

WSKAŹNIKI MATERII ORGANICZNEJ HOLOMIKTYCZNEGO JEZIORA WULPIŃSKIEGO

ORGANIC MATTER INDICATORS IN HOLOMICTIC OF LAKE WULPIŃSKIE

Renata Tandyrak, Jolanta Grochowska, Milena Jendraszek
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Badania prowadzono na holomiktycznym Jeziorze Wulpińskim położonym w okolicach Olsztyna. Próbkę pobierano w okresie cyrkulacji jesiennej 2007 r. i wiosennej 2008 r. nad głęboczkami obu jego zatok i porównano w danymi wcześniejszymi. Zbiornik składa się z dwóch części: eumiktycznej tomaszkowskiej (459 ha, 22 m) i bradymiktycznej barwińskiej (246 ha, 54,6 m) oddzielonych od siebie przesmykiem o długości ok. 60 m i głębokości 3,8 m. Podzlewnie obu zatok różnią się wielkością i sposobem użytkowania. Część tomaszkowska jest bardziej narażona na presję turystyczną i w 62,7% użytkowana rolniczo, natomiast w podzlewni barwińskiej pola i łąki stanowią 46,3%. Znalazło to odzwierciedlenie w uzyskanych wynikach badań: akwen tomaszkowski charakteryzowała niższa widzialność krążka Secchiego (1,5–1,75 m), wyższe stężenie chlorofilu a (23,25–26,19 mg · m⁻³) i feofityny (60,11–64,77 mg · m⁻³), większa ilość materii organicznej allochtonicznej i wyraźna tendencja wzrostowa tego parametru w naddennej warstwie wód. W puli azotu ogólnego dominowała forma organiczna (85–99%).

Abstract. The investigations regarded a holomictic Lake Wulpińskie located near Olsztyn. Samples were taken during the autumn circulation 2007 and spring circulation 2008 over the deepest site of each of the bay and compared to previous data. The lake consists of two parts: eumictic tomaszkowska (459 ha, 22 m), and bradymictic barwińska (246 ha, 54.6 m), separated by an inlet with a length of about 60 m and depth 3.8 m. Subcatchments both of bays vary in size and the way of use. Tomaszowska is more vulnerable to tourist pressure and 62.7% used of agriculture, while the fields and meadows in subcatchment of Barwińska constitute 46.3%. This was reflected in the findings obtained: tomaszkowska has lower visibility of Secchi disc (1.5–1.75 m), higher chlorophyll a concentration (23.25–26.19 mg · m⁻³) and pheophytin (60.11–64.77 mg · m⁻³), a larger amount of allochthonous matter and a clear upward trend of this parameter in the deepest part of water. The total nitrogen pool was dominated by organic form.

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Renata Tandyrak, Katedra Inżynierii Ochrony Wód, Wydział Nauk o Środowisku, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ul. R. Prawocheńskiego 1, 10-957 Olsztyn, email: renatat@uwm.edu.pl.

Słowa kluczowe: jezioro, zlewnia, związki organiczne, azot, fosfor, chlorofil a

Key words: lake, catchment, organic compounds, nitrogen, phosphorus, chlorophyll a

WSTĘP

Jeziora nie tworzą stałego elementu krajobrazu, ale uważane są za ekosystemy dynamiczne, otwarte, zmieniające się w czasie i dążące do wzbogacania i podwyższania produkcji biologicznej [Lossow i Więclawski 1991]. W naturalnym procesie starzenia z reguły w sposób harmonijny przechodzą one od fazy oligotrofii przez mezotrofię do eutrofii [Lossow 1996], zachowując przy tym równowagę pomiędzy produkcją a rozkładem materii organicznej [Mientki 2000]. W niektórych przypadkach, zwłaszcza w wyniku silnej antropopresji, ten naturalny ciąg zostaje zachwiany, czego konsekwencją może być nawet zanik zbiornika [Lossow 1996]. Ze stanem troficznym jezior oraz poziomem ich żyzności związana jest ściśle zawartość materii organicznej.

