

Daniel SZYMAŃSKI\*, Julita DUNALSKA, Renata BRZozowska,  
Justyna SIENSKA, Rafał ZIELIŃSKI

## **OCENA STANU TROFICZNEGO JEZIOR MIEJSKICH OLSZTYNA NA PODSTAWIE INDEKSU CARLSONA**

Jednym z najpopularniejszych wskaźników, które służą ocenie stanu troficznego jest Indeks Stanu Troficznego Carlsona. Składa się on z trzech parametrów określających wartości liczbowe dla zawartości chlorofilu "a", fosforu całkowitego oraz widzialności krążka Secchiego. Celem pracy było określenie stanu troficznego jezior miejskich Olsztyna oraz analiza warunków biotycznych i abiotycznych panujących w tych zbiornikach. Badaniami objęto 5 jezior miejskich Olsztyna: Tyrsko, Redykajny, Sukiel, Track oraz Podkówka. W badanej wodzie określono widzialność krążka Secchiego oraz zawartość fosforu i chlorofilu "a". Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono iż badane jeziora na podstawie indeksu opartego na zawartości fosforu całkowitego można zaliczyć do jezior eutroficznych oraz hypertroficznych, natomiast w przypadku indeksu opartego na zawartości chlorofilu "a" badane jeziora wykazywały stan od mezotrofii do hypertrofii. Natomiast wartość TSI oparta na widzialności krążka Secchiego wskazywała na dobrą przejrzystość wody, charakterystyczną dla jezior mezotroficznych.

### 1. WSTĘP

Jeziora są zaliczane do jednych z najważniejszych w przyrodzie ekosystemów słodkowodnych i są one stosunkowo nietrwałym elementem krajobrazu, przez co uważa się je za wskaźnik młodości krajobrazów polodowcowych. Szybkość zanikania jezior wiąże się z czynnikami takimi jak typ jezior, budowa geologiczna czy też działalność człowieka [7]. Zajmując obniżenia terenu w sposób naturalny kumulują substancję spływającą ze zlewni, zarówno w postaci zawiesin jak i w formie rozpuszczonej [2]. Dopływ zanieczyszczeń ze zlewni wraz z warunkami morfometrycznymi jeziora oraz hydrologią będą wpływały na jego stan troficzny. Urbanizacja, uprzemy-

---

\* Katedra Inżynierii Ochrony Wód, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. M. Oczapowskiego 2, 10-957 Olsztyn, daniel.szymanski@uwm.edu.pl

słownienie czy też intensyfikacja rolnictwa spowodowały zwiększenie ładunku zanieczyszczeń, który przedostaje się do jezior, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu ich stanu troficznego [3].

Jednymi z podstawowych wskaźników, które służą do oceny stanu troficznego są zawartość fosforu całkowitego, fosforanów, form azotu, warunki tlenowe czy też zawartość chlorofilu „a”. Oprócz wyżej wymienionych wskaźników do oceny stanu troficznego wykorzystuje się również wskaźniki integralne, składające się z kilku parametrów, zarówno biotycznych jak i abiotycznych [4]. Jednym z najpopularniejszych indeksów jest Indeks Stanu Troficznego Carlssona (TSI). Wskaźnik ten składa się z trzech parametrów określających wartości liczbowe dla zawartości chlorofilu „a”, fosforu całkowitego oraz widzialności krążka Secchiego. Wartości indeksu mieszczą się w przedziale od 0 do 100. Im wyższa jego wartość, tym jezioro osiąga wyższy stopień eutrofizacji.

Celem pracy było określenie poziomu trofii jezior miejskich Olsztyna na podstawie uzyskanych parametrów jakościowych ich wód oraz analiza warunków biotycznych i abiotycznych panujących w tych zbiornikach.

## 2. METODYKA

Badaniami objęto 5 jezior miejskich: Tyrsko, Redykajny, Sukiel, Track oraz Podkówka usytuowanych na Pojezierzu Olsztyńskim, w granicach administracyjnych miasta Olsztyn. Analizę parametrów fizykochemicznych wody przeprowadzono czterokrotnie: w marcu, kwietniu, sierpniu oraz grudniu. Wodę do analiz pobierano w najgłębszych miejscach badanych jezior w warstwie powierzchniowej. W badanej wodzie określono widzialność krążka Secchiego oraz zawartość fosforu i chlorofilu „a”.

