

## ANALIZA WIELOLETNICH ZMIAN STANU TROFICZNEGO ZBIORNIKA TRESNA W ASPEKTCIE JEGO LOKALIZACJI I ROLI W KASKADZIE ZBIORNIKÓW

Elena Neverova-Dziopak<sup>1</sup>, Anna Drożdżik<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AGH w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: elena@agh.edu.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny, Instytut Ochrony Ekosystemów Leśnych, Zakład Inżynierii Leśnej, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, e-mail: a.drozdzik@ur.krakow.pl

### STRESZCZENIE

Zbiornik Tresna pełni szczególną rolę w kaskadzie stanowiąc swoistą ochronę kolejnych zbiorników na Sole. Jego stan troficzny wpływa na kształtowanie jakości wody w pozostałych zbiornikach. Celem badań była analiza wieloletniej dynamiki stanu troficznego zbiornika oraz próba ustalenia priorytetowych czynników jego eutrofizacji. Podstawą opracowania były dane monitoringu zbiornika prowadzonego w okresie 2000–2015 przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach. Oceny stanu trofii dokonano w oparciu o wskaźnik ITS (*Index of Trophical State*), a uzyskane wyniki zweryfikowano za pomocą indeksów Carlsona TSI (*Trophic State Index*) oraz wykorzystując Rozporządzenia Ministra Środowiska dotyczące oceny eutrofizacji. Zbieżność ocen uzyskanych na podstawie indeksów ITS i TSI z wynikami ocen innych autorów, pozwoliła uznać wskaźnik ITS jako wiarygodny oraz łatwy i szybki w zastosowaniu. Na jego podstawie stwierdzono stan eutrofii wód Zbiornika Tresna oraz zasilającej go Soły. Zaś na podstawie analizy korelacyjnej przeprowadzonej w celu ustalenia priorytetowych czynników eutrofizacji w badanym zbiorniku stwierdzono, że jego stan troficzny jest uwarunkowany głównie wartością wskaźnika BZT<sub>5</sub>, warunkami tlenowymi i stężeniem fosforu ogólnego. Uzyskane wyniki oceny wysokiego stanu troficznego wskazują na konieczność ochrony zbiornika i podjęcia działań zapobiegających eutrofizacji zarówno w samym zbiorniku jak i jego zlewni, z uwzględnieniem priorytetowych czynników tego procesu i roli zbiornika w kaskadzie.

**Słowa kluczowe:** zbiornik zaporowy, stan troficzny, wskaźnik ITS (*Index of Trophical State*), substancje biogenne, priorytetowe czynniki eutrofizacji

## ANALYSIS OF LONG-TERM CHANGES OF TRESNA DAM RESERVOIR TROPHIC STATE IN TERMS OF ITS LOCATION AND THE ROLE IN RESERVOIRS CASCADE

### ABSTRACT

Tresna Dam Reservoir plays a special role in the cascade, acting as a kind of protection of successive water reservoirs on the river Soła. Its trophic condition affects the formation of quality of water in other reservoirs. The aim of the study was the analysis of long-term dynamics of Tresna Dam Reservoir trophic status and the attempt to determine the priority factors of eutrophication. The research is based on water monitoring data carried out during 2000–2015 by Provincial Environmental Protection Inspectorate in Katowice. Assessment of the trophic status is based on ITS indicator (*Index of Trophical State*), and the results of assessment were verified by Carlson's indexes TSI (*Trophic State Index*) and using the Regulation of the Minister of the Environment on the assessment of eutrophication. Convergence of results obtained on the basis of ITS and TSI with the results of evaluations obtained by other authors with different methods allowed to accept the ITS to be reliable indicator of water trophic state, as well as easy and quick method. On the basis of ITS the water of Tresna Dam Reservoir and of feeding the Soła river were assessed as eutrophic. On the basis of the correlation analysis carried out in order to determine the priority factors of eutrophication of the examined water body, it was found that the trophic state is mostly determined by the BZT<sub>5</sub> value, oxygen conditions and the concentration of total phosphorus. The results of the assessment of high trophic status point to the need to protect the reservoir and take steps to avoid eutrophication in both the reservoir and its catchment area, taking into account the priority factors of eutrophication and the role of Tresna in the reservoirs cascade.

**Keywords:** dam reservoir, trophic state, ITS index (*Index of Trophical State*), nutrients, priority factors of eutrophication

## WPROWADZENIE

Kształtowanie się stanu każdego ekosystemu jest wynikiem oddziaływań zewnętrznych oraz wewnętrznych przemian. Stan trofii odzwierciedla przede wszystkim bilans procesów produkcji i rozkładu substancji organicznej produkowanej przez roślinność wodną i zależy od współdziałania poszczególnych czynników biotycznych i abiotycznych. Skutki ich wzajemnych relacji są jednak trudne do przewidzenia.

Na poziom produkcji substancji organicznej i procesów jej rozkładu w wodach wpływają czynniki geograficzne, fizyczne i chemiczne oraz interakcje między organizmami. Ta duża różnorodność czynników generujących i modyfikujących proces produkcji uniemożliwia uwzględnienie wszystkich przy ocenie stopnia troficzności wód. Obserwowana obecnie intensyfikacja procesów eutrofizacji jest związana z szeroko pojętą działalnością człowieka prowadzącą do wzbogacania wód w mineralne związki pokarmowe [Starmach i in. 1976]. Naturalny cykl procesów produkcji i rozkładu materii organicznej w wodach został zdestabilizowany, a jego tempo wielokrotnie przyspieszone. To wszystko sprawiło, że eutrofizację zaczęto traktować jako zjawisko o podłożu wybitnie antropogenicznym [Neverova-Dziopak i in. 2011].

Eutrofizacja jest procesem wywołanym nadmierną dostawą substancji odżywczych do wód i dotyczy zarówno rzek, jezior, jak i mórz. Zaburzenie równowagi ekologicznej spowodowane eutrofizacją jest jednak najbardziej prawdopodobne w przypadku jezior, ponieważ ekosystemy wód stojących są podatne na wszelkie zmiany [Chełmicki 2002, Jaguś 2011b]. Na rozwój autotroficznych organizmów roślinnych syntetyzujących związki organiczne wykorzystywane przez heterotrofy w dużym stopniu wpływa skład chemiczny wody [Starmach i in. 1976]. Żyzność wód przyjęto określać na podstawie stężenia rozpuszczonych substancji biogennych (głównie azotu i fosforu), trzeba jednak pamiętać że nie świadczy ono wprost o produktywności wód [Panek 2011].

W jeziorach o zbyt wysokiej żyzności obserwuje się masowy rozwój fitoplanktonu, roślinności wynurzonej i zanurzonej, glonów nitkowatych. Zawartość tlenu w wodzie kształtuje się w cyklu dobowym. Może nawet dochodzić do jego zaniku, a wówczas pojawia się siarkowodor jako efekt beztlenowych warunków rozkładu. To prowadzi do zmniejszenia różnorodności gatunkowej przy jednoczesnym wzroście populacji [Chełmicki 2002].

Wahania poziomu wód zwłaszcza w zbiornikach o funkcjach energetycznych (ale również przeciwpowodziowych) powodują częste odsłanianie dna w ich górnych częściach. Jest ono szybko zasiedlane przez roślinność lądową, która po zatopieniu wskutek ponownego podniesienia poziomu wody ulega obumieraniu i rozkładowi. Dostęp tlenu atmosferycznego i przyspieszona mineralizacja sprzyjają eutrofizacji takich zbiorników [Starmach i in. 1976, Kajak 2001].

W kaskadzie zbiorników transformacja związków chemicznych ma swoisty przebieg. W pierwszych zbiornikach kaskady dochodzi do wyczerpywania mineralnych związków pokarmowych. Są one także osadnikami dla niesionych wodami rzeki zawiesin i rumowiska wleczonego [Starmach i in. 1976].

Zadaniem niniejszych badań była analiza zmian stanu troficznego Zbiornika Tresna w okresie 2000–2015, w celu określenia tendencji rozwoju eutrofizacji oraz próby ustalenia priorytetowych czynników tego procesu. Analizę wieloletniej zmienności stanu trofii dokonano w aspekcie usytuowania i roli badanego zbiornika w kaskadzie zbiorników zaporowych na Sole. Oceny przeprowadzono z wykorzystaniem integralnego wskaźnika troficzności ITS, następnie porównano je z wynikami oceny uzyskanymi na podstawie indeksów Carlsona TSI oraz według Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r.]. W celu określenia priorytetowych czynników eutrofizacji w zbiorniku ustalono charakter zależności korelacyjnych między poszczególnymi parametrami jakości wody a wskaźnikami eutrofizacji: ITS i chlorofilem-a.

