

Renata GRUCA-ROKOSZ<sup>1</sup>

## STAN TROFICZNY ZBIORNIKA ZAPOROWEGO RZESZÓW

W związku z widoczną degradacją zbiornika zaporowego Rzeszów i wcześniejszymi doniesieniami o dużym obciążeniu go związkami biogennymi, w niniejszej pracy poddano ocenie jakość wód i stan troficzny tego zbiornika. Do badań wytypowano dwa stanowiska badawcze zlokalizowane w pobliżu zapory oraz w pobliżu dopływu rzeki Wisłok. W celu identyfikacji stanu troficznego zastosowano metody oparte na pomiarach w wodach powierzchniowych średnich rocznych i maksymalnych stężeń takich wskaźników jak: fosfor ogólny, azot ogólny i chlorofil „a”. Obliczono również powszechnie stosowane wskaźniki troficzne: wskaźnik Carlsona TSI (*Trophic State Index*) oraz integralny wskaźnik ITS (*Index of Trophical State*). Przeprowadzona analiza stężeń ogólnych form pierwiastków biogennych oraz chlorofilu „a” wskazała na bardzo niekorzystną sytuację troficzną wód w zbiorniku zaporowym Rzeszów. Na podstawie średnich rocznych stężeń fosforu i azotu ogólnego wody na obydwu stanowiskach badawczych zakwalifikowano do wód hipertroficznych. Stężenia chlorofilu „a” wskazywały na hipertroficzny stan wód na stanowisku w przyzaporowej części zbiornika, natomiast w górnej jego części na stan eutroficzny a nawet mezotroficzny. Średnie wartości indeksu troficznego fosforowego (TSI TP) dla obu stanowisk badawczych wskazywały na hipertrofię, zaś średnie wartości indeksu troficznego chlorofilowego (TSI Chla) pozwoliły zakwalifikować badane wody do wód eutroficznych. Obliczone wartości wskaźnika ITS dla obu stanowisk wskazywały na eutroficzny stan wód. Porównując zastosowane kryteria oceny stanu troficznego można stwierdzić, że kryteria oparte na analizie stężeń sugerują wyższy stopień zeutrofizowania wód niż kryteria wskaźnikowe (TSI Chla i ITS).

**Słowa kluczowe:** trofia, indeksy troficzne, zbiornik Rzeszów

### 1. Wprowadzenie

Europejskie standardy zarządzania zbiornikami zaporowymi wymagają zachowania dobrego potencjału ekologicznego zasobów wodnych i wykorzystania

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Renata Gruca-Rokosz, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 865 12 78, renatagr@prz.edu.pl

wód zbiorników zaporowych zgodnie z ich funkcją gospodarczą, dlatego też ekosystemy te są przedmiotem wielu badań dotyczących różnych aspektów [1, 4, 7, 9, 13, 24, 25]. Problem nadmiernej eutrofizacji zbiorników zaporowych jest jednym z podstawowych i często opisywanym zagrożeniem [np. 5, 12]. Przyczyną eutrofizacji wód jest zazwyczaj dopływ związków azotu i fosforu ze zlewni co skutkuje przyspieszonym wzrostem glonów oraz roślin wyższych, a to prowadzi z kolei do zaburzeń bilansu prędkości procesów produkcji i rozkładu substancji organicznych [14]. Monitoring stężeń i obciążeń zbiorników zaporowych związkami biogennymi jest konieczny i ważny w kontekście prawidłowego zarządzania zbiornikami. Uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej w zlewni powyżej zbiornika znacznie ogranicza zasilanie zbiornika w związki biogenne, ale nie zawsze wystarcza, aby zahamować proces eutrofizacji. Szukanie sposobów spowolnienia i cofania się negatywnych skutków eutrofizacji wymaga długotrwałych badań dotyczących tempa oraz kierunku zmian trofii każdego zbiornika.

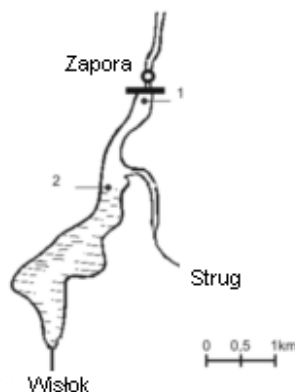
W związku z widoczną degradacją zbiornika zaporowego Rzeszów i wcześniejszymi doniesieniami o dużym obciążeniu go związkami biogennymi, w niniejszej pracy poddano ocenie jakość wód i stan troficzny tego akwenu.

