

ROLA JEZIOR (MOKRADEŁ) OSUWISKOWYCH W TRANSFORMACJI WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNYCH WÓD NA PRZYKŁADZIE VELKE OSTURNIANSKE JAZERO W SŁOWACJI

Tadeusz Molenda¹, Agnieszka Błońska²

¹ Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, e-mail: tedimolenda@interia.pl

² Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Śląski, ul. Jagiellońska 28, 40-032 Katowice, e-mail: agnieszka.blonska@us.edu.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono rolę mokradła przepływowego w transformacji właściwości fizyczno-chemicznych wód. Wykazano, że w wodzie odpływającej z mokradła następuje spadek mineralizacji i stężenia wybranych jonów w stosunku do wód zasilających. Stwierdzone w obrębie mokradła gatunki roślin głównie: *Carex rostrata*, *Schoenoplectus lacustris*, *Equisetum fluviatile*, *Juncus effusus*, *Menyanthes trifoliata* mogą znaleźć zastosowanie w budowie hydrofitowych oczyszczalni ścieków na obszarach górskich Karpat Zachodnich (do 900 m.n.p.m., przy średniej rocznej temperaturze powietrza > 5 °C i czasu zalegania pokrywy śnieżnej 90 dni w roku).

Słowa kluczowe: jezioro osuwiskowe, torfowisko, oczyszczalnia hydrofitowa, roślinność, Velke Osturnianske Jazero.

THE ROLE OF THE LANDSLIDE LAKES (WETLANDS) IN TRANSFORMATION OF PHYSICO-CHEMICAL WATER ON THE EXAMPLE VELKE OSTURNIANSKE JAZERO, SLOVAKIA

ABSTRACT

In the article a role of the flow bog in the transformation of the physical-chemical properties of waters was described. They demonstrated that in the water flowing out of the bog a fall in the mineralization and concentrations of selected ions take place towards feedwaters. The species stated within the bog of plants, mainly *Carex rostrata*, *Schoenoplectus lacustris*, *Equisetum fluviatile*, *Juncus effusus*, *Menyanthes trifoliata* can be found the under construction application of sewage treatment plant on highlands of the Western Carpathians (to 900 m.n.p.m., the average annual air temperature > of 5 °C and the time of lying of the snowy lid of 90 days in the year).

Keywords: lake landslide, bog, sewage treatment plant, vegetation, Velke Osturnianske Jazero.

WSTĘP

W Karpatach Zachodnich procesy osuwiskowe są powszechne. W ich następstwie mogą powstawać jeziora osuwiskowe. Pomimo licznych osuwisk, jeziora powstałe w wyniku procesów osuwiskowych są rzadkim elementem krajobrazu Karpat Zachodnich. Większość jezior osuwiskowych, ze względu na małą powierzchnię i głębokość szybko ulega zanikowi. W następstwie zamulenia oraz rozwoju roślinności hydrofilnej płytkie jeziora osuwiskowe ulegają przekształce-

niu w mokradła. Pod względem hydrologicznym mogą to być obiekty bezodpływowe lub przepływowe. Szczególnie interesującymi obiektami (pod względem hydrochemicznym) są mokradła przepływowe. Powszechnie bowiem wiadomo, że przepływ wód przez mokradło prowadzi do zmian ich właściwości fizyczno-chemicznych [Jankowski i in. 2006]. Na skutek specyficznych warunków umożliwiających rozwój hydrofitów następuje intensyfikacja procesów utleniania i redukcji, które wspomagane przez procesy sorpcji i sedymentacji wpływają na zmianę właściwości

fizyczno-chemicznych wód. Celem niniejszego artykułu jest ocena wpływu mokradła na transformację właściwości fizyczno-chemicznych wód. Kluczową rolę w transformacji wód odgrywa roślinność higrofilna. Dlatego też przedstawiono florystyczno-fitosocjologiczną charakterystykę tego obiektu. Jest to Velke Osturnianske Jezero położone w północnej Słowacji.

