otoczeniem ma temperaturę wody zbliżoną do temperatury powietrza i woda ta jest dobrze natleniona. W strefie przejściowej, a więc w metalimnionie, dochodzi do gwałtownego spadku zarówno temperatury, jak i zawartości tlenu. Warstwa najniższa, tj. hypolimnion, z uwagi na brak kontaktu z wodami powierzchniowymi, charakteryzuje się najniższą temperaturą i niskimi stężeniami tlenu. Przebieg obu charakterystyk przedstawiono na rys. 2.

Najwyższą temperaturę wody odnotowano w czerwcu 2014 roku pod powierzchnią lustra jeziora: $25,7^{\circ}\text{C}$, najniższą natomiast – w najgłębszej części jeziora w maju 2013: $6,2^{\circ}\text{C}$. Stratyfikacja w Jez. Lucieńskim nie przyjmuje pełnej formy: tzn. nie odnotowano sytuacji, w której temperatura wody w najgłębszej części zbiornika osiągałaby 4°C , co odpowiada jej największej gęstości. Analizując profil termiczny omawianego jeziora jako średnią z pomiarów na wszystkich głębokościach, można stwierdzić, że w ciągu zaledwie czterech lat widoczne są znaczne różnice w rozkładzie temperatury: największa różnica miała miejsce w lipcu i wyniosła $2,6^{\circ}\text{C}$. Jak wynika z rys. 2, zmienność ta była podyktowana zmianami zachodzącymi w przypowierzchniowej warstwie wody, na którą z kolei wpływały czynniki klimatyczne. Obserwowany wzrost temperatury powietrza w istotny sposób wpływa na termikę jezior. WRZEŚIŃSKI, CHOIŃKI i PTAK (2015) stwierdzili, że wzrost temperatury wód jeziornych jest powszechny w całym pasie pojeziernym północnej Polski. Wnioski te dotyczą wód powierzchniowych na podstawie pomiarów temperatury prowadzonych na głębokości 0,4 m. Za deficytowe należy ciągle uznać informacje na te-



Rys. 2. Rozkład tlenu rozpuszczonego i temperatury wody w analizowanym pionie Jeziora Lucieńskiego
 Рис. 2. Распределение растворенного кислорода и температуры воды в анализируемой вертикали оз.
 Люциенского

Fig. 2. Distribution of dissolved oxygen content and water temperature in the depth profile of Lake Lucieńskie

mat zmian temperatury wody w głębszych partiach jezior, bazujących na systematycznych pomiarach. Każdorazowe dodanie nowych akwenów, położonych w różnych częściach kraju będzie przybliżyło lepsze poznanie tego zagadnienia.

SKOWRON (2011), analizując długoterminowe zmiany termiki Jez. Gopło (oddalonego o około 70 km na zachód od rozpatrywanego jeziora) stwierdził, że miąższość epilimnionu zmniejszyła się z około 10 m na początku lat '70. XX wieku do głębokości 8,2 m

notowanej obecnie. Wypływanie dotyczyło także meta- i hypolimnionu. Również w przypadku Jez. Lucieńskiego, zainicjowane pomiary pozwolą w perspektywie dłuższego czasu na zaobserwowanie zachodzących zmian termicznych.

Temperatura wody w jeziorach należy do podstawowych parametrów wpływających na ich funkcjonowanie. Decyduje m. in. o występowaniu zjawisk lodowych, gęstości wody, procesów biologicznych, rozpuszczaniu gazów itd. Temperatura wykazuje ścisły związek z tlenem: jego rozpuszczalność maleje wraz z jej wzrostem. W skrajnych przypadkach, w okresie letnim w wyniku deficytów tlenu może nastąpić tzw. zjawisko przyduszy, czyli wymierania organizmów aerobowych. Tlen rozpuszczony w wodzie jest jednym z głównych parametrów określających jej jakość (TERZHEVIK et al., 2009). Wielkość natlenienia wody jest uzależniona od stanu troficznego i zanieczyszczenia. W jeziorach tlen zużywany jest m. in. do mineralizacji materii organicznej, stąd też, w sytuacjach, gdy charakteryzują się one wysokim stopniem trofii, mogą występować jego deficyty.

