

Andrzej JODŁOWSKI, Ewelina GUTKOWSKA

Politechnika Łódzka

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii Środowiska

Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź

Ocena stanu troficznego wód Zbiornika Sulejowskiego na podstawie indeksu Carlsona

Na podstawie pomiarów stężenia fosforu ogólnego, chlorofilu a i widzialności krążka Secchiego wykonanych w latach 1999-2009 oceniono zmiany wskaźnika Carlsona TSI (trophic state index) w strefach dopływu i odpływu ze Zbiornika Sulejowskiego. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że w świetle wartości wskaźników TSI stan troficzny wody w analizowanym okresie ulegał niewielkiej poprawie, a retencjonowanie wody wpływało na poprawę jej jakości. W strefie dopływu wartości TSI(TP) wyznaczone w oparciu o stężenia fosforu ogólnego wahały się w granicach od ok. 87 w 2001 r. do ok. 68 w 2007 r., a w strefie odpływu wartości tego indeksu zmieniały się od 80 w 2001 r. do ok. 67 w 2007 r. Podobne obniżanie wartości odnotowano również w odniesieniu do dwóch pozostałych indeksów TSI(CHL) i TSI(SD) określanych w oparciu o stężenie chlorofilu a i widzialności krążka Secchiego. Pomimo to Zbiornik Sulejowski pozostawał akwenem zeutrofizowanym.

Słowa kluczowe: eutrofizacja, Zbiornik Sulejowski, indeksy stanu troficznego (TSI)

Wstęp

Zalew Sulejowski jest sztucznie utworzonym akwenem, który stanowi obecnie jeden z największych zbiorników wodnych w Polsce centralnej. Powstał w latach 1969-1974 w wyniku przegrodzenia tamą rzeki Pilicy w 138,9 km jej biegu w rejonie miejscowości Smardzewice. Uzyskano akwen o powierzchni ok. 22 km² i pojemności użytkowej ok. 61 mln m³, którego długość wynosi ponad 20 km, a maksymalna szerokość przekracza 2 km. Dzięki spiętrzeniu wód rzeki Pilicy stworzono możliwość wykorzystania energii wodnej. Z zaporą skojarzona jest elektrownia o mocy znamionowej 3,4 MW. Jednak podstawowym celem budowy Zbiornika Sulejowskiego było zapewnienie dostawy wody dla Łodzi w okresie dynamicznego rozwoju miasta. Obecnie, pomimo zaprzestania poboru wody do celów konsumpcyjnych (2004 r.), ciągle stanowi on rezerwowe źródło wody dla wodociągu łódzkiego. Zalew Sulejowski jest zbiornikiem wielozadaniowym i pełni funkcje retencyjną, energetyczną oraz rekreacyjną. Posiada dobrze rozwiniętą infrastrukturę żeglarską, co stanowi doskonałe warunki do rozwoju sportów wodnych.

Istotnym problemem ekologicznym dotyczącym Zbiornika Sulejowskiego jest niezadowolający stan czystości retencjonowanej wody. Zbiornik jest akwenem ży-

znym o stałym dopływie wód zasobnych w składniki biogenne. Jest alimentowany wodami rzek Pilicy i Luciąży, których zlewnie obejmują tereny rolnicze i leśne [1]. Głównymi źródłami zanieczyszczeń są substancje bezpośrednio wprowadzane z wodami rzeki Pilicy oraz zanieczyszczenia obszarowe i punktowe. Przejawem eutrofizacji wód Zbiornika Sulejowskiego są intensywne zakwity fitoplanktonu w okresach wegetacyjnych, kiedy rozwijają się obficie okrzemki i zielenice, a w okresie letnim sinice. Wśród sinic istotną grupę stanowią taksony toksyczne (m.in. *Anabena*, *Aphanizomenon* i *Microcystis*). Monitoring wraz z bieżącym określeniem stopnia eutrofizacji wód Zbiornika Sulejowskiego, jako elementy oceny jakości wód, są niezwykle istotne ze względu na szeroki zakres sposobów wykorzystania jego wód.

Przy ocenie stopnia eutrofizacji śródlądowych wód powierzchniowych stosuje się wskaźniki określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. (Dz. U. z 2002r. Nr 241, poz. 2093) [2]. Za podstawowe wskaźniki eutrofizacji wód stojących, wyznaczane w czasie sezonu wegetacyjnego uważa się fosfor ogólny, azot ogólny, chlorofil *a* i przezroczystość. Za inne wskaźniki eutrofizacji uznano m.in. długotrwałe zakwity wody powodowane często w przypadku wód stojących przez sinice, deficyty tlenowe, redukcję różnorodności i obfitości makrofitów, fauny bezkręgowej oraz ryb.