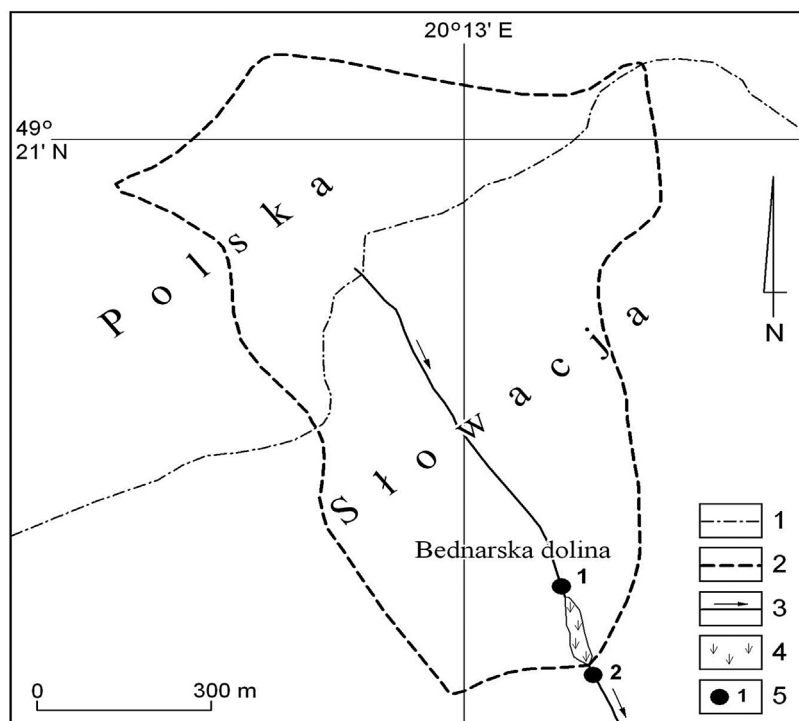
LOKALIZACJA OBIEKTU BADAŃ

Velke Osturnianske Jezero położone jest na obszarze Karpat Zachodnich (Spiska Magura) w północnej Słowacji (rys. 1). Geometryczny środek mokradła wyznaczają współrzędne (N 49° 20' 27''; E 20° 13' 14''). Mokradło położone jest na wysokości 815 m n.p.m. a jego powierzchnia wynosi 0,14 km². Jest to mokradło przepływowe, zasilane wodami niewielkiego ciekę którego powierzchnia zlewni wynosi 0,73 km² (rys. 1). Dominującym typem użytkowania terenu na obszarze zlewni są lasy iglaste (świerkowe) tylko niewielka część zlewni ma charakter rolniczy. Velke Osturnianske Jezero wraz z przyległym obszarem objęte jest rezerwatową formą ochrony.

Velke Osturnianske Jezero położone jest w strefie klimatu umiarkowanego przejściowego, gdzie średnia roczna temperatura powietrza wynosi +6 °C. Najzimniejszym miesiącem jest styczeń (-3,5 °C) a najcieplejszym lipiec (+16 °C). Średni roczny opad na obszarze zlewni mokradła wynosi 900 mm. Największe opady przypadają na półrocze ciepłe (V – X) i wynoszą 600 mm. Średnio przez 90 dni na obszarze zlewni mokradła zalega pokrywa śnieżna [Lorenc 2005].

METODY BADAŃ

Kartowanie hydrograficzne pozwalające na ocenę stosunków wodnych zlewni mokradła Osturna przeprowadzono zgodnie z wytycznymi podanymi przez Gutry-Korycką i Werner-Więckowską [1996]. W obrębie mokradła zlokalizowano 2 punkty poboru próbek wody do analiz fizyczno-chemicznych (rys. 1). Punkt pomiarowy numer 1 zlokalizowano na ciekę zasilającym mokradło. Punkt pomiarowy numer 2 zlokalizowano na ciekę odpływającym z mokradła. W poszczególnych punktach pomiarowych w latach 2012–2013 pobierano pró-