CHOIŃSKI (2006) zauważa, że w obrębie dużych kompleksów leśnych obieg wody ma charakter zbliżony do naturalnego. Z kolei ŻURKOWSKI (1999) stwierdza, że lasy stanowią dla zbiorników wodnych barierę biogeochemiczną. Dlatego należałoby oczekiwać, iż ich położenie na obszarach leśnych lub w ich najbliższym sąsiedztwie będzie wpływało na zachowanie naturalnych cech jezior (lub cech do takich zbliżonych). TYSZKA (1995) dochodzi do wniosku, że pomiary hydrometryczne prowadzone na terenach leśnych, z uwagi na mniejszy udział czynników antropogenicznych, należałoby traktować jako monitoring zmian klimatycznych, a nie lokalnych zakłóceń. Powyższych stwierdzeń nie można odnieść do analizowanego w pracy przypadku. Krzywa tlenowa we wszystkich rozpatrywanych miesiącach przyjmuje postać klinogradi, gdzie stężenie tlenu rozpuszczonego maleje wraz z głębokością. Krzywa taka jest typowa dla jezior silnie eutroficznym (PEŁECHATA i in., 2009). Jako bardzo niekorzystny należy uznać rozkład tlenu w dolnych partiach akwenu. W lipcu i sierpniu analizowanego okresu od głębokości 6–7 m (około 2/3 maksymalnej głębokości) panowały w zasadzie warunki beztlenowe: zawartość tlenu spadała od $0,3 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ do $0,1 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Deficyty tlenu są więc znaczne. W pozostałych miesiącach strefa z lepszym natlenieniem warstwy wody sięgała niżej (rys. 2). W latach wcześniejszych nad dnem stwierdzono obecność siarkowodoru (CYDZIK, SOSZKA, 1988). Według obecnego systemu oceny jakości wody – stan JCW (jednolitych części wód), został on określony jako zły (<http://www.wios.warszawa.pl>).

Jezioro Lucieńskie pomimo bezpośredniej bliskości lasów, znajdowało się pod silnym oddziaływaniem człowieka. Lasy odgrywają istotną rolę ochronną w przypadku zanieczyszczeń ze źródeł powierzchniowych, np. spływających z pól. Ich rola jako bufora w stosunku do zagrożeń punktowych jest znacznie ograniczona. Do tej problematyki nawiązują m. in. CHOIŃSKI i PTAK (2013). Analizując dwa jeziora położone na terenach leśnych, jednocześnie w parkach narodowych, stwierdzili, że docierające do nich zanieczyszczenia pochodzą z górnych części zlewni.

W wyniku zrzutu ścieków do Skrwy Lewej (rzeki zasilającej Jez. Lucieńskie) z Gostynina, podjęto decyzję o regulacji stosunków wodnych na tym obszarze, mających wyeliminować źródło degradacji jeziora. W latach 1982–1993 rzeka ta omijała jezioro, płynąc na wschód od niego. Po uruchomieniu oczyszczalni ścieków w Gostyninie, jakość wody rzecznej uległa poprawie. Od roku 1994 Skrwa Lewa ponownie zasilą Jez. Lucieńskie podczas stanów średnich i wysokich (BRYKAŁA, 2009). Jednakże, jak zauważają CYDZIK, SOSZKA i KUDELSKA (1992), skutki wieloletniego zanieczyszczenia wody analizowanego jeziora nadal będą widoczne w jej jakości, co należy wiązać ze stopniowym uwalnianiem szkodliwych związków zdeponowanych w osadach dennych.

Specyficzną cechą jezior jest wysoka zdolność akumulacji energii i materii (LANGE, 1993). Ta druga właściwość powoduje, iż łatwo dochodzi do depozycji m. in. związków biogennych, które mogą następnie być głównym źródłem degradacji jeziora. Dobrze ilustrują to badania przeprowadzone przez SOBZYŃSKIEGO i JONIAKA (2009) na Jeziorze Góreckim, gdzie pomimo odciążenia zewnętrznych zagrożeń, jego trofia ciągle pozostaje na wysokim poziomie. Związki fosforu i azotu, uwalniane z powierzchniowej warstwy osadów, doprowadzały do obfitych zakwitów glonów.

WNIOSKI

Jezioro Lucieńskie, z uwagi na swoje parametry morfometryczne, ma dobrze wykształcone warstwy termiczne. W analizowanym okresie najwyższa temperatura wody wynosiła $25,7^\circ\text{C}$, najniższa natomiast: $6,2^\circ\text{C}$. Krzywa rozkładu tlenu we wszystkich badanych miesiącach przyjmuje postać klinogradi. Rozkład tlenu w dolnych częściach jeziora należy określić jako bardzo niekorzystny. W lipcu i sierpniu w analizowanym okresie, na głębokości 6–7 m (około 2/3 maksymalnej głębokości), występowały praktycznie warunki beztlenowe: zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie spadała poniżej $0,3 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$.