## 2. Metodyka i teren badań

Zbiornik wodny Rzeszów powstał w 1973 roku przez spiętrzenie wód rzeki Wisłok w 64 km. Zasilany jest przez dwa główne dopływy: Wisłok i Strug. Głównym celem budowy zbiornika było prawidłowe działanie ujęcia wody dla miasta Rzeszowa, umożliwienie poboru wody dla Wytwórni Sprzętu Komunikacyjnego oraz wykorzystanie rekreacyjno – sportowe. Otoczenie zbiornika stanowią nieużytki zielone, pola uprawne i nieliczne rozproszone zabudowania. Zlewnia zbiornika ma głównie charakter rolniczy, grunty orne stanowią 68%, natomiast użytki zielone 31% powierzchni użytków rolnych [16]. Z biegiem lat, wskutek akumulacji osadów oraz intensywnego osadzania się na dnie rumowiska, zbiornik uległ znacznemu wypłyceniu i zalądowieniu. W ciągu kilkunastu lat zamulenie wyniosło 66%, objętość zbiornika zmalała z 1,18 do 0,5 mln m<sup>3</sup>, a średnia głębokość z 1,5 do 0,5 m [16, 21]. Gwałtownie postępująca degradacja zbiornika w Rzeszowie wymusiła podjęcie działań zaradczych. Już w roku 1985 podjęto pierwsze prace pogłębiarskie w celu przywrócenia jego pierwotnej pojemności. Niestety nie przyniosły one oczekiwanych efektów. Przenoszone przez dopływy Wisłoka duże ilości zawiesiny glebowej spowodowały ponowne zamulenie zbiornika. Kolejną próbę rekultywacji przeprowadzono w latach dziewięćdziesiątych. Pomimo, że usunięto wtedy ponad 160 tys. m<sup>3</sup> osadów, nie poprawiło to na dłuższą sytuację na zbiorniku [11, 21]. W 2010 roku ponownie rozpoczęto prace związane z pogłębianiem zbiornika jednak ustały one głównie ze względów finansowych. Z uwagi na fakt, iż niemożliwa jest likwidacja

zbiornika ze względu na zaopatrzenie miasta Rzeszów w wodę, wciąż tworzy się szereg koncepcji jego modernizacji z nadzieją, że przyniosą one spodziewane efekty.

Do badań wytypowano dwa stanowiska badawcze zlokalizowane w pobliżu zapory (stanowisko 1) oraz w pobliżu dopływu rzeki Wisłok (stanowisko 2) (rys. 1). Próbki wód przypowierzchniowych pobierano w latach 2009, 2010 i 2011 w okresie wiosna – jesień (w sumie wykonano 12 serii badawczych).



**Rys. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych na zbiorniku zaporowym w Rzeszowie**

Fig. 1. Location of the sampling stations in the Rzeszów Reservoir

We wszystkich pobranych próbkach w warunkach *in situ* mierzono za pomocą wieloparametrowego miernika MultiLine P4 (WTW, Germany) takie parametry jak: odczyn, przewodność w 20°C i zawartość tlenu rozpuszczonego. W laboratorium natomiast oznaczano spektrofotometrycznie (Aquamate, Thermo Spectronic, United Kingdom) zgodnie z obowiązującymi normami zawartość: azotu ogólnego (TN), fosforu ogólnego (TP), azotu azotanowego V (N-NO<sub>3</sub>), azotu azotanowego III (N-NO<sub>2</sub>), azotu amonowego (N-NH<sub>4</sub>), ogólnego węgla organicznego (TOC) oraz chlorofilu „a” (szczegółowe metodyki w: [13]).

Zgodnie z Ramową Dyrektywą Wodną wody zbiorników zaporowych należy traktować jako wody odcinków silnie przekształconych rzek dlatego wybrane do oceny ich jakości metody zaczerpnięto z metod stosowanych do badania rzek. W ocenie jakości wód odniesiono się do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz. U. 2011 r. Nr 257, poz. 1545) [17].

Stan troficzny wód zbiornika zaporowego w Rzeszowie określono na podstawie metodyki różnicowania trofii sygnowanej przez Organizację Współpracy

Gospodarczej i Rozwoju [23] oraz przez Nürnberg [15] (tabela 1). Metody te opierają się na pomiarach średnich rocznych i maksymalnych zawartości w wodach przy powierzchniowych fosforu ogólnego, azotu ogólnego i chlorofilu „a”. Wyliczono także powszechnie stosowane wskaźniki TSI (*Trophic State Index*) autorstwa Carlsona [2], oraz integralny wskaźnik ITS (*Index of Trophical State*) [14] (tabela 1). Metoda Carlsona oparta jest na wynikach pomiarów w lecie w wodach powierzchniowych zawartości fosforu ogólnego i chlorofilu „a” przekształconych we wskaźniki liczbowe stanowiące rodzaj „miernika” poziomu zaawansowania procesu eutrofizacji. Wskaźnik stanu troficznego ITS bazuje natomiast na założeniach teoretycznych, w myśl których zachwianie równowagi procesów produkcji i rozkładu materii organicznej prowadzi do zmian stosunków ilościowych stężeń tlenu i dwutlenku węgla. Z powyższych rozważań wynika więc, że stan troficzny wód powierzchniowych może być charakteryzowany zależnością między wartością pH i nasyceniem wody tlenem.

