

Elena NEVEROVA-DZIOPAK¹
Zbigniew KOWALEWSKI²

OPTYMALIZACJA PROCEDURY OCENY STANU TROFICZNEGO WÓD PRZEJŚCIOWYCH NA PRZYKŁADZIE ZALEWU SZCZECIŃSKIEGO

Ze względu na wysokie obciążenie antropogeniczne obszarów morskich i jego prognozowany wzrost w przyszłości, aktualnym problemem jest systematyczna ocena ich aktualnego stanu troficznego, analiza roli rozmaitych czynników eutrofizacji i opracowanie na tej podstawie modeli symulacyjnych możliwego rozwoju tego procesu. To wszystko stanowi podstawę opracowania strategii zapobiegania negatywnym skutkom eutrofizacji i ma wielkie znaczenie w zarządzaniu przybrzeżnymi ekosystemami. Celem przeprowadzonych badań był poszukiwanie szybkiego i taniego sposobu oceny stanu troficznego wód przejściowych i przybrzeżnych w celu optymalizacji prowadzenia monitoringu procesów eutrofizacji i gromadzenia danych służących podstawą do formułowania matematycznych modeli prognostycznych na przykładzie słonawych wód Zalewu Szczecińskiego. Analiza porównawcza możliwości zastosowania trzech liczbowych wskaźników troficzności – TSI, TRIX i ITS – pozwoliła potwierdzić wysoką wiarygodność każdego z nich do oceny intensywności procesu eutrofizacji w badanym akwenie i zaliczyć go do wód zeutrofizowanych. Wykonana kalkulacja kosztów oceny stanu troficznego dla pojedynczego punktu pomiarowo-kontrolnego na podstawie każdego z indeksów pozwoliła zaproponować zastosowanie wskaźnika ITS jako podstawę ekspresowego monitoringu procesu eutrofizacji ze względu na niskie koszty oceny, małą pracochłonność i łatwą interpretację wyników oceny. Zastosowanie tak taniej metody pozwoliłoby na poszerzenie sieci punktów pomiarowo-kontrolnych, zwiększenie częstotliwości pomiarów i dokonywania ocen oraz nadawałoby się do gromadzenia zasobów danych niezbędnych do formułowania modeli matematycznych.

Słowa kluczowe: metody oceny, indeks stanu troficznego, monitoring procesów eutrofizacji

¹ AGH University of Science and Technology, Department of Management and Protection of Environment, Al. Mickiewicza 30, paw. C-4, 30-059 Krakow, Poland, e-mail: elenad@agh.edu.pl
Phone: +48 (12) 617 47 04

² Autor do korespondencji: AGH University of Science and Technology, Department of Management and Protection of Environment, Al. Mickiewicza 30, paw. C-4, 30-059 Krakow, Poland, e-mail: kowalew@agh.edu.pl

1. Aktualność problemu

Szybki przyrost ludności, wysoki stopień urbanizacji i rozwoju gospodarczego w obszarze zlewni mórz doprowadziły do bardzo znaczącej presji antropogenicznej na ekosystemy morskie. Intensyfikacja rolnictwa wyrażona w rosnącym wykorzystaniu nawozów sztucznych oraz odprowadzanie niedostatecznie oczyszczonych ścieków z obszarów miejskich i gospodarstw wiejskich prowadzi do wzmocnienia procesu eutrofizacji akwenów morskich, pogorszenia jakości wód oraz zmniejszenia różnorodności gatunkowej biocenozy morskich. Sposoby zapobiegania nasileniu się tych negatywnych procesów, jak i mechanizmy zarządzania strefami przybrzeżnymi o wysokich poziomach trofii i zanieczyszczenia nie są wystarczająco rozwinięte. Ten problem dotyczy zwłaszcza mórz śródlądowych, do których dopływają wysoce eutroficzne wody rzek. Ze względu na wysokie obciążenie antropogeniczne obszarów morskich i jego prognozowany wzrost w przyszłości, bardzo aktualnym problemem jest systematyczna ocena ich aktualnego stanu troficznego, analiza roli rozmaitych czynników eutrofizacji i opracowanie na tej podstawie modeli symulacyjnych możliwego rozwoju tego procesu. To wszystko stanowi podstawę opracowania strategii zapobiegania negatywnym skutkom eutrofizacji i ma wielkie znaczenie w zarządzaniu przybrzeżnymi ekosystemami.