Jej ilość, charakter i dynamika zmian oraz wzajemne relacje pomiędzy poszczególnymi formami wywierają ogromny wpływ na procesy biologiczne i hydrogeochemiczne zachodzące w zbiorniku [Tandyrak i Parszuto 2006]. Wzrost trofii jeziora przyczynia się do podwyższenia liczebności zespołów organizmów i zwiększenia intensywności życia, jednak po przekroczeniu pewnego poziomu powoduje zakłócenie w prawidłowym funkcjonowaniu ekosystemu wodnego [Kawecka i Eloranta 1994].

Konieczność ochrony jezior przed postępującą eutrofizacją oraz podtrzymanie hydrologicznej, mikroklimatycznej, biocenotycznej i gospodarczej roli zbiorników wodnych jest dziś zadaniem nadrzędnym wielu gmin, w tym gminy Stawiguda. Na jej terenie położony jest jeden z cenniejszych rekreacyjnie i przyrodniczo akwenów Pojezierza Olsztyńskiego – Jezioro Wulpińskie.

Dlatego właśnie za cel badań przyjęto określenie stanu troficznego tego zbiornika poprzez porównanie zawartości związków organicznych w wodach dwóch jego zatok oraz przesłedzenie tendencji ich zmian w ciągu ostatnich lat.

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Jezioro Wulpińskie, zwane też Dorotowskim lub Tomaszkowskim (N 53°42,3', E 20°22,8') znajduje się około 10 km na południowy zachód od Olsztyna, w gminie Stawiguda. Leży ono w zachodniej części Pojezierza Mazurskiego (w podregionie Pojezierze Olsztyńskie), na wysokości 105,4 m n.p.m. Zbiornik ma charakter przepływowy i zasilany jest kilkoma małymi ciekami, natomiast odpływ następuje rzeką Giłwą w kierunku północno-zachodnim oraz głębokim jarem nieopodal wsi Kręsk.

Całkowita powierzchnia akwenu wynosi 706,7 ha, a jego głębokość średnia 10,9 m. Jezioro Tomaszkowskie jest wydłużone równoleżnikowo [Raport... 2001] i składa się z dwóch części. Połączone są one ze sobą wąskim przesmykiem o szerokości około 60 m i głębokości 3,8 m. Z uwagi na odmienny charakter i słabą łączność obu plos często traktuje się je jako odrębne zbiorniki.

Akwen wschodni – tomaszkowski (pow. 459 ha, H_{\max} 22 m) kształtem przypomina koło. Brzegi tej części jeziora są płaskie lub lekko wzniesione. W obrębie owego basenu zlokalizowanych jest 7 wysp o łącznej powierzchni 23,6 ha (największą jest Herta – 7 ha).

Zatoka zachodnia – barwińska (pow. 246 ha, H_{\max} 54,6 m) jest wydłużona ze wschodu na zachód i tworzy głęboką rynnę. Jej brzegi są stosunkowo wysokie i strome, a z uwagi na obecność głęboczków rzeźba dna jest urozmaicona. Z tej części jeziora wypływa rzeka Giłwa.

Jezioro Wulpińskie reprezentuje typ holomiktyczny, ale krążenie wód w obu jego zatokach dokonuje się z różną intensywnością. Skwierawski i Zaborowski [1999] ustalili, że część barwińska wykazuje cechy zbiornika bradymiktycznego, tomaszkowska zaś – eumiktycznego. Odmienny charakter akwenów widoczny jest także w ich typie troficznym. Według wcześniej obowiązujących kryteriów systemu oceny jakości jezior [Cydzik i Soszka 1998] wody basenu wschodniego kwalifikowano do III klasy, a basenu zachodniego do II klasy czystości. Zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami [Rozporządzenie... 2008], wodom omawianego zbiornika można nadać V klasę stanu ekologicznego.

W zlewni bezpośredniej liczącej 7 km² dominują nieużytki – 62,4%. Grunty orne stanowią 5,7%, użytki zielone 4,8%, powierzchnia lasów obejmuje 16,7%, a tereny zabudowane to 10,4% [Raport... 2001].