Rys. 1. Lokalizacja mokradła osuwiskowego „Velke Osturnianske Jezero”: 1 – granica państwa Polska – Słowacja, 2 – powierzchniowy dział wodny zlewni mokradła, 3 – ciek, 4 – mokradło, 5 – punkty poboru prób wód do analiz chemicznych i pomiaru natężenia przepływu

Fig. 1. Location of the landslide bog „Velke Osturnianske Jezero”: 1 – state border Poland – Slovakia, 2 – surface watershed of the drainage area of the bog, 3 – legs, 4 – bog, 5 – points of the conscription of attempts to chemical analyses and the measurement of the rate of flow

by wody. Pobór prób wykonywano kwartalnie, w charakterystycznych porach roku – zimą (luty), wiosną (kwiecień), latem (lipiec) oraz jesienią (październik). Z każdego punktu pomiarowego pobrano po osiem prób ($n = 8$).

Pomiary podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych wody (temperatura, odczyn, przewodność elektrolityczna właściwa, nasycenie wody tlenem prowadzone były bezpośrednio w terenie za pomocą sondy wieloparametrowej EDS 6600 firmy YSI (produkcji USA). Przed każdymi badaniami sonda była kalibrowana za pomocą roztworów wzorcowych. Wymienione parametry wody były oznaczane w cieku zasilającym i odpływającym z mokradła (rys. 1). W trakcie badań terenowych pobierano również próbki wody do analiz chemicznych. Próbki wody do analiz laboratoryjnych pobierano do butelek polietylenowych o pojemności 0,5 L za pomocą wyciągnika teleskopowego. Transport prób wody do laboratorium odbywał się w temperaturze $+ 4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Przed analizami próby były filtrowane na sączku $0,45\text{ }\mu\text{m}$ (Millipore). Analizy laboratoryjne obejmowały oznaczenie głównych kationów i anionów w wodzie: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , NO_3^{-} oraz PO_4^{2-} . Analizy przeprowadzono na chromatografie jonowym Metrohm 850 Professional IC. Typ hydrochemiczny wody ustalono w oparciu o klasyfikację Szczukariewa – Priklóńskiego [Macioszczyk 1987].

Na cieku dopływającym i odpływającym z mokradła wykonano pomiar natężenia przepływu za pomocą zastawki RBC firmy Ejkelkamp.

Pomiar natężenia przepływu umożliwił obliczenie spływu jonowego (A_s) zgodnie z poniższym wzorem:

$$A_s = T \cdot Q$$

gdzie: A_s – spływ jonowy [mg/s],

T – mineralizacja wody [mg/L],

Q – natężenie przepływu [L/s].

W sezonie wegetacyjnym 2012 roku wykonano spisy florystyczne dominujących gatunków roślin. Nazwy gatunkowe podano za Mirkiem i in. [2002]. Na podstawie składu florystycznego określono zbiorowiska roślinne.

Zebrane dane poddano analizie statystycznej opierając się na metodyce zawartej w opracowaniach Griffiths [2010] oraz Quick [2012]. Analizy wykonane zostały za pomocą programu R [R Development Core Team, 2009]. Dla sprawdzenia istotności różnic zastosowano nieparametryczny odpowiednik analizy wariancji test Kruskala-Wal-