Celem przeprowadzonych badań był poszukiwanie szybkiego i taniego sposobu oceny stanu troficznego wód słonawych w celu optymalizacji prowadzenia monitoringu procesów eutrofizacji i gromadzenia danych służących podstawą do formułowania matematycznych modeli prognostycznych na przykładzie Zalewu Szczecińskiego.

2. Materiały i metody

Ocena stanu troficznego Zalewu Szczecińskiego bazowała na danych monitoringu realizowanego przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie w okresie wegetacyjnym z marca po październik 2003 roku. Monitoring badanego akwenu w roku 2003 był prowadzony w większej liczbie punktów pomiarowo-kontrolnych niż w latach następnych, charakteryzował się poszerzonym zakresem badanych wskaźników, w tym biologicznych oraz większą częstotliwością ich pomiarów, co pozwoliło oprzeć przeprowadzone badania na większej liczbie danych i uzyskać bardziej wiarygodne wyniki. Dane pomiarów podstawowych wskaźników eutrofizacji wykonane w ramach monitoringu Zalewu Szczecińskiego stanowiły bazę do przeprowadzenia analizy porównawczej różnych metod oceny stanu troficznego [10]. Składała się ona z 68 pomiarów 11 wskaźników jakości wód wykonanych w 11 punktach pomiarowo kontrolnych (rys. 1). Ocenę przeprowadzono na podstawie średnich wartości wskaźników w oparciu o liczbowe indeksy Carlsona TSI, Vollenweidera TRIX oraz integralnego kryterium stanu troficznego ITS. Analizę korelacyjną, wykonaną

w celu potwierdzenia możliwości zastosowania indeksu ITS, poprzedzała statystyczna obróbka danych w tabelach korelacyjnych zgodnie ze standardowymi metodami statystyki matematycznej stosowanych w naukach przyrodniczych [9]. Charakterystykę bazy danych wykorzystanych w badaniach przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wyniki badań monitoringowych w Zalewie Szczecińskim w warstwie powierzchniowej (na podstawie [10])

Table 1. Results of monitoring in the Szczecin Lagoon - surface layer (on the base of [10])

Ppk	Liczba pomiarów	pH	Zasolenie, ‰	Tlen, %	N-NO ₂ , mg/l	N-NO ₃ , mg/l	N-NH ₄ , mg/l	N og., mg/l	PO ₄ , mgP/l	Chl-a, mg/m ³	Przeźroczystość, m
B	8	8,7	2,7	108	0,005	0,302	0,050	1,391	0,144	31,2	1,36
C	8	8,7	1,7	112	0,006	0,588	0,036	1,525	0,205	41,4	1,15
D	8	8,6	1,5	103	0,007	0,348	0,049	1,470	0,176	45,4	1,13
E	8	8,2	0,7	88	0,016	0,491	0,153	1,735	0,187	39,4	1,13
F	8	8,6	1,4	109	0,008	0,385	0,036	1,560	0,149	42,6	1,05
H	8	8,7	1,7	111	0,007	0,305	0,031	1,388	0,153	34,3	1,28
J	4	8,6	2,2	107	0,003	0,022	0,034	0,754	0,115	59,8	0,80
K	4	8,8	2,0	109	0,003	0,018	0,048	0,713	0,118	58,2	0,88
M	4	8,8	1,8	102	0,003	0,020	0,043	0,907	0,143	68,5	0,88
O	4	8,8	1,5	103	0,003	0,012	0,059	0,866	0,173	80,4	0,83
P	4	8,7	1,6	103	0,004	0,027	0,053	0,929	0,142	81,2	0,83