Zlewnia całkowita Jeziora Wulpińskiego zajmuje obszar o powierzchni 82,8 km² [Cydzik i Soszka 1998]. Około 50% jej powierzchni stanowią tereny wykorzystywane rolniczo, 43% to lasy, 2,6% zabudowa oraz 4,4% wody [Skwierawski i Zaborowski 1999]. Z uwagi na odmienność obu plos Jeziora Wulpińskiego dokonuje się również często podziału zlewni na dwie podzlewnie: tomaszkowską (pow. 22,9 km²) i barwińską (pow. 59,9 km²), różniące się sposobem zagospodarowania (tab. 1).

Jezioro Wulpińskie zaliczane jest do zbiorników poddanych silnej presji rekreacyjnej.

Tabela 1. Sposób zagospodarowania podzlewni Jeziora Wulpińskiego
Table 1. The way of use of subcatchments of Lake Wulpińskie

Sposób użytkowania terenu The way of use	Podzlewnia tomaszkowska Tomaszkowska subcatchment	Podzlewnia barwińska Barwińska subcatchment
	%	%
Tereny zabudowane The building area	5,1	1,6
Pola uprawne Fields	54,2	33,9
Użytki zielone Grassland	8,5	12,4
Wody Waters	1,3	1,4
Lasy Forests	29,3	48,7
Bagna i tereny podmokłe Wetlands	0,9	1,9
Nieużytki Fallow lands	0,7	0,2

MATERIAŁY I METODY

Badania terenowe i laboratoryjne przeprowadzono dwukrotnie: 24.10.2007 i 02.04.2008, w terminach odpowiadających cyrkulacji jesiennej i wiosennej. Wyznaczono dwa stanowiska badawcze, po jednym w każdym plosie. Miejsca poboru prób zostały zlokalizowane nad najgłębszymi punktami zbiornika przy użyciu mapy batymetrycznej i GPS. Ze względu na okres cyrkulacji wodę do szczegółowej analizy pobierano z dwóch głębokości: 1 m pod powierzchnią i 1 m nad dnem, przy użyciu aparatu Ruttnera z wbudowanym termometrem rtęciowym o dokładności $0,2^{\circ}\text{C}$. Za każdym razem wykonano przekrój termiczno-tlenowy i zmierzono widzialność krążka Secchiego. Zawartość materii organicznej określono na podstawie BZT_5 , ChZT-Mn (utlenialność), zawartości chlorofilu a i feofityny a. Zawartość azotu organicznego obliczono z różnicy azotu Kjeldahla i azotu amonowego, zawartość fosforu organicznego obliczono jako różnicę fosforu ogólnego i mineralnego. Badania wykonano zgodnie z metodyką podaną przez Hermanowicza i in. [1999] oraz w Standard methods... [1980]. Otrzymane wyniki porównano z wynikami uzyskanymi w latach wcześniejszych przez Andrzejewskiego i Konarskiego [1994] oraz Załęckiego i Zielińskiego [1999].

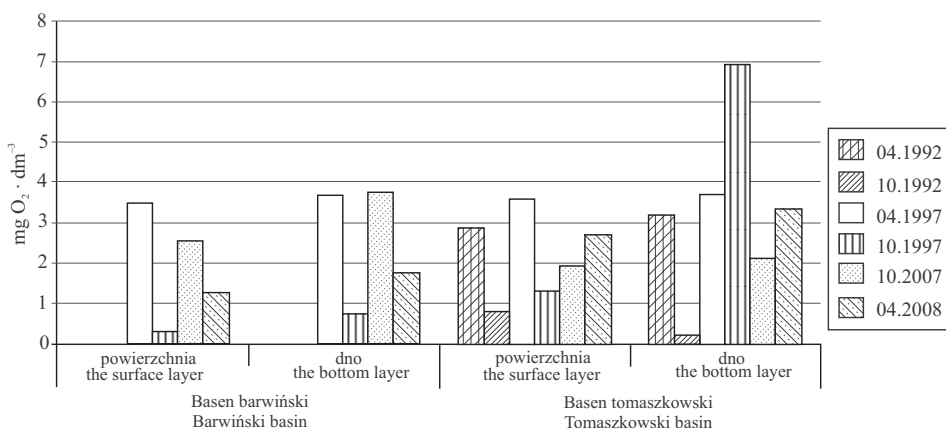
WYNIKI I DYSKUSJA

Intensywność mieszania mas wody w zasadniczy sposób wpływa na tworzące się w jeziorze układy termiczne i tlenowe, a także na tempo przemiany materii. Cyrkulacja wód pełni rolę czynnika umożliwiającego krążenie niezbędnych dla ekosystemu jeziornego składników, a jej brak powodowałaby zaleganie zwiększonych ilości związków w przydennych warstwach wody, co w rezultacie mogłoby doprowadzić do zachwiania równowagi w zbiorniku wodnym oraz do pogorszenia panujących w nim warunków.