### 3. Wyniki badań i dyskusja

#### 3.1. Jakość wód zbiornika zaporowego w Rzeszowie

Wartości wybranych wskaźników, na podstawie których dokonano oceny jakości wód przedstawiono w tabeli 2.

Odczyn wód zbiornika zaporowego w Rzeszowie był lekko zasadowy i mieścił się w zakresie 7,34 – 9,06 pH. Najniższą wartość zanotowano na stanowisku 2 w sierpniu 2011 roku, a najwyższą na stanowisku 1 w listopadzie 2010 roku. Pomijając incydentalną wartość odczynu przekraczającą nieco wartość 9 można stwierdzić, że wody zbiornika pod kątem tego parametru spełniały wymogi określone dla klasy II.

Przewodność, charakteryzująca stężenie substancji mineralnych w wodach mieściła się w granicach normatywów I klasy jakości wód ( $407\text{--}610 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

Natlenienie wód zbiornika kształtowało się różnie, od wartości  $2,65 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (30% nasycenia wody tlenem) w czerwcu 2011 roku na stanowisku 2 do  $9,22 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (75% nasycenia wody tlenem) w październiku 2009 na tym samym stanowisku. Zdecydowanie lepiej natlenione były wody na stanowisku 1 (średni stopień nasycenia wynosił ok. 71%) niż na stanowisku 2 (średni stopień nasycenia wynosił ok. 58%). Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że wody zbiornika zaporowego Rzeszów pod kątem zawartości w nich tlenu spełniały normy ustalone dla II klasy jakości.

Stężenia fosforu ogólnego na obu stanowiskach kształtowały się na podobnym poziomie. Incydentalnie wysokie wartości (około  $1,5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) odnotowano na obu stanowiskach w czerwcu 2010 roku. Należy zaznaczyć, że był to okres po długotrwałych, obfitych opadach, które wystąpiły w maju tego roku. Pomijając te przypadki, stężenie fosforu ogólnego w całym okresie badań mie-

ściło się w zakresie  $0,088 - 0,317 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , co kwalifikowało wody badanego zbiornika do II klasy jakości. Wg Vollenweidera [22], stężenia fosforu powyżej którego może nastąpić masowy rozwój glonów planktonowych wynosi  $0,015 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  – warunki te występowały w wodach badanego zbiornika w całym okresie badań.

Stężenie azotu ogólnego nie przekroczyło wartości granicznych I klasy jakości wód i na obu stanowiskach kształtowało się na podobnym poziomie w zakresie  $1,260 - 3,564 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

**Tabela 1. Wybrane kryteria oceny stanu troficzności jezior**

Table 1. Selected criteria for assessing the trophic state of lakes

Stan troficzny	Fosfor ogólny	Chlorofil "a"		Azot ogólny
		średnia	maksimum	
	$[\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}]$	$[\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}]$		$[\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}]$
Wg OECD [23]				
ultra-oligotrofia	$\leq 4$	$\leq 1$	$\leq 2,5$	-
oligotrofia	$\leq 10$	$\leq 2,5$	$\leq 8$	-
mezotrofia	$\leq 35$	$\leq 8$	$\leq 25$	-
eutrofia	$\leq 100$	$\leq 25$	$\leq 75$	-
hypertrofia	$> 100$	$> 25$	$> 75$	-
Wg Nürnberg [15]				
oligotrofia	$\leq 10$	$\leq 3,5$	-	$\leq 350$
mezotrofia	$\leq 30$	$\leq 9$	-	$\leq 650$
eutrofia	$\leq 100$	$\leq 25$	-	$\leq 1200$
hypertrofia	$> 100$	$> 25$	-	$> 1200$
Indeksy troficzne TSI oraz ITS				
Wg Carlsona [2]	$\text{TSI}_{\text{Chla}} = 9,81 \ln(\text{Chla}) + 30,6$		$\text{TSI}_{\text{TP}} = 14,43 \ln(\text{TP}) + 4,15$	
oligotrofia	$< 40$			
mezotrofia	$40-50$			
eutrofia	$50-70$			
hypertrofia	$> 70$			
Wg Neverovej-Dziopak [14]	$\text{ITS} = \sum \text{pH}_{\text{sr}} + a(100 - \sum [\text{O}_2\%]_{\text{sr}})$ , gdzie a - współczynnik empiryczny			
dystrofia	$< 5,7$			
ultraoligotrofia	$6,3$			
oligotrofia	$7,0$			
mezotrofia	$7,7$			
eutrofia	$> 8,3$			

