

## CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH PARAMETRÓW FIZYCZNO-CHEMICZNYCH JEZIORA GOSTOMIE (PUSZCZA NOTECKA)

MARIUSZ PTAK<sup>1</sup>, BOGUMIŁ NOWAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

<sup>2</sup> Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy,  
ul. Podleśna 61, 01-673 Warszawa

**Abstract:** The paper presents results of observations from the period 2012–2013 concerning selected physical and chemical water parameters in Lake Gostomie (Noteć Forest, western Poland). They covered: surface water temperature, water temperature in the depth profile, dissolved oxygen concentration in the depth profile, electrolytic conductivity and water transparency. In spite of a short observation period, their detailed record constitutes a reference for comparative research in the future. Collecting similar information over the upcoming years will permit the assessment of the scale and rate of transformations of Lake Gostomie.

**Keywords:** lakes monitoring, water temperature, dissolved oxygen, electrolytic conductivity, water transparency

### WSTĘP

Jeziora stanowią specyficzne systemy, które bardzo dynamicznie reagują na wszystkie procesy i zjawiska zachodzące zarówno w obrębie ich zlewni, jak i w nich samych. Uchwycenie skali przemian, jakim są poddane, wymaga prowadzenia ich szczegółowego monitoringu. W Polsce wieloletnie zestawienia w tym zakresie są prowadzone m.in. przez Wojewódzkie Inspektoraty Środowiska (WIOŚ) czy Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB). W odniesieniu do tej drugiej instytucji treść zbieranych danych o ekosystemach jeziornych jest dość zróżnicowana, a stwierdzenie to odnosi się m.in. do szczegółowości zestawień czy zmieniającej się liczby obserwowanych jezior. Największy zakres obserwacji przypada na lata 70. i 80. XX w. Aktualnie poza kontynuacją standardowych obserwacji (pomiaru stanów wody, temperatury wód powierzchniowych, występowanie zjawisk lodowych) prowadzi się krótkookresowe (kilkusezonowe) pomiary obejmujące szerszy zakres parametrów, w tym m.in. rozkład temperatury w pionie czy właściwości fizyczno-chemiczne wód jeziornych. Przykładem realizacji takiego podejścia jest jezioro Gostomie.

Funkcjonowanie ekosystemów jeziornych jest uzależnione od wielu współdziałających równoległe składowych. Trudno w jednoznaczny sposób dokonać