W klasyfikacji stanu troficznego jezior i zbiorników zaporowych stosuje się również indeks stanu troficznego TSI (ang. *TSI – trophic state index*) zaproponowany przez Carlsona [3] i przyjęty jako syntetyczny sposób oceny stopnia zaawansowania zjawisk eutrofizacyjnych [4]. W ustalaniu wartości TSI wykorzystuje się informacje dotyczące biomasy fitoplanktonu określanej przez trzy niezależne wskaźniki w postaci stężenia fosforu ogólnego (TP), zawartości chlorofilu *a* (CHL) i widzialności krążka Secchiego (SD). Skala TSI waha się od wartości 0 określającej warunki oligotroficzne do wartości 100 odpowiadającej warunkom hipertroficznym. Istotną zaletą wskaźnika TSI jest możliwość określenia wzajemnych relacji pomiędzy poszczególnymi jego postaciami, które mogą być wykorzystywane w celu identyfikacji warunków panujących w zbiorniku wodnym [5, 6].

Celem pracy było przeprowadzenie oceny zmian stanu troficznego wód Zbiornika Sulejowskiego z wykorzystaniem indeksu Carlsona w wybranym przedziale czasowym. Podjęto także próbę identyfikacji potencjalnych przyczyn limitowania wzrostu fitoplanktonu na podstawie różnic pomiędzy indywidualnymi wskaźnikami TSI.

1. Metodyka pracy

Do określania stanu troficznego wód Zbiornika Sulejowskiego wykorzystano wyniki badań prowadzonych przez laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi publikowane na stronie internetowej WIOŚ w Łodzi [7]. Ocenę stanu troficznego wód Zbiornika Sulejowskiego przeprowadzono na podstawie trzech wybranych wskaźników: stężenia fosforu ogólnego, stężenia

chlorofilu *a* i przezroczystości (widzialności krążka Secchiego), biorąc pod uwagę wartości odnotowane w okresie wegetacyjnym (czerwiec-sierpień).

Poszczególne wartości indeksu stanu troficznego obliczono według zależności podanych przez Carlsona [3] i wykorzystywanych przez innych autorów [8-10]. Za dokładny wskaźnik pozwalający na ocenę stanu troficznego wód, zwłaszcza w okresie letnim, można uznać stężenie fosforu ogólnego. Wartość TSI(TP) określa się według zależności, w której TP_{sr} to średnie stężenie fosforu ogólnego w $\mu\text{g}/\text{dm}^3$:

$$\text{TSI}(\text{TP}) = 14,42 \cdot \ln(\text{TP}_{sr}) + 4,15 \quad (1)$$

Najdokładniejszym wskaźnikiem zawartości organizmów fotosyntetyzujących w wodzie jest stężenie chlorofilu *a*. Dysponując taką informacją, można określić wartość TSI(CHL) na podstawie wzoru (2), w którym średnie stężenie chlorofilu *a* (CHL_{sr}) wyraża się w $\mu\text{g}/\text{dm}^3$:

$$\text{TSI}(\text{CHL}) = 9,81 \cdot \ln(\text{CHL}_{sr}) + 30,6 \quad (2)$$

Najprostszym i łatwym do interpretacji wskaźnikiem jest widzialność krążka Secchiego. Carlson [3] uważa jednak, że ze względu na najmniejszą dokładność wskaźnik ten powinien być stosowany jedynie w przypadkach, gdy nie ma możliwości zastosowania innych metod. Wartość TSI(SD) wyznacza się, korzystając ze wzoru (3), w którym średnią widzialność krążka Secchiego (SD_{sr}) podaje się w metrach [m]:

$$\text{TSI}(\text{SD}) = 60 - 14,41 \cdot \ln(\text{SD}_{sr}) \quad (3)$$

Kryteria oceny stanu troficznego wód naturalnych w oparciu o wskaźniki TSI przedstawiono w tabeli 1.