## OBSZAR BADAŃ I BAZA DANYCH

### Obszar badań

Artykuł dotyczy Zbiornika Tresna, który razem ze Zbiornikiem Międzybrodzie i Zbiornikiem Czaniec tworzy system kaskadowej zabudowy rzeki Soły. Znajduje się on na terenie województwa śląskiego, administrowany jest przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie, zaś nadzór nad jakością jego wód pełni Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach. Zbiornik powstał przez spiętrzenie wód

Soły na 40 km zaporą w Tresnej. Powierzchnia zlewni Soły do przekroju zapory wynosi 1030 km<sup>2</sup>. Powierzchnia zbiornika przy maksymalnym poziomie piętrzenia to 964 ha. Przepływ nieszkodliwy dla całej kaskady został określony na 335 m<sup>3</sup>/s [RZGW w Krakowie]. Zbiornik oddano do eksploatacji w 1967 r., wówczas jego pojemność wynosiła 100 mln m<sup>3</sup>. Średnie roczne zamulanie wynosiło w pierwszych 10 latach eksploatacji około 270 tys. m<sup>3</sup>. Zbiornik był dwukrotnie opróżniany, w 1977 r. i na przełomie 1991 i 1992 r. [Chudy 2005]. Zbiornik Tresna zaliczono do II kategorii podatności na eutrofizację w trzystopniowej skali sumarycznego wskaźnika oceny nasilenia eutrofizacji SWONE. Najbardziej niekorzystny wpływ na zbiornik wywiera zlewnia, co wyraża współczynnik Schindlera [Jachniak i Jaguś 2011]. Zbiornik Tresna jest zbiornikiem limnicznym, a okres retencji wynosi 90 dob [Picińska-Fałtynowicz i Błachuta 2012]. Długi czas retencji oznacza gorsze warunki do samooczyszczania [Kajak 2001].

Głównym ciekim zasilającym jest Soła jednak pozostałe dopływy (Żylica, Łękawka, Moszczanica, Żarnówka) również mają duże znaczenie, zwłaszcza jeśli chodzi o dostawę zanieczyszczeń. W źródłowym odcinku zlewni Soły dominują tereny zalesione o naturalnej szacie roślinnej, wraz z biegiem Soły antropopresja wzrasta. Średni opad roczny wynosi 800 do 1200 mm, a zlewnia Soły cechuje się jednym z najwyższych wskaźników zagrożenia powodziowego w skali kraju [Szczepanek i in. 2005]. Szybkiej koncentracji odpływu oraz formowaniu się fal kulminacyjnych sprzyja ukształtowanie górnej części zlewni Soły. Do przekroju hydrometrycznego w miejscowości Sól występuje mocne urzeźbienie (przeważają spadki w przedziale 20–30%) i duża stoczystość (wynosząca 18,33%) [Lipski i in. 2005]. Struktura użytkowania ziemi w zlewni Soły przedstawia się następująco: grunty orne (32,1%), sady (1,1%), łąki i pastwiska (12,1%) – łącznie użytki rolne to 45,5%, lasy natomiast zajmują 43,4% powierzchni [Guzik i Górka 1991]. W drzewostanie panującym gatunkiem jest świerk, który został sztucznie wprowadzony na siedliska lasu mieszanego górskiego i lasu górskiego (dawnych drzewostanów bukowych i bukowo-jodłowych). Powstały jednowiekowe monokultury świerkowe co wpływa niekorzystnie na stosunki wodne [Lipski i in. 2005].

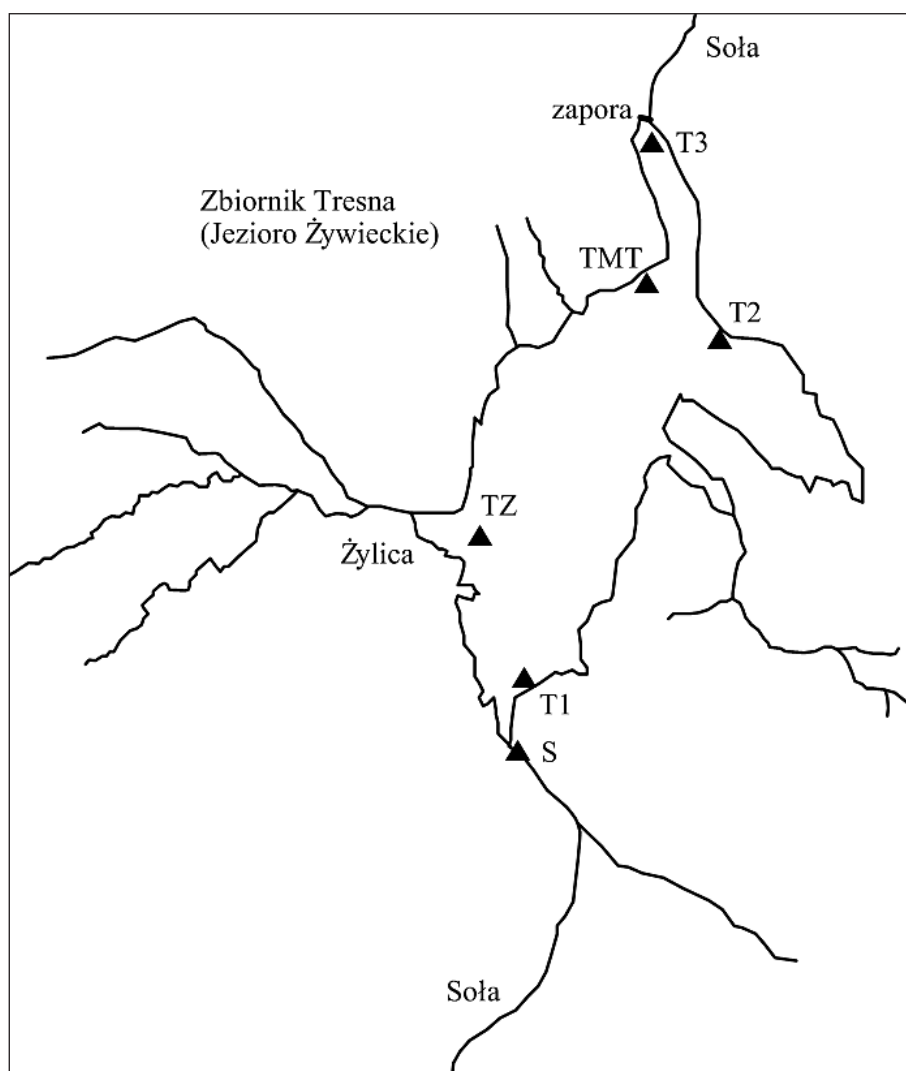
Wody zasilające zbiorniki retencyjne wybudowane na górskich odcinkach rzek są względnie

czyste, oligotroficzne lub słabo zeutrofizowane. W obiektach takich można śledzić sukcesję od wczesnych stadiów seralnych aż do klimaksowych [Paluch (red.) 1973]. W przypadku Zbiornika Tresna i zasilającej go Soły analizy wyników monitoringowych wskazują jednak co innego. Soła prowadzi już wody zanieczyszczone w znacznym stopniu [WIOŚ w Katowicach 2016, Raporty], co wpływa na jakość wód zbiornika przechwytyjącego i kumulującego zanieczyszczenia oraz tempo jego degradacji. Zbiornik Tresna jest pierwszym w kaskadzie przez co przyjmuje zadania zbiornika wstępnego, stanowiąc osadnik dla zawiesin i rumowiska oraz powodując wyczerpywanie się mineralnych związków pokarmowych [Kajak 2001, Starmach i in. 1976].

## Baza danych

W artykule wykorzystano wyniki badań monitoringowych prowadzonych przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach [WIOŚ w Katowicach 2016, Dane PMŚ]. Badania jakości wód zbiornika prowadzono w pięciu punktach pomiarowo-kontrolnych (ppk). Ze względu na długi okres badawczy uwzględniony w artykule (lata 2000–2015) nazwy oraz symbole, a także zakres oznaczanych parametrów i częstość poboru prób do analiz ulegały zmianom. Na potrzeby artykułu stworzono jednolity dla całego okresu badawczego system oznaczeń oraz wytypowano parametry potrzebne do opracowania bazy danych. Zgodnie z nową nomenklaturą monitoring jakości wód Zbiornika Tresna prowadzono w następujących ppk: w rejonie ujścia Soły do zbiornika (T1), w rejonie Wilczego Jaru niedaleko Oczkowa (T2), w rejonie zapory w Tresnej (T3), w rejonie ujścia Żylicy do zbiornika (TZ), w rejonie Małej Tresnej (TMT). Sieć punktów monitoringowych na zbiorniku uzupełniono o ppk zlokalizowany na rzece Sole niedaleko jej wpływu do zbiornika (S). Lokalizację ppk przedstawia rysunek 1.