Rys. 1. Punkty pomiarowo kontrolne w Zalewie Szczecińskim

Fig. 1. Measurement points in the Szczecin Lagoon

3. Zastosowane metody oceny stanu troficznego

3.1. Ocena na podstawie indeksu Carlsona TSI

Indeks TSI (ang. Trophic State Indeks) został opracowany przez amerykańskiego badacza Roberta Carlsona pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku. Konstrukcja indeksu opiera się na zależności pomiędzy przezroczystością wody a biomasą glonów. Jako dodatkowe parametry do obliczenia indeksu TSI Carlson zaproponował fosfor ogólny i chlorofil-a, a jego wartości liczbowe zostały ustalone na podstawie analizy korelacyjnej i regresyjnej. Indeks TSI oblicza się za pomocą wzorów (1), (2) i (3) [1]:

$$\text{TSI}(\text{SD}) = 60 - 14.41 \ln \text{SD} \quad (1)$$

$$\text{TSI}(\text{Chl}) = 9.81 \ln \text{Chl} + 30,6 \quad (2)$$

$$\text{TSI}(\text{TP}) = 14.42 \ln \text{TP} + 4,15 \quad (3)$$

gdzie: SD – widzialność krążka Secchiego [m],

Chl – zawartość chlorofilu-a [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$],

TP – zawartość fosforu ogólnego [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$].

Wielkości poszczególnych składników indeksu Carlsona pozwalające na obliczenie jego wartości przedstawia tabela 2, natomiast tabela 3 przedstawia wartości graniczne TSI w wodach o różnym poziomie troficznym.

Tabela 2. Wartości graniczne poszczególnych składników indeksu TSI (na podstawie [1])

Table 2. Limit values of TSI index components (based on [1])

Wartość indeksu Carlsona (TSI)	Widzialność krążka Secchiego (SD), m	Fosfor ogólny (TP), $\mu\text{g}/\text{dm}^3$	Chlorofil-a (Chl), $\mu\text{g}/\text{dm}^3$
0	64	0,75	0,04
10	32	1,5	0,12
20	16	3	0,34
30	8	6	0,94
40	4	12	2,6
50	2	24	6,4
60	1	48	20
70	0,5	96	56
80	0,25	192	154
90	0,12	384	427
100	0,062	768	1183

Tabela 3. Wartości graniczne indeksu TSI w wodach o różnym poziomie troficzności (na podstawie [2])

Table 3. Limit values of TSI index in waters of different trophic levels (based on [2])

Wartości indeksu TSI	Poziom troficzny
do 30	ultraoligotrofia
30 – 40	oligotrofia
40 – 50	mezotrofia
50 – 70	eutrofia
powyżej 70	hipertrofia

3.2. Ocena na podstawie indeksu Vollenweidera TRIX

Pod koniec lat dziewięćdziesiątych XX wieku R. Vollenweider na potrzeby oceny eutrofizacji opracował indeks TRIX. Indeks bazuje na założeniu, że stan troficzny jest uwarunkowany zawartością składników biogennych dostępnych dla roślinności wodnej i składa się z czterech elementów: zawartości fosforu ogólnego i rozpuszczonego azotu nieorganicznego, chlorofilu-a, będącego odzwierciedleniem biomasy fitoplanktonu oraz odchylenia nasycenia wody tlenem od stuprocentowego jej nasycenia, będącego charakterystyka intensywności przebiegu procesów produkcji. Wartość indeksu TRIX jest obliczana na podstawie równania (4) [3], a jego wartości graniczne dla wód o różnych stanach troficznych przedstawia tabela 4.

$$TRIX = (\text{Log}10[\text{Chl} * \text{aD}\%O * \text{minN} * \text{TP}] + k) / m \quad (4)$$

gdzie: Chl – zawartość chlorofilu-a [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$],

aD%O – odchylenie nasycenia wody tlenem od stuprocentowego nasycenia

minN – azot nieorganiczny [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$],

TP – fosfor ogólny [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$],

k, m – współczynniki skalujące.