W pracy analizowano również związki pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami TSI. Określenie zależności pomiędzy indeksami cząstkowymi (TSI(TP), TSI(CHL), TSI(SD)) może być wykorzystywane do identyfikacji warunków panujących w zbiorniku wodnym, które ograniczają biomasę fitoplanktonu. Fakt ten stanowi dużą zaletę TSI w sytuacji, gdy mierzone są wszystkie trzy zmienne i wartości indeksów cząstkowych różnią się między sobą. Ponieważ pierwotna korelacja między indeksami cząstkowymi nie była doskonała indeks Carlsona dopuszcza różnice w wartościach analizowanych wskaźników [5]. Poniżej przedstawiono niektóre z możliwych relacji pomiędzy indeksami cząstkowymi TSI.

Uzyskanie wyższych wartości wskaźnika TSI(CHL) i TSI(SD) w porównaniu z wartością TSI(TP) może wskazywać na to, że wzrost glonów jest limitowany niskim stężeniem fosforu (TN:TP>33:1):

$$\text{TSI}(\text{SD}) = \text{TSI}(\text{CHL}) > \text{TSI}(\text{TP}) \quad (4)$$

W sytuacji odwrotnej gdy TSI(TP) wykazuje wyższe wartości niż jeden lub dwa pozostałe wskaźniki może to świadczyć o wpływie innych, niemierzonych czynni-

ków ograniczających. Relacja (5) może wskazywać na zmniejszenie produkcji pierwotnej na skutek ograniczenia przenikania światła spowodowanego barwą wody lub unoszącą się w toni wodnej zawiesiną (abioseston):

$$TSI(TP) = TSI(SD) > TSI(CHL) \quad (5)$$

Tabela 1

Kryteria oceny stanu troficznego wód naturalnych [5]

TSI	CHL μg/dm ³	SD m	TP μg/dm ³	Stan troficzny
<30	<0,95	>8	<6	Oligotroficzny: czysta woda, tlen przez cały rok w hypolimnionie. Woda nadaje się do zaopatrzenia w wodę bez filtracji. Dominują ryby łososiowate.
30-40	0,95-2,6	8-4	6-12	Oligotroficzny: w hypolimnionie płytkich jezior może wystąpić deficyt tlenu. Ryby łososiowate występują tylko w głębokich jeziorach.
40-50	2,6-7,3	4-2	12-24	Mezotroficzny: woda średnio czysta, w hypolimnionie w czasie lata możliwe deficyty tlenowe. Problemy ze zwiększoną zawartością żelaza, magnezu, smakiem i zapachem wody. Woda jest mętna i wymaga filtracji. Deficyt tlenu w hypolimnionie powoduje zanikanie ryb łososiowatych.
50-60	7,3-20	2-1	24-48	Eutroficzny: deficyt tlenu w hypolimnionie, możliwy intensywny rozwój makrofitów. Występują jedynie ryby ciepłolubne, możliwa dominacja okoniowatych.
60-70	20-56	0,5-1	48-96	Eutroficzny: dominacja sinic, zawiesina glonów, rozwój makrofitów. Woda posiada nieprzyjemny smak i zapach. Brak możliwości rekreacyjnego użytkowania jeziora.
70-80	56-155	0,25-0,5	96-192	Hipertroficzny: mętność wody powoduje ograniczenie produktywności, duża biomasa glonów i makrofitów.
>80	>155	<0,25	192-384	Hipertroficzny: zakwity glonów, obumieranie makrofitów. Możliwe śnięcie ryb w czasie lata.

Kolejna zależność wskazuje na pogorszenie warunków świetlnych w zbiorniku na skutek rozpraszania i pochłaniania światła przez cząstki fitoplanktonu, których zagęszczenie w sprzyjających warunkach pokarmowych (TN:TP~33:1) intensywnie rośnie.

$$TSI(CHL) = TSI(TP) = TSI(SD) \quad (6)$$

Przyczyn zahamowania namnażania się glonów można upatrywać w niskim stężeniu azotu, intensywnym rozwoju zooplanktonu lub szkodliwym działaniu toksyn, co wyraża relacja, w której dostępność fosforu pokrywa się z optymalną przejrzystością wody w stosunku do zawartości chlorofilu:

$$\text{TSI(TP)} > \text{TSI(CHL)} = \text{TSI(SD)} \quad (7)$$

Powiązania między indeksami cząstkowymi mogą również dostarczać informacji o wielkości dominujących cząstek. Zależność (8) wskazuje na dominację dużych cząstek glonów np. *Aphanizomenon*.