Zawartość fosforu oznaczono metoda spektrofotometryczną z molibdenianem amonu i chlorkiem cyny. Chlorofil „a” oznaczono metodą ekstrakcyjno-spektrofotometryczną z poprawką na feopigmenty (PN-86/C-05560/02). Stan troficzny badanych jezior został wyliczony na podstawie wskaźników trofii zaproponowanych przez Carlsona [1]:

$$TSI_{SD} = 60 - 14,41 \ln (SD)$$

$$TSI_{TP} = 14,42 \ln (TP) + 4,15$$

$$TSI_{Chl} = 9,81 \ln (Chl) + 30,6$$

### 3. OBIEKT BADAŃ

Jeziro Redykajny jest najdalej wysuniętym na północ jeziorem Olsztyna oraz najniżej położonym (101,9 m n.p.m.). Jezioro jest hydrologicznie zamknięte, nie ma dopływów oraz odpływów powierzchniowych. Dno jest zróżnicowane, z dwoma wyraźnymi głęboczkami. Powierzchnia jeziora wynosi 29,9 ha, a głębokość maksymalna 20,6 m.

Jeziro Tyrsko położone jest w północno-zachodniej części Olsztyna na wysokości 105 m n.p.m. Ma kształt romboidalny. Dno misy jeziorowej opada dość równomiernie do położonego niemal centralnie głęboczka. Jezioro jest zbiornikiem zamkniętym. Powierzchnia zwierciadła wody wynosi 18,6 ha. Głębokość maksymalna tego zbiornika wynosi 30,4 m.

Jeziro Sukiel jest położone w zachodniej części Olsztyna, na wysokości 109 m n.p.m. Jest obiektem prywatnym, wykorzystywanym do celów rybackich oraz rekreacyjnych. Jezioro jest akwenem bezodpływowym o powierzchni 20,8 ha i głębokości maksymalnej wynoszącej 25 m.

Jeziro Track położone jest w północno-wschodnich obrzeżach Olsztyna, na wysokości 123,9 m n.p.m. Obecnie jezioro jest zbiornikiem bezodpływowym o maksymalnej głębokości wynoszącej 4 m oraz powierzchni 52,8 ha.

Jeziro Podkówka znajduje się w północno-zachodniej części Olsztyna. Jest to zbiornik niewielki (ok. 7 ha) oraz dość płytki (6 m).



Rys. 1. Położenie badanych jezior na mapie Olsztyna

Tabela 1. Wybrane cechy morfometryczne badanych jezior [5]

Parametr	Jednostka	Redykajny	Tyrsko	Sukiel	Track	Podkówka
Powierzchnia zwierciadła wody	ha	29,9	18,6	20,8	52,8	6,9
Głębokość maksymalna ( $H_{max}$ )	m	20,6	30,4 m	25	3,8	6,0
Głębokość średnia ( $H_{sr}$ )	m	8,0	9,6 m	6,6	2,1	2,85
Głębokość względna ( $H_{wzgl}$ )	-	0,038	0,07	0,055	0,005 2	0,023
Wskaźnik głębokościowy ( $W_g$ )	-	0,39	0,32	0,257	0,56	0,475
Objętość (V)	tys. m <sup>3</sup>	2393,8	1 786,1	1365,8	1123	19,7
Długość maksymalna ( $D_{max}$ )	m	915	630 m	725	1500	365
Szerokość maksymalna ( $S_{max}$ )	m	550	455 m	400	575	280
Wskaźnik wydłużenia ( $\lambda$ )	-	1,66	1,38	1,8	2,6	1,3
Długość linii brzegowej (L)	m	2725	1620	2100	4650	1380
Wskaźnik rozwinięcia linii brzegowej (K)	-	1,41	1,1	1,3	1,86	1,48