Tabela 4. Graniczne wartości indeksu TRIX w wodach o różnym poziomie troficzności (na podstawie [3])

Table 4. Limit values of TRIX index in waters of different trophic levels (based on [3])

Skala indeksu Vollenweidera (indeks TRIX)	Poziom troficzny
2	ultraoligotrofia
2 – 4	oligotrofia
4 – 5	mezotrofia
5 – 6	mezoeutrofia
6 – 8	eutrofia

3.3. Ocena na podstawie indeksu ITS

Kolejnym sposobem oceny stanu troficznego jest ocena na podstawie integralnego kryterium ITS (Index of Trophic State), który został opracowany na potrzeby monitoringu stanu trofii słodkich wód Zatoki Newskiej [5]. Indeks ITS był stosowany również do oceny trofii rzek polskich, zbiorników zaporowych Solina, Dobczyckiego, małych rzek Estonii, zatoki Zaler w Niemczech i innych akwenów [4, 5, 6, 8]. Założeniem teoretycznym indeksu ITS jest zmiana bilansu procesów produkcji i rozkładu substancji organicznej produkowanej przez glony podczas przebiegu procesu eutrofizacji. Zmiany bilansu biotycznego prowadzą do zmian w gospodarce gazowej w wodach, a co za tym idzie, i stosunków ilościowych stężeń tlenu i dwutlenku węgla. Zmiana stężeń CO₂ prowadzi z kolei do zmian wielkości pH, co wynika z równowagi węglanowej. Przy czym pod wpływem procesów biologicznych, związanych z produkcją roślinności wodnej podczas eutrofizacji, powstaje odpowiednia współzależność między wartością pH i nasyceniem wody tlenem, dobrze aproksymowana przez dodatnią korelację liniową. Właśnie ta zależność stanowi bazę indeksu ITS. Szczegółowo założenia teoretyczne i zasada opracowania indeksu ITS przedstawiono w literaturze [7, 8]. Indeks ITS oblicza się według wzoru (5):

$$ITS = \sum pH_i / n + a (100 - \sum [O_2\%] / n) \quad (5)$$

gdzie: pH_i – wartość pH,

[O₂%] – nasycenie wody tlenem mierzone synchronicznie z pomiarami pH,

a – współczynnik empiryczny,

n – liczba pomiarów.

Wartości, które przyjmują indeks ITS w wodach o różnym poziomie troficznym przedstawia tabela 5.

Tabela 5. Graniczne wartości wskaźnika ITS w wodach o różnym poziomie troficzności [7]

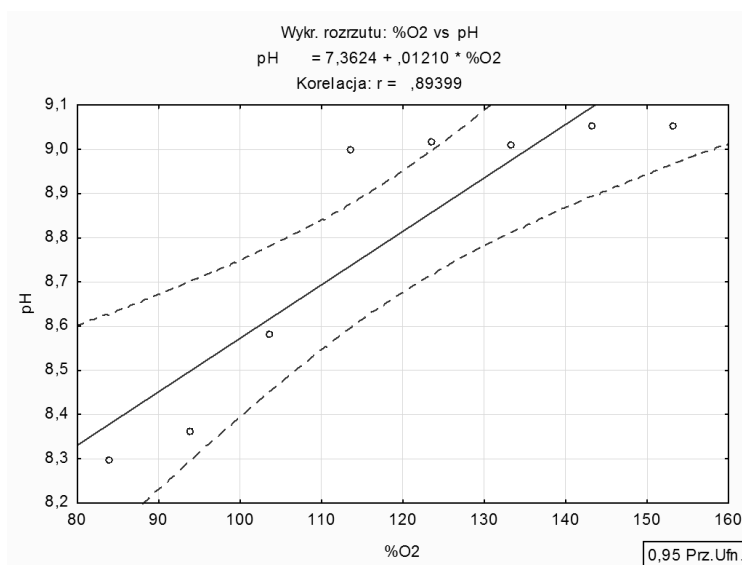
Table 5. Limit values of ITS index in waters of different trophic levels [7]