Baza danych utworzona dla każdego ppk w oparciu o dane monitoringu obejmowała następujące parametry: temperaturę, barwę, przezroczystość, mętność, zawiesinę ogólną, substancje rozpuszczone, tlen rozpuszczony, stopień nasyceńnięcia wody tlenem (%), BZT<sub>5</sub>, ChZT-Mn, ChZT-Cr, OWO, przewodność w 20°C, siarczan, chlorki, twardość ogólną, odczyn, zasadowość ogólną, azot amonowy, azot Kjeldahla, azot azotanowy, azot azotynowy, azot ogólny, fosforany, fosfor



**Rys. 1.** Lokalizacja punktów pomiarowo-kontrolnych (ppk) na Zbiorniku Tresna  
**Fig. 1.** Location of measurement-control points (mcp) at Tresna Dam Reservoir

ogólny, amoniak całkowity, amoniak niejonowy, azotany, azotyny, azot mineralny oraz chlorofil-a, a także liczbę bakterii grupy Coli i liczbę bakterii grupy Coli typu kałowego [WIOŚ w Katowicach 2016, Dane PMŚ].

## METODYKA BADAŃ

Stan trofii wód Zbiornika Tresna określono stosując wskaźnik ITS (*Index of Trophical State*) [Neverova-Dziopak 2010]. Jego zastosowanie jest uwarunkowane występowaniem liniowej zależności pomiędzy wartościami odczynu (pH) i nasycenia wody tlenem (%O<sub>2</sub>) w badanym akwieniu. Wartość wskaźnika oblicza się wówczas ze wzoru (1)

$$ITS = \frac{\sum pH_i}{n} + a \cdot \left(100 - \frac{\sum [O_2\%]}{n}\right) \quad (1)$$

gdzie: *ITS* – wskaźnik ITS (*Index of Trophical State*),  
*pH<sub>i</sub>* – odczyn wody,  
*n* – liczba pomiarów,  
*a* – współczynnik empiryczny,  
*O<sub>2</sub>%* – procentowe nasycenie wody tlenem mierzone synchronicznie z pH.

Normatywne wartości ITS ustalone dla poszczególnych stanów troficznych wód są następujące:

- eutrofia: ITS > 8,3±0,3;
- mezotrofia: ITS = 7,7±0,3;
- oligotrofia: ITS = 7,0±0,3;
- ultraoligotrofia: ITS = 6,3±0,3;
- dystrofia: ITS < 5,7±0,3.

Ilekróć analizowano wartości w sezonie wegetacyjnym, brano pod uwagę miesiące od maja do października. Okres ten wytypowano po prześledzeniu wartości temperatur i stopnia nasilenia produkcji pierwotnej wyrażonej chlorofilem-a. Dla porównania oraz potwierdzenia ocen uzyskanych według metodyki wskaźnika ITS przeprowadzono ocenę według wskaźników Carlsona TSI (*Trophic State Index*). Były to indeksy TSI(CHL), TSI(TP), TSI(SD), bazujące kolejno na zawartości chlorofilu-a [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ], stężeniu fosforu ogólnego [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ], widzialności krążka Secchiego [m] [Jodłowski i Gutkowska 2012]. Wartości graniczne wskaźników trofii według Carlsona podaje Dudek z zespołem [2014], powołując się na Carlsona.

Wyniki oceny uzyskane na podstawie wskaźników ITS i Carlsona porównano z ocenami eutrofizacji wg wytycznych zawartych w przepisach prawnych – Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r.] oraz Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r.]. Do oceny stanu trofii wód Zbiornika Tresna wykorzystano tutaj wartość średnią z okresu wegetacyjnego. Wody rzeki Soły oceniano natomiast według wartości średniorocznych. Porównanie wyników uzyskanych za pomocą różnych metod oceny miało za zadanie uwidocznić ich niejednoznaczność, a także podkreślić złożoność procedury oceny stanu troficznego wód i wysokie prawdopodobieństwo błędnej interpretacji wyników. Wszystko to wskazuje na potrzebę doskonalenia metodyki oceny trofii wód idącą w kierunku odzwierciedlenia rzeczywistego stanu konkretnego ekosystemu, a nie tylko na podstawie traktowanych uniwersalnie ujednoczonych wartości powszechnie stosowanych wskaźników eutrofizacji. Prawidłowe rozpoznanie stanu trofii wód jest niezwykle ważne, gdyż stanowi podstawę opracowania odpowiedniej strategii ochrony i wczesnego podejmowania działań zapobiegających negatywnym zmianom.

Oprócz określenia stanu trofii wód zbiornika za pomocą wskaźnika ITS, przeprowadzono również analizę korelacyjną w celu poszukiwania priorytetowych czynników eutrofizacji. Dokonano analizy zależności pomiędzy podstawowymi wskaźnikami stanu troficznego (ITS i chlorofilem-a) a czynnikami abiotycznymi procesu.

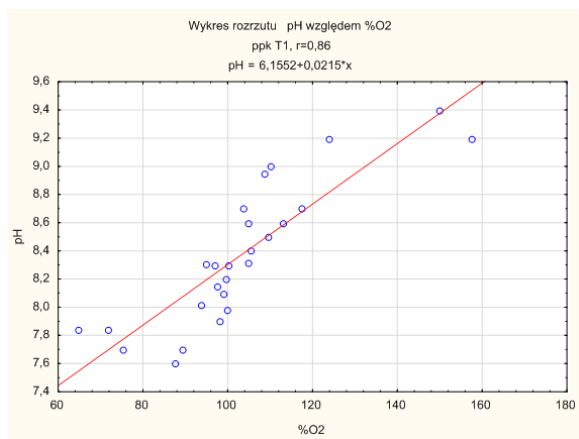
## ANALIZA WYNIKÓW I Dyskusja

### Ocena stanu troficznego według wskaźnika ITS

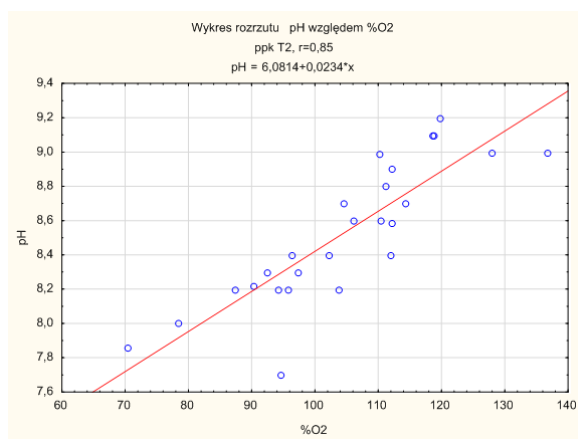
Zgodnie z założeniami metodycznymi bazującymi na istnieniu liniowej zależności między parametrami stanowiącymi podstawę obliczenia wskaźnika, przeprowadzono analizę korelacyjną zależności pH od procentowego nasycenia wody tlenem. Uzyskane współczynniki korelacji liniowej dla poszczególnych ppk mieściły się w przedziale od 0,68 do 0,86, co pozwoliło stwierdzić wysoki stopień zależności między badanymi parametrami i dało podstawę zastosowania wskaźnika ITS do oceny stanu trofii badanego zbiornika. Współczynniki korelacji ( $r$ ) w poszczególnych ppk wynoszą kolejno: T1 – 0,86; T2 – 0,85; T3 – 0,68; TZ – 0,84; TMT – 0,85; S – 0,74. Wyniki analizy korelacyjnej obrazują poniższe rysunki (rys. 2–7).

Obliczono wartości wskaźnika ITS dla każdej serii oznaczeń monitoringowych, następnie wartości średnioroczne, a także średnie wieloletnie dla całego okresu badawczego w każdym ppk. Na podstawie obliczonych wartości ITS dokonano oceny stanu troficznego zgodnie z normatywnymi wartościami ustalonymi dla poszczególnych poziomów trofii [Neverova-Dziopak 2010]. Średnioroczne i średnie wieloletnie wartości wskaźnika ITS, a także wyniki oceny stanu troficznego prezentuje tabela 1.