W październiku 2007 r. nie stwierdzono pełnej cyrkulacji wód jeziora. We wschodniej, płytszej części zbiornika różnica temperatury i zawartości tlenu pomiędzy powierzchniowymi i przydennymi warstwami wód wynosiła odpowiednio $0,2^{\circ}\text{C}$ i $1,3 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Podobnie było w drugim akwenu – różnica temperatury tu sięgała $3,6^{\circ}\text{C}$, a stężenia tlenu $6,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Brak pełnego wymieszania potwierdza także stosunkowo nieduże, a przy tym zróżnicowane nasycenie wody tlenem – w zatoce tomaszkowskiej od 59,3 do 71,2% O_2 , w zatoce barwińskiej od 13,1 do 72,9% O_2 . W okresie wiosennym w tym drugim basenie stwierdzono homotermię (4°C) oraz stan bliski homooksygenii. Również pierwszy basen bliski był osiągnięcia stanu wyrównania termicznego i tlenowego, a nasycenie wody tlenem wahało się w przedziale od 109% w powierzchniowych warstwach wody do 90% nad dnem.

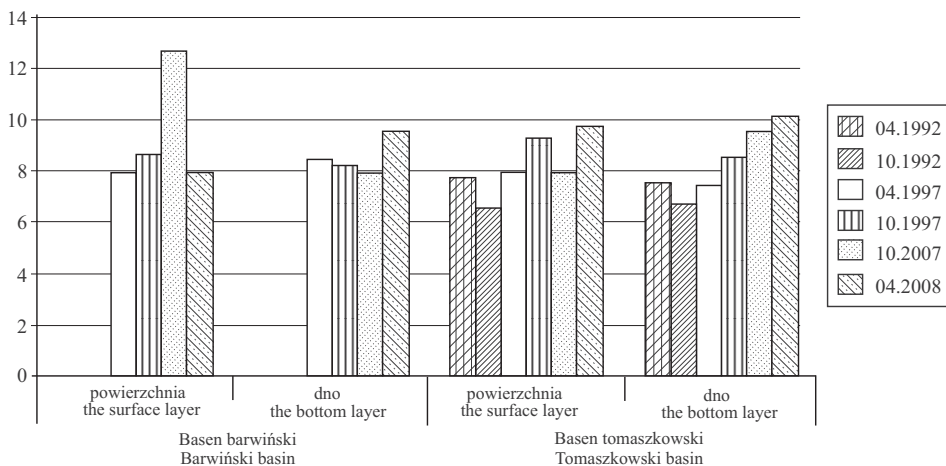
Wyrównanie termiczne, zarówno podczas własnych badań, jak i w okresie wcześniejszym, nie pociągało jednak za sobą pełnego wymieszania i równomiernego rozprzodzenia w wodzie związków organicznych. W całym analizowanym okresie, w obu częściach Jeziora Wulpińskiego ilość materii organicznej trudno rozkładalnej przeważała nad autochtoniczną, łatwo rozkładalną ($\text{BZT}_5 : \text{ChZT-Mn} < 1$), co jest odbiciem żyzności zlewni i form jej użytkowania.

