

Aleksander KALINOWSKI¹, Paweł BURANDT¹ i Katarzyna GLIŃSKA-LEWCZUK¹

WPŁYW CZYNNIKÓW HYDROLOGICZNYCH NA WARUNKI TERMICZNO-TLENOWE STARORZECZY NA PRZYKŁADZIE DOLINY DRWĘCY

EFFECT OF HYDROLOGICAL FACTORS ON TEMPERATURE AND OXYGEN DISTRIBUTION IN FLOODPLAIN LAKES A CASE STUDY OF THE DRWĘCA FLOODPLAIN

Abstrakt: Starorzecza stanowią integralny element w dolinach rzek meandrujących. Kluczową rolę w funkcjonowaniu wszystkich ekosystemów wodnych w dolinach rzek jest reżim hydrologiczny. Badania nad rozkładem termiczno-tlenowym starorzeczy przeprowadzono w latach 2007-2009 na podstawie sezonowego rytmu profilowania hydrochemicznego w 6 starorzeczach doliny Drwęcy w północnej Polsce. W wyniku przeprowadzonych obserwacji stwierdzono, że fluktuacje zwierciadła wody rzecznej znacznie wpływają na skład fizykochemiczny wód starorzeczy. Wyjaśniają one zwiększone korelacje między stanami wód a natlenieniem. Szczególnym okresem w tym względzie jest wiosenne przesylenie wód tym gazem, gdy po długim okresie utrzymywania się pokrywy lodowej starorzecza odświeżają swe wody, biorąc „głęboki oddech” przed tlenowym deficytem letnim.

Słowa kluczowe: starorzecza, czynniki hydrologiczne, natlenienie wód, Drwęca

W przyrodzie nie występują rzeki o prostoliniowym przebiegu koryta na całej swej długości. Erozja, której podlegają, skutkuje przekształceniami koryt i dolin rzecznych. Przewaga erozji bocznej nad denną powoduje powstawanie zakoli, które stopniowo powiększają się, przechodząc w rozległe serpentyny i meandry. Rzeka, skracając sobie drogę, przecina tzw. szyję meandrową i opuszcza odcięte zakole, tworząc starorzecze, które z czasem zarasta i zamiera [1].

Starorzecza ze względu na stopień połączenia z rzeką można podzielić na trzy rodzaje: lotyczne (otwarte), semilotyczne (półotwarte) i lentyczne (zamknięte) [2, 3]. Starorzecza lentyczne tworzą odmienny typ biotypu wodnego w porównaniu z korytem rzeki. Przez większą część roku są to zbiorniki nieprzepływowe o niewielkiej wymianie wód z wyjątkiem wezbrań powodziowych, mają znacznie bardziej przejrzystą toń na skutek sedymentacji drobnej zawiesiny, pomimo zazwyczaj wysokiej trofii ich wód. Wody starorzeczy są też wyraźnie cieplejsze od wody korytowej. Te czynniki powodują, że w starorzeczach bardzo szybko rozwijają się zbiorowiska roślinności wodnej i brzegowej o dużej produkcji biomasy, co często doprowadza do bardzo szybkiego wypłylenia i zalądowienia starorzeczy [4].