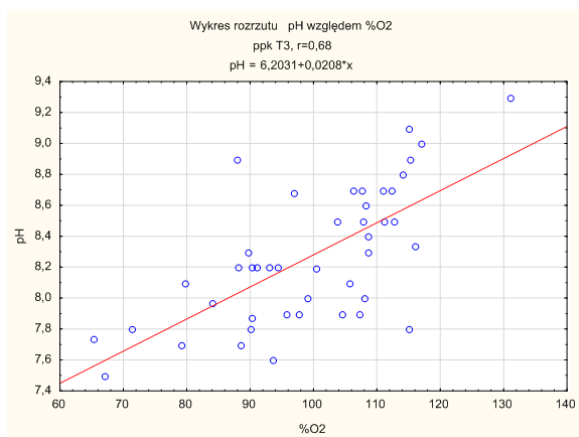
Wyniki oceny wskazują że badany zbiornik w całości jest zbiornikiem eutroficznym. Mezotrofię stwierdzono tylko w ppk T3 (niedaleko zapory) w 2013 i 2014 roku. Ocena w tym ppk może być jednak mało wiarygodna ze względu na przyporowate zaburzenia warunków produkcji i rozkładu substancji organicznej związane ze zrzutem wody. Do niekorzystnego stanu troficznego zbiornika przyczynia się niewątpliwie dopływ zeutrofizowanych wód rzeki Soły (ppk S), zwłaszcza w latach 2000, 2004, 2006, 2007 i 2008. Jachniak i Jaguś [2011] oraz Jaguś [2011a] wykorzystując wskaźnik ITS również stwierdzili stan eutroficzny wód rzeki Soły w latach 2006–2008. Wysoką trofię stwierdzono również w ppk TZ zlokalizowanym w rejonie ujścia Żylicy. To kolejne potwierdzenie znaczącej roli dopływów w kształtowaniu jakości wód samego zbiornika. Ocena w ppk T1 i ppk T3 nie może być traktowana jako w pełni wiarygodne odzwierciedlenie rzeczywistej sytuacji troficzej. Ppk reprezentują bowiem



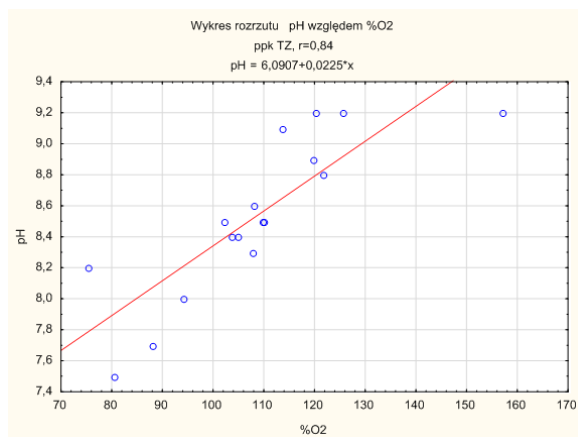
**Rys. 2.** Zależność pH i %O<sub>2</sub> w ppk T1  
**Fig. 2.** Dependence between pH and oxygen content for mcp T1



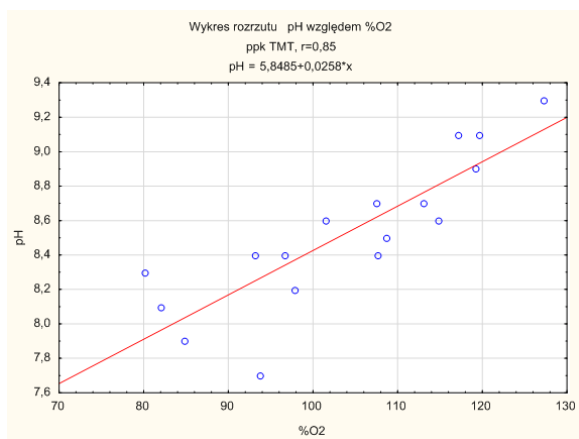
**Rys. 3.** Zależność pH i %O<sub>2</sub> w ppk T2  
**Fig. 3.** Dependence between pH and oxygen content for mcp T2



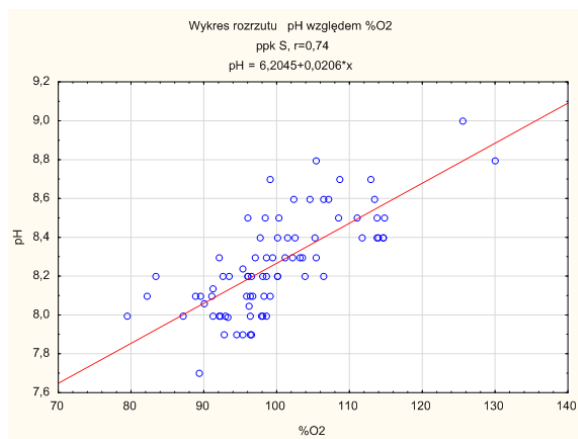
**Rys. 4.** Zależność pH i %O<sub>2</sub> w ppk T3  
**Fig. 4.** Dependence between pH and oxygen content for mcp T3



**Rys. 5.** Zależność pH i %O<sub>2</sub> w ppk TZ  
**Fig. 5.** Dependence between pH and oxygen content for mcp TZ



**Rys. 6.** Zależność pH i %O<sub>2</sub> w ppk TMT  
**Fig. 6.** Dependence between pH and oxygen content for mcp TMT



**Rys. 7.** Zależność pH i %O<sub>2</sub> w ppk S  
**Fig. 7.** Dependence between pH and oxygen content for mcp S

**Tabela 1.** Wartości wskaźnika ITS i ocena stanu troficznego w poszczególnych ppk**Table 1.** ITS values and the results of trophic state assessment in each mcp

Rok	T1		T2		T3		TZ		TMT		S	
	ITS	Ocena	ITS	Ocena	ITS	Ocena	ITS	Ocena	ITS	Ocena	ITS	Ocena
2000	8,28	E	8,23	E	8,33	E	8,32	E	8,33	E	8,30	E
2001	8,12	E	8,49	E	8,51	E	8,44	E	8,49	E	8,09	E
2002	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	8,17	E
2003	8,87	E	8,50	E	8,53	E	8,34	E	8,46	E	8,13	E
2004	8,28	E	8,59	E	8,62	E	8,42	E	8,57	E	8,30	E
2005	8,33	E	8,38	E	8,29	E	8,35	E	8,43	E	8,16	E
2006	8,42	E	8,59	E	8,79	E	8,65	E	8,60	E	8,24	E
2007	8,48	E	8,57	E	8,44	E	bp	-	bp	-	8,24	E
2008	8,34	E	8,38	E	8,52	E	bp	-	bp	-	8,21	E
2009	8,44	E	8,51	E	8,81	E	bp	-	bp	-	8,06	E
2010	8,11	E	bp	-	8,12	E	bp	-	bp	-	8,03	E
2011	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	8,11	E
2012	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	8,09	E
2013	bp	-	bp	-	7,94	M	bp	-	bp	-	bp	-
2014	bp	-	bp	-	7,80	M	bp	-	bp	-	bp	-
2015	bp	-	bp	-	8,18	E	bp	-	bp	-	8,05	E
Śr. 2000–2015	8,33	E	8,47	E	8,29	E	8,42	E	8,47	E	8,16	E

E – eutrofia, M – mezotrofia, bp – brak pomiarów

E – eutrophy, M – mesotrophy, bp – no measurements

obszary zbiornika znajdujące się w zasięgu oddziaływania dopływu Soły (ppk T1) i zrzutu wód (ppk T3). Po wyeliminowaniu wątpliwych ppk, za realnie reprezentatywne można uznać dwa spośród badanych punktów: ppk T2 (zlokalizowany w rejonie Wilczego Jaru niedaleko Oczkowa) i ppk TMT (zlokalizowany w pobliżu Małej Tresnej). Dodatkowo potwierdzają to zbliżone wartości wskaźnika ITS, a w przypadku średnich wieloletnich dokładnie takie same (ITS=8,47). To na ich podstawie można w sposób wiarygodny ocenić trofnię Zbiornika Tresna i jednoznacznie stwierdzić, że jego wody charakteryzują się stanem eutroficznym. Rozpoznanie stanu troficznego wód zbiornika za pomocą wskaźnika ITS uzupełnia i potwierdza wyniki badań prezentowanych przez Jachniak i Jagusia [2013] oparte na tradycyjnych wskaźnikach hydrobiologicznych (chlorofilu-a, biomasy fitoplanktonu oraz jego składzie gatunkowym). Badania biomasy glonów planktonowych Jachniak i Suchanek [2015] w okresie wegetacyjnym 2012 r. wykazały występowanie większej jej ilości w rejonie zapory niż w części dopływowej zbiornika. Zaobserwowane gatunki były co prawda typowe dla wód w stanie eutrofii, jednak brak wśród nich sinic świadczy o jej niskim stopniu zaawansowania. Wskazują na to również uzyskane wartości wskaźnika ITS.