$$\text{TSI(CHL)} > \text{TSI(SD)} \quad (8)$$

O przewadze małych glonów, które ograniczają widzialność krążka Secchiego można wnioskować w sytuacji, w której:

$$\text{TSI(CHL)} < \text{TSI(SD)} \quad (9)$$

Wartości wskaźników TSI(TP) i TSI(CHL) analizowano w latach 1999-2009, zaś wartości trzech wskaźników - TSI(TP), TSI(CHL), TSI(SD) - w latach 2004-2009. Wydzielenie dwóch okresów analizy wynikało z faktu, iż w latach 1999-2003 nie wykonywano pomiarów przezroczystości wody. Analiza dotyczy dwóch punktów pomiarowo-kontrolnych zlokalizowanych w strefie dopływu do zbiornika (Barkowice Mokre) oraz w strefie odpływu ze zbiornika (Tresta Rządowa).

1. Wyniki pracy i dyskusja

Rozwój rolnictwa, przemysłu, urbanizacji, turystyki, mało skuteczne metody ochrony wód oraz specyficzne właściwości ekosystemów wodnych, a szczególnie ich zdolności do retencjonowania wody i absorbowania zanieczyszczeń prowadzą do eutrofizacji. Eutrofizacja obejmuje szereg zjawisk związanych z procesem nadmiernego użyźniania wód wynikającym ze zwiększonego dopływu związków biogennych, głównie azotu i fosforu. Wody płynące mają zdolność obniżania zawartości materii organicznej dzięki procesowi samooczyszczania. Położenie zbiorników wód stojących w kontinuum rzeczonym sprawia, że są to obszary sedimentacji materii organicznej, mineralnej i zanieczyszczeń. Natomiast kumulacja nutrietów (głównie azotu i fosforu) przyspiesza naturalny proces eutrofizacji, którego konsekwencją jest zintensyfikowana produkcja pierwotna.

Najogólniejszą informację o intensywności wpływu zlewni na zbiornik stanowi parametr limnologiczny w postaci wskaźnika Schindlera [11]. Jest on stosunkiem sumy powierzchni zbiornika wodnego i jego zlewni do jego objętości. Wskaźnik koreluje z zawartością substancji biogennych i ilością biomasy fitoplanktonu, stężeniem chlorofilu *a*, deficytem tlenowym w jeziorach w okresie zimowym, zawartością substancji organicznych w osadach dennych i innymi wskaźnikami jakości wody. Za mało podatne na degradację wynikającą ze spływu ze zlewni uznaje się wody o współczynniku Schindlera poniżej 2. Wskaźnik Schindlera w przypadku Zbiornika Sulejowskiego przyjmuje wartość ok. 80, co wskazuje na znaczną podatność wód tego akwenu na degradację.

Średnie stężenia fosforu ogólnego w próbkach wody pobieranych w okresach wegetacyjnych (czerwiec-sierpień) na stanowiskach Barkowice Mokre i Tresta

w latach 1999-2009 układały się w przedziałach 0,09-0,31 oraz 0,09-0,20 mg P/dm³ i w większości przypadków przekraczały wartości graniczne określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. (tabela 2). Stężenie chlorofilu *a* na stanowisku Barkowice Mokre w badanym przedziale czasu również znacząco przekraczało wartość graniczną. Największą wartość odnotowano w roku 1999 i wynosiła ona 79,87 µg/dm³. Niższe średnie stężenie chlorofilu *a* zaobserwowano na stanowisku Tresta, gdzie w latach 2001-2002 oraz 2005-2007 wartości te przyjmowały wartości poniżej 25 µg/dm³. Niewątpliwie parametrem wskazującym na występowanie eutrofizacji była przezroczystość (widzialność krążka Secchiego) wahająca się w granicach 0,87-1,53 m na stanowisku Barkowice Mokre oraz 0,97-2,15 m na stanowisku w Treście (tabela 2).