### 3.1. CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI BADANYCH JEZIOR

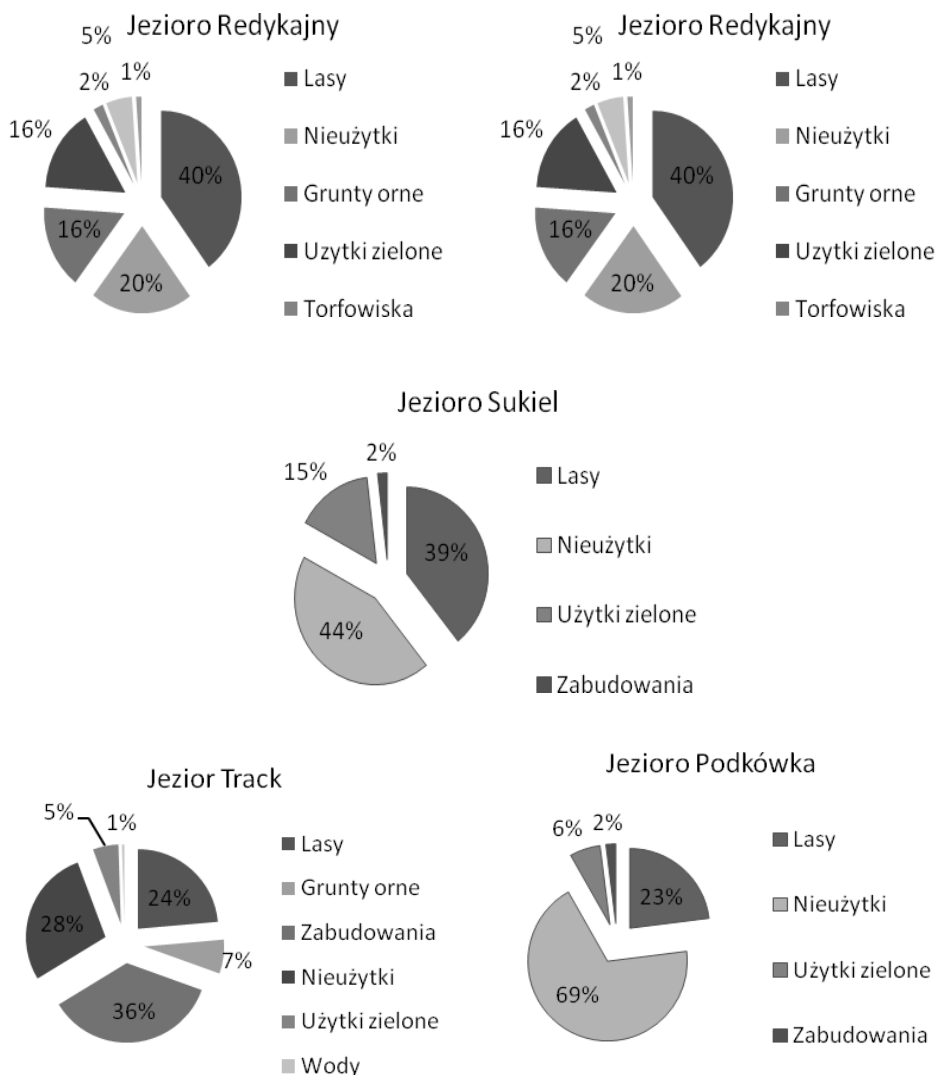
Zlewnia jeziora Redykajny ma powierzchnię ok. 187,4 ha. W zagospodarowaniu zlewni największy udział mają lasy oraz nieużytki. Zlewnia jeziora jest znacznie zróżnicowana fizjograficznie, a obrzeża wyniesione. Duży pokrycie zlewni przez las stanowi dobrą otulinę chroniącą jezioro.

Zlewnia jeziora Tyrsko jest niewielka i ma powierzchnię ok. 68 ha. Największy udział w niej mają nieużytki oraz lasy. Obrzeża jeziora są wyniesione. Teren wokół jeziora w ostatnich dziesięcioleciach został przekształcony z terenów rolniczo-leśnych w nieużytki oraz częściowo tereny zurbanizowane.

Jezioro Sukiel posiada niewielką zlewnię o powierzchni 26,1 ha. Brzegi jeziora są nieznacznie wzniesione. Od strony północnej oraz północno-wschodniej brzeg jeziora jest otoczony przez zabudowania osiedla Likusy. W zlewni dominują nieużytki oraz lasy.