### Ocena stanu troficznego według indeksów Carlsona

Ocena bazuje na trzech parametrach: chlorofilu-a [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ], zawartości fosforu ogólnego [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ], widzialności krążka Secchiego [m] i wyróżnia następujące stany trofii: mezotrofię, mezoeutrofię, eutrofię i hipertrofię. W przeważającej większości przypadków (95 na 138 analizowanych) w Zbiorniku Tresna występuje stan przejściowy – mezoeutrofia (tab. 2). Podobieństwo warunków występujących w ppk T2 i TMT (braku zaburzeń uwarstwienia wywołanych dopływem lub zrzutem wody) sprawia że wyniki oceny są tutaj zbliżone. Ponadto, dla obu tych ppk eutrofię stwierdzano w przypadku wskaźnika chlorofilowego TSI(CHL). W pozostałych ppk nie zauważono podobnych prawidłowości. Dla każdego ppk obliczono wartość średnią wskaźników dla okresu badawczego 2000–2015. Otrzymano następującą zależność indeksów:  $\text{TSI}(\text{CHL}) > \text{TSI}(\text{TP}) > \text{TSI}(\text{SD})$ . Jedynie w ppk T1 kształtowała się ona inaczej:  $\text{TSI}(\text{CHL}) > \text{TSI}(\text{TP}) = \text{TSI}(\text{SD})$ , co można wiązać z lokalizacją punktu w pobliżu ujścia Soły do zbiornika. Uzyskanie wyższych wartości wskaźnika TSI(CHL) niż TSI(TP) może dowodzić ograniczania wzrostu glonów przez niskie stężenie fosforu. Co prawda w zlewniach podgórskich w zanieczyszczeniach obszarowych obok zawiesiny dominuje fosfor

**Tabela 2.** Ocena stanu troficznego wg wartości indeksów Carlsona w poszczególnych ppk  
**Table 2.** Results of assessment on the base of Carlson's indexes in each mcp

ppk	indeks Carlsona	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
T1	TSI(CHL)	E	E	ME	ME	E	ME	ME	H	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp
	TSI(TP)	ME	E	ME	ME	E	ME	ME	E/ME	ME	ME	M	bp	bp	bp	bp	bp
	TSI(SD)	E	E	ME	ME/E	ME	ME	ME	ME	ME	ME	E	bp	bp	bp	bp	bp
T2	TSI(CHL)	ME	E	ME/M	E	ME	E	ME	ME	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp
	TSI(TP)	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	bp	bp	bp	bp	bp	bp
	TSI(SD)	ME/E	ME	ME/M	ME	ME	ME	ME	ME	M	ME	bp	bp	bp	bp	bp	bp
T3	TSI(CHL)	ME/M	E	ME	E	ME	ME	E/ME	ME/M	ME	ME	bp	bp	bp	bp	bp	bp
	TSI(TP)	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	M	bp	bp	ME	ME	ME
	TSI(SD)	ME	ME	M	ME	ME/M	ME	ME/M	ME/M	M	M	ME	bp	bp	ME	ME	ME
TZ	TSI(CHL)	ME	E	E/ME	ME	E	E	E/ME	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp
	TSI(TP)	ME	ME	ME	ME	ME	ME	E	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp
	TSI(SD)	E	ME	ME	ME	ME	ME	ME	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp
TMT	TSI(CHL)	ME/M	E	ME	E/ME	ME	E	ME	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp
	TSI(TP)	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp
	TSI(SD)	ME	ME	ME/M	ME	ME	ME	ME	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp	bp

E – eutrofia, ME – mezoeutrofia, H – hipertrofia, M – mezotrofia, bp – brak pomiarów

E – eutrophy, ME – mesoeutrophy, H – hypertrophy, M – mesotrophy, bp – no measurements

[Stachowicz 1990], to jednak długi czas retencji sprzyja jego kumulacji w osadach dennych [Jachniak i Jaguś 2011]. Wyniki oceny stanu troficznego Zbiornika Tresna na podstawie indeksów Carlsona przedstawia tabela 2.

Wyniki oceny według indeksów Carlsona wykazują zbieżność z oceną dokonaną na podstawie wskaźnika ITS, oceniając stan trofii zbiornika jako mezoeutroficzny z niewielką tendencją w kierunku eutrofii. Wiarygodność metody opartej o wskaźnik ITS dodatkowo potwierdzają badania chlorofilu-a, biomasy i składu gatunkowego fitoplanktonu [Jachniak i Suchanek 2015]. Można więc stwierdzić, że wskaźnik ITS daje wiarygodne wyniki i co najważniejsze jest szybkim, prostym i tanim sposobem oceny stanu troficznego zbiorników zaporowych w porównaniu z innymi metodami oceny.

### Ocena eutrofizacji według Rozporządzeń Ministra Środowiska

Oceny oparte na wskaźniku ITS i indeksach Carlsona dają wyniki sprzeczne z wynikami oceny występowania eutrofizacji według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażli-

wych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych. Rozporządzenie ma status aktu prawnego obowiązującego i jest wykorzystywane przez instytucje administracji rządowej (m. in. Inspekcję Ochrony Środowiska). Stan trofii jest rozpatrywany w oparciu o przezroczystość wody [m], stężenie azotu ogólnego [mg/dm<sup>3</sup>], fosforu ogólnego [mg/dm<sup>3</sup>] i chlorofilu-a [µg/dm<sup>3</sup>]. Efektem jest stwierdzenie występowania lub braku eutrofizacji. Wody stojące oceniano na podstawie pomiarów z okresu wegetacyjnego, zaś wody płynące na podstawie pomiarów z całego roku. Wyniki oceny na podstawie wymienionych wskaźników zawierają tabele 3–6.

Ocena na podstawie przezroczystości wody daje najgorsze wyniki, wskazując eutrofizację w 42 na 49 ocenianych przypadków. Średnia z wartości rocznych dla okresu badawczego w każdym ppk również wskazuje na eutrofizację (tab. 3). Nie znajduje to jednak potwierdzenia w kolejnych ocenach – opartych na azocie ogólnym, fosforze ogólnym i chlorofilu-a. Ponadto Jachniak i Jaguś [2011] pisali, że przezroczystość wody nie jest parametrem który w sposób wiarygodny świadczy o rozwoju fitoplanktonu więc i stopniu eutrofizacji. Zwiększona mętność wody może



**Tabela 3.** Ocena występowania eutrofizacji wg wartości granicznych przezroczystości wody [m] określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 23.12.2002 r.**Table 3.** Results of eutrophication occurrence based on water transparency value [m] according to the Regulation of Minister of Environment of 23 December 2002

Rok	T1		T2		T3		TZ		TMT		S	
	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena
2000	1,0	E	1,3	E	1,6	E	1,3	E	1,5	E	bp	-
2001	0,5	E	1,2	E	1,7	E	1,9	E	1,6	E	bp	-
2002	1,6	E	2,1	be	2,3	be	1,9	E	2,2	be	bp	-
2003	1,0	E	1,33	E	1,7	E	1,6	E	1,43	E	bp	-
2004	1,07	E	1,73	E	1,9	E	1,6	E	1,83	E	bp	-
2005	1,27	E	1,53	E	1,87	E	1,27	E	1,6	E	bp	-
2006	1,25	E	1,53	E	1,97	E	1,47	E	1,83	E	bp	-
2007	0,9	E	1,2	E	2,4	be	bp	-	bp	-	bp	-
2008	1,55	E	2,3	be	3,1	be	bp	-	bp	-	bp	-
2009	1,5	E	1,8	E	2,3	be	bp	-	bp	-	bp	-
2010	0,75	E	bp	-	1,45	E	bp	-	bp	-	bp	-
2011	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
2012	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
2013	bp	-	bp	-	1,6	E	bp	-	bp	-	bp	-
2014	bp	-	bp	-	1,52	E	bp	-	bp	-	bp	-
2015	bp	-	bp	-	1,55	E	bp	-	bp	-	bp	-
Śr. 2000–2015	1,13	E	1,60	E	1,92	E	1,58	E	1,71	E	bp	-

