

*Paweł Biedka*

**SEZONOWE ZMIANY STĘŻENIA TLENU I POTENCJAŁU  
OKSYDOREDUKCYJNEGO W HYPOLIMNIONACH  
WYBRANYCH JEZIOR  
POJEZIERZA SUWALSKO-AUGUSTOWSKIEGO**

---

**SEASONAL CHANGES OF HYPOLIMNETIC OXYGEN  
CONCENTRATION AND REDOX POTENTIAL  
IN SELECTED LAKES  
OF SUWALSKO-AUGUSTOWSKIE LAKELAND**

**Streszczenie**

W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów stężenia tlenu i potencjału oksydoredukcyjnego prowadzonych w cyklu rocznym w czterech jeziorach Pojezierza Suwalsko-Augustowskiego. Badaniami objęto cztery jeziora leżące w bezpośrednim sąsiedztwie Augustowa: Studzieniczne, Białe Augustowskie, Rospudę Augustowską i Necko. Pomiary przeprowadzono przy użyciu wieloparametrowej sondy YSI 600XL, w odstępach około miesięcznych od maja do kwietnia 2006-2007r, w punktach o największej głębokości. Wyniki pomiarów potwierdzają eutroficzny charakter jezior oraz istotną rolę zasilania wewnętrznego w procesie ich eutrofizacji.

**Słowa kluczowe:** eutrofizacja jezior, stężenie tlenu, potencjał oksydoredukcyjny

*Summary*

*In paper a results of oxygen concentration and redox potential measurements are presented. The analyses were conducted in annual cycle in four lakes of Suwalsko-Augustowskie Lakelands. The four lakes - Studzieniczne, Białe Augustowskie, Rospuda Augustowska and Necko - situated in the immediate vicinity of Augustow city were taken into consideration. Measurements were carried out*

*with use of multiparameters probe YSI 600XI in about monthly intervals since May 2006 to April 2007 in control point with a largest depth. Obtained results have confirmed the eutrophic character of analysed lakes as well as significant role of internal feeding in process of their eutrophication.*

**Key words:** lake eutrophication, oxygen concentration, redox potential

## WSTĘP

Temperatura wody należy do czynników, które w sposób znaczący wpływają na tempo zjawisk zachodzących w wodach powierzchniowych. W jeziorach ma to szczególne znaczenie, gdyż temperatura wody w profilu pionowym nie jest stała, przez co w wyniku różnic gęstości, wykształcają się w okresie letnim warstwy, których objętości nie mieszają się ze sobą. Z uwagi na różne cechy tych warstw, zachodzą w nich zróżnicowane procesy, co objawia się zmiennymi parametrami związanymi z jakością wód i zjawiskiem eutrofizacji. W okresie, w którym warstwy limnetyczne ulegają wykształceniu, w warstwie powierzchniowej dominują procesy produkcji substancji organicznej, co w zbiornikach o wysokim stopniu eutrofizacji objawia się zakwitami. W warstwie naddennej natomiast zachodzi mineralizacja substancji organicznej sedimentującej z wyższych warstw i materii zdeponowanej w osadach dennych. W przypadku wyczerpania zasobów tlenu w hypolimnionie jezior o wysokim stopniu troficzności, obserwuje się wzmożone uwalnianie związków fosforu z osadów dennych, co następnie powoduje wzmożoną produkcję substancji organicznej w przyszłym sezonie w warstwie epilimnionu. Na zjawisko sprzężenia zwrotnego eutrofizacji duży wpływ ma między innymi długość okresu, w którym wody jeziora ulegają stratyfikacji, szczególnie w przypadku zbiorników o niewielkim udziale hypolimnionu w ogólnej objętości jeziora, w których zasoby tlenu w warstwie naddennej ulega szybkiemu wyczerpaniu.

## CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW OBJĘTYCH BADANIAMI

Jeziora: Białe Augustowskie, Studzieniczne, Rospuda Augustowska i Neko leżą w obrębie prowincji Niżu Wschodniobałtycko-Białoruskiego, podprowincji Pojezierza Wschodniobałtyckiego, makroregionu Pojezierza Litewskiego, mezoregionu Równiny Augustowskiej. Zachodnia część Pojezierza Litewskiego bywa nazywana Pojezierzem Suwalsko-Augustowskim i jest podzielona na 4 mezoregiony: Puszcę Romincką, Pojezierze Zachodniosuwalskie, Pojezierze Wschodniosuwalskie i Równinę Augustowską [Kondracki 2000]. Położone są w dorzeczu rzeki Rospudy-Netty. Liczba jezior o powierzchni ponad 50 ha w tym dorzeczu wynosi 20, ich łączna powierzchnia zajmuje 40,3 km<sup>2</sup>, a pojemność jest równa 0,353 km<sup>3</sup>. Wielkość retencji czynnej dorzecza (jeziora po-

w. 50 ha) szacowana jest od 0,004 do 0,035 km<sup>3</sup> w ogólnej objętości jezior [Bajkiewicz-Grabowska 1985].

Zlewnia całkowita systemu jezior obejmuje większą część powierzchni dorzecza rzeki Rospudy-Netty – największego ciek wodnego w zlewni. Do pozostałych ważniejszych dopływów należą: Kamienny Bród – dopływ do jeziora Necko, Kanał Augustowski – dopływ do jeziora Studzieniczne. Ze względu na obecność wymienionych cieków jeziora w mniejszym lub większym stopniu mają charakter przepływowy.

Omawiane w opracowaniu jeziora leżą w bezpośrednim sąsiedztwie Augustowa, położonego w województwie podlaskim ok. 30-tysięcznego miasta o statusie uzdrowiska, najważniejszego ośrodka turystycznego i wypoczynkowego na obszarze Puszczy Augustowskiej. Walory turystyczne miasta są w dużym stopniu związane z położonymi w pobliżu jeziorami, stąd szczególnie ważny jest problem jakości ich wód. Według badań WIOŚ Białystok przeprowadzonych w roku 2008 i 2009, stan ekologiczny jeziora Białego Augustowskiego oceniono na bardzo dobry, jeziora Necko na dobry, natomiast jeziora Rospuda Augustowska na umiarkowany [WIOŚ Białystok, 2009; WIOŚ del. Suwałki, 2010]. W obowiązującym do 2007 roku systemie klasyfikacji jeziora Studzieniczne i Białe Augustowskie zaliczono do klasy II, jezioro Necko do II lub III klasy, jezioro Rospuda Augustowska do klasy II, III lub IV (poza klasą) [WIOŚ del. Suwałki, 2010; WIOŚ Białystok, 2004; Skorbiłowicz i in. 1999]. Omówione zbiorniki nie posiadają ewidencjonowanych punktowych źródeł zanieczyszczeń i są jeziorami przepływowymi. Ze względu na brak obciążenia jezior ładunkami zanieczyszczeń pochodzącymi ze ścieków, głównym czynnikiem decydującym o stanie troficznym jezior są dopływy, źródła obszarowe oraz zasilanie wewnętrzne.

Podstawowe wielkości morfometryczne analizowanych jezior oraz procent wymiany wody w roku przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Wybrane wielkości morfometryczne analizowanych jezior

**Table 1.** Selected morphometric parameters of analysed lakes

Jeziro	objętość [tys. m <sup>3</sup> ]	powierzchnia [ha]	głębokość maksymal- na [m]	głębokość średnia [m]	procent stratyfikacji wód [%]
Necko	40564,4	400,0	25,0	10,1	367
Rospuda Augustowska	5383,1	104,0	10,5	5,1	2558
Białe Augustowskie	41716,5	476,6	30,0	8,7	8
Studzieniczne	22073,6	250,1	30,5	8,8	11