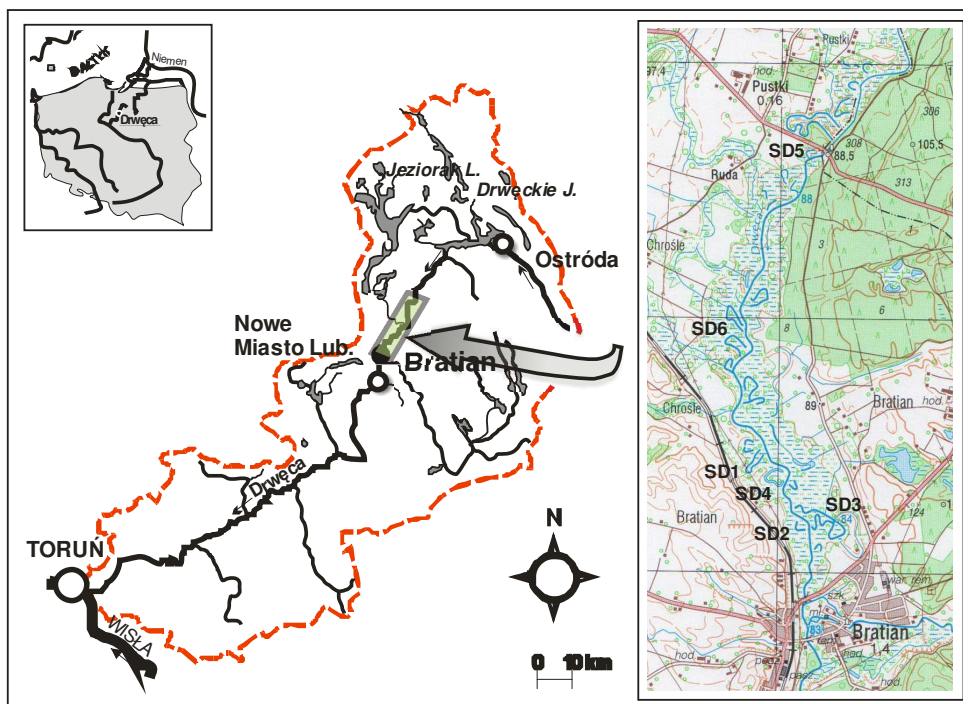
Czynnik hydrologiczny w badaniach starorzeczy można analizować w wielu aspektach: począwszy od rzeki, jako czynnika genetycznego i siły hydrodynamicznej kształtującej morfologię niecek, poprzez uwarunkowania ilościowe i jakościowe wód rzecznych zasilających wykształcone już starorzecza, aż po rzekę jako podstawowe narzędzie w renaturyzacji zdegradowanych zbiorników [5].

¹ Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, pl. Łódzki 2, 10-756 Olsztyn, email: alkal@op.pl

Celem pracy było rozpoznanie warunków termiczno-tlenowych w starorzeczach w dolinie Drwęcy na podstawie wieloletnich pomiarów sezonowych i pionowych profili termiczno-tlenowych. W pracy podjęto próbę identyfikacji zmian warunków termiczno-tlenowych w sytuacji zmiennego zasilania wywołanego wahaniami stanów wód rzecznych.

Materiał i metody

Rzeka Drwęca jest prawobrzeżnym dopływem Wisły ze zlewnią o powierzchni 5343,5 km² (rys. 1). Całkowita długość rzeki wynosi 207 km. W części dolnej i środkowej rzeka intensywnie meandruje w zalewowej dolinie o szerokości 1÷3 km. Reżim hydrologiczny Drwęcy charakteryzuje się długimi okresami wiosennych wezbrań w wyniku roztopów pokrywy lodowej i śniegu (ok. 44% dni w roku) oraz niżówek w okresie wczesnojesiennym. Najwyższy poziom wód utrzymuje się w okresie od marca do kwietnia i zazwyczaj opada z początkiem czerwca. Jednakże przedłużające się opady deszczu mogą spowodować utrzymywanie się wysokiej wody aż do lipca. Wahania stanów wód w dolinie dochodzą do 2 m.



Rys. 1. Lokalizacja badanych starorzeczy na tle dorzecza Drwęcy

Fig. 1. Localization of studied oxbow lakes on the background of the Drwęca river basin

Analizie poddano starorzecza leżące na 22,5 km odcinku rzeki Drwęcy między wodowskazami Rodzone (162,9 km od ujścia rzeki) i Nowe Miasto Lubawskie (126,7 km

od ujścia rzeki). Do badań wytypowano 6 jezior lenticznych (oznaczonych symbolami: SD1, SD2, SD3, SD4, SD5, SD6), położonych w rejonie miejscowości Bratiana. Szczegółową analizę morfometryczną starorzeczy opracowano na podstawie sondowań dna. Wykonano je z łodzi latem 2007 r., przy poziomie wody Drwęcy 86,92 m n.p.m. w Bratianie. Obraz dna uzyskano za pomocą echosondy sprzężonej z GPS (Garmin). W warunkach wody płytkiej (poniżej 1 m) do pomiarów głębokości użyto łaty geodezyjnej. Stany wód rejestrowano za pomocą 1 DT-Diveru (van Essen Instr., the Netherlands) umieszczonego w korycie rzeki przy SD3. Uzyskane dane konfrontowano z danymi IMGW.