Status troficzny	Wartość indeksu ITS
dystrofia	< 6,0
ultraoligotrofia	6,0 – 6,6
oligotrofia	6,7 – 7,3
mezotrofia	7,4 – 8,0
eutrofia	> 8,0

4. Analiza porównawcza zastosowania różnych sposobów oceny stanu troficznego

Celem niniejszej analizy było ustalenie optymalnej metody oceny stanu troficznego wód przejściowych, która charakteryzowałaby się małą pracochłonnością i niskimi kosztami, a jednocześnie nadawałaby się na przeprowadzenie ekspresowego monitoringu, oraz szybkiego podejmowania decyzji w zakresie zarządzania procesami eutrofizacji wód przejściowych i przybrzeżnych. W związku z tym przeprowadzono ocenę stanu troficznego Zalewu Szczecińskiego na podstawie trzech indeksów liczbowych opisanych powyżej.

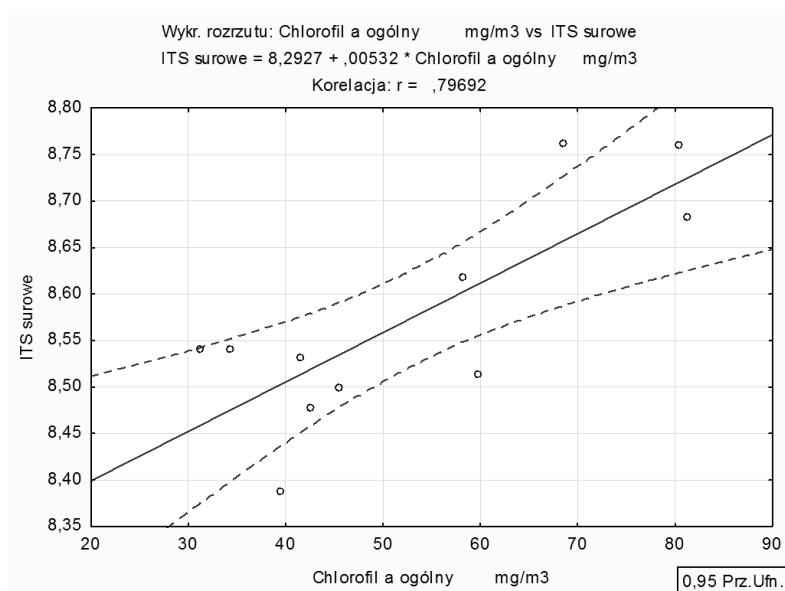
Ze względu na to, że warunkiem zastosowania indeksu ITS jest istnienie liniowej zależności między pH i nasyceniem wody tlenem, należało przeprowadzić wstępną analizę statystyczną w celu ustalenia charakteru zależności między tymi parametrami. Ustalona istotna zależność korelacyjna pozwoliła na zastosowanie wskaźnika ITS do oceny eutrofizacji Zalewu Szczecińskiego na równi z indeksami TSI i TRIX (rys.2).



Rys. 2. Ustalony charakter zależności między pH a nasyceniem wody tlenem w Zalewie Szczecińskim

Fig. 2. Established nature of relationship between pH and oxygen saturation of water in the Szczecin Lagoon

Istotna współzależność ITS i podstawowego składnika wszystkich metod oceny stanu trofii – zawartości chlorofilu – dodatkowo potwierdziła zasadność wyboru zastosowania ITS do oceny eutrofizacji danego akwenu (rys.3).



Rys. 3. Zależność stopnia troficzności wyrażonego przez wartość ITS od zawartości chlorofilu

Fig. 3. Dependence of trophic level expressed by ITS value on chlorophyll content

Obliczone wartości poszczególnych indeksów dla badanego akwenu przedstawia tabela 6, a porównanie wyników ocen stanu troficznego na podstawie wartości granicznych wskaźników TSI, TRIX i ITS przedstawia tabela 7.