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów IRS w Olsztynie

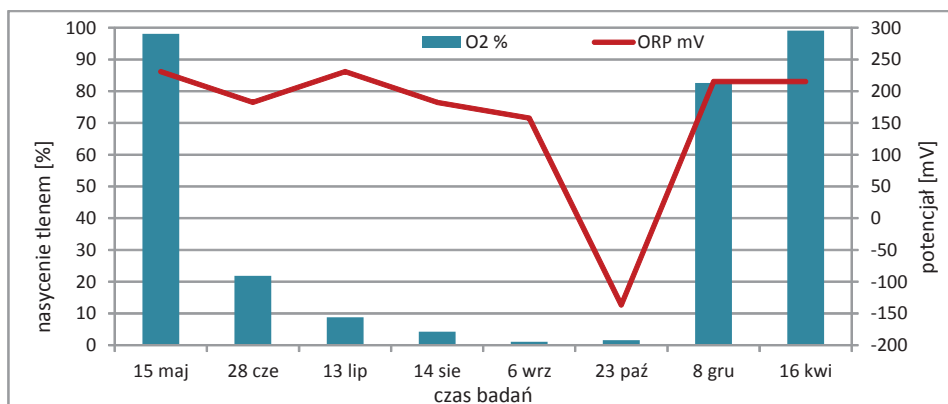
## METODYKA BADAŃ

Prezentowane w artykule badania wykonano w cyklu rocznym począwszy od 13 maja 2006 do 23 kwietnia 2007 roku, z około miesięcznymi odstępami. Pomiary stężenia tlenu rozpuszczonego i potencjału redox wykonano przy użyciu wieloparametrowej sondy YSI 600XL z czytnikiem 610DM. Sonda pozwala na pomiar wyszczególnionych parametrów w warunkach terenowych, na dowolnych głębokościach. Elektrochemiczne pomiary wymienionych wskaźników przy użyciu sondy wykonywane są przez trzy oddzielne elektrody: elektrodę kombinowaną do pomiaru pH i potencjału oksydoredukcyjnego, elektrodę dwufunkcyjną do pomiaru przewodności elektrolitycznej i temperatury oraz polarograficzną, platynową elektrodę Clarka do pomiaru stężenia tlenu rozpuszczonego. Konstrukcja ostatniej elektrody w powiązaniu z krótkim impulsem pomiarowym umożliwia pomiar stężenia tlenu w środowisku wodnym, bez konieczności zapewnienia przepływu medium przy powierzchni membrany. Punkty pomiarowe wyznaczono w miejscach o największej głębokości w jeziorach (1m nad dnem), ich lokalizacja była niezmienna w czasie całego okresu badawczego.

## WYNIKÓW BADAŃ

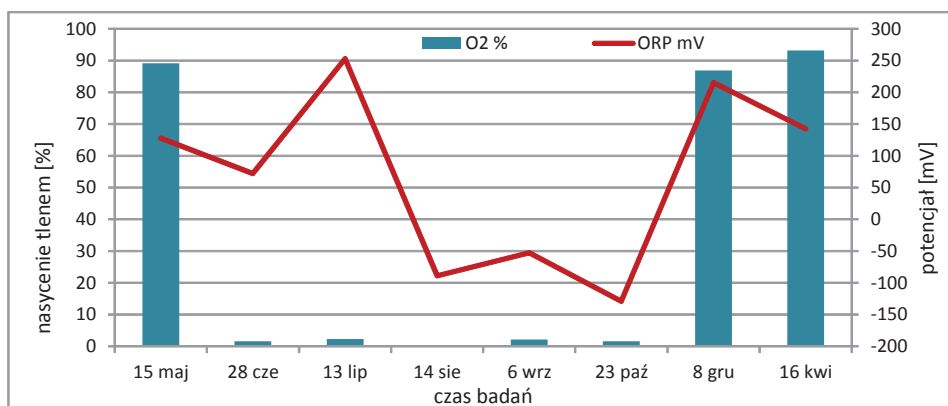
Zmiany stężenia tlenu rozpuszczonego wyrażonego jako procent nasycenia wody tlenem oraz potencjału oksydoredukcyjnego zaprezentowano na rysunkach 1-4. Zmiany te są charakterystyczne dla jezior eutroficzných, w których obserwuje się niskie stężenie tlenu w warstwie hypolimnionu. W wyniku wyczerpania zasobów tlenu rozpuszczonego wskutek mineralizacji substancji organicznej sedymentującej z segmentów powierzchniowych oraz substancji organicznej zawartej w osadach dennych i braku źródeł tlenu rozpuszczonego, w części jezior już w pierwszych miesiącach stratyfikacji termicznej tworzą się warunki beztlenowe powodujące intensywne uwalnianie związków fosforu z osadów dennych.