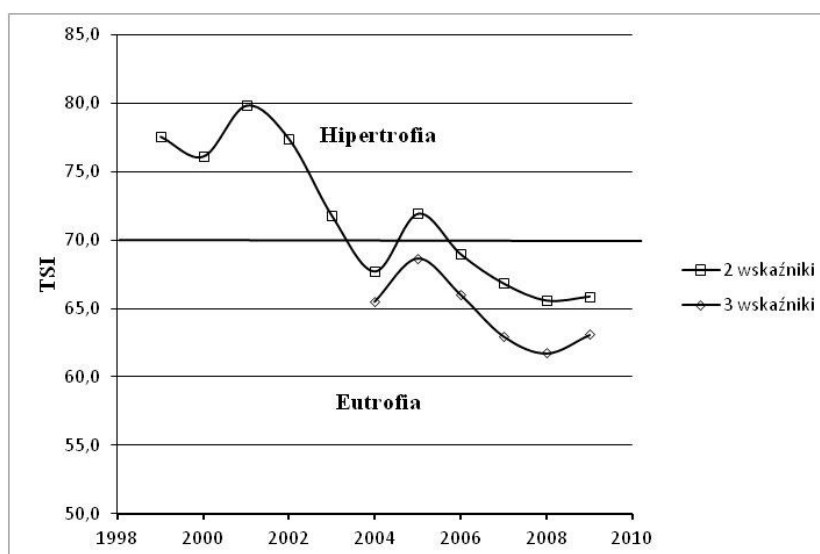
Tabela 2

Wartości wybranych wskaźników stosowanych przy ocenie eutrofizacji wód oraz ich wartości graniczne dla wód stojących, powyżej których występuje eutrofizacja wg rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. [2]

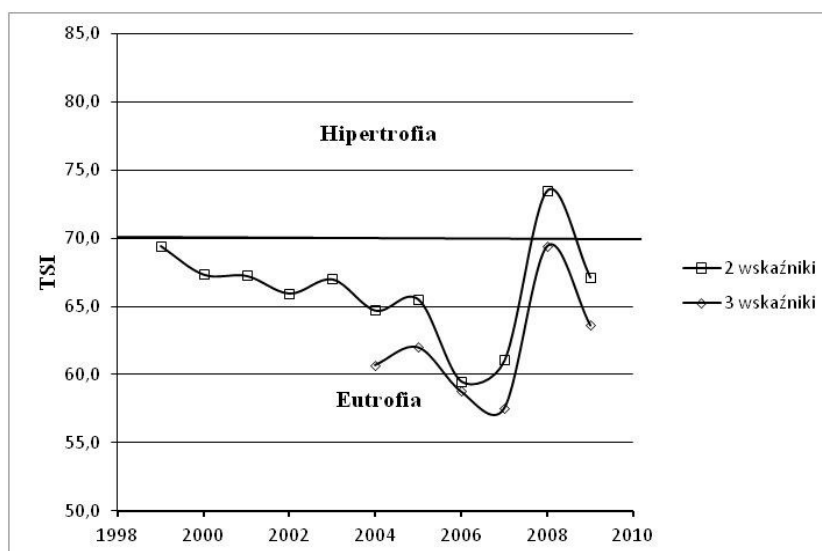
Rok	Fosfor ogólny, mg P/dm ³			Chlorofil <i>a</i> , µg/dm ³			Przezroczystość, m		
	Barkowice Mokre	Tresta	Wart. gr.	Barkowice Mokre	Tresta	Wart. gr.	Barkowice Mokre	Tresta	Wart. gr.
1999	0,23	0,15	>0,1	79,87	51,67	>25,0	-	-	<2,0
2000	0,23	0,13		61,43	26,20		-	-	
2001	0,31	0,20		76,53	20,73		-	-	
2002	0,29	0,19		62,70	18,07		-	-	
2003	0,13	0,12		60,77	30,87		-	-	
2004	0,09	0,09		37,43	30,30		0,93	1,73	
2005	0,15	0,10		48,63	22,83		0,87	1,43	
2006	0,16	0,18		23,94	21,84		1,00	1,63	
2007	0,09	0,09		37,74	24,37		1,40	2,15	
2008	0,11	0,19		21,51	60,39		1,53	0,97	
2009	0,10	0,13	29,10	35,98	1,23	1,47			