Mineralne formy azotu stanowiły średnio 17% azotu ogólnego. Zarówno stężenia azotu amonowego jak i azotanowego w wodach badanego zbiornika nie przekroczyły wartości granicznych (odpowiednio 0,78 i 2,2 mg·dm<sup>-3</sup>) ustalonych dla I klasy jakości.

Wyliczona wartość ilorazu stężeń form ogólnych substancji biogenych (azotu i fosforu) pozwoliła określić jaki pierwiastek limituje produkcję w badanym ekosystemie wodnym. Ponieważ glony zawierają około 16 atomów azotu na każdy atom fosforu, to iloraz mas molowych azotu i fosforu, znany jako stosunek Redfielda wynosi: 224:31 = 7,22. Teoretycznie więc, jeżeli wartość N:P jest wyższa niż 7 fosfor jest czynnikiem limitującym produkcję pierwotną, natomiast jeżeli jest to wartość niższa od 7 pierwiastkiem ograniczającym wzrost glonów jest azot. W praktyce przyjmuje się, że wartość ilorazu.

**Tabela 2. Wybrane wskaźniki fizyczno-chemiczne badanych wód**

Table 2. Selected physico-chemical indicators of studied waters

Wskaźnik	Stanowisko badawcze	Zakres	Średnia	Odchylenie standardowe	Liczba pomiarów
Odczyn pH	1	7,70 – 9,06	-	-	12
	2	7,34 – 8,74	-	-	12
Przewodność [μS·cm <sup>-1</sup> ]	1	423 – 610	530	57	10
	2	407 – 603	531	68	11
O <sub>2</sub> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	1	4,28 – 8,79	6,84	1,45	12
	2	2,65 – 9,22	5,72	2,11	12
TP [mg·dm <sup>-3</sup> ]	1	0,088 – 1,528	0,281	0,397	12
	2	0,088 – 1,491	0,267	0,391	12
TN [mg·dm <sup>-3</sup> ]	1	1,260 – 3,564	2,257	0,675	12
	2	1,264 – 3,387	2,039	0,737	12
N-NO <sub>3</sub> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	1	0,170 – 1,966	1,011	0,509	12
	2	0,104 – 1,675	0,817	0,489	12
N-NO <sub>2</sub> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	1	0,010 – 0,068	0,039	0,016	12
	2	0,012 – 0,55	0,032	0,013	12
N-NH <sub>4</sub> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	1	0,035 – 0,236	0,134	0,063	12
	2	0,072 – 0,349	0,202	0,092	12
N:P	1	1 – 29	15	8,00	12
	2	1 – 22	13	6,00	12
TOC [mg·dm <sup>-3</sup> ]	1	0,240 – 6,825	3,243	1,887	12
	2	1,642 – 9,347	3,727	2,151	10
Chl „a” [μg·dm <sup>-3</sup> ]	1	0,10 – 112,54	28,47	38,98	12
	2	1,48 – 22,21	8,33	6,63	10

N:P niższa niż 10 wskazuje na niedobór azotu, a wyższa od 20 wskazuje na niedobór fosforu [3]. W większości jezior i zbiorników zaporowych zazwyczaj fosfor jest pierwiastkiem limitującym produkcję pierwotną [3, 18]. W wodach badanego zbiornika na obu stanowiskach badawczych wartość ilorazu N:P mieściła się w zakresie 1 – 29:1. Analizując uzyskane wartości ilorazu N:P można stwierdzić, że najczęściej obydwie biogeny w równym stopniu były pierwiastkami limitującymi produkcję. Tylko w sporadycznych przypadkach występował niedobór jednego bądź drugiego pierwiastka.

Wyjątkowo dużą produkcję pierwotną wyrażoną w postaci stężenia chlorofilu „a” odnotowano w czerwcu 2011 roku na stanowisku zlokalizowanym w przyzaporowej części zbiornika, wynosiła ona  $112,54 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Najniższą wartość chlorofilu „a” ( $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) zanotowano również na tym samym stanowisku w październiku 2009 roku.