Zlewnia jeziora Track na powierzchnię ok. 387 ha. W jej zagospodarowaniu dominują tereny zabudowane oraz nieużytki. Otoczenie jeziora jest na ogół płaskie oraz trudno dostępne.

Jeziro Podkówka posiada niewielką powierzchnię i zajmuje obszar ok. 25,6 ha. Dominującą formą w zagospodarowaniu zlewni są nieużytki oraz lasy. W ostatnich latach zauważalna jest tendencja do urbanizacji zlewni tego zbiornika.



Rys. 2. Sposób zagospodarowania zlewni badanych jezior [5]

## 4. WYNIKI

## 4.1. WIDZIALNOŚĆ KRAŻKA SECCHIEGO

Przezroczystość wody w badanych jeziorach wahała się z zakresie od 2,2 m do 5,6 m. Wartość minimalną stwierdzono na jeziorze Sukiel w okresie letnim, natomiast maksymalną na jeziorach Sukiel oraz Tyrsko w okresie jesiennym.

## 4.2. FOSFOR OGÓLNY

Zawartość fosforu w badanych jeziorach mieściła się w zakresie od 0,077 mg P/dm<sup>3</sup> w jeziorze Tyrsko w okresie jesiennym do 0,96 mg P/dm<sup>3</sup> w jeziorze Redykajny również w okresie wiosennym.

Tabela 2. Sezonowa zmienność parametrów fizyko - chemicznych badanych jezior

Jezioro	Sezon	Parametr		
		TP [mg/dm <sup>3</sup> ]	Chla „a” [mg/m <sup>3</sup> ]	SD [m]
Sukiel	zima	0,208	1,6	X
	wiosna	0,033	2,67	4
	lato	0,252	9,62	2,2
	jesień	0,069	3,74	5,6
Redykajny	zima	0,077	1,07	X
	wiosna	0,082	1,34	2,8
	lato	0,253	5,35	3
	jesień	0,085	0,80	4,7
Tyrsko	zima	0,095	0,18	X
	wiosna	0,093	5,35	4
	lato	0,224	6,15	3,5
	jesień	0,120	2,67	5,6
Track	zima	0,100	35,46	X
	wiosna	0,106	14,17	2,5
	lato	0,193	48,38	1,4
	jesień	0,87	15,42	0,9
Podkówka	zima	0,106	29,76	X
	wiosna	0,102	10,96	2,7
	lato	0,46	15,27	2,5
	jesień	0,96	12,45	2,7

## 4.3. CHLOROFIL "A"

Zawartość chlorofilu „a” w badanych jeziorach zmieniała się w zakresie od 0,18 mg/m<sup>3</sup> do 48,38 mg/m<sup>3</sup>. Wartość minimalną odnotowano zimą w jeziorze Tyrsko, zaś maksymalną latem w jeziorze Track.

## 4.4. TSI

Analizując wartości wskaźnika TSI w badanych jeziorach stwierdzono, iż najniższe jego wartości odnotowano w przypadku wskaźnika opartego na widzialności krążka Secchiego. Według niego badane jeziora, za wyjątkiem jeziora Track, można zaliczyć do jezior mezotroficznych, natomiast jezioro Track do jezior eutroficznych. W przypadku wskaźnika TSI opartego na zawartości fosforu jezior Tyrsko można zaliczyć do typu eutroficznego, natomiast pozostałe do jezior hypertroficznych. Analizując wskaźnik TSI(Chla) można stwierdzić iż jeziora Sukiel oraz Tyrsko to zbiorniki mezotroficzne, natomiast Redykajny i Podkówka to jeziora eutroficzne, a jezioro Track należy zaliczyć do typu hypertroficznego.