Na podstawie analizowanych wskaźników jakości wody wyznaczono cząstkowe indeksy TSI: TSI(TP), TSI(CHL) i TSI(SD), których średnie wartości dla okresu wegetacyjnego (czerwiec-sierpień) w poszczególnych latach przedstawiono w tabeli 3. Zarówno na stanowisku Barkowice Mokre, jak i Tresta największe wartości spośród wyznaczonych indeksów cząstkowych zanotowano w przypadku TSI(TP), natomiast najniższe dla TSI(SD). Wartości TSI(TP) w strefie dopływowej Zbiornika Sulejowskiego (stanowisko Barkowice Mokre) wahały się w granicach 68,2-86,6, natomiast na stanowisku w Treście przyjmowały wartości nieco niższe, z przedziału 66,9-80,4. Najniższą wartość TSI(CHL) obliczoną na podstawie pomiarów prowadzonych na dwóch stanowiskach pomiarowych odno-

towano w Treście w 2002 roku (53,9). Najwyższą wartość TSI(CHL) wynoszącą 73,1, zanotowano w Barkowicach Mokrych w 2001 roku. Indeks cząstkowy TSI(SD) oparty na widzialności krążka Secchiego wyznaczono w obydwu stanowiskach tylko w latach 2004-2009 ze względu na brak pomiarów w latach 1999-2003 (tabela 3). Na rysunku 1 przedstawiono przebieg zmian wartości indeksu TSI w latach 1999-2009 wyznaczonego na podstawie dwóch wskaźników cząstkowych (TSI(TP) i TSI(CHL)) i porównawczo trzech wskaźników (TSI(TP), TSI(CHL) i TSI(SD)). Zmieniające się wartości indeksu Carlsona w latach 1999-2009 na stanowisku w Barkowicach Mokrych wskazują na poprawę jakości wody. Stwierdzono spadek wartości indeksu TSI z 77,6 (1999 r.) do 63,1 (2009 r.). Wartości TSI dotyczące drugiego stanowiska pomiarowego dowodzą również niewielkiej poprawy stanu wód (rys. 2). Wartość indeksu Carlsona obniżyła się z 69,4, wartości określonej w pierwszym roku analizowanego przedziału czasowego, do wartości 57,6 w 2007 roku. Następnie w roku 2008 na badanym stanowisku zaobserwowano gwałtowny wzrost indeksu Carlsona. Jednak już w kolejnym roku indeks TSI obniżył się i osiągnął wartość 63,6. Przypuszczalnie wpływ na duże wahania indeksu TSI w latach 2007-2009 miała powódź zanotowana w roku 2007. Negatywny wpływ powodzi, prowadzący do uruchomienia zakumulowanych biogenów w osadach dennych, intensywnych spływów powierzchniowych, wymywania zanieczyszczeń z terenów rolniczych i gromadzenia ich w wodach powierzchniowych, prawdopodobnie przyczynił się do wzrostu stężenia fosforu ogólnego i chlorofilu *a* oraz ograniczenia przejrzystości wody. Wpływ warunków pogodowych na uzyskane wyniki w roku 2008 potwierdza również wzrost stężenia fosforu ogólnego odnotowany na drugim stanowisku badawczym.



Rys. 1. Zmiany wartości indeksu Carlsona (TSI) w latach 1999-2009 określone dla stanowiska w Barkowicach Mokrych



Rys. 2. Zmiany wartości indeksu Carlsons (TSI) w latach 1999-2009 określone dla stanowiska w Treście

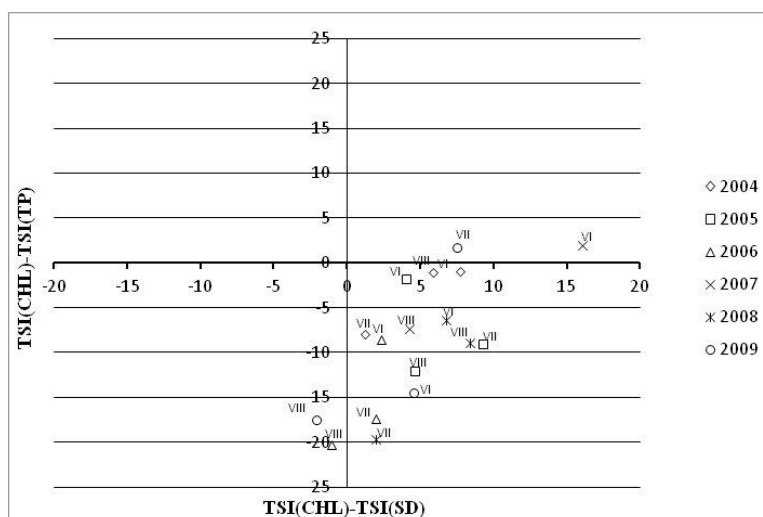
Tabela 3

Średnie wartości indeksów cząstkowych TSI w latach 1999-2009 wyznaczone dla stanowisk Barkowice Mokre i Tresta