Wartości BZT_5 stwierdzone w Jeziorze Wulpińskim nie były wysokie (rys. 1). W czasie jesiennych pomiarów większą koncentrację materii łatwo rozkładalnej zano-



Rys. 1. Zmiany stężeń materii organicznej określanej jako BZT₅ w wodach dwóch zatok Jeziora Wulpińskiego

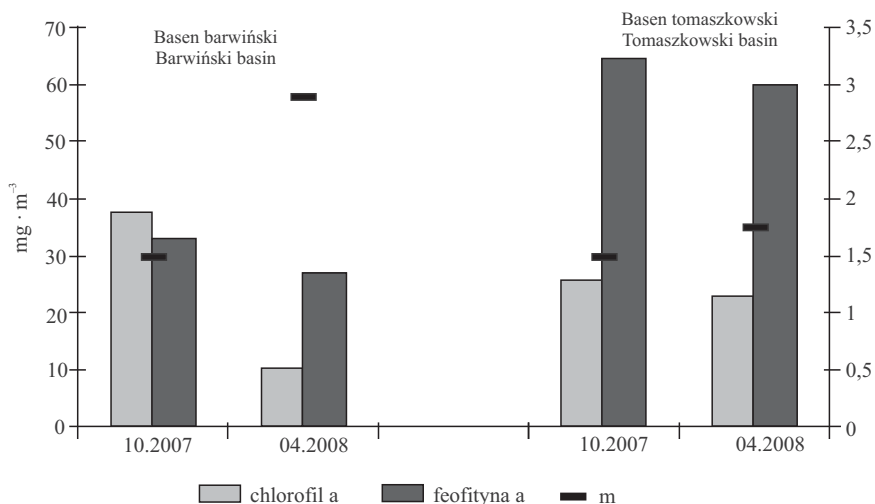
Fig. 1. Changes of concentration of organic matter described as BOD in two bays of Lake Wulpińskie



Rys. 2. Zmiany stężeń materii organicznej określanej jako utlenialność w wodach dwóch zatok Jeziora Wulpińskiego

Fig. 2. Changes of concentration of organic matter described as COD-Mn in two bays of Lake Wulpińskie

towano w wodach basenu tomaszkowskiego, co prawdopodobnie miało związek z intensywniejszą produkcją pierwotną w tym akwenu (potwierdzenie tego stanowi wysokie stężenie chlorofilu a: $23,25 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ – rys. 3). Materia organiczna zdeponowana w głębszych partiach wód wyczerpywała rozpuszczony w nich tlen, co przyczyniało się do jego nierównomiernego rozprowadzenia w słupie wody. Porównując uzyskane wyniki z wartościami otrzymanymi wcześniej przez Andrzejewskiego i Konarskiego [1992] oraz



Rys. 3. Zmiany stężeń chlorofilu a, feofityny oraz widzialności krążka Secchiego w powierzchniowej warstwie wód Jeziora Wulpińskiego

Fig. 3. Changes of chlorophyll a and pheophytin concentration and visibility of Secchi disc in surficial waters of Lake Wulpińskie

Załęckiego i Zielińskiego [1999], można zauważyć częste wahania i brak prawidłowości w występowaniu tego składnika.

Zawartość allochtonicznej materii organicznej odpornej na biodegradację (ChZT-Mn) podlegała mniejszym wahanom zarówno pomiędzy cyrkulacją wiosenną a jesienną, jak i na przestrzeni lat (rys. 2). Październikowe pomiary wykazały niemal wyrównane wartości tego parametru w górnych ($9,8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) i dolnych ($10,2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) partiach wód zatoki wschodniej. W okresie wiosennym odnotowano niższą koncentrację tego składnika i większe niż w poprzednim okresie wahania utlenialności – od $8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w warstwie powierzchniowej wód do $9,6 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ przy dnie. W akwenu barwińskim w czasie pomiarów wiosennych stwierdzono wyższe i wyraźnie zróżnicowane wartości ChZT-Mn z maksymalną wartością $12,8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w warstwie powierzchniowej.

Na podstawie zestawienia wyników uzyskanych w latach wcześniejszych z wynikami aktualnymi można przypuszczać, że chociaż większość zabudowań znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie jeziora jest skanalizowana, to zbiornik w dalszym ciągu zasilany jest dopływającą materią organiczną. Potwierdza to utrzymująca się wysoka wartość ChZT-Mn podczas badań jesiennych, będąca prawdopodobnie konsekwencją wzrostu ładunku materii organicznej w okresie letniego wypoczynku. Bardziej poddana presji turystycznej jest część tomaszkowska, co tłumaczy wyższą koncentrację allochtonicznej materii w tym płosie jeziora z wyraźną tendencją wzrostową w jej wodach naddennych ($y = 0,6429x + 6,1333$).