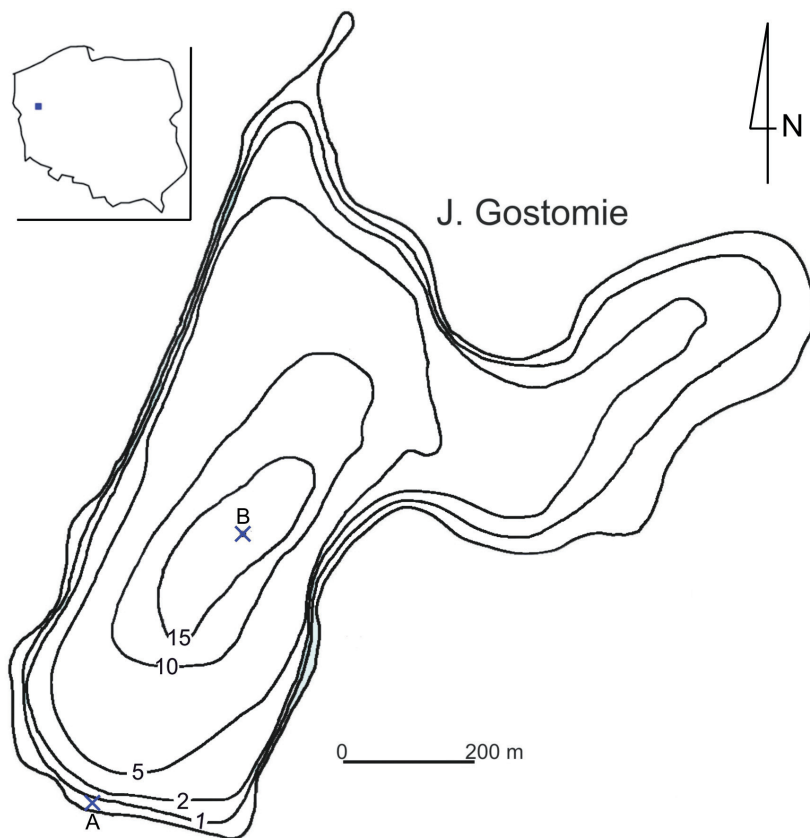
ich hierarchizacji i stwierdzić, która z nich ma podstawowe znaczenie dla procesów i zjawisk zachodzących w jeziorach. Chętnie podejmowanymi zagadnieniami w limnologii są m.in. te związane z temperaturą (Katz i in. 2011; Naumenko, Guzivaty, Karetnikov 2012; Dokulil 2014; Layden, Merchant, Maccallum 2015; Efremova, Pal'shin, Belashev 2016) czy warunkami tlenowymi (Bai i in. 2016; Ptak, Nowak 2016; Missaghi, Hondzo, Herb 2017; Rhodes i in. 2017). Temperatura wody decyduje m.in. o mikcji, typie troficznym, warunkach hydrobiologicznych. Największe możliwości analityczne dają długoletnie ciągi danych, na podstawie których można określać tendencje zmian czy związki, współzależność z innymi komponentami środowiska. Jeziora takie stanowią jednak niewielki zbiór na tle wszystkich akwenów, dlatego nawet kilkuletnie obserwacje parametrów fizyczno-chemicznych wód jeziornych są cenną informacją o zmianach zachodzących w środowisku wodnym. Pogląd ten skłonił autorów do przedstawienia wyników badań przeprowadzonych na jeziorze Gostomie w latach 2012–2013.

Celem pracy jest prześledzenie sezonowych zmian wybranych parametrów fizyczno-chemicznych wód jeziora Gostomie i ich ocena w kontekście zlewni jeziora oraz panujących tam warunków meteorologicznych.

## OBSZAR I METODY BADAŃ

Jezioro Gostomie jest położone w zachodniej Polsce na terenie Puszczy Noteckiej (ryc. 1). Według podziału regionalnego Polski (Kondracki 2000) analizowany akwen znajduje się na obszarze Kotliny Gorzowskiej (315.33), która jest największym mezoregionem Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej. Jest to jezioro polodowcowe rynnowe o powierzchni 54 ha, objętości masy jeziornej równej 3610,0 tys. m<sup>3</sup>, głębokości średniej 6,6 m i głębokości maksymalnej 19,4 m (Choiński, Ptak 2012). Główny basen jeziora ma południkowe wydłużenie, od którego w północnej części odchodzi odnoga skierowana w kierunku wschodnim. Zlewnia jeziora ma charakter leśny z niewielkim udziałem gruntów rolnych. Nad brzegami jeziora znajduje się miejscowość Gościm, wokół której w ciągu ostatnich lat nastąpił wyraźny rozwój zabudowy lotniskowej.

W pracy wykorzystano dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB). Dotyczyły one pomiaru temperatury wody (powierzchniowej i głębszych warstw), tlenu rozpuszczonego, przewodności elektrolitycznej właściwej oraz przezroczystości. W przypadku temperatury powierzchniowej pomiary przeprowadzono co godzinę na głębokości 0,4 m przy brzegu w południowej części akwenu (ryc. 1). Pozostałe obserwacje prowadzono raz w miesiącu w najgłębszym miejscu jeziora na głębokościach co 1 m. Obserwacjami comiesięcznymi objęto półrocze letnie



Ryc. 1. Lokalizacja obiektu badań oraz punktów pomiarowych. Plan batymetryczny za: Choński, Ptak (2014)

- A – miejsce pomiaru temperatury powierzchniowej,
- B – miejsce pomiaru pozostałych parametrów analizowanych w pracy.