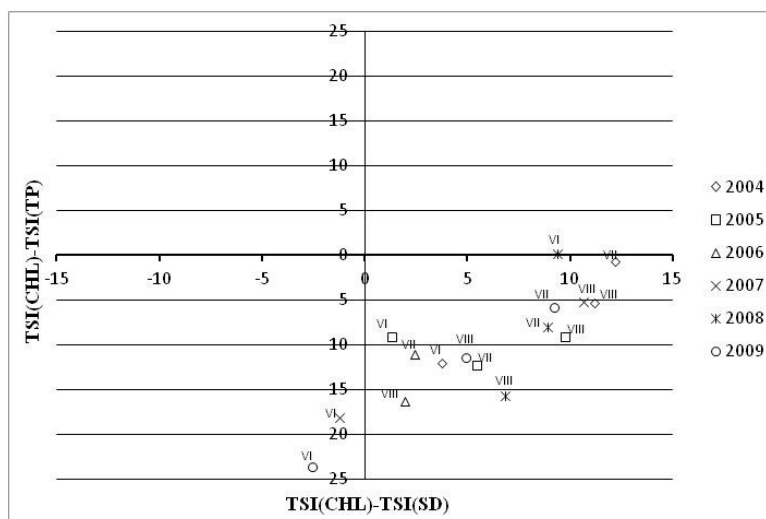
Rok	Barkowice Mokre			Tresta		
	TSI(TP)	TSI(CHL)	TSI(SD)	TSI(TP)	TSI(CHL)	TSI(SD)
1999	82,2	73,0	-	74,5	64,4	-
2000	82,2	70,1	-	74,3	60,4	-
2001	86,6	73,1	-	80,4	54,1	-
2002	85,3	69,4	-	78,1	53,9	-
2003	74,1	69,4	-	72,7	61,3	-
2004	69,4	66,1	61,1	67,7	61,7	52,7
2005	75,7	68,1	62,1	70,6	60,4	54,9
2006	76,7	61,3	60,2	78,3	55,0	56,0
2007	68,2	65,5	55,3	66,9	55,2	50,5
2008	71,4	59,8	54,0	77,4	69,6	61,2
2009	70,9	60,9	57,5	74,0	60,3	56,5

Pomimo zauważalnej ogólnej tendencji niżkowej wartości indeksu TSI i poprawy stanu jakościowego, stan wód Zbiornika Sulejowskiego na badanych stanowiskach uznany został za eutroficzny. Okazało się, że różnice wynikające z zastosowania dwóch lub trzech wskaźników cząstkowych TSI były bardzo istotne z punktu widzenia klasyfikacji wód. Różnica pomiędzy wartościami określonymi

w Barkowicach Mokrych w 2005 roku wpływała na możliwość zakwalifikowania wód na tym stanowisku do wód eutroficznych (trzy wskaźniki), a nie do wód hipertroficznych (dwa wskaźniki). Podobną sytuację zaobserwowano w Treście w roku 2008 (rys. 2). Stosunkowo niskie wartości TSI(SD) w porównaniu z TSI(TP) i TSI(CHL) wpłynęły w istotny sposób na obniżenie średniej wartości TSI i ocenę stanu troficznego. Na niebezpieczeństwa wynikające z takiej interpretacji wskaźników TSI wskazali Carlson i Simpson [5], kwestionując wyniki analiz opartych jedynie na średniej z wartości wskaźników cząstkowych.



Rys. 3. Zależności pomiędzy indeksami cząstkowymi TSI w latach 2004-2005 dla stanowiska Barkowice Mokre



Rys. 4. Zależności pomiędzy indeksami cząstkowymi TSI w latach 2004-2005 dla stanowiska Tresta

Wzajemne relacje między indywidualnymi wskaźnikami TSI zaobserwowane dla stanowisk Borkowice Mokre i Tresta przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Zależność $TSI(CHL) < TSI(TP)$ (tabela 3) wskazuje na to że, w obydwu punktach pomiarowych zlokalizowanych w obrębie Zbiornika Sulejowskiego fosfor występował w nadmiarze w stosunku do zawartości chlorofilu *a* jako wskaźnika produkcji pierwotnej i nie był czynnikiem limitującym rozwój fitoplanktonu. Stosunek $TSI(CHL) > TSI(SD)$ (tabela 3) świadczy o dominacji dużych cząstek glonów. Analiza trzech wskaźników jednocześnie, kiedy $TSI(SD) < TSI(CHL) < TSI(TP)$ może wskazywać, że czynnikami ograniczającymi intensywność zakwitów mógł być azot, zooplankton lub toksyny. Przymuszczenie stan ten wynikał z zakwitów sinicowych, w których dominowały duże cząstki glonów np. *Aphanizomenon*.