Rolniczy charakter podzlewni, liczne zabiegi agrotechniczne, stosowane nawozy mineralne i organiczne, a także brak okrywy roślinnej stanowią przyczynę doprowa-

dzania znacznych ilości trudno rozkładalnych związków organicznych do jej wód [Koc i Sidoruk 2005]. Poza tym na wartość utlenialności w powierzchniowych warstwach może wpływać wynoszenie substancji organicznych zgromadzonych w przydennych warstwach wód podczas cyrkulacji. Nagromadzenie związków organicznych w głębokich partiach zbiornika może przyczynić się do wytworzenia trudnej do wymieszania warstwy wód naddennych [Drozd i in. 1979]. Zdaniem Kowalczyka [1994] świadczy to o znacznej ilości szczątków organizmów wodnych, których rozkład zasila osady denne w związki fosforu, oraz o stosunkowo szybkiej ich sedymentacji.

Wskaźnikiem trofii jeziora i zachodzących w nim procesów jest produktywność fitoplanktonu, którą odzwierciedla stężenie chlorofilu *a*. Barwnik ten odgrywa znaczącą rolę w procesie fotosyntezy i dlatego też jest odpowiedzialny za powstawanie w zbiorniku nowej puli substancji organicznych [Solski 1962]. Jego koncentracja zależy od warunków termicznych i tlenowych panujących w jeziorze i stanowi odbicie zachodzących w nim zmian fizyko-chemicznych.

W okresie badawczym stężenie chlorofilu *a* zmieniało się od $26,19 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ przy powierzchni do $5,88 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ przy dnie (brak danych z okresu wcześniejszego) (rys. 3). Ówczesna cyrkulacja powodowała wynoszenie zdeponowanych w przydennych warstwach wody związków pokarmowych do warstw powierzchniowych, gdzie stwarzały one dogodne warunki do rozwoju i produkcji fitoplanktonu. Na intensywność zachodzących w tym okresie procesów miało wpływ dobre natlenienie wód powierzchniowych ($102,1\text{--}109,4\%$ O_2 wiosną i $71,2\text{--}72,9\%$ O_2 jesienią), będące przede wszystkim następstwem ich mieszania, zachodzącej fotosyntezy oraz znacznych zawartości organicznych form azotu i fosforu. W puli azotu ogólnego dominowała forma organiczna ($85\text{--}99\%$).

Zarówno w czasie badań kwietniowych, jak i październikowych odnotowano znaczne różnice w koncentracji chlorofilu *a* pomiędzy płosami zbiornika. Zdecydowanie większe stężenie tego składnika zauważono w basenie o dominującym rolniczym zagospodarowaniu podzlewni. Mineralne nawożenie terenów przyległych do jeziora wywiera ogromny wpływ na produkcję fitoplanktonu [Hutorowicz 1998]. Zdaniem Zdanowskiego [1976], długotrwałe stosowanie nawozów skutkuje zmianami w strukturze i pionowym rozmieszczeniu fitoplanktonu, przyczynia się do wzrostu jego biomasy oraz intensyfikuje produkcję pierwotną. Przeprowadzona analiza wód dwóch akwenów Jeziora Wulpińskiego potwierdza, że zlewnia użytkowana rolniczo, w przeciwieństwie do zlewni leśnej, jest dostawcą większej ilości materii organicznej. Ponadto obfitość związków azotowych i fosforowych oraz ich wzajemny stosunek wpływa na koncentrację chlorofilu *a* i świadczy o występowaniu korzystnych bądź niekorzystnych dla wód gatunków fitoplanktonu [Smith 1982]. W warstwie powierzchniowej zatoki tomaszkowskiej iloraz $\text{N} : \text{P}$ zmieniał się w zakresie od 6 do 26 i był wyższy podczas cyrkulacji jesiennej. Podobną sytuację obserwowano w powierzchniowej warstwie wód zatoki barwińskiej ($6 < \text{N} : \text{P} > 21$). Należy zauważyć, że zwiększone obciążenie związkami biogennymi prowadzące do podwyższenia produkcji fitoplanktonu może ujawniać się w deficycie tlenowym, zmniejszeniu przezroczystości wody oraz zmianach poszczególnych komponentów ekosystemu wodnego [Dillon i Rigler 1974]. Fosforany uwalniane z osadów dennych zimą w warunkach beztlenowych i wchodzące do obiegu podczas cyrkulacji zasilają epilimnion w kolejnym okresie wegetacyjnym [Tandyrak 2004].