Termika oraz warunki tlenowe zostały określone na podstawie comiesięcznych analiz termiczno-tlenowych w podpowierzchniowej warstwie wody (-10 cm) oraz profilowania pionowego w 18 profilach pionowych wykonywanych czterokrotnie w ciągu roku (sezony) wieloparametryczną sondą YSI 6600, której zakres pomiarów obejmował m.in. temperaturę wody i stężenia tlenu rozpuszczonego.

Wyniki badań

Badane starorzecza są zbiornikami lenticznymi, odciętymi od koryta rzeki głównej. Najkrótsze z nich mierzy 150 metrów długości, a najdłuższe 1200 m. Szerokość niecek starorzeczy waha się od 10 do 20 metrów, a głębokość sięga 3 metrów i zbliżona jest do wymiarów szerokości i głębokości maksymalnej w przyległym korycie rzeki. Powierzchnia lustra wody zawiera się w przedziale 0,2÷1,5 ha, a pojemność w zakresie 1,9÷16,9 tys. m³. Pełne zestawienie danych morfometrycznych badanych zbiorników zawiera tabela 1.

Tabela 1
Parametry morfologiczne badanych starorzeczy doliny Drwęcy koło Bratiana

Table 1
Morphological parameters of the studied oxbow lakes in the floodplain of the Drweca river near Bratian

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Starorzecze/Oxbow lake					
		SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6
Współrzędne geograficzne Geographical coordinates		N53°28'06" E19°35'56"	N53°27'51" E19°36'18"	N53°27'53" E19°36'34"	N53°28'50" E19°36'04"	N53°29'35" E19°36'24"	N53°30'10" E19°36'47"
Powierzchnia lustra wody/Area	[ha]	0,49	0,20	1,51	0,60	1,35	0,68
Pojemność/Capacity	[10 ³ m ³]	5,29	1,89	16,88	6,92	14,49	3,80
Długość maks/Max length	[m]	481	144	1210	347	1229	647
Szerokość maks/Max width	[m]	11,2	15,2	14,0	19,2	10,2	10,5
Głębokość maks/Max depth	[m]	3,11	3,20	2,27	1,71	2,71	2,35
Maks. odległość od rzeki Max. distance from the river	[m]	237	100	462	193	474	386
Odł. górnego ramienia od rzeki Upstream arm vs river	[m]	37	34	22	44	53	66
Odł. dolnego ramienia od rzeki Downstream arm vs river	[m]	26	25	11	14	23	19

Badane starorzecza charakteryzowały się istotnie niższymi stężeniami tlenu rozpuszczonego (o ok. 40%) i temperatury wody (o ok. 30%) w porównaniu do wód

rzecznych (tab. 2). Przeciętne stężenie tlenu w badanych starorzeczach lenticznych wynosiło zaledwie $3,17 \text{ mg dm}^{-3}$, co wpływa na ograniczenie rozwoju fauny wodnej.

Tabela 2

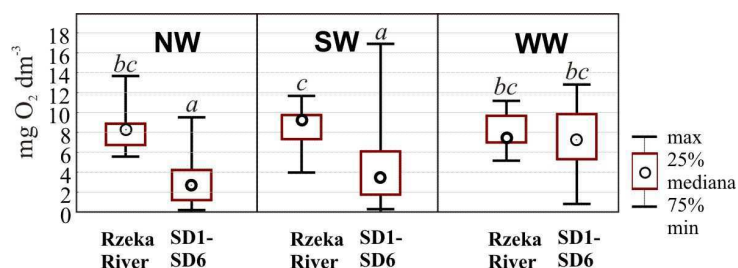
Charakterystyka termiczno-tlenowa badanych starorzeczy rzeki Drwęcy na tle wód rzecznych. Oznaczenia: cv - współczynnik zmienności, SD - odchylenie standardowe, N - liczba pomiarów. Odmienne symbole literowe oznaczają średnie różniące się statystycznie w teście t przy $p > 0,01$

Table 2

Temperature and dissolved oxygen characteristics of the studied oxbow lakes in the Drwęca floodplain on the background of river water. Denotations: cv - variability coefficient, SD - standard deviation, N - number of measurements. Different superscripts denote means statistically different in t-test at $p > 0.01$