Figure 1. Location of the research subject and the measuring points. The bathymeter plan like in Choński, Ptak (2014).

- A – point of measuring the surface temperature,
- B – point of measuring the remaining parameters analysed in the work.

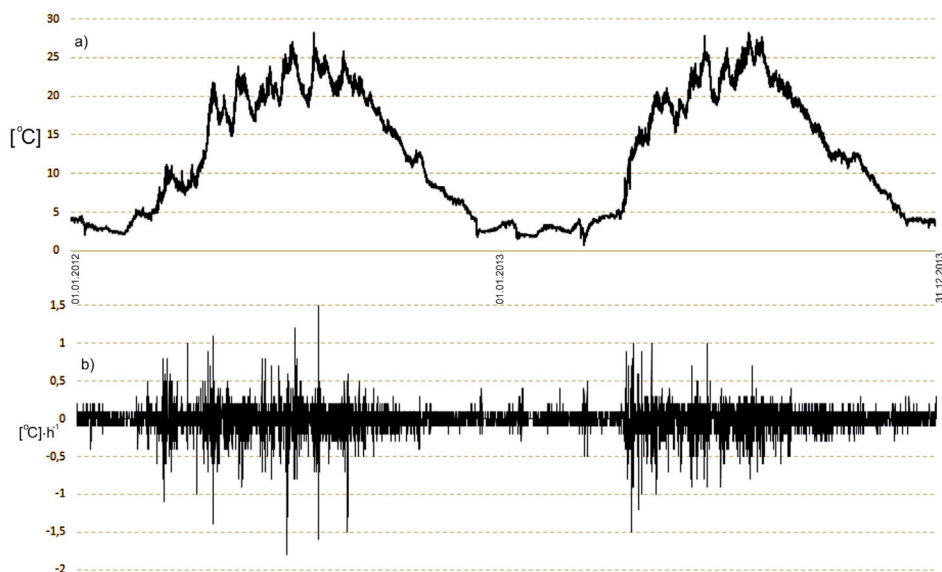
(maj–październik) w latach 2012 i 2013. Lata te, uwzględniając wartości parametrów z wielolecia 2006–2015 z innych jezior Polski, gdzie podobne badania są prowadzone już od dłuższego czasu, można scharakteryzować jako normalne. Zarówno charakterystyczne stany, jak i temperatura wody z tego okresu mieściły się w strefie wartości średnich, bez wyraźnych odstępstw od normy (Biuletyn PSHM). Pomiar w głębozku wykonano przy użyciu sondy termiczno-tlenowej YSI ProOdo, konduktometru Elmetron CC-401 oraz krążka Secchiego standardowej wielkości. Pomiar przy wodowskazie prowadzono za pomocą rejestratora typu OTT Orpheus mini.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Powierzchniowa temperatura wody w analizowanych latach reagowała w sposób charakterystyczny dla jezior niżowych (ryc. 2), niezakłóconych jakimikolwiek czynnikami (zarówno naturalnymi, np. intensywne zasilanie podziemne, czy sztucznymi, np. zanieczyszczenia termiczne).

Po sezonie zimowym następował wzrost temperatury, która swoje maksimum osiągała w lipcu. Po tym okresie energia cieplna zakumulowana w masie wodnej była oddawana do otoczenia, powodując sukcesywny spadek temperatury i zamknięcie rocznego cyklu. Co warto podkreślić, faza wzrostu temperatury wody była bardziej dynamiczna niż faza spadku, która permanentnie (bez większych odchyżeń rzędu kilku stopni) obniżała się (ryc. 2). Stwierdzono, że przebieg temperatury w pierwszym roku obserwacji stanowi „lustrzane odbicie” dla roku kolejnego. Zmiany temperatury wody w układzie godzinowym cechowały się małą intensywnością, oscylując głównie w zakresie  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Jedynie w pojedynczych przypadkach zmiany te osiągały wartość powyżej  $1,0^{\circ}\text{C}$ . Sytuacje takie mogły być spowodowane silnymi podmuchami wiatru bądź intensywnym, krótkotrwałym opadem.