Z zawartością barwnika odpowiedzialnego za asymilację nierozzerwalnie związane jest występowanie powstającej w wyniku jego rozpadu feofityny a. Jej koncentracja zwiększa się bezpośrednio po masowym rozwoju glonów w jeziorze [Mucha i Rybak 1979].

W okresie badawczym stężenie feofityny a podlegało wahaniom w bardzo szerokim zakresie – od 6,95 do 64,77 mg · m⁻³ (rys. 3), przy czym koncentracje zarówno tego składnika, jak i chlorofilu a w części wschodniej były zdecydowanie większe niż w zachodniej, a wiosną wyższe niż jesienią. Stwierdzone stężenia barwnika fotosyntetycznego były niższe niż produktu jego rozpadu nie tylko w warstwie głębinowej, ale też w powierzchniowej, co mogło być wynikiem intensywnie przebiegających procesów mineralizacji.

Na koncentrację i rozmieszczenie wyżej opisanych parametrów w wodach zbiornika, poza tempem produkcji materii organicznej, wywiera również wpływ zasięg mieszania wód, procesy mineralizacji, sedymentacji, a także rodzaj i ilość energii słonecznej docierającej do głębszych warstw wody [Parszuto 2008].

Parametrem ściśle powiązaniem z zawartością chlorofilu a jest widzialność krążka Secchiego, która pozwala w sposób pośredni wnioskować o produkcji pierwotnej w zbiorniku [Tadajewski i Turek 1996]. Jej zasięg pozostaje zależny od koncentracji zawiesiny żywej i martwej w wodzie oraz od jej barwy. W czasie jesiennych badań w obu basenach widzialność krążka Secchiego była identyczna (rys. 3), natomiast w okresie wiosennym okazała się wyższa w basenie zachodnim (2,9 m) niż we wschodniej (1,75 m). Wyniki uzyskane w 1992 [Andrzejewski i Konarski 1992] oraz w 1999 roku [Skwierawski i Zaborowski 1999] w zbliżonych okresach wykazują spadek przezroczystości wód Jeziora Wulpińskiego na przestrzeni ostatnich lat.

PODSUMOWANIE

Badania terenowe i laboratoryjne potwierdzają eutroficzny charakter Jeziora Wulpińskiego. Na jakość wód obu jego części znaczny wpływ miał sposób zagospodarowania terenów bezpośrednio do nich przylegających. Zlewnia użytkowana rolniczo jest dostawcą większej ilości materii organicznej niż zlewnia o charakterze leśnym – świadczy o tym większa koncentracja materii organicznej, określonej jako BZT₅ i ChZT-Mn, notowana w plosie wschodnim. Plosa zachodnie, o przeważającym leśnym zagospodarowaniu zlewni, charakteryzowało się mniejszą koncentracją chlorofilu a oraz większą widzialnością.

Zawartości materii organicznej pozwala w bezpośredni sposób określić poziom troficzny jeziora, a analiza wyników z kilku lat obrazuje kierunek, w którym podąża ekosystem wodny. Takie działanie jest niezwykle ważne, gdyż ukazuje wpływy czynników zewnętrznych i wewnętrznych na zbiornik, pozwala zaobserwować tendencję ich zmian, a także podjąć odpowiednie decyzje dotyczące ochrony jezior i zachowania niezwykle ważnej funkcji, jaką pełnią w środowisku.