lisa, a do porównań wielokrotnych test Conovera. W całej pracy za poziom istotności testów statystycznych przyjęto błąd pierwszego rodzaju p mniejszy niż 0,05. Wszystkie dane zaprezentowano przy pomocy wykresów pudełkowych z wąsami (*box-and-whiskers plots*). W przypadku, gdy porównywano istotność różnic w medianach odpowiednich zmiennych np. fizycznych czy chemicznych parametrów wody między danymi obiektami różnice te zaznaczono przy pomocy odpowiednich małych liter (a, b) umieszczonych na górze rysunku. Różne litery oznaczają, że wartości różnią się istotnie przy $p < 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Przez znaczną część roku poziom wody w mokradle utrzymuje się nieco powyżej powierzchni terenu wywołując stan nasycenia osadów wodą oraz powodując występowanie gatunków roślin związanych z siedliskami hydrogenicznymi. Obserwacje florystyczne wykazały, że obecnie najistotniejszą rolę w strukturze roślinności zbiornika odgrywają następujące gatunki roślin: *Carex rostrata*, *Menyanthes trifoliata*, *Carex nigra*, *Eriophorum angustifolium*, *Juncus effusus*, *Schoenoplectus lacustris*, rzadziej *Carex diandra* i *Typha latifolia*. W standardowym formularzu danych dla tego obszaru wymieniane są ponadto rzadkie gatunki klacyfilne ze związku *Caricion davalliane*: *Pinguicula vulgaris*, *Carex davalliana*, *C. flava*, *Pedicularis spectrum* – *carolinum*, *Eleocharis quinqueflora*, a także chronione gatunki storczykowatych *Dactylorhiza majalis* i *Gymnadenia conopsea* [<http://www.sopstr.sk/natura/index.php?p=4&sec=5&kod=SKUEV0334>].

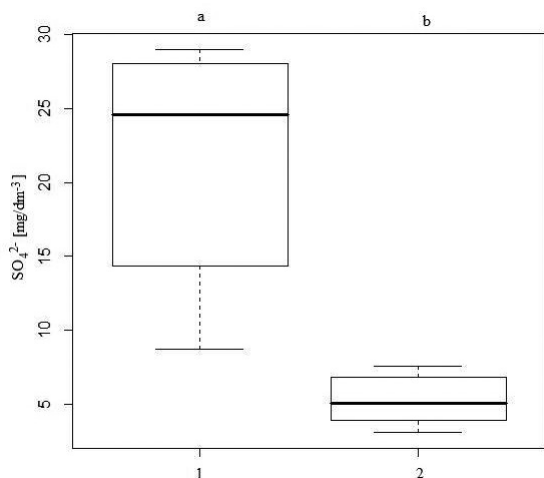
Zdecydowanie największe powierzchnie zajmują obecnie fitocenozy nawiązujące składem florystycznym do opisywanego wcześniej z tego terenu [Kantorova 1971] zespołu *Caricetum diandrae*. Wykształcają się one w miejscach wilgotnych przy lustrze wody. W ich strukturze dominuje bobrek trólistkowy (*Menyanthes trifolia*) i skrzyp bagienny (*Equisetum fluviatile*) oraz *Carex rostrata*, rzadziej *Carex diandra*. Fitocenozy te zaklasyfikować należy do związku *Caricion lasiocarpae*. W niektórych miejscach obserwowano fałszywe występowanie *Schoenoplectus lacustris*. W miejscach bardziej przesuszonych w fitocenozy te wnikają krzewiaste wierzby szerokolistne *Salix cinerea* i *S. pentandra*. Miejscami tworzą się już zarośla wierzbowe, w których wierzby (głównie

Salix cinerea) osiągają do 70% zwarcia, będące stadium sukcesyjnym poprzedzające zbiorowiska leśne. Fitocenozy *Junco – Caricetum fuscae* i *Carici-Agrostietum caninae* odgrywają zdecydowanie mniejszą rolę i nie zajmują obecnie dużych powierzchni. Niewielkie powierzchnie zajmuje również szuwar pałkowy (*Typhetum latifoliae*) i ponikłowy (*Eleocharitetum palustre*) i turzycowy (*Caricetum gracilis*) zlokalizowane raczej przy brzegach zarastającego zbiornika wodnego.