Rozkład termiczno-tlenowy w najgłębszym miejscu jeziora oraz przewodność elektrolityczną właściwą (mierzoną na głębokości 0,4 m pod powierzchnią



Ryc. 2. Godzinowy przebieg temperatury wody powierzchniowej w jeziorze Gostomie (a) i jej zmiany (b) w latach 2012–2013

Figure 2. Hourly readings of the surface water temperature in Lake Gostomie (a) and its changes (b) in 2012–2013.

wody) pokazano na rycinie 3. Na rycinie 4 przedstawiono gradient temperatury wody w pionie, a na rycinie 5 zestawiono zmiany przezroczystości wody.

Porównując poszczególne miesiące z obu lat, odnotowano pewne zróżnicowanie. Dotyczy ono wszystkich analizowanych parametrów, tj.: temperatury, tlenu rozpuszczonego, przewodności elektrolitycznej i przezroczystości wody.

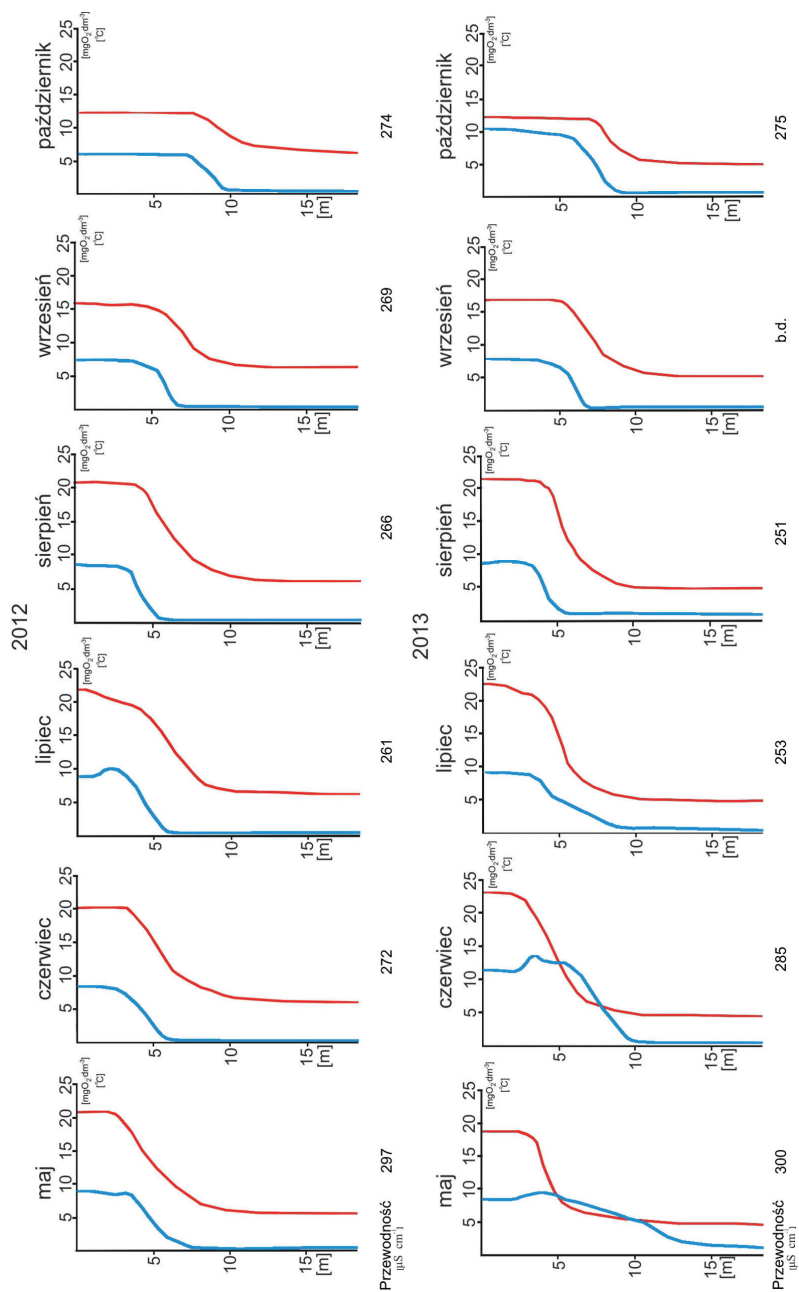
Temperatura wody w pionie dla całego analizowanego okresu charakteryzowała się rozwarstwieniem termicznym, które w październiku ulegało stopniowemu zacieraniu. Zasięg poszczególnych stref (epi-, meta- i hypolimnionu) był zmienny i ulegał transformacji wraz z postępującym pochłanianiem energii cieplnej przez masę wodną. Najwyższą średnią temperaturę pionu odnotowano w lipcu i sierpniu 2012 r. ( $11,2^{\circ}\text{C}$ ), a najniższą w październiku 2013 r. ( $8,3^{\circ}\text{C}$ ). W sierpniu – miesiącu, w którym jest najbardziej widoczne rozwarstwienie termiczne – średnie temperatury poszczególnych stref wynosiły: dla epilimnionu:  $20,5^{\circ}\text{C}$  i  $21,2^{\circ}\text{C}$ , dla metalimnionu:  $12,4^{\circ}\text{C}$  i  $10,1^{\circ}\text{C}$  oraz dla hypolimnionu  $6,6^{\circ}\text{C}$  i  $5,2^{\circ}\text{C}$ . Najwyższy gradient temperatury odnotowano w sierpniu 2013 r. – w metalimnionie pomiędzy 4 m a 5 m głębokości wyniósł  $7,1^{\circ}\text{C}$ . Najmniejsze zróżnicowanie spadku temperatury odnotowano w hypolimnionie. W roku w analogicznych miesiącach i na porównywalnych głębokościach notowano znaczne zróżnicowanie gradientu temperatury.