Obiekt Study site	N	Temperatura wody [°C] Water temperature			O ₂ [mg · dm ⁻³]			O ₂ [%]		
		\bar{x}	cv	±SD	\bar{x}	cv	±SD	\bar{x}	cv	±SD
Starorzeczka SD1-SD6	33	8,43 ^a	72,8	6,14	3,17 ^a	66,3	2,10	28,21 ^a	74,9	21,13
Rzeka Drwęca	22	12,43 ^b	54,7	6,80	8,08 ^b	18,0	1,45	75,45 ^b	17,2	12,99

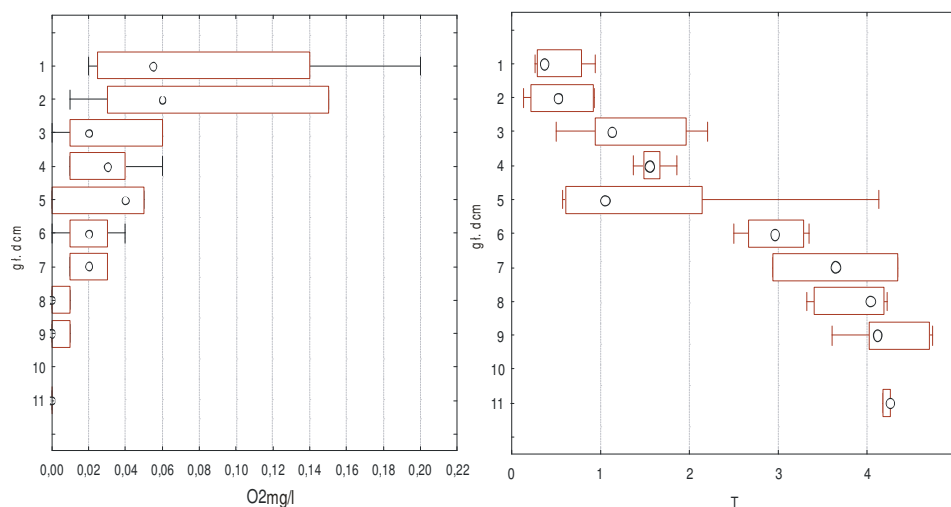
Cechą charakterystyczną wód badanych starorzeczy jest duża zmienność temperatury wody (cv = 72,8%) i natlenienia (cv = 66,3%) w zależności od pory roku oraz stanów wody w rzece. Najwyższy średni poziom tlenu dla wszystkich starorzeczy występował wiosną, po roztopach wiosennych i zalaniu doliny rzecznej przez wody wezbraniowe, a najniższy latem, szczególnie w warstwach przydennych. W okresie przyspieszonej cyrkulacji wody (wiosna) starorzeczka zasilane są w dużym stopniu dobrze natlenioną wodą rzeczną (wezbrania, lokalne podtopienia). Okresowe zalewnie doliny i znajdujących się w niej starorzeczy prowadzi do istotnych zmian tych ekosystemów, gdyż wody wezbraniowe nie tylko zmieniają skład chemiczny i dostępność materii allochtonicznej (w tym organizmów żywych), ale regulują w ten sposób gospodarkę tlenową w całym zbiorniku. Badania wykazały, że po długim okresie zalegania pokrywy lodowej (lub zwartym pokryciu zwierciadła wody roślinnością pleustonową) starorzeczka „biorą głęboki oddech” przed wielotygodniowymi okresami deficytów letnich bądź zimowych, którym towarzyszą niskie stany wód w rzece.



Rys. 2. Zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach rzeki Drwęcy i starorzeczy w zależności od strefy stanów wód (NW - niska woda, SW - średnia woda, WW - wysoka woda). Jednakowe symbole literowe oznaczają grupy średnich jednorodnych (nieróżniących się istotnie statystycznie) w teście Duncana dla $p < 0,05$

Fig. 2. The content of dissolved oxygen in Drwęca river and oxbow lake water in relation to water level zone (NW - low water, SW - mean water, WW - high water level). Different superscripts denote the means of statistical difference in Duncan-test at $p < 0.05$

Oddzielenie starorzeczy od rzeki powoduje znaczące konsekwencje dla funkcjonowania tych ekosystemów, co pokazują przykłady profili termiczno-tlenowych z okresów zimowych, wykonanych podczas niskich stanów wód (rys. 3). O ile latem w starorzeczach Drwęcy deficyt tlenowy obserwowano średnio od głębokości 1,2 m, co wskazuje na warunki anaerobowe w niemal 1/3 masy wody, o tyle zimą przy przedłużającej się pokrywie lodowej zapasy tlenu wyczerpują się niemal w całej toni.