E – eutrofizacja, be – brak eutrofizacji, bp – brak pomiarów

E – eutrophication, be – lack of eutrophication, bp – no measurements

**Tabela 4.** Ocena występowania eutrofizacji wg wartości granicznych stężenia azotu ogólnego [mg/dm<sup>3</sup>] określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 23.12.2002 r.**Table 4.** Results of eutrophication occurrence based on total nitrogen concentration [mg/dm<sup>3</sup>] according to Regulation of the Minister of the Environment of 23 December 2002

Rok	T1		T2		T3		TZ		TMT		S	
	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena
2000	bp	-	1,30	be	1,17	be	1,24	be	1,08	be	1,46	be
2001	bp	-	1,50	be	1,30	be	1,27	be	1,52	E	1,29	be
2002	bp	-	1,48	be	1,12	be	1,48	be	1,22	be	1,32	be
2003	1,54	E	1,52	E	1,43	be	1,36	be	1,43	be	1,64	be
2004	1,53	E	1,50	be	1,61	E	1,52	E	1,48	be	1,36	be
2005	1,52	E	1,40	be	1,38	be	1,51	E	1,50	be	1,51	be
2006	1,13	be	1,14	be	1,19	be	1,14	be	1,12	be	1,52	be
2007	1,96	E	1,20	be	1,00	be	bp	-	bp	-	1,16	be
2008	1,15	be	1,20	be	1,25	be	bp	-	bp	-	1,22	be
2009	0,95	be	1,06	be	1,01	be	bp	-	bp	-	1,41	be
2010	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	1,25	be
2011	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	1,14	be
2012	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
2013	bp	-	bp	-	1,13	be	bp	-	bp	-	bp	-
2014	bp	-	bp	-	1,75	E	bp	-	bp	-	bp	-
2015	bp	-	bp	-	0,98	be	bp	-	bp	-	1,12	be
Śr. 2000–2015	1,40	be	1,33	be	1,26	be	1,36	be	1,34	be	1,34	be

E – eutrofizacja, be – brak eutrofizacji, bp – brak pomiarów

E – eutrophication, be – lack of eutrophication, bp – no measurements

**Tabela 5.** Ocena występowania eutrofizacji wg wartości granicznych stężenia fosforu ogólnego [mg/dm<sup>3</sup>] określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 23.12.2002 r.

**Table 5.** Results of eutrophication occurrence based on total phosphorus concentration [mg/dm<sup>3</sup>] according to Regulation of the Minister of the Environment of 23 December 2002

Rok	T1		T2		T3		TZ		TMT		S	
	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena
2000	0,022	be	0,030	be	0,030	be	0,035	be	0,030	be	0,034	be
2001	bp	-	0,050	be	0,035	be	0,030	be	0,045	be	0,034	be
2002	bp	-	0,030	be	0,050	be	0,040	be	0,035	be	0,031	be
2003	0,030	be	0,047	be	0,043	be	0,033	be	0,040	be	0,055	be
2004	0,057	be	0,043	be	0,037	be	0,043	be	0,037	be	0,035	be
2005	0,040	be	0,037	be	0,033	be	0,040	be	0,040	be	0,040	be
2006	0,030	be	0,030	be	0,033	be	0,057	be	0,030	be	0,032	be
2007	0,052	be	0,030	be	0,030	be	bp	-	bp	-	0,034	be
2008	0,022	be	0,022	be	0,022	be	bp	-	bp	-	0,032	be
2009	0,050	be	0,045	be	0,050	be	bp	-	bp	-	0,052	be
2010	0,022	be	bp	-	0,015	be	bp	-	bp	-	0,032	be
2011	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	0,033	be
2012	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
2013	bp	-	bp	-	0,044	be	bp	-	bp	-	bp	-
2014	bp	-	bp	-	0,040	be	bp	-	bp	-	bp	-
2015	bp	-	bp	-	0,030	be	bp	-	bp	-	0,030	be
Śr. 2000–2015	0,036	be	0,036	be	0,035	be	0,040	be	0,037	be	0,036	be

E – eutrofizacja, be – brak eutrofizacji, bp – brak pomiarów

E – eutrophication, be – lack of eutrophication, bp – no measurements

**Tabela 6.** Ocena występowania eutrofizacji wg wartości granicznych stężenia chlorofilu-a [µg/dm<sup>3</sup>] określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 23.12.2002 r.

**Table 6.** Results of eutrophication occurrence based on chlorophyll-a concentration [µg/dm<sup>3</sup>] according to Regulation of the Minister of the Environment of 23 December 2002

Rok	T1		T2		T3		TZ		TMT		S	
	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena	Wynik	Ocena
2000	34,50	E	22,40	be	10,65	be	19,75	be	12,25	be	2,25	be
2001	31,95	E	46,90	E	16,50	be	18,00	be	35,20	E	3,75	be
2002	16,45	be	8,95	be	6,90	be	25,25	E	6,80	be	3,52	be
2003	14,20	be	28,57	E	24,60	be	16,87	be	21,83	be	4,42	be
2004	29,07	E	18,70	be	9,17	be	33,73	E	12,50	be	3,42	be
2005	15,70	be	22,07	be	14,30	be	32,63	E	30,20	E	3,65	be
2006	15,70	be	15,37	be	20,27	be	21,03	be	9,47	be	6,50	be
2007	161,05	E	12,35	be	9,45	be	bp	-	bp	-	2,98	be
2008	bp	-	bp	-	9,05	be	bp	-	bp	-	bp	-
2009	bp	-	bp	-	8,40	be	bp	-	bp	-	bp	-
2010	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
2011	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
2012	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
2013	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
2014	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
2015	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-	bp	-
Śr. 2000–2015	39,83	E	21,91	be	12,93	be	23,89	be	18,32	be	3,81	be

E – eutrofizacja, be – brak eutrofizacji, bp – brak pomiarów

E – eutrophication, be – lack of eutrophication, bp – no measurements

być wywołana innymi, niezwiązanymi z eutrofizacją przyczynami [Neverova-Dziopak 2010].

W przypadku pozostałych ocenianych parametrów, eutrofizację stwierdzono sporadycznie na podstawie stężenia azotu ogólnego i chlorofilu-a (tab. 4, 6). Średnie z badanego wielolecia wskazują eutrofizację jedynie w ppk T1 na podstawie zawartości chlorofilu-a (tab. 6). Najczęściej ponadnormatywne stężenia azotu ogólnego występowały w pobliżu ujścia Soły do zbiornika (ppk T1), co prawdopodobnie było związane z zanieczyszczeniami obszarowymi spływającymi z powierzchni zlewni do Soły. Ocena na podstawie stężeń fosforu ogólnego zarówno w konkretnych latach, jak i stężeń średnich z badanego wielolecia nie wykazała eutrofizacji w żadnym ppk (tab. 5). Ocena na podstawie stężeń chlorofilu-a częściowo pokrywa się z oceną na podstawie stężeń azotu ogólnego: ppk T1 – 2004 i 2007, ppk T2 – 2003, ppk TZ – 2004 i 2005, ppk TMT – 2001 (tab. 4, 6). Podobnie jak w przypadku azotu ogólnego, najczęściej przekroczenie normatywnych wartości chlorofilu-a dotyczy ppk T1 (rok 2000, 2001, 2004, 2007). Zarówno dla wód stojących jak i płynących wartość stężenia chlorofilu-a rozgraniczająca wody eutroficzne i nieeutrofizowane to 25 [ $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ]. Soła przed ujściem do Zbiornika Tresna ma charakter górski i z tego powodu warunki (głównie prędkość przepływu) mogą nie sprzyjać rozwojowi fitoplanktonu. Jednak już w zbiorniku (ppk T1) dopływającemu z wodami Soły azotowi ogólnemu towarzyszy rozwój glonów.

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r.] i w oparciu o wytyczne Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w swojej ocenie eutrofizacji wód powierzchniowych województwa śląskiego w okresie 2007 – 2010 nie zaliczył wód Soły i Zbiornika Tresna do eutroficznych [WIOŚ w Katowicach 2016, Raporty o stanie środowiska w województwie śląskim]. Oceny na podstawie Rozporządzeń Ministra Środowiska zdecydowanie odbiegały więc od oceny dokonanej na podstawie wskaźnika ITS i indeksów Carlsona kwalifikujących wody zbiornika jako eutroficzne. Eutrofia została również potwierdzona badaniami innych autorów [Jachniak i Jaguś 2011, Jachniak i Jaguś 2013, Jaguś 2011a, Jaguś 2011b].