Tabela 6. Obliczone wartości indeksów stanu troficznego dla Zalewu Szczecińskiego
 Table 6. Calculated values of different trophic indexes in the Szczecin Lagoon

Ppk	Wartość TLI TP	Wartość TLI SD	Wartość TLI Chla	Wartość TRIX	Wartość ITS
B	81,16	56	64,35	6,07	8,54
C	84,19	58	67,131	6,59	8,53
D	84,33	58	68,03	6,00	8,50
E	84,94	58	66,64	6,59	8,39
F	83,40	59	67,40	6,35	8,48
H	84,33	56	65,26	6,27	8,54
J	85,69	63	70,73	5,71	8,51
K	85,55	62	70,46	5,82	8,62
M	87,06	62	72,058	5,37	8,76
O	90,02	63	73,63	5,71	8,76
P	88,35	63	73,72	5,71	8,68

Tabela 7. Wyniki oceny stanu troficznego na podstawie zastosowanych indeksów

Table 7. Results of trophic state assessment on the basis of different indexes

Ppk	Ocena TSI	Ocena TRIX	Ocena ITS
B	eutrofia	eutrofia	eutrofia
C	eutrofia	eutrofia	eutrofia
D	eutrofia	eutrofia	eutrofia
E	eutrofia	eutrofia	eutrofia
F	eutrofia	eutrofia	eutrofia
H	eutrofia	eutrofia	eutrofia
J	eutrofia	mezoeutrofia	eutrofia
K	eutrofia	mezoeutrofia	eutrofia
M	eutrofia	mezoeutrofia	eutrofia
O	eutrofia	mezoeutrofia	eutrofia
P	eutrofia	mezoeutrofia	eutrofia

Analiza tabeli 7 pozwala wnioskować, że wszystkie indeksy liczbowe zastosowane do oceny stanu troficznego Zalewu Szczecińskiego dawały bardzo zbliżone do siebie wyniki oceny i charakteryzowały stan wód zalewu jako eutroficzny lub na pograniczu eutrofii.

Stosowanie indeksu TSI bazuje na pomiarze trzech wskaźników jakości wody: przezroczystości, fosforu ogólnego i chlorofilu. Wskaźnik TRIX bazuje na pomiarze czterech wskaźników: azotu nieorganicznego, fosforu ogólnego, zawartości tlenu oraz przezroczystości. Natomiast indeks ITS bazuje na pomiarze dwóch wskaźników: pH i nasycenia wody tlenem. Z powyższego spostrzeżenia wynika zróżnicowany koszt oceny stanu troficznego na podstawie poszczególnych wskaźników (tabela 8). Jednostkowy koszty pomiaru pojedynczych wskaźników jakości wód realizowanych w ramach monitoringu przyjęto na podstawie informacji z Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska [6].

Tabela 8. Koszt oceny stanu troficznego na podstawie indeksów TSI, TRIX i ITS dla pojedynczego punktu pomiarowo-kontrolnego

Table 8. Cost of trophic state assessment based on TSI, TRIX and ITS indexes for a single measurement point

Wskaźnik	Koszt, zł netto	Indeks TSI	Indeks TRIX	Indeks ITS
Azot mineralny	170,00		+	
Fosfor ogólny	115,00	+	+	
Przezroczystość	13,00	+		
Chlorofil-a	66,00	+	+	
pH	16,00			+
Nasycenie tlenem	20,00		+	+
Łączne koszty		194,00 zł	371,00 zł	36,00 zł

Dane umieszczone w tabeli 8 wyraźnie wskazują na to, że zastosowanie indeksu ITS pozwala na obniżenie jednostkowych kosztów oceny stanu troficznego wód: ponad pięciokrotnie w porównaniu z indeksem TSI oraz ponad dziesięciokrotnie w porównaniu z indeksem TRIX.