Do rozkładu temperatury wody w pionie nawiązywał rozkład tlenu rozpuszczonego. Dla większości spośród analizowanych miesięcy krzywa tlenowa przyjmowała postać klinogrody. Wyjątkiem był maj 2013 r. (krzywa tlenowa była zbliżona do ortogrody) oraz czerwiec 2013 r. (krzywa tlenowa zbliżona do heterogrody dodatniej). Średnie natlenienie wody w całym pionie wahało się od  $1,9 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  (sierpień 2012) do  $5,3 \text{ mg O}_2 \cdot \text{C dm}^{-3}$  (maj 2013). Nasycenie wody tlenem było zmienne, a najmniej korzystną sytuację odnotowano w lipcu i sierpniu, kiedy strefa nasycenia o wartości  $\leq 50\%$  występowała już od metra głębokości. W strefie najgłębszej stwierdzono wówczas całkowite deficyty tlenu.

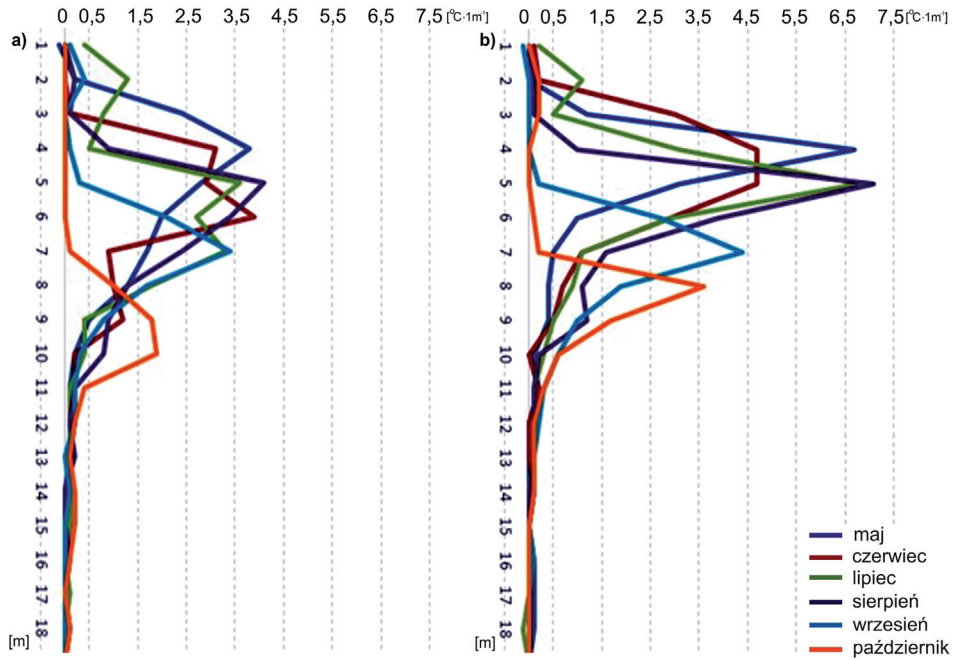
Przewodność elektrolityczna właściwa w analizowanych latach zmieniała się w zakresie  $251\text{--}300 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  (ryc. 3). Średnio dla zbadanego okresu wynosiła  $273 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Najwyższe wartości tego parametru notowano wiosną, a najniższe w czasie miesięcy letnich. Jest to najprawdopodobniej wynik przyswojenia części substancji rozpuszczonych w wodzie przez fitoplankton w okresie występowania najwyższych temperatur wody.

Średnia przezroczystość wody w jeziorze Gostomie podczas analizowanych miesięcy wynosiła 2,4 m. Największą przezroczystość zmierzono w maju 2012 r. (3,5 m), a najmniejszą w lipcu tego samego roku (spadek o 1,9 m). Sytuacja tę wiąże się z zakwitami glonów, które rozwinęły się intensywnie w wyniku wzrostu temperatury wody (ryc. 2) oraz dopływu biogenów wypłukanych ze zlewni przez ulewne deszcze występujące latem tego roku.

Na podstawie otrzymanych danych można stwierdzić, że analizowany obiekt reprezentuje typowy przykład jeziora niżowego. Jest to widoczne w rozkładzie

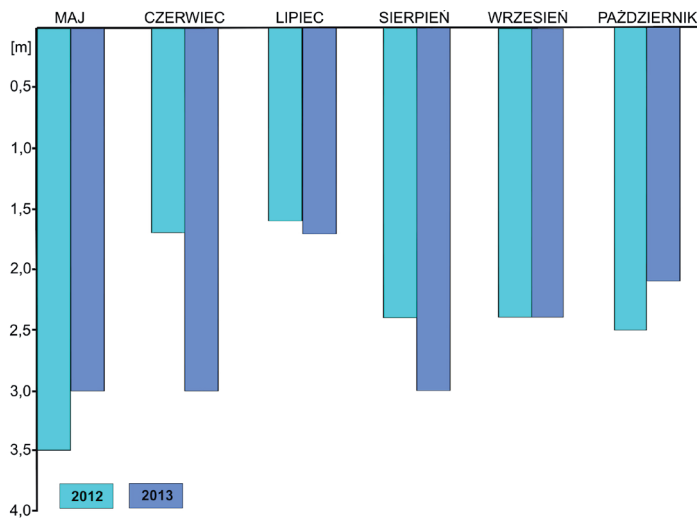


Ryc. 3. Rozkład temperatury (linia czerwona) i tlenu rozpuszczonego (linia niebieska) oraz przewodność w profilu głębokościowym jeziora Gostomie w półroczu letnim w latach 2012 i 2013  
 Figure 3. Distribution of temperature (red line) and diluted oxygen (blue line) and conductivity in the depth profile of Lake Gostomie in the summer half-years of 2012 and 2013