## Analiza korelacyjna w celu ustalenia priorytetowych czynników eutrofizacji

W celu pełniejszego rozpoznania i zrozumienia przebiegu procesu eutrofizacji w wodach Zbiornika Tresna, głównie z uwagi na jego specyficzną rolę – pierwszego w kaskadzie zbiorników, podjęto próbę oceny priorytetowych czynników eutrofizacji na podstawie ustalenia zależności pomiędzy wskaźnikami i czynnikami eutrofizacji. Do analizy korelacyjnej, jako wskaźniki eutrofizacji wybrano chlorofil-a oraz wskaźnik ITS. Za czynniki które mogą decydować o rozwoju fitoplanktonu uznano: BZT<sub>5</sub>, warunki tlenowe, zawiesinę ogólną, przezroczystość wody, zawartość fosforu ogólnego i mineralnych form azotu. Ze względu na specyficzne warunki panujące w ppk każdy analizowano oddzielnie. Współczynni-

**Tabela 7.** Wartości współczynników korelacji (r) między Chl-a i ITS a wybranymi czynnikami abiotycznymi w ppk T1, T2, T3, TZ, TMT

**Table 7.** Values of correlation coefficients (r) between Chl-a, ITS and selected abiotic factors in T1, T2, T3, TZ, TMT mcp

ppk	Korelacje z Chl-a	Korelacje z ITS
T1	Chl-a a BZT <sub>5</sub> : r=0,90 Chl-a a %O <sub>2</sub> : r=0,68 Chl-a a P <sub>og</sub> : r=0,72	ITS a Chl-a: r=0,51 ITS a NO <sub>2</sub> : r=0,74
T2	Chl-a a przezroczystość: r=-0,70 Chl-a a zawiesina ogólna: r=0,85 Chl-a a BZT <sub>5</sub> : r=0,80 Chl-a a P <sub>og</sub> : r=0,88 Chl-a a N-NO <sub>2</sub> : r=0,52	ITS a N <sub>min</sub> : r=-0,50
T3	Chl-a a BZT <sub>5</sub> : r=0,78 Chl-a a %O <sub>2</sub> : r=0,54	ITS a przezroczystość: r=0,53 ITS a zawiesina ogólna: r=-0,57
TZ	Chl-a a przezroczystość: r=-0,61 Chl-a a BZT <sub>5</sub> : r=0,89 Chl-a a %O <sub>2</sub> : r=0,72 Chl-a a P <sub>og</sub> : r=0,75 Chl-a a N-NO <sub>3</sub> : r=-0,77 Chl-a a N <sub>min</sub> : r=-0,82	brak korelacji
TMT	Chl-a a przezroczystość: r=-0,52 Chl-a a zawiesina ogólna: r=0,67 Chl-a a BZT <sub>5</sub> : r=0,78 Chl-a a P <sub>og</sub> : r=0,60	ITS a przezroczystość: r=0,62 ITS a zawiesina ogólna: r=-0,74

ki korelacji świadczące o sile związku między zmiennymi zestawiono w tabeli 7.

Badania przeprowadzone dla każdego ppk pokazują że na rozwój fitoplanktonu mogą wpływać różne czynniki w różnym stopniu. Najbardziej wyraźna korelacja występuje między Chl-a i BZT<sub>5</sub>. Chl-a koreluje też z zawiesiną ogólną ale tylko w ppk T2 i TMT, czyli w miejscach gdzie warunki sprzyjają rozwojowi glonów. Pewna korelacja Chl-a z przezroczystością istnieje w ppk T2, TZ i TMT ale jak już wspomniano, przezroczystość w zbiornikach ze zlewnią górską nie jest wiarygodnym wskaźnikiem eutrofizacji. Ustalono też korelacje Chl-a i %O<sub>2</sub> (T1, T3, TZ) oraz Chl-a i fosforu ogólnego P<sub>og</sub> (T1, T2, TZ, TMT). Ta ostatnia dowodzi biogennej roli fosforu na obszarze całego zbiornika i jego kluczowego znaczenia w produkcji materii organicznej. Ponadto stwierdzono korelację Chl-a z azotem azotynowym N-NO<sub>2</sub> w ppk T2 i Chl-a z azotem azotanowym N-NO<sub>3</sub> w ppk TZ oraz Chl-a z zawartością azotu mineralnego N<sub>min</sub> w ppk TZ. Związek lub jego brak między danym wskaźnikiem eutrofizacji (Chl-a, ITS) a konkretną formą pierwiastka wynika z faktu, że nie każda postać danego pierwiastka (np. azot azotanowy, azot Kjeldahla) jest przyswajalna w podobnym stopniu [Panek 2011]. W ppk TZ nie uzyskano istotnych korelacji prawdopodobnie ze względu na zaburzenia wynikające z dopływu Żylicy.

Odrębna analiza została przeprowadzona dla ppk T2 i ppk TMT charakteryzujących się zbliżonymi warunkami dla przebiegu procesów produkcji biologicznej, traktując łącznie oba ppk. Wyniki analizy korelacyjnej przedstawia tabela 8.

Lokalizacja ppk sugeruje, że zawiesina ogólna może być w rzeczywistości zawiesiną organiczną reprezentowaną przez chlorofil-a.

**Tabela 8.** Wartości współczynników korelacji (r) dla obszaru reprezentowanego przez ppk T2+TMT

**Table 8.** Values of correlation coefficients (r) for the area represented by T2+TMT mcp

ppk	Korelacje Chl-a	Korelacje ITS
T2 + TMT	Chl-a a przezroczystość: r=-0,64 Chl-a a zawiesina ogólna: r=0,65 Chl-a a BZT <sub>5</sub> : r=0,82 Chl-a a P <sub>og</sub> : r=0,81 Chl-a a N Kjeldahla: r=0,79 Chl-a a N <sub>min</sub> : r=-0,57	ITS a zawiesina ogólna: r=-0,65

W pozostałych ppk (T1, TZ, T3) zaznacza się oddziaływanie Soły i Żylicy, które z urzeźbionej zlewni o dużej bezwładności hydrologicznej doprowadzają znaczne ilości zawiesin mineralnych [Jachniak i Jaguś 2011].

Rozwój eutrofizacji wyrażony przez stężenie chlorofilu-a zależy w głównej mierze od takich parametrów abiotycznych jak: BZT<sub>5</sub>, przezroczystość wody, warunki tlenowe i stężenie fosforu ogólnego. Wartości wskaźnika ITS nie wykazywały już z nimi istotnej korelacji, najczęściej zaś korelowały z zawiesiną ogólną. Należy jednak pamiętać, że wskaźnik ITS odzwierciedla bilans produkcji i rozkładu, zaś chlorofil-a sam proces produkcji.

Przedstawione powyżej wyniki są wstępne i nie pozwalają jednoznacznie stwierdzić czy przezroczystość wody, zawiesina ogólna i BZT<sub>5</sub> są czynnikami eutrofizacji czy też skutkiem rozwoju fitoplanktonu. W celu dokładnego określenia priorytetowych czynników eutrofizacji w zbiorniku należy przeprowadzić bardziej szczegółowe analizy. Można tu jedynie stwierdzić że proces eutrofizacji Zbiornika Tresna zależy od specyficznych interakcji czynników abiotycznych i biotycznych, zarówno zewnętrznych jak i wewnętrznych oraz że przebiega niejednorodnie w obrębie zbiornika.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zbiornik Tresna jest pierwszym w kaskadzie zbiorników zaporowych na Sole. Stan tego zbiornika, a zwłaszcza jego poziom troficzny wpływa więc istotnie na stan kolejnych zbiorników kaskady, co jest szczególnie ważne w przypadku Zbiornika Czaniec wykorzystywanego do zaspotrywania ludności w wodę. Głębokie zbiorniki karpackie, w przeciwieństwie do szerokich nizinnych, wpływają na polepszenie cech jakościowych wody poniżej zapór [Bombówna 1991]. Dotyczy to również kaskady Soły, w której Zbiornik Tresna stanowi filtr oraz osadnik wstępny dla dopływających zanieczyszczeń. Duża podatność zlewni Soły na powstawanie powodzi wiąże się z niebezpieczeństwem dostawy dużych ładunków zanieczyszczeń powodujących wypływanie zbiornika, pogorszenie jakości wody i przyspieszenie tempa sukcesji. Stały monitoring pozwala obserwować wieloletnią dynamikę jakości wód w zbiorniku i zachodzące w nim procesy transfor-

macji, a także ocenić jego znaczenie dla funkcjonowania kaskady jako całości. Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na sformułowanie następujących spostrzeżeń i wniosków.