Stężenia całkowitego węgla organicznego w wodach badanego zbiornika w całym okresie badań nie przekroczyły wartości  $10 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  co sugeruje, że można je zaklasyfikować pod względem tego wskaźnika do I klasy jakości.

### 3.2. Ocena poziomu trofii zbiornika

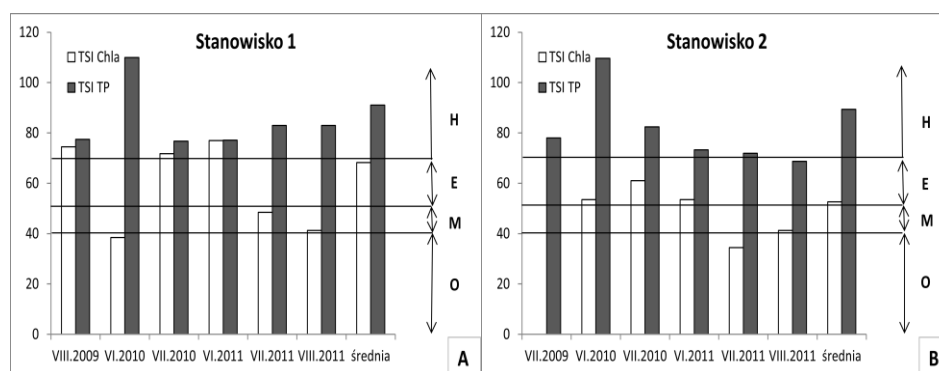
Przeprowadzona analiza zawartości stężeń ogólnych form pierwiastków biogennych oraz chlorofilu „a” wg kryterium oceny troficzności OECD i Nürnberg (tabela 1) wskazała na bardzo niekorzystną sytuację troficzną wód w zbiorniku zaporowym Rzeszów (tabela 3). Na podstawie średnich rocznych stężeń fosforu i azotu ogólnego wody na obydwu stanowiskach badawczych zakwalifikowano do hypertroficznego. Stężenia chlorofilu „a” (wartości maksymalne i średnie roczne) wskazywały na hypertroficzny stan wód na stanowisku w przyzaporowej części zbiornika, natomiast w górnej jego części na stan eutroficzny a nawet mezotroficzny. Można przypuszczać, że przyczyną wysokiej trofii wód badanego zbiornika jest dostawa ogromnych ilości substancji biogennych przez główne dopływy: rzeki Wisłok i Strug. Wcześniejsze analizy pokazują, że średnie obciążenie zbiornika zaporowego w Rzeszowie związkami biogennymi wynosi około  $3500 \text{mgN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$  oraz  $285 \text{mgP}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$  [10] co bardzo znacznie przekracza wartości niebezpieczne proponowane przez Volenweidera (odpowiednio:  $1,36 \text{mgN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$  i  $0,09 \text{mgP}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{doba}^{-1}$ ) [23].

Dla wód zbiornika rzeszowskiego obliczono także indeksy troficzne Carlsona (rys. 2). Średnie wartości indeksu troficznego fosforowego (TSI TP) dla obu stanowisk badawczych oscylowały wokół wartości 90 co wskazuje na hypertrofię (tabela 4). Średnia wartość indeksu troficznego chlorofilowego (TSI Chla) obliczona dla stanowiska zlokalizowanego w pobliżu zapory była wyższa (68) niż w górnej części zbiornika (53). Na podstawie tych wartości na obu stanowiskach badawczych wody zbiornika rzeszowskiego zakwalifikowano do wód eutroficznych (tabela 4).

**Tabela 3. Stan troficzny badanego zbiornika**

Table 3. Trophic state of the studied reservoir

Stan troficzny	Fosfor ogólny (śr. roczna)	Chlorofil "a"		Azot ogólny (śr. roczna)
		(śr. roczna)	(maksimum)	
Wg OECD [23]				
Stanowisko 1	hypertrofia	hypertrofia	hypertrofia	-
Stanowisko 2	hypertrofia	eutrofia	mezotrofia	-
Wg Nürnberg [15]				
Stanowisko 1	hypertrofia	hypertrofia	-	hypertrofia
Stanowisko 2	hypertrofia	mezotrofia	-	hypertrofia