W jeziorach o najkorzystniejszych charakterystykach zlewni (Białym i Studzienicznym) i jednocześnie o niższym stężeniu biogenów w wodzie, przebieg zmian stężenia tlenu różni się w początkowym okresie, po wykształceniu warstw limnetycznych. Wyczerpanie zasobów tlenu w hypolimnionie jeziora Białego następuje wcześniej niż w jeziorze Studzienicznym, co pokrywa się z wcześniejszym obniżeniem wartości potencjału oksydoredukcyjnego. Może to wynikać z mniejszego udziału hypolimnionu w ogólnej objętości jeziora w jeziorze Białym, który wynosi 18%, podczas gdy w jeziorze Studzienicznym – 26% i mniejszych zasobów tlenu w warstwie naddennej.



**Rysunek 1.** Zmiany zawartości tlenu i potencjału redox w hypolimnionie jeziora Studzienicznego

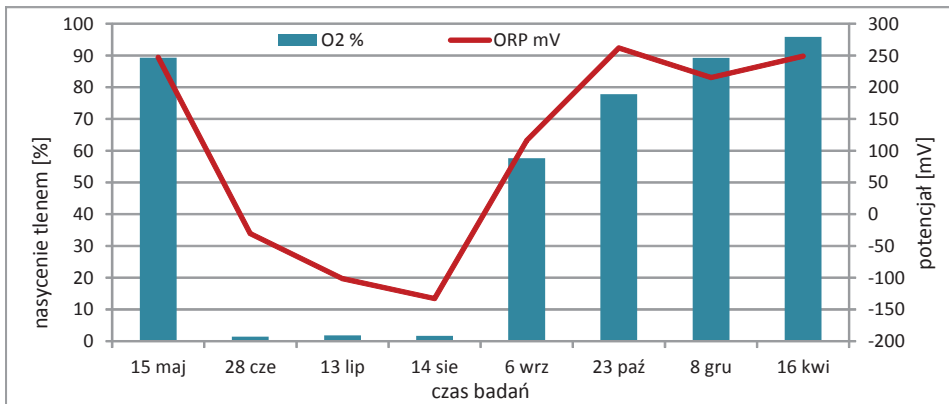
**Figure 1.** Changes of hypolimnetic oxygen concentration and redox potential in Studzieniczne Lake



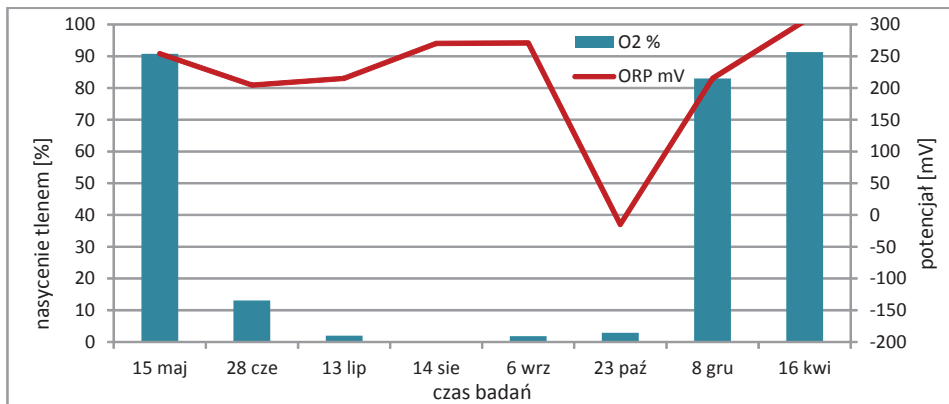
**Rysunek 2.** Zmiany zawartości tlenu i potencjału redox w hypolimnionie jeziora Białego Augustowskiego

**Figure 2.** Changes of hypolimnetic oxygen concentration and redox potential in Białe Lake

W jeziorze Rospuda Augustowska przebieg zmian stężenia tlenu i potencjału redox w warstwie naddennej jest ściśle związany ze stratyfikacją termiczną. Z uwagi na niewielką głębokość średnią i maksymalną jeziora oraz znaczne obciążenie jeziora materią ze zlewni, deficyty tlenowe pojawiają się zaraz po wytworzeniu warstwy metalimnionu i zanikają w czasie zaburzenia stratyfikacji, np. wywołanym zwiększonym przepływem rzeki Rospudy.