Tabela 3. Stan troficzny badanych jezior wg indeksu TSI

	Sukiel	Redykajny	Tyrsko	Track	Podkówka
TSI(SD)	49	44	42	62	46
TSI(Chla)	42	56	46	78	66
TSI(TP)	84	82	65	80	93

## 5. DYSKUSJA WYNIKÓW

Niezwykle istotnym wskaźnikiem zależności biotycznych i abiotycznych panujących w zbiornikach wodnych jest znajomość ich stanu troficznego. W przedziale troficznym możemy wyróżnić jeziora oligo-, mezo-, eu- oraz hypertroficzne. Jeziora oligotroficzne wskazują na bardzo dobrą jakość wód jeziorowych, a kolejne typy wiążą się z postępującą eutrofizacją jeziora i wzrostem jego żyzności. Na podstawie oceny wskaźników trofii opartych na indeksie Carlsona badane jeziora można zaliczyć do jezior hypertroficznych, za wyjątkiem jeziora Tyrsko, które wykazuje cechy jeziora eutroficznego.

Największe zróżnicowanie troficzne było obserwowane w przypadku TSI(Chla). Wartości TSI(Chla) mieściły się w zakresie od 42 do 78 tj. od mezotrofii - jezioro Sukiel do hypertrofii - jezioro Track. Natomiast wartość TSI(SD) wskazywała na dobrą przejrzystość wody, charakterystyczną dla jezior mezotroficznych. Wyjątek stanowiło jezioro Track, gdzie indeks TSI(SD) był charakterystyczny dla eutrofii.

Najwyższe wartości wskaźnika TSI stwierdzono w przypadku indeksu opartego na zawartości fosforu całkowitego (od 65 do 93). Może to świadczyć o postępującej eutrofizacji badanych zbiorników w wyniku dużego dopływu fosforu ze zlewni lub uwalniania go z osadów dennych.

Pomimo, że pomiędzy poszczególnymi elementami indeksu Carlsona występowały tak istotne różnice, to ich wspólna interpretacja może stanowić cenne źródło informacji o funkcjonowaniu ekosystemów, zależnościach w sieci troficznej oraz czynnikach ograniczających produkcję pierwotną w tego typu zbiornikach [6]. W sytuacji, gdy:

-  $TSI(Chla)=TSI(TP)=TSI(SD)$  – wówczas fitoplankton odpowiada za pochłanianie i rozpraszanie światła w wodzie,

-  $TSI(Chla)>TSI(SD)$  - fitoplankton jest zdominowany przez trychomalne lub cecobialne sinice,

-  $TSI(TP)=TSI(SD)>TSI(Chla)$  – warunki optyczne w wodzie są uzależnione od barwy własnej wody lub tryptonu,

-  $TSI(SD)=TSI(Chla)>TSI(TP)$  – fosfor jest czynnikiem limitującym rozwój producentów pierwotnych w toni wodnej,

-  $TSI(TP)>TSI(Chla)=TSI(SD)$  – fitoplankton istotnie wpływa na atenuację światła w wodzie, choć równocześnie szereg czynników, jak np. limitacja przez azot, wyżeranie przez zooplankton, związki toksyczne może ograniczać biomasę fitoplanktonu.

Opierając się na podanych zależnościach można stwierdzić, że fosfor nie jest czynnikiem ograniczającym produktywność badanych ekosystemów jeziorowych. Wysoki stosunek między wskaźnikami opartymi na fosforze i widzialności w jeziorach Sukiel, Redykajny oraz Tyrsko wskazuje, iż fosfor w tych zbiornikach występuje w formie niedostępnej dla autotrofów i nie jest on w pełni przez nie wykorzystywany. Różnice w wartościach  $TSI(SD)$  oraz  $TSI(Chla)$  w tych jeziorach były niewielkie (max. 8), podczas gdy w przypadku różnic pomiędzy  $TSI(TP)$  oraz indeksami  $TSI(SD)$  oraz  $TSI(Chla)$  różnice te dochodziły do 42. W badanych jeziorach wskaźnik oparty na zawartości chlorofilu „a” jest wyższy niż ten oparty na widzialności krążka Secchiego. Taka sytuacja jest charakterystyczna dla zbiorników, w których fitoplankton jest zdominowany przez sinice. Wyjątek stanowi jezioro Sukiel, gdzie  $TSI(SD)>TSI(Chla)$  co wskazuje, że warunki optyczne panujące w tym jeziorze są uzależnione od barwy własnej wody i zawartości rozpuszczonej materii organicznej. Dominacja sinic w strukturze fitoplanktonu jest bardzo niekorzystnym zjawiskiem, ponieważ sinice mogą produkować toksyczne związki. Pojawienie się toksyn sinicowych w wodzie może prowadzić do wyłączenia takiego zbiornika z rekreacyjnego wykorzystania. Jest to niezwykle ważne, szczególnie w jeziorach miejskich, które często pełnią właśnie funkcję kąpieliska dla mieszkańców.