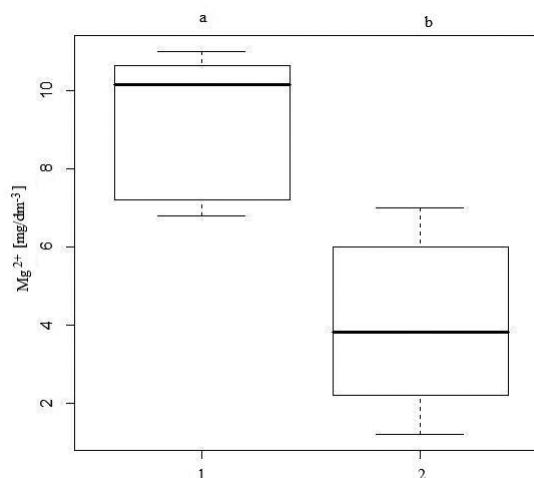
W porównaniu z wcześniejszymi badaniami z lat 70-tych XX w. [Kantorova 1971] roślinność zachowała swój charakter. Badane mokradło w dominującej części (~ 90%) porośnięte było wówczas przez fitocenozy *Caricetum diandrae* reprezentujące dwa podzespoły: typicum i *schoenoplectetosum lacustrae*. Tylko fragmentarycznie w postaci niewielkich płatów występowały *Junco – Caricetum fuscae* i *Carici Agrostietum caninae*. Jedynie udział krzewów jest zdecydowanie wyższy niż wcześniej.

W następstwie przepływu wód przez mokradło następuje zmiana typu hydrochemicznego. Wody zasilające mokradło są wodami wielojonowymi $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ lub $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$. Wody odpływające z mokradła są dwujonowe $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$. Zmiana typu hydrochemicznego wody jest następstwem zmian w stężeniu dominujących jonów. W wodzie zasilającej mokradło stwierdzono statystycznie istotne większe stężenie siarczanów i magnezu niż w wodzie odpływającej z mokradła (rys. 2 i 3). Spadek stężenia tych jonów należy wiązać z procesami biochemicznymi zachodzącymi w obrębie mokradła. Magnez, stanowi jeden z głów-

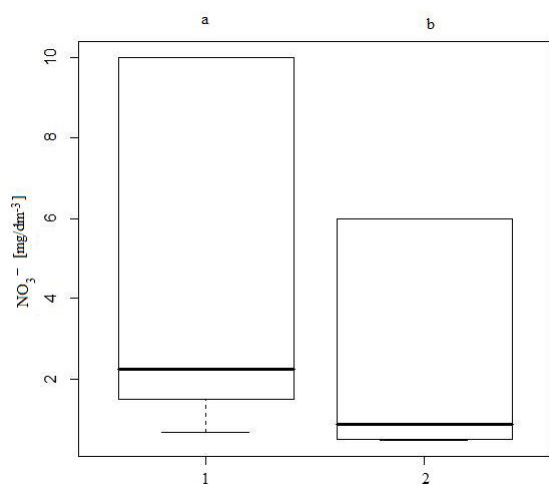
nych makropierwiastków pobieranych z wody przez roślinność [Lampert, Sommer 1996]. To tłumaczy spadek stężenia tego kationu w wodzie odpływającej z mokradła. Również siarka stanowi ważny makroskładnik materii organicznej. W analizowanym obiekcie spadek stężenia siarczanów należy wiązać z procesami ich redukcji. Średnie stężenie siarczanów w wodzie zasilającej mokradło wynosiło $21,5 \text{ mg/dm}^3$ a w wodzie odpływającej $5,2 \text{ mg/dm}^3$. Tak znaczny spadek stężenia siarczanów należy wiązać z ich redukcją do nierozpuszczalnych siarczków. Proces ten zachodzi w beztlenowym środowisku osadów dennych [Obarska-Pempowiak i in. 2010]. Duży spadek stężenia siarczanów w trakcie przepływu wód przez mokradła stwierdzili również Jankowski i in. [2006] oraz Wójcik i Wójcik [1991]. W wodzie odpływającej z mokradła stwierdzono również statystycznie istotny spadek stężenia jonów azotanowych i fosforanowych (rys. 4 i 5). Azot i fosfor stanowią dwa podstawowe pierwiastki wzrostu roślin, dlatego też są one efektywnie pobierane. Pobór poszczególnych makropierwiastków przez rośliny powoduje spadek przewodności elektrolitycznej wody przepływającej przez mokradło (rys. 6). Woda wpływająca do mokradła cechowała się średnią przewodnością elektrolityczną $345 \mu\text{S/cm}^{-1}$ a woda odpływająca z mokradła wykazywała przewodność elektrolityczną $272 \mu\text{S/cm}^{-1}$. Wody zasilające i odpływające z mokradła charakteryzowała podobna zmienność przewodności elektrolitycznej. Wartość współczynnika zmienności (CV) na wpływie wynosiła 7,5% a na odpływie 9,3%. W poszczególnych porach roku wielkość