Rys. 3. Obraz profilowania tlenowego (lewy diagram) i termicznego (prawy diagram) starorzeczy Drwęcy wykonany zimą (luty) podczas pokrywy lodowej (oznaczenia: patrz rys. 2)

Fig. 3. The view of the dissolved oxygen (left diagram) and thermal (right diagram) profiles in oxbows in the Drweca floodplain during winter (February) under ice cover (denotations: see Fig. 2)

Wnioski

Funkcjonowanie starorzeczy jest w dużej mierze zależne od zróżnicowania warunków hydrologicznych istniejących w układzie starorzecze-rzeka.

Wyniki przeprowadzonych badań hydrologicznych w dolinie Drwęcy pozwalają na sformułowanie poniższych wniosków:

- Starorzecza posiadające trwałe połączenie z rzeką cechują się największymi walorami przyrodniczymi. Dysponują one możliwością wymiany wód z rzeką, dzięki czemu możliwe jest stałe odświeżanie i poprawa jakości ich wody.
- Starorzecza zamknięte (lentynce) są najbardziej podatne ze wszystkich rodzajów starorzeczy na niedobory tlenu wynikające z braku stałej możliwości wymiany wód oraz największej podatności na wzrost temperatury w okresie letnim.
- Wody starorzeczy charakteryzują się mniej stabilnym reżimem tlenowym w porównaniu z wodami rzecznyymi, korzystnie wpływającymi na zawartość tlenu w starorzeczach mających możliwość wymiany wód z rzeką.

Podziękowanie

Praca była finansowana z projektu MNiSW nr NN305170636.

Literatura

- [1] Lange W.: Metody badań fizyczno-limnologicznych. Wyd. WG, Gdańsk 1993.
- [2] Glińska-Lewczuk K.: *Influence of morphogenesis and connecting with a river on a rate of oxbow lake evolution in young-glacial river valleys*. A. Łachacz (red.), Wetlands - their functions and protection. Chapter I. Contemporary problems of management Environmental Protection. UWM, Olsztyn 2009, 9-28
- [3] Glińska-Lewczuk K.: *Water quality dynamics of oxbow lakes in young-glacial landscape of NE Poland in relation to their hydrological connectivity*. Ecol. Eng., 2009, **35**, 25-37.
- [4] Glińska-Lewczuk K.: Zmiany morfometryczne starorzeczy jako efekt oddziaływania czynników naturalnych i antropogenicznych. Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym. P. Szwarzewski, E. Smolska (red.), T. II. Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2002, 15-24.
- [5] Żelazo J. i Popek Z.: Podstawy renaturyzacji rzek. Wyd. SGGW, Warszawa 2002.

EFFECT OF HYDROLOGICAL FACTORS ON TEMPERATURE AND OXYGEN DISTRIBUTION IN FLOODPLAIN LAKES A CASE STUDY OF THE DRWECA FLOODPLAIN

Department of Land Improvement and Environmental Protection, University of Warmia and Mazury in Olsztyn

Abstract: Oxbow lakes are an integral element in meandering rivers valleys. A key role in the functioning of all floodplain water bodies is hydrological regime. The study on temperature and oxygen distribution in oxbow lakes was carried out in the years 2007-2009 based on seasonal sampling and vertical profiling of 6 oxbow lakes located along the Drweca River in northern Poland. Based on the investigations, it was found that river water-table fluctuations as well as alluvial groundwater movements modify chemical budget of floodplain lakes. The impact of hydrological connectivity in relation to the site specific hydrological conditions on the vertical profiles showed also differences between measurement sites within each water body.

Keywords: oxbow lake, hydrological factors, temperature and oxygen distribution, the Drweca River