Zapoczątkowane systematyczne pomiary temperatury wody i tlenu rozpuszczonego na Jez. Lucień-

kim, z uwagi na jego lokalizację w bezpośrednim sąsiedztwie dużego kompleksu leśnego, stanowią cenne źródło informacji na temat funkcjonowania zbiorników wodnych w takim środowisku. Kontynuacja badań na podstawie kilkunasto-kilkudziesięcioletnich szczegółowych danych, pozwoli ustalić wpływ obserwowanych zmian klimatycznych na ten ekosystem. Kluczowa będzie odpowiedź na pytanie, czy specyfika warunków topoklimatycznych lasu wpływa (a jeśli tak, to w jakim stopniu) na odchylenia od powszechnie obserwowanych trendów. Informacje te będą się odnosiły nie tylko do strefy powierzchniowej, ale też do całego profilu głębokościowego.

LITERATURA

- Brykała D., 2009: Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie odpływu rzeczno-głębokościowego w dorzeczu Skrzywy Lewej. IGI PAN, Prace Geogr., 221. Warszawa: 142 s.
- Choiński A., 2006: Katalog jezior Polski. UAM, Poznań: 599 s.
- Choiński A., Ptak M., 2013: Jeziorność polskich parków narodowych. Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody, 32 (3): 59–67.
- Cydzik D., Soszka H., 1988: Atlas stanu czystości jezior Polski: badanych w latach 1979–1983. WG, Warszawa: 610 s.
- Cydzik D., Soszka H., Kudelska D., 1992: Atlas stanu czystości jezior Polski: badanych w latach 1984–1988. IOŚ, Warszawa: 636 s.
- Lange W., 1993. Jezioro jako terytorialny system przyrodniczy. W: Lange W. (red.): Metody badań fizyczno-limnologicznych. Uniwersytet Gdański: 7–19.
- Małek S., Gawęda T., 2006: Charakterystyka chemiczna źródeł Potoku Dupniańskiego w Beskidzie Śląskim. Sylwan, 3: 39–46.
- Miler A. T., 2008. Las i woda – wybrane zagadnienia. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej, 10, 2, 18: 24–32.
- Pełechata A., Walna B., Pełechaty M., Kaczmarek L., Ossowski P., Lorenc M., 2009: Sezonowa dynamika zbiorowiska glonów i sinic planktonowych Jeziora Góreckiego na tle cech fizyczno-chemicznych wód powierzchniowych i stopnia rozwoju makrofitów. W: Walna B., Kaczmarek L., Lorenc M., Dondajewska R. (red.): Wielkopolski Park Narodowy w badaniach przyrodniczych. UAM, Stacja Ekologiczna w Jeziorach, Poznań-Jeziory: 27–42.
- Ptak M., 2012: Jeziora Pojezierza Wielkopolsko-Kujawskiego jako baza rekreacyjno-wypoczynkowa. Bad. Fizjogr., ser. A, 63: 111–120.
- Rzętała M., Jaguś A., 2012. New lake district in Europe: Origin and hydrochemical characteristics. Water and Environment Journal, 26, 1: 108–117.
- Skowron R., 2011: Zróżnicowanie i zmienność wybranych elementów reżimu termicznego wody w jeziorach na Niżu Polskim. WN UMK, Toruń: 345 s.
- Sobczyński T., Joniak T., 2009: Co zagraża ekosystemowi Jeziora Góreckiego? W: Walna B., Kaczmarek L., Lorenc M., Dondajewska R. (red.): Wielkopolski Park Narodowy w badaniach przyrodniczych. UAM, Stacja Ekologiczna w Jeziorach, Poznań-Jeziory: 51–62.
- Terzhevik A., Golosov S., Palshin N., Mitrokhov A., Zdorovennov R., Zdorovennova G., Kirillin G., Shipunova E., Zverev I., 2009: Some features of the thermal and dissolved oxygen structure in boreal, shallow ice-covered Lake Vendyurskoe, Russia. Aquat. Ecol., 43 (3): 617–627.
- Tyszka J., 1995: Rola i miejsce lasu w kształtowaniu stosunków wodnych w zlewni rzecznej. Sylwan, 11: 67–80
- 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
- Żurkowski M., 1999: Gospodarka leśna nad brzegami jezior. Głos Lasu, 11: 18–21.
- www.wios.warszawa.pl