Wnioski

1. Na podstawie przeprowadzonej oceny stanu troficznego wód Zalewu Szczecińskiego w oparciu o indeksy TSI, TRIX i ITS należy potwierdzić wiarygodność zastosowanych metod opracowanych przez ich autorów w celu oceny stanu troficznego słonawych akwenów wodnych. Zostało to potwierdzono wysokim stopniem zbieżności uzyskanych wyników ocen i pozwoliło z dużą wiarygodnością zaliczyć ten akwen do wód eutroficznych.
2. Kalkulacja kosztów oceny stanu troficznego dla pojedynczego punktu pomiarowo-kontrolnego przy zastosowaniu poszczególnych indeksów pozwoliła wnioskować, że najtańszą metodą oceny jest ocena oparta na indeksie ITS: jest ona ponad pięciokrotnie tańsza w porównaniu z oceną opartą na indeksie TSI oraz ponad dziesięciokrotnie tańsza od oceny opartej na indeksie TRIX.
3. Ze względu na niskie koszty, małą pracochłonność oraz łatwą interpretację wyników ocena stanu troficznego na podstawie indeksu ITS może być zalecana jako ekspresowa metoda monitoringu procesu eutrofizacji i pozwoli na gromadzenie obszernych zasobów usystematyzowanych zbiorów danych niezbędnych do formułowania modeli matematycznych, które z kolei będą stanowić podstawę podejmowania szybkich decyzji strategicznych w zakresie zarządzania i ochrony wód.

Literatura

- [1] Carlson R.: A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22, 2977, 1975, s. 361–369.
- [2] Carlson R. E., Simpson J.: A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. North American Lake Management Society, 1996.
- [3] Giovanardi F., Vollenweider R.: Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. *J. Limnol.*, 63(2), 2004, s. 199–218.
- [4] Jachniak E., Jaguś A.: Uwarunkowania i nasilenie eutrofizacji zbiornika Tresna. *Nauka Przyroda Technologie Tom 5 Zeszyt 4*, 2011.
- [5] Jaguś A.: Ocena stanu troficznego wód kaskady Soły. *Proceedings of ECOpole Vol. 5, No. 1*, 2011.
- [6] Kowalewski Z.: Weryfikacja możliwości zastosowania integralnego kryterium do oceny stanu troficznego wód płynących. *Rozprawa Doktorska*, Kraków 2012.
- [7] Neverova-Dziopak E.: *Ekologiczne aspekty ochrony wód powierzchniowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2007
- [8] Neverova-Dziopak E.: *Podstawy zarządzania procesem eutrofizacji antropogenicznej*. Wydawnictwa AGH, Kraków, 2010.

- [9] Stanisław A.: Biostatystyka. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 2005.
- [10] Wyniki monitoringu Zalewu Szczecińskiego. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie, 2003.

OPTIMIZATION OF TROPHIC STATE ASSESSMENT PROCEDURE FOR TRANSITIONAL WATERS ON SZCZECIN LAGOON EXAMPLE

S u m m a r y

Rapid population growth, a high degree of urbanization and economic development in sea catchment areas led to a very significant anthropogenic pressure on marine ecosystems. The measures of prevention of escalation of these processes and the mechanisms of management of highly eutrophic coastal zones are not sufficiently developed, and it concerns especially the inland seas, which receive high loads of biogenic matter with rivers' water. Due to high anthropogenic load on marine areas and its predicted increase in future, the following tasks seem to be very important: current assessment of water trophic state, analysis of the factors affecting the process of eutrophication and elaboration of simulation models for the prediction of its possible development. All this constitutes a basis for developing of the strategies to prevent the negative effects of eutrophication and is of great importance in the management of coastal ecosystems. The aim of the study was the search for a quick and low-cost method for brackish water trophic status assessing, which allows obtaining numerous statistical data series in order to optimize the monitoring of eutrophication process and formulation of predictive models. The research was based on the example of Szczecin Lagoon trophic status assessment realized on the base of comparison analyses of three different indexes used: TSI, TRIX and ITS. The degree of assessment similarity and comparison of unit costs of monitoring are presented.

Keywords: assessment method, index of trophic state, monitoring of eutrophication process

DOI:10.7862/rb.2014.54

Przesłano do redakcji: lipiec 2014 r.

Przyjęto do druku: wrzesień 2014 r.