Stan troficzny badanych jezior jest ściśle uzależniony od procesów zachodzących w ich najbliższym otoczeniu. Postępująca urbanizacja oraz przekształcenia zlewni prowadzą do zamian w spływie powierzchniowym, w wyniku czego ładunek zanieczyszczeń przedostających się do jezior ulega zwiększeniu przyczyniając się do inten-



syfikacji procesów degradacyjnych. Dla zachowania lub poprawy aktualnego stanu troficznego jezior Olsztyna niezbędne jest podjęcie działań mających na celu ograniczenie obciążenia zanieczyszczeniami ze zlewni oraz odpowiednie, racjonalne ich użytkowanie, gdyż pełnią one bardzo ważną funkcję nie tylko rekreacyjną ale również krajobrazową. Należy zatem zwrócić szczególną uwagę na postępującą w tych akwenach eutrofizację, aby mogły one służyć nie tylko nam, ale również przyszłym pokoleniom.

Przedstawione prace zostały wykonane w ramach realizacji grantu finansowanego przez NCN DEC-2011/01/B/ST10/06569

#### LITERATURA

- [1] CARLSON R.E., A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22, 1977.
- [2] GALICKA W., DROŻDŻYK A., KORCZYŃSKA A., *Bilansy składników zanieczyszczeń w zbiornikach zaporowych i jezior*. [w:] Zintegrowana strategia ochrony i zagrożenia ekosystemów wodnych. Red. M. Zaleski. Bibl. Monit. Środ. PIOŚ Łódź, 1994.
- [3] GAWROŃSKA H., K. LOSSOW, J. GROCHOWSKA., *Rekultywacja Jeziora Długiego w Olsztynie*. Monografia. Olsztyn, 2005.
- [4] KOWALEWSKI Z., *Metody oceny stanu troficznego wód powierzchniowych*, [w:] Konferencja Młodych Uczonych, Kraków, 2009.
- [5] LOSSOW K., GAWROŃSKA H., MIENTKI CZ., ŁOPATA M., WIŚNIEWSKI G., *Jeziora Olsztyna stan troficzny, zagrożenia*, Olsztyn, 2005.
- [6] MATTHEWS R., HILLES M., PELLETIER G., *Determining trophic state in Lake Whatcom, Washington (USA), a soft water lake exhibiting seasonal nitrogen limitation*, *Hydrobiologia* 468: 107-121, 2002.
- [7] MIKOŁAJSKI J., *Geografia województwa szczecińskiego*, STN TOM XI, Szczecin 1996.

#### ASSESSMENT OF THE TROPHIC STATUS OF URBAN LAKES LOCATED IN OLSZTYN ON THE BASIS OF THE CARLSON'S INDEX

One of the most popular indicators that are used to assess the trophic status in lakes is Carlson's Trophic State Index. It consists of three parameters defining the numerical values for the content of chlorophyll a, total phosphorus, and Secchi disk visibility. The aim of the study was to determine the trophic status of lakes in the city of Olsztyn and analysis of biotic and abiotic conditions prevailing in these lakes. The study included five urban lakes in Olsztyn: Tyrsko, Redykajny, Sukiel, Track and Podkówka. The test water was determined depth Secchi disk visibility and content of phosphorus and chlorophyll a.

Based on the obtained results it was found that the investigated lakes on the basis of an index based on the total phosphorus content can be classified as eutrophic and hypertrophic lakes, while in the case of index based on the content of chlorophyll a studied lakes showed the state of mesotrophy to hypertrophy. In contrast, the value of the TSI based on Secchi disk visibility indicated a good water clarity characteristic of mesotrophic lakes. The exception was lake Track, where the index TSI (SD) was characteristic of eutrophic.