Wnioski

1. W badanym przedziale czasowym (1999-2009) zaobserwowano tendencję zniżkową wartości indeksu TSI, co wskazuje na poprawę jakości wód zarówno na stanowisku zlokalizowanym w strefie dopływu do Zbiornika Sulejowskiego (Barkowice Mokre), jak również w strefie odpływowej (Tresta).
2. Wartości wskaźników TSI w strefie odpływu przyjmowały niższe wartości, co świadczy o korzystnym wpływie retencjonowania wody w zbiorniku na jej jakość.
3. Zaobserwowane zmiany wartości wskaźników TSI nie sugerowały zmiany kwalifikacji stanu troficznego. Podobnie jak w oparciu o kryteria określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. wody Zbiornika Sulejowskiego zaliczono do zeutrofizowanych.
4. Na podstawie analizy zależności pomiędzy cząstkowymi indeksami TSI(TP), TSI(CHL) i TSI(SD) stwierdzono, że w badanym przedziale czasu w analizowanych stanowiskach fosfor nie był czynnikiem limitującym biomasę glonów, w której dominowały duże cząstki, np. *Aphanizomenon*. Czynnikiem ograniczającym wzrost glonów mogła być dostępność azotu, obecność zooplanktonu lub występowanie toksyn.

Literatura

- [1] Kot K., Charakterystyka zlewni Pilicy. *Gospodarka Wodna* 2003, 12,500-502.
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać programy działań mających na celu ograniczeni odpływu azotu ze źródeł rolniczych (Dz. U. 2003 Nr 242, poz. 2093).
- [3] Carlson R.E., A trophic state index for lakes, *Limnology and Oceanography* 1977, 22(2), 361-369.
- [4] United States Environmental Protection Agency, Carlson's Trophic State Index, *Aquatic Biodiversity*, 2007.
- [5] Carlson R.E., Simpson J., A Coordinators Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods, North American Lake Management Society 1996.

- [6] Lenard T., Solis M., Trophic diversity of three deep lakes – Piaseczno, Rogoźno and Krasne – in the years 2006 – 2007 (Łęczna – Włodawa lake district), *Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przynr.* – OL PAN 2009, 6, 162-169.
- [7] WIOŚ, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi, Monitoring, Dane o jakości wód Zbiornika Sulejowskiego z lat 1999-2009 <http://www.wios.lodz.pl>
- [8] Jaguś A., Ocena stanu troficzności wód zbiorników kaskady Soły, *Proceedings of ECOpole 2011*, 5(1), 233-238.
- [9] Gruca-Rokosz R., Koszelnik P., Tomaszek J.A., Ocena stanu troficzności trzech nizinnych zbiorników zaporowych Polski południowo-wschodniej, *Inżynieria Ekologiczna 2011*, 26, 196-205.
- [10] Murphy G.P., Shivalingaiah B., Leelaja B.C., Bosmani S., Trophic state index in conservation of lake ecosystems, *The 12th World Lake Conference, Proceedings of Taal 2007*, 840-843.
- [11] Kajak Z., *Hydrobiologia-limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1998.

Sulejow Reservoir Trophic State Assessment on the Basis of Carlson Index

The goal of the article was to assess changes of the Carlson trophic state index in the Sulejow Reservoir. Inflow and outflow regions water quality during vegetative months of the period of 1999-2009 were taken into consideration. Carlson index uses algal biomass as the basis for trophic state classification. Three variables, chlorophyll pigments, Secchi disc depth and total phosphorus, allow to estimate algal biomass. Results of the study showed that trophic state indicated slight improvement of water quality. Water quality was also improved as a result of its retention in the reservoir. TSI(TP) based on the total phosphorus concentration measurements in the inflow region showed a decreasing from 87 in 2001 to about 68 in 2007 and in the outflow region from 80 in 2001 to about 67 in 2007. Similar decreasing was also observed for TSI(CHL) and TSI(SD) indices. Describe this, Sulejow Reservoir was generally an eutrophicated water body.

Keywords: eutrophication, Sulejow Reservoir, trophic state index (TSI)