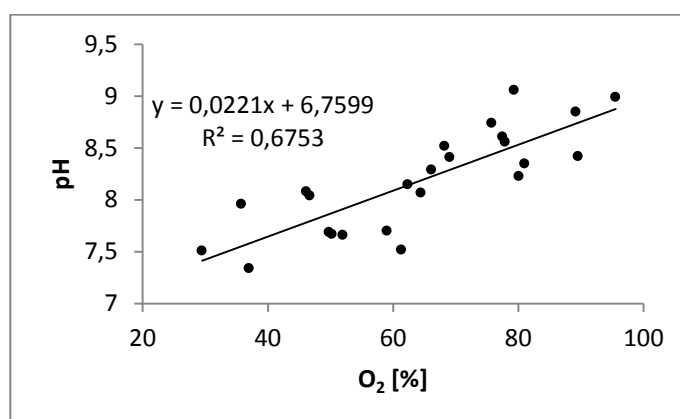
**Rys. 2. Ocena stanu trofii zbiornika zaporowego Rzeszów na podstawie wyliczonych indeksów troficznych wg Carlsona (A – stanowisko 1, B – stanowisko 2); O – oligotrofia, M – mezotrofia, E – eutrofia, H – hipertrofia**

Fig. 2. The assessment of the Rzeszów Reservoir trophic state on the basis Carlson (A – station 1, B – station 2); O – oligotrophy, M – mezotrophy, E – eutrophy, H - hypertrophy

Do oceny stanu troficznego wód zbiornika zaporowego w Rzeszowie wykorzystano także integralne kryterium ITS. Ponieważ wskaźnik ITS oblicza się tylko w przypadku istnienia liniowej korelacji pomiędzy wartościami pH a procentem nasycenia wody tlenem dwutlenowym wyznaczono taką zależność (rys. 3) ( $R^2 = 0,6753$ ,  $p < 0,001$ ,  $\alpha = 0,05$ ).

Wyliczone wartości wskaźnika ITS dla obu stanowisk oscylowały wokół wartości 9 (tabela 4) co wskazuje na eutroficzny stan wód w badanym akwenu (eutrofia – powyżej 8,3). Takie wnioski są zbieżne z oceną dokonaną na podstawie troficznego indeksu chlorofilowego Carlsona.





Rys. 3. Zależność wartości pH od nasycenia wody tlenem

Fig. 3. Oxygen saturation of the water concen vs. reaction

Tabela 4. Ocena stanu trofii zbiornika zaporowego Rzeszów na podstawie obliczonych wskaźników TSI i ITS

Table 4. The assessment of the Rzeszów Reservoir trophic state on the basis TSI and ITS indicators

Stanowisko badawcze	Wartość TSI Chl „a” (lato)	Stan troficzny	Wartość TSI TP (lato)	Stan troficzny	Wartość ITS (średnia roczna)	Stan troficzny
1	68	eutrofia	91	hypertrofia	9,04	eutrofia
2	53	eutrofia	89	hypertrofia	8,90	eutrofia

Porównując zastosowane kryteria oceny stanu troficznego badanego zbiornika można stwierdzić, że kryteria oparte na analizie stężeń sugerują znacznie wyższy stopień zeutrofizowania niż kryteria wskaźnikowe (TSI Chla i ITS). Kompensacja i zrównoważenie wszystkich wskaźników są charakterystyczne dla ekosystemów wodnych o rozwoju harmonijnym i niewielkim stopniu przekształceń antropogenicznych [8]. Ocena żyzności zbiornika na podstawie fosforowego indeksu troficznego Carlsona (TSI TP) jest zbieżna z oceną wg kryteriów OECD i Nürnberga. Porównując jednak fosforowy i chlorofilowy wskaźnik Carlsona należy zauważyć, że ten drugi osiąga zawsze niższe wartości. Jest to zjawisko powszechne [5, 19]. Na terenie całej Polski obserwowany jest brak kompensacji TSI TP i TSI Chla zarówno w jeziorach [8] jak i zbiornikach zaporowych [5]. Zazwyczaj w ocenie trofii jezior wartości TSI TP traktowane są jako wyróżnik podstawowy [6] ale przy ocenie stanu trofii zbiorników zapor-

wych (zwłaszcza zbiorników reolimnicznych) należy mieć na uwadze to, że znaczne ilości związków biogennych doprowadzanych wraz z dopływami mogą je opuszczać wraz z odpływem. Badania prowadzone na zbiorniku zaporowym Rzeszów w poprzednich latach sugerują, że w łańcuch troficzny włącza się tylko około 20% dopływających związków biogennych [20]. Wydaje się więc logiczne, że w przypadku zbiorników zaporowych najlepszym wyróżnikiem troficznym Carlsona będzie indeks chlorofilowy (TSI Chla) zwłaszcza, że w ocenie stopnia zeutrofizowania daje on rezultaty zgodne z integralnym kryterium troficzności ITS opartym na bilansie biotycznym.