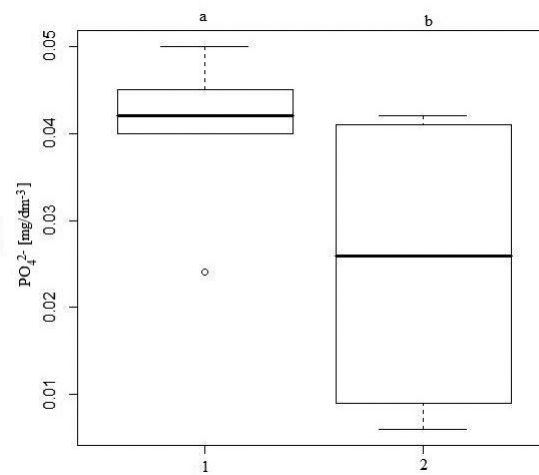
Rys. 2. Stężenie siarczanów: 1 – dopływ, 2 – odpływ
Fig. 2. Concentrations of sulphate: 1 – inflow, 2 – outflow



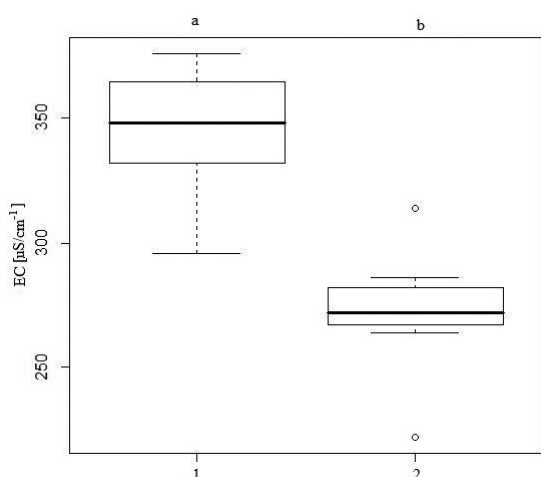
Rys. 3. Stężenie magnezu: 1 – dopływ, 2 – odpływ
Fig. 3. Concentrations of magnesium: 1 – inflow, 2 – outflow



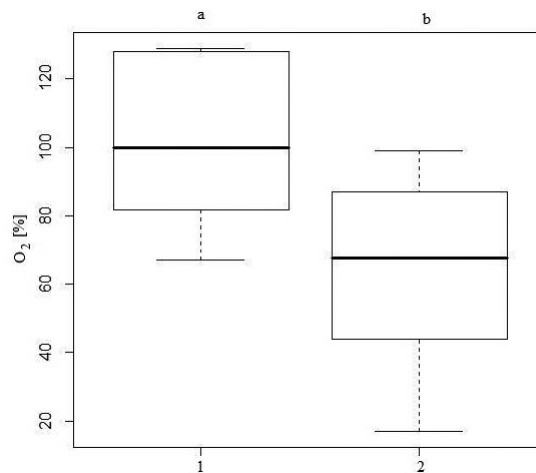
Rys. 4. Stężenie azotanów: 1 – dopływ, 2 – odpływ
Fig. 4. Concentrations of nitrate : 1 – inflow, 2 – outflow