1. Ze względu na lokalizację rola Zbiornika Tresna w całej kaskadzie jest szczególna, a procesy w nim zachodzące specyficzne, charakterystyczne dla miejsc regularnie obciążanych dużym ładunkiem zanieczyszczeń.
2. Każdy z ppk zbiornika reprezentuje swoiste warunki do produkcji i rozkładu materii organicznej więc i przebiegu procesu eutrofizacji. W ppk T1 i ppk TZ zaznacza się oddziaływanie dopływów Soły i Żylicy, zaś w ppk T3 – przyzaporowych zaburzeń wywołanych zrzutem wody. Reprezentatywne warunki dla zbiornika występują w ppk T2 i ppk TMT, ponieważ tylko tutaj może wytworzyć się letnie uwarstwienie i stabilna sytuacja termiczno–światlna.
3. Do oceny stanu trofii wybrano wskaźnik ITS który jednoznacznie klasyfikuje wody Zbiornika Tresna jako początkowe stadium eutrofii. Ocena wg indeksów Carlsona TSI wskazuje na stan graniczny – mezoeutrofię z niewielką przewagą w stronę eutrofii. Fakt ten, a także wyniki badań innych autorów dają podstawy do stwierdzenia wiarygodności oceny na podstawie wskaźnika ITS oraz wykorzystania go do dalszych analiz korelacyjnych.
4. W sprzeczności z wynikami oceny uzyskanymi na podstawie wskaźnika ITS i indeksów Carlsona są oceny na podstawie Rozporządzeń Ministra Środowiska, które stwierdzają brak występowania eutrofizacji w zbiorniku. Metodyka oceny przedstawiona w Rozporządzeniach bazuje na ujednoczonych normatywach i jest bardziej opisowa, przez co nie w każdym przypadku można ją uznać za wiarygodną w rozpoznaniu zagrożenia eutrofizacją.
5. Podjęta próba oceny priorytetowych czynników eutrofizacji w oparciu o analizę korelacyjną pozwoliła na wyciągnięcie wstępnych wniosków. Wpływ na zmiany w trofizmie wyrażonym wskaźnikami eutrofizacji takimi jak ITS i Chl-a dostrzeżono w przypadku BZT<sub>5</sub>, warunków tlenowych, przezroczystości wody, zawiesiny ogólnej, fosforu ogólnego i niektórych form azotu.
6. Dokładniejsze wnioskowanie o priorytetowych czynnikach eutrofizacji w badanym zbiorniku wymaga jednak dalszych, bardziej szczegółowych badań.

7. Przeprowadzone badania oparte na analizie statystycznej danych wieloletniego monitoringu pozwoliły na stwierdzenie, że wody Zbiornika Tresna charakteryzują się stanem początkowej eutrofii. Ustalono to na podstawie wskaźnika ITS, potwierdzono wartościami indeksów Carlsona oraz porównaniem z wynikami ocen według metod hydrobiologicznych zastosowanych przez innych autorów.
8. Wyniki oceny oraz wstępnie określone priorytetowe czynniki eutrofizacji wskazują na konieczność podjęcia działań ochronnych w samym zbiorniku oraz jego zlewni.

## LITERATURA

1. Bombówna M. 1991. Chemizm wód powierzchniowych. [W:] Dynowska I., Maciejewski M. (red.) Dorzecze górnej Wisły, Część II. PWN. Warszawa-Kraków.
2. Chelmicki W. 2002. Woda. Zasoby, degradacja, ochrona. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
3. Chudy Ł. 2005. Hydrowęzeł beskidzki, Cz. I. Gazeta Obserwatora IMGW, 3, 15–20.
4. Dudek R. z zespołem 2014. Opracowanie programu redukcji fosforu dla obszaru działania RZGW Gliwice. RZGW Gliwice. Zabrze.
5. Guzik Cz., Górka Z. 1991. Użytkowanie ziemi i rolnictwo. [W:] Dynowska I., Maciejewski M. (red.) Dorzecze górnej Wisły, Część I. PWN, Warszawa-Kraków.
6. Jachniak E., Jaguś A. 2011. Uwarunkowania i nasilenie eutrofizacji zbiornika Tresna. Nauka Przyr. Technol. 5, 4, #56.
7. Jachniak E., Jaguś A. 2013. Obniżanie trofii wód w systemach kaskadowych, na przykładzie kaskady Soły (południowa Polska). Inżynieria Ekologiczna, 32, 65–73.
8. Jachniak E., Suchanek I. 2015. Eutrofizacja zbiornika zaporowego Tresna w aspekcie jego rekreacyjnego wykorzystania. Inżynieria Ekologiczna, 44, 170–177, DOI: 10.12912/23920 629/60042.
9. Jaguś A. 2011a. Ocena stanu troficznego wód zbiorników kaskady Soły. Proceedings of ECO-pole, 5 (1), 233–238.
10. Jaguś A. 2011b. Assessment of trophic state of inland water (the case of the Sola cascade dam reservoirs). Ecological Chemistry and Engineering A, Vol. 18, no. 11, 1433–1440.
11. Jodłowski A., Gutkowska E. 2012. Ocena stanu troficznego wód Zbiornika Sulejowskiego na podstawie indeksu Carlsona. Inżynieria i Ochrona Środowiska, t. 15, nr 4, 341–351.
12. Kajak Z. 2001. Hydrobiologia-limnologia. Eko-

- systemy wód śródlądowych. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
13. Lipski Cz., Kostuch R., Ryczek M. 2005. Charakterystyka hydrologiczna górnej części zlewni Soły na tle warunków fizjograficznych, klimatu i użytkowania. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2, 75–82.
  14. Neverova-Dziopak E. 2010. Podstawy zarządzania procesem eutrofizacji antropogenicznej. Wydawnictwa AGH. Kraków.
  15. Neverova-Dziopak E., Kowalczyk E., Bartoszek L., Koszelnik P. 2011. Ocena stanu troficznego zbiornika zaporowego Solina. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 276, Budownictwo i Inżynieria Środowiska z. 58 nr 2/11*, 197–208.
  16. Paluch J. (red.) 1973. *Mikrobiologia wód*. PWN. Warszawa.
  17. Panek P. 2011. Wskaźniki biotyczne stosowane w monitoringu wód od czasu implementacji w Polsce Ramowej Dyrektywy Wodnej. *Przegląd Przyrodniczy*, XXII, 3: 111–123.
  18. Picińska-Fałtynowicz J., Błachuta J. 2012. Wytyczne metodyczne do przeprowadzenia monitoringu i oceny potencjału ekologicznego zbiorników zaporowych w Polsce. Wersja 2012. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa.
  19. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych. *Dz. U.* 2002, Nr 241, poz. 2093.
  20. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych. *Dz. U.* 2008, Nr 162, poz. 1008.
  21. RZGW w Krakowie. [http://www.krakow.rzgw.gov.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=113:zbiornik-wodny-tresna&catid=40&Itemid=239&lang=pl](http://www.krakow.rzgw.gov.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=113:zbiornik-wodny-tresna&catid=40&Itemid=239&lang=pl), dostęp: 14.07.2016 r.
  22. Starmach K., Wróbel S., Pasternak K. 1976. *Hydrobiologia. Limnologia*. PWN. Warszawa.
  23. Stachowicz K. 1990. Zanieczyszczenia obszarowe ze zlewni rolniczych o różnym sposobie zagospodarowania i ukształtowania terenu. [W:] Pawlik-Dobrowolski J. (red.) *Zanieczyszczenia obszarowe w zlewniach rolniczych*. Wyd. IMUZ. Falenty. Materiały seminaryjne, Nr 26, 221–232.
  24. Szczepanek R., Banach W., Gądek W., Bodziony M., Jarońska E., Cebulska M. 2005. Zlewnia Soły – przykład racjonalnego wykorzystania systemów monitoringu hydrometeorologicznego. [W:] Krzemień K., Trepińska J., Bokwa A. (red.) *Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych*. Wyd. IGiP UJ. Kraków.
  25. WIOŚ w Katowicach 2016. Dane Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Katowicach uzyskane w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska.
  26. WIOŚ w Katowicach 2016. Raporty o stanie środowiska w województwie śląskim, <http://www.katowice.pios.gov.pl/index.php?tekst=monitoring/raporty/i>, dostęp: 22.07.2016 r.