#### **4. Podsumowanie – kierunki dalszych działań**

Analiza wyników badań wykazała, że zbiornik zaporowy w Rzeszowie jest zbiornikiem silnie zeutrofizowanym. Brak kompensacji pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami pozwalającymi określić stan trofii świadczy o zaburzeniu równowagi w badanym ekosystemie i silnym wpływie antropogenicznym.

Z uwagi na duże znaczenie gospodarcze zbiornika, konieczne jest podjęcie skutecznych działań, w tym modernizacji zbiornika, w kierunku poprawy jakości wód. W osiągnięciu celu przydatna będzie ocena jego naturalnej odporności na degradację (na podstawie danych morfometrycznych) oraz analiza aktualnych źródeł zasilania zbiornika związkami biogennymi. Z pewnością konieczna będzie modernizacja istniejących i budowa nowych oczyszczalni ścieków zmierzająca do zminimalizowania ilości związków biogennych odprowadzanych do Wisłoka i Strugu. Istnieje jednak ryzyko, że pomimo uporządkowania gospodarki wodno – ściekowej w zlewni stan zbiornika nie poprawi się. Przy dużym zasilaniu fosforem ze zlewni, w ciągu wielu lat duża jego ilość mogła ulec akumulacji w osadach dennych i zbiornik przez bardzo długi okres może być „samowystarczalny” by podtrzymywać proces eutrofizacji. Należałoby więc przeprowadzić szczegółowe badania osadów dennych pod kątem możliwości zasilania wewnętrznego zbiornika fosforem, co mogłoby być pomocne przy wyborze odpowiednich metod rekultywacyjnych, bez których z pewnością nie uda się spowolnić, a tym bardziej zahamować procesu nadmiernej eutrofizacji.

#### **Podziękowania**

Badania zostały sfinansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego RP w ramach umowy N N305 077836. W badaniach wykorzystano urządzenia zakupione w ramach projektu nr POPW.01.03.00-18-012/09 z Funduszy Strukturalnych w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

## Literatura

- [1] Bartoszek L., Tomaszek J.: Analysys of the spatial distribution of phosphorus fractions in the bottom sediments of the Solina-Myczkowce Dam Reservoir complex. *Environ. Protect. Eng.*, vol. 37, no. 3, 2011, pp. 5-15.
- [2] Carlson R. E.: A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, vol. 22, no. 2, 1977, pp. 361-369.
- [3] Galvez-Cloutier R., Sanchez M.: Trophic Status Evaluation for 154 Lakes in Quebec, Canada: Monitoring and Recommendations. *Water Qual. Res. J. Canada*, vol. 42, no. 4, 2007, pp. 252-268.
- [4] Gruca-Rokosz R., Czerwieniec E., Tomaszek J.: Methane emission from the Nielisz Reservoir. *Environ. Protect. Eng.*, vol. 37, no. 3, 2011, pp. 101-109.
- [5] Gruca-Rokosz R., Koszelnik P., Tomaszek J. A.: Ocena stanu troficznego trzech nizinnych zbiorników zaporowych Polski południowo-wschodniej. *Inżynieria Ekologiczna*, vol. 26, 2011, ss. 196-205.
- [6] Hillbricht-Ilkowska A., Wiśniewski R. J.: Zróżnicowanie troficzne jezior Suwalskiego Parku Krajobrazowego – stan obecny, zmienność wieloletnia, miejsce w klasyfikacji troficznej jezior. *Zeszyty Naukowe PAN KN przy Prezydium PAN „Człowiek i Środowisko”*, vol. 7, 1994, ss. 181-200.
- [7] Janjua M. Y., Ahmad T., Akhtar N.: Limnology and trophic status of Shahpur dam reservoir, Pakistan. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 19, no. 4, 2009, pp. 224-273.
- [8] Karpowicz M., Górniak A., Cudowski A.: Struktura zespołu zooplanktonu skorupiakowego oraz ocena aktualnej trofii jeziora Wigry. *Rocznik Augustowsko – Suwalski*, vol. 10, 2010, ss. 11-20.
- [9] Koszelnik P. : Isotopic effects of suspended organic matter fluxes in the Solina Reservoir (SE Poland). *Environ. Protect. Eng.*, vol. 35, no. 4, 2009, pp. 5-13.
- [10] Koszelnik P., Tomaszek J. A.: Loading of the Rzeszów reservoir with biogenic elements – mass balance. *Environ. Protect. Eng.*, vol. 28 no. 1, 2002, pp. 99-105.
- [11] Koszelnik P., Tomaszek J., Sokół Z., Kryczka R.: Charakterystyka zbiornika zaporowego w Rzeszowie po trzydziestu latach eksploatacji. V Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna „Ochrona i rekultywacja Jezior”, Grudziądz., 2004.
- [12] Koszelnik P.: Rola krzemu w procesie eutrofizacji wód na przykładzie zbiorników Solina i Myczkowce. *Rocznik Ochrona Środowiska*, tom 15, 2013, ss. 2218-2229.
- [13] Koszelnik P.: Źródła i dystrybucja pierwiastków biogennych na przykładzie zespołu zbiorników zaporowych Solina – Myczkowce. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*, Rzeszów, 2009.
- [14] Neverowa – Dziopak E.: *Ekologiczne aspekty ochrony wód powierzchniowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2007.
- [15] Nürnberg G.: Eutrophication and trophic state. *LakeLine*, vol. 29, no. 1, 2001, pp. 29-33.
- [16] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2003 roku. WIOŚ w Rzeszowie.