Rys. 5. Stężenie fosforanów: 1 – dopływ, 2 – odpływ
Fig. 5. Concentrations of phosphate : 1 – inflow, 2 – outflow



Rys. 6. Przewodność elektrolityczna: 1 – dopływ, 2 – odpływ
Fig. 6. Electrolytic conductance: 1 – inflow, 2 – outflow



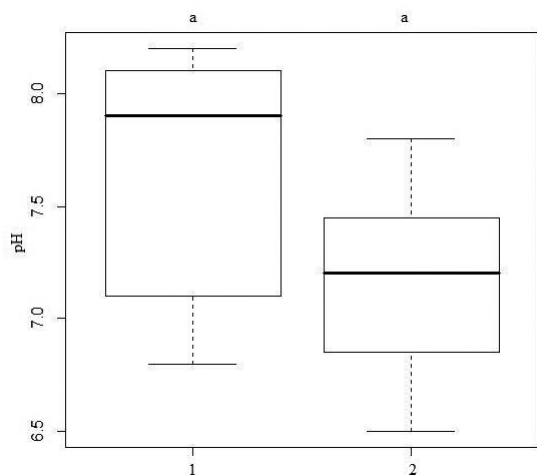
Rys. 7. Nasylenie wód tlenem: 1 – dopływ, 2 – odpływ
Fig. 7. Saturating waters with oxygen: 1 – inflow, 2 – outflow

redukcji ładunku dopływającego roztworu jest zróżnicowana. Najwyższą, bo aż 85% redukcję stwierdzono zimą (tab. 1). Tak wysoka redukcja ładunku jest zaskakująca, gdyż powszechnie wiadomo, że zimą następuje spadek sprawności obiektów hydrofitowych [Obarska-Pempowiak i in. 2010]. W analizowanym przypadku tak znacząca redukcja ładunku jest jednak spowodowana bardzo dużym spadkiem odpływu wody z mokradła. Zimą odpływa tylko 16% dopływającej do mokradła wody. Również jesienią następuje bardzo duży spadek przepływu – odpływa 25% wody dopływającej. Mały odpływ wody z mokradła należy wiązać z jego właściwościami retencyjnymi oraz stratami na ewapotranspirację. Zimą część wody ulega retencji w postaci pokrywy lodowej rozwiniętej na powierzchni mokradła.

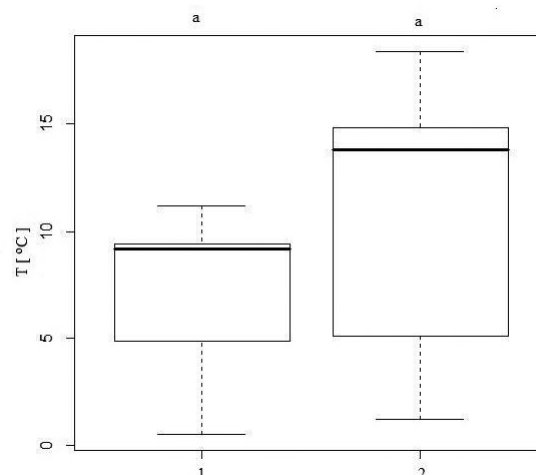
Oprócz zmian w chemizmie wód mokradło wpływa również na cechy fizyczne wody. Statystycznie istotne są zmiany w nasyceciu wód tlenem (rys. 7). W wodzie przepływającej przez mokradło następuje spadek nasycecia wody tlenem. Należy to wiązać z jego zużyciem na mineralizację materii organicznej. Niewielkie różnice stwierdzono również w przypadku odczynu (rys. 8) i temperatury wody (rys. 9). Zmiany te nie są jednak statystycznie istotne.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że w wodzie odpływającej z mokradła występuje statystycznie istotne mniejsze stężenie jonów ma-



Rys. 8. Odczyn wód: 1 – dopływ, 2 – odpływ
Fig. 8. Reaction of waters: 1 – inflow, 2 – outflow