Ryc. 4. Gradient temperatury wody w pionie jeziora Gostomie w półroczu letnim w roku 2012 (a) i 2013 (b)

Figure 4. The temperature gradient of vertical water in Lake in the summer half-years of 2012 and 2013 (b)



Ryc. 5. Przezroczystość jeziora Gostomie  
Figure 5. Transparency of water in Lake Gostomie

temperatury wody w pionie, do którego nawiązuje stężenie tlenu rozpuszczonego, a także pozostałych rozpatrywanych cech. Rozkład temperatury jest charakterystyczny dla jezior stratyfikowanych z dobrze wyodrębnionymi poszczególnymi strefami latem. W okresie letnio-jesiennym w akwenie tym występują deficyty tlenowe. Jezioro charakteryzuje się niedużą przezroczystością wody, co wskazuje na jego silną eutrofizację. Jednym z istotniejszych czynników wpływających na pogorszenie warunków tlenowych, jak i przezroczystości wody jest temperatura wody, od której uzależniony jest rozwój fitoplanktonu.

Wyniki te potwierdzają badania przeprowadzone w latach wcześniejszych przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Zielonej Górze. Zgodnie z przygotowanym przez tę instytucję zestawieniem (Stan środowiska..., 2011) jezioro Gostomie z uwagi na klasyfikację abiotyczną przypisano do typu 2a (jezioro o wysokiej zawartości wapnia, o małym wpływie zlewni, stratyfikowane). Z oceny stanu ekologicznego wynika, że jezioro jest w złym stanie, natomiast z oceny stanu chemicznego wynika stan dobry. Ocena stanu jednolitych części wód (JCW) została wskazana jako zła. Zgodnie z tym samym źródłem (Stan środowiska..., 2011) w roku 2009 z badań prowadzonych pod kątem eutrofizacji otrzymano, że w analizowanym jeziorze proces ten jest daleko posunięty. Czynnikiem, które zadecydowały o deklasyfikacji, były chlorofil *a* i przezroczystość wody.

Choć interpretacja skali transformacji zachodzącej w tym ekosystemie na podstawie informacji z dwóch lat jest trudnym zadaniem, to szczegółowy zapis wybranych parametrów stanowi doskonały punkt odniesienia (swoisty „reper”) do badań porównawczych w przyszłości. Zestawienie podobnych danych na przestrzeni najbliższych kilkunastu czy kilkudziesięciu lat umożliwi odpowiedź na pytanie, czy jezioro Gostomie podlega przemianom, a jeśli tak, to jaka jest ich skala. Synteza taka będzie mogła obejmować m.in. rozważania na temat zmian stratyfikacji jeziora (w odniesieniu do terminów jej formowania oraz zasięgu poszczególnych stref) czy zmian stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie, przewodności i przezroczystości.

## WNIOSKI

Przedstawione w pracy wyniki, dotyczące paramentów jeziora Gostomie, wskazują, że ma ono cechy typowego nizinnego eutroficznego jeziora stratyfikowanego, w którym w okresie letnio-jesiennym w strefie hypolimnionu występują poważne deficyty tlenowe. Czynnikiem, który w dużej mierze (obok zanieczyszczeń) wpływa na taki stan rzeczy, jest wysoka temperatura wody. Powoduje ona wzrost zagęszczenia fitoplanktonu, który opadając ku niższym warstwom wody, przyczynia się do zwiększonego zużycia tlenu rozpuszczonego



w wodzie. Konsekwencją zakwitów fitoplanktonowych jest również znaczący spadek przezroczystości wody w jeziorze.

Zatem nawet kilkuletnie obserwacje obejmujące monitoring podstawowych parametrów fizyczno-chemicznych wody, jeżeli jest on prowadzony w sposób ciągły, pozwalają na ocenę stanu jeziora nieodbiegającą od tej przeprowadzonej na podstawie skomplikowanych badań. Jednocześnie pozwalają na wskazanie zmian zachodzących w jeziorze na przestrzeni lat.