- [17] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz. U. 2011 r. Nr 257, poz. 1545).
- [18] Smith V. H., Tilman G. D., Nekola J. C.: Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, Marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, vol. 100, 1999, pp. 179-196.
- [19] Taheriyoun M., Karamouz M., Baghvand A.: Development of an entropy-based fuzzy eutrophication index for reservoir water quality evaluation. *Iran. J. Environ. Sci. Eng.*, vol. 7, no. 1, 2010, pp. 1-14.
- [20] Tomaszek J. A., Koszelnik P.: A simple model of nitrogen retention in reservoirs. *Hydrobiologia*, vol. 504, no. 1/3, 2003, pp. 51-58.
- [21] Tomaszek J. A.: Problemy ochrony i rekultywacji zbiornika zaporowego na rzece Wisłok w Rzeszowie. Materiały XVI Sympozjum Polskiego Komitetu IAWQ, Zabrze, 1995.
- [22] Vollenweider R. A.: Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular references to nitrogen and phosphorus un eutrophication. OECD Technical Report DAS/CSI/68.28, Paris 1968.
- [23] Vollenweider R. A., Kerekes J. J.: Eutrophication of waters. Monitoring assessment and control. Technical report. Environment Directorate, OECD, Paris, 1982.
- [24] Wiatkowski M., Kasperek R.: Gospodarka wodna i eksploatacja małego zbiornika wodnego „Adymacz” na rzece Prószkowski Potok. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN*, [w:] Melioracje Wodne w Inżynierii Kształtowania Środowiska, z. 528, 2008, ss. 457-466.
- [25] Wiatkowski M., Rosik-Dulewska Cz., Wiatkowska B.: Charakterystyka stanu użytkowania małego zbiornika zaporowego Nowaki na Korzkwi. *Rocznik Ochrona Środowiska*, tom 12, 2010, ss. 351-364.

## TROPHIC STATE OF THE RZESZÓW RESERVOIR

### Summary

Due to visible degradation of the Rzeszów Reservoir and previous reports about heavy load of it with biogenic compounds, water quality and trophic state of this reservoir was assessed in this paper. Two research stations on the reservoir (located near the dam and near the inlet of Wisłok River) were chosen. For the trophic state identification, the methods based on measurements in the surface waters of the annual average and maximum concentrations of indicators such as total phosphorus, total nitrogen and chlorophyll "a" were used. Commonly used trophic indicators: Carlson index TSI (*Trophic State Index*) and integral index ITS (*Index of Trophical State*) were also calculated. The analysis of the concentrations of total forms of biogenic elements and chlorophyll "a" showed a very unfavorable trophic situation of the Rzeszow Reservoir water. Based on the average annual concentrations of the phosphorus and nitrogen, the water on the both research stations was classified into hypertrophic waters. The concentrations of chlorophyll "a" indicated hypertrophic state of water on station near dam, while in the upper part of the reservoir, eutrophic and even mesotrophic state. The average values of phosphorus trophic index (TSI TP) for both research stations indicated hypertrophy, whereas the average trophic chlorophyll index (TSI Chla) allowed to qualify the measured water to eutrophic water. Calculated values of ITS

index for the two measured stations indicated eutrophic water state. Comparing the criteria used to assess the trophic status one can conclude that the criteria based on the analysis of concentrations suggest a much higher eutrophic level than criteria based on the indicators (TSI Chla and ITS).

**Keywords:** trofie, trophic index, Rzeszów reservoir

DOI: 10.7862/rb.2013.53

*Przesłano do redakcji w lipcu 2013 r.*

*Przyjęto do druku we wrześniu 2013 r.*