Rys. 9. Temperatura wód: 1 – dopływ, 2 – odpływ
Fig. 9. Temperature of waters: 1 – inflow, 2 – outflow

Tabela 1. Zmiany mineralizacji wody mokradła Osturna w relacji dopływ – odpływ

Table 1. Changes of the mineralization of the water of the Osturna bog in the relation inflow – outflow

Sezon	Punkt pomiarowy	Przepływ Q [dm ³ /s]	Mineralizacja [mg/L]	Ładunek A _s [mg/s]	Redukcja [%]
Wiosna	1	2.8	236	660	
	2	2.6	158	410	38
Lato	1	1.7	227	385	
	2	1.1	167	183	53
Jesień	1	0,8	233	186	
	2	0,2	199	40	79
Zima	1	0,6	243	145	
	2	0,1	220	22	85

gniezowych, siarczanowych, azotanowych i fosforanowych w stosunku do wód zasilających. Stwierdzono również statystycznie istotny spadek przewodności elektrolitycznej wód odpływających z mokradła. Tym samym, stwierdzone w obrębie mokradła gatunki roślin głównie: *Carex rostrata*, *Schoenoplectus lacustris*, *Equisetum fluviatile*, *Juncus effusus*, *Menyanthes trifoliata* mogą znaleźć zastosowanie w budowie hydrofitowych oczyszczalni ścieków na obszarach górskich Karpat Zachodnich (do 900 m.n.p.m., średniej rocznej temperaturze powietrza > 5 °C i czasu zalegania pokrywy śnieżnej 90 dni w roku). W literaturze [Bugajski 2006] najczęściej wymienia się następujące gatunki roślin: trzcina pospolita (*Phragmites australis*), sity (*Juncus*), turzycy (*Carex*), krzewiaste wierzby (*Salix*) wykorzystywane w hydrofitowych oczyszczalniach ścieków. Wiele spośród nich występuje licznie na badanym obiekcie i bierze udział w procesie transformacji właściwości fizyczno-chemicznych wód.

LITERATURA

1. <http://www.sopsr.sk/natura/index.php?p=4&se-c=5&kod=SKUEV0334>
2. Bugajski P. 2006. Hydrobotaniczne (hydrofitowe) oczyszczalnie ścieków. III Konferencja Naukowo-techniczna „Błękitny San”, Dubiecko, 93–99.
3. Griffiths D. 2010. Head first. Statystyka. Edycja Polska, Wydawnictwo Helion, Gliwice, 712 ss.
4. Gutry-Korycka M., Werner-Więckowska H. (red.) 1996. Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
5. Jankowski A.T. Molenda T., Miler E. 2006. The role of anthropogenic wetlands in purifying leachates within industrial waste deposits. Polish Journal of Environmental Studies, 15, 5d.
6. Kantorova D. 1971. Vegetacia a rastlinne spolecenstva Osturnianskych jazier w Spisskej Magure. [W:] Kostalik J., Spisska Magura – geologia, relief, geokologia, Katedra Geografie Prirodovedcka Fakulta Univerzity P.J. Safarika, Koszyce.

7. Lampert W., Sommer U. 1996. Ekologia wód śródlądowych. PWN, Warszawa, 390 ss.
8. Lorenc H. (red.) 2005. Atlas klimatu Polski, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa, 116 ss.
9. Macioszczyk A. 1987. Hydrogeochemia. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 475 ss.
10. Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M. 2002. Flowering plants and pteridophytes of Poland – a checklist. [W:] Z. Mirek (red.), Biodiversity of Poland 1. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków, 442 ss.
11. Obarska-Pempowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E. 2010. Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 308 ss.
12. Quick J.M. 2012. Analiza statystyczna w środowisku R, Helion, Gliwice, 280 ss.
13. Wójcik W., Wójcik M. 1991. Heavy metals interactions with the Biala River wetland Part I and II. The University of Florida Centre for Wetlands, 112 pp.