PIŚMIENNICTWO

- Andrzejewski A., Konarski W., 1994. Próba określenia stopnia zeutrofizowania Jeziora Tomaszowskiego. Praca magisterska. Maszynopis. Akademia Rolniczo-Techniczna Olsztyn.
- Cydzik D., Soszka H., 1988. Atlas stanu czystości jezior Polski badanych w latach 1979–1983. IOŚ. Wyd. Geologiczne Warszawa.
- Dillon P.J., Rigler F.H., 1974. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. *Limn. Oceanogr.* 19(5), 767–773.
- Drozd H., Lossow K., Mientki Cz., 1979. Chemizm wód Jeziora Długiego w Olsztynie. *Zesz. Nauk. ART Olszt.* 9, 17–27.
- Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J., 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady Warszawa.
- Hutorowicz A., 1998. Primary production of phytoplankton community and concentration of chlorophyll and bacterio-chlorophyll in lake Smolak (Mazurian Lakeland, Poland). *Arch. Ryb. Pol.* 6(2), 197–208.
- Kawecka B., Eloranta P.V., 1994. Zarys ekologii glonów wód słodkich i środowisk lądowych. PWN Warszawa.
- Koc J., Sidoruk M., 2005. Wpływ użytkowania zlewni na ładunek fosforu dopływający do jezior z wodami powierzchniowymi. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 505, 159–167.
- Kowalczyk P., 1994. Wpływ użytkowania rolniczego zlewni na jakość wód jeziora na przykładzie Jeziora Kierskiego. *Rocz. AR Pozn.* 267, *Melior. Inż. Środ.* 15, 1, 101–114.
- Lossow K., 1996. Znaczenie jezior w krajobrazie młodoglacjalnym Pojezierza Mazurskiego. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 431, 47–59.
- Lossow K., Więclawski F., 1991. Migracja podstawowych pierwiastków pożywkowych z gleb użytkowanych rolniczo do wód powierzchniowych. *Biul. Inform. ART Olszt.* 31, 123–133.
- Mientki Cz., 2000. Saprotrofia Jeziora Skąpe i Jeziora Staw Komurzn. *Mat. IV Konf. Limnologicznej „Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior”.* Olsztyn, 221–227.
- Mucha A., Rybak M., 1979. Zawartość chlorofilu w fitoplanktonie Jeziora Długiego. *Zesz. Nauk. ART Olszt., Ochr. Wód Ryb. Śródl.* 9, 47–53.
- Parszuto K., 2008. POC, chlorophyll and pheophytin a vertical distribution in restored Kortowskie Lake (Poland). *Limnol. Papers* 3, 79–88.
- Raport o stanie środowiska województwa warmińsko-mazurskiego w roku 2001. Red. S. Różański. WIOŚ Olsztyn.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r. w sprawie sposobu klasyfikacji jednolitych części wód powierzchniowych. *Dz.U.* z 2008 r. Nr 162, poz. 1008
- Skwierawski A., Zaborowski P., 1999. Wpływ zlewni na stan troficzny Jeziora Wulpińskiego. Praca magisterska. Maszynopis. ART Olsztyn.
- Smith V.H., 1982. The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lasek: an empirical and theoretical analysis. *Limnol. Oceanogr.* 27(6), 1102–1112.
- Solski A., 1962. Chlorofil w sestonie jako wskaźnik produktywności kilkunastu jezior Polski. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 1, 111–165.
- Standard methods for the examination of water and wastewater. 1980. Am. Publ. Health Assoc. AWWA, WPCF Washington.
- Tadajewski A., Turek M., 1969. Wpływ ścieków miejskich na Jezioro Długie w Olsztynie. *Rocz. Nauk Roln.* 91-H-3, 411–430.
- Tandyrak R., 2004. Effect of Lake Starodworskie treatment by phosphorus inactivation on the primary production properties. *Pol. J. Natur. Sci.* 17(2), 491–501.
- Tandyrak R., Parszuto K., 2006. Multi-year investigations of organic matter in the waters of Lake Starodworskie, after phosphorus investigation. *Arch. Environ. Prot.* 32(3), 29–40.

- Wieczorek M., 2009. Porównanie zawartości związków biogenicznych w wodach dwóch akwenów Jeziora Wulpińskiego. Praca magisterska. Maszynopis. UWM Olsztyn.
- Załęcki Z., Zieliński M., 1999. Ocena stanu troficznego Jeziora Wulpińskiego w opraciu o parametry fizyko-chemiczne wody w roku 1997. Praca magisterska. Maszynopis. ART Olsztyn.
- Zdanowski B., 1976. The influence of mineral fertilization on phytoplankton production in lakes of various trophic types. *Ekol. Pol.* 24, 167–195.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 14.05.2012