**Rysunek 3.** Zmiany zawartości tlenu i potencjału redox w hypolimnionie jeziora Rospuda Augustowska  
**Figure 3.** Changes of hypolimnetic oxygen concentration and redox potential in Rospuda Augustowska Lake



**Rysunek 4.** Zmiany zawartości tlenu i potencjału redox w hypolimnionie jeziora Necko  
**Figure 4.** Changes of hypolimnetic oxygen concentration and redox potential in Necko Lake

Zmiany omawianych parametrów w jeziorze Necko są podobne do zmian zaobserwowanych w jeziorze Studzienicznym. Jeziora te ponadto charakteryzują się podobnym udziałem hypolimnionu w ogólnej objętości jeziora (Necko – 27%, Studzieniczne – 26%).

## PODSUMOWANIE

Stężenie tlenu w hypolimnionach badanych jezior ulegało szybkiemu obniżeniu w czasie trwania stratyfikacji termicznej, osiągając wartości zerowe lub bliskie zeru już w pierwszym miesiącu stratyfikacji. Ujemne wartości potencjału oksydoredukcyjnego pojawiały się najwcześniej w jeziorze Rospuda, z uwagi na wynikające z objętości najniższe zasoby tlenu warstwy poniżej epilimnionu. Ujemny potencjał w pozostałych jeziorach był obserwowany od czerwca w jeziorze Rospuda, sierpnia w jeziorze Białym i w październiku w jeziorze Necko i Studzieniczne.

Pojawiający się wcześniej deficyt tlenowy świadczy o eutroficznym charakterze jezior i ma niekorzystny wpływ na jakość wód, ze względu na wzmożone wydzielanie fosforu z osadów dennych do toni wodnej. Obniżony potencjał redox wód hypolimnionu oraz związana z nim obecność jonów siarczkowych obserwowana w ostatnich miesiącach trwania stratyfikacji może przyczyniać się do ponownej utraty mobilności kompleksów fosforowo-żelazowych, poprzez ich strącanie w postaci trudno rozpuszczalnego siarczku żelaza FeS [Lampert, Sommer 1996].

## BIBLIOGRAFIA

- Bajkiewicz-Grabowska E., *Stosunki wodne*, w: red. K. Święcicka - *Województwo Suwalskie. Studia i materiały*, Ośrodek Badań Naukowych, Białystok, 1985
- Informacja o stanie środowiska na obszarze województwa podlaskiego w 2009 roku*, Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Białymstoku, Białystok, wrzesień 2010.
- Informacja o stanie środowiska na terenie powiatów: suwalskiego grodzkiego i suwalskiego ziemskiego*, Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Białymstoku. Delegatura w Suwałkach, Suwałki 2007
- Klasyfikacja wstępna jezior województwa podlaskiego badanych w 2009 roku*, Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Białymstoku Delegatura w Suwałkach, Suwałki, czerwiec 2010.
- Kondracki J., *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa, 2000.
- Lampert W., Sommer U., *Ekologia wód śródlądowych*, Warszawa 1996.
- Raport o stanie środowiska województwa podlaskiego w latach 2002 – 2003, *Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Białymstoku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Białystok 2004.*
- Skorbiłowicz E., Dzienis L., Skorbiłowicz M., Biedka P., 1999, Ocena stanu czystości wód jezior Pojezierza Augustowskiego, [w] D. Wawrentowicz (red.) "Gospodarka wodno-ściekowa w Euroregionie Niemen", Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok

Artykuł powstał w wyniku realizacji pracy S/WBiIS/2/2011,  
finansowanej przez MNiSzW

Dr inż. Paweł Biedka  
Katedra Systemów Inżynierii Środowiska  
Politechnika Białostocka  
ul. Wiejska 45A  
15-351 Białystok  
e-mail: [p.biedka@pb.edu.pl](mailto:p.biedka@pb.edu.pl)  
Tel. 85 7469578