Ma to szczególne znaczenie w dobie zachodzących zmian w środowisku i coraz większej presji człowieka. Z tego względu istotne są pomiary wykonywane w ujęciu krótkookresowym, ponieważ dają możliwość porównywania danych uzyskiwanych nawet na drodze niesystematycznych obserwacji.

## LITERATURA

- Assani A.A., 2016: *Analysis of the impacts of man-made features on the stationarity and dependence of monthly mean maximum and minimum water levels in the great lakes and st. lawrence river of North America*, Water, 8, 11, Art. no. 485.
- Bai Q., Li R., Li Z., Leppäranta M., Arvola L., Li M., 2016: *Time-series analyses of water temperature and dissolved oxygen concentration in Lake Valkea-Kotinen (Finland) during ice season*, Ecol. Inform., 36, 181–189.
- Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, 2006–2015: IMiGW-PIB.
- Choiński A., Ptak M., 2014: *Najnowsze sondowania jezior Pojezierza Wielkopolsko-Kujawskiego*, Bad. Fizjogr., 65, A, 55–63.
- Cui B.-L., Li X.-Y., 2016: *The impact of climate changes on water level of Qinghai Lake in China over the past 50 years*, Hydrol. Res., 47, 2, 532–542.
- Dokulil M.T., 2014: *Predicting summer surface water temperatures for large Austrian lakes in 2050 under climate change scenarios*, Hydrobiol., 731, 1, 19–29.
- Efremova T.V., Pal'shin N.I., Belashev B.Z., 2016: *Water temperature in different types of lakes in Karelia under changing climate based on data of instrumental measurements in 1953–2011*, Water Resour., 43, 2, 402–411.
- Katz S.L., Hampton S.E., Izmet'eva L.R., Moore M.V., 2011: *Influence of long-distance climate teleconnection on seasonality of water temperature in the world's largest lake – Lake Baikal, Siberia*, PLoS ONE, 6, 2, Art. no. e14688.
- Kondracki J., 2000: *Geografia regionalna Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Layden A., Merchant C., Maccallum S., 2015: *Global climatology of surface water temperatures of large lakes by remote sensing*, Internat. Journ. of Clim., 35, 15, 4464–4479.
- Missaghi S., Hondzo M., Herb W., 2017: *Prediction of lake water temperature, dissolved oxygen, and fish habitat under changing climate*, Clim. Change, 141, 4, 747–757.
- Naumenko M.A., Guzivaty V.V., Karetnikov S.G., 2012: *Variability of the horizontal gradients of the air and the water surface temperatures in the vernal frontal zone period of Lake Ladoga*, Oceanol., 52, 6, 735–740.
- Ptak M., Nowak B., 2016: *Variability of oxygen-thermal conditions in selected lakes in Poland*, Ecol. Chem. Eng. S, 23, 4, 639–650.
- Rhodes J., Hetzenauer H., Frassl M.A., Rothhaupt K.-O., Rinke K., 2017: *Long-term development of hypolimnetic oxygen depletion rates in the large Lake Constance*, Ambio, 46, 5, 554–565.
- Stan środowiska w województwie lubuskim w latach 2009–2010*, 2011: Bibl. Monit. Śr., Zielona Góra–Gorzów Wlkp.

- Tan C., Ma M., Kuang H., 2017: *Spatial-temporal characteristics and climatic responses of water level fluctuations of global major lakes from 2002 to 2010*, Remote Sensing, 9, 2, Article no. 150.
- Vaheddoost B., Aksoy H., Abghari H., 2016: *Prediction of Water Level using Monthly Lagged Data in Lake Urmia, Iran*, Water Res. Management, 30, 13, 1, 4951–4967.
- Yadav B., Eliza K., 2017: *A hybrid wavelet-support vector machine model for prediction of Lake water level fluctuations using hydro-meteorological data*, Measurement, Journ. of the Internat. Measurement Confed., 103, 294–301.