

**Elena NEVEROVA-DZIOPAK**  
**Elżbieta KOWALCZYK**  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie  
**Lilianna BARTOSZEK**  
**Piotr KOSZELNIK**  
Politechnika Rzeszowska

## **OCENA STANU TROFICZNEGO ZBIORNIKA ZAPOROWEGO SOLINA**

W pracy dokonano oceny stanu troficznego zbiornika zaporowego Solina, zlokalizowanego w zlewni górnego Sanu. W badaniach wykorzystano dostępne w literaturze kryteria pozwalające ustalić stan troficzny na podstawie stężeń związków azotu, fosforu i Chl-a w wodach, jak również zintegrowanych indeksów troficzności TSI oraz ITS. Oceny dokonane na podstawie wskaźników tradycyjnych oraz dwóch zastosowanych kryteriów pozwoliły scharakteryzować wody zbiornika Solina jako wody mezotroficzne z tendencją przejścia na początkowe stadium eutrofii.

### **1. Aktualność tematu**

Najbardziej oczywistym przejawem naruszenia bilansu ekologicznego w wodach powierzchniowych jest eutrofizacja antropogeniczna, która w drugiej połowie XX w. stała się problemem w skali globalnej i spowodowała pogorszenie jakości wszystkich rodzajów użytkowanych wód. Eutrofizacja zaliczana jest do problemów związanych z ochroną wód powierzchniowych i stanowi największe zagrożenie dla ich bezpieczeństwa ekologicznego i wartości konsumpcyjnej. Obecnie uznaje się, że eutrofizacja jest rezultatem niekorzystnego oddziaływania antropogenicznego na środowisko. Największe niebezpieczeństwo stanowi fakt, że jest to proces trudno odwracalny ze względu na zmiany zachodzące w ekosystemach wodnych. Bez względu na znaczące sukcesy w badaniu mechanizmów i ustalaniu ilościowych zależności czynników eutrofizacji, osiągniętych w ciągu ostatnich 30 lat, rozwiązanie problemów związanych z tym procesem wymaga dalszych badań interdyscyplinarnych, a przez to zaangażowania specjalistów z różnych dziedzin.

## 2. Specyfika procesu eutrofizacji w zbiornikach zaporowych

We wcześniejszych etapach badań limnologicznych zbiornikom zaporowym nie poświęcano wystarczającej uwagi. Do lat 70. XX w. nie analizowano różnic między jeziorami i zbiornikami zaporowymi. Klasyk nowoczesnej limnologii Hutchinson zaliczył zbiorniki zaporowe do jednego z typów jezior [1]. Intensywny rozwój budowli hydrotechnicznych przeznaczonych do retencjonowania wody i rozwiązywania problemów zaopatrzenia w wodę stymulowały rozpoczęcie badań ekosystemów sztucznych zbiorników wody. Analiza zgromadzonych wyników badań stanu zbiorników zaporowych, ich reżimu hydrologicznego i właściwości hydrochemicznych pozwoliła podważyć opinię, że zbiorniki zaporowe jako obiekty hydrologiczne w klasyfikacji zajmują przejściowe miejsce między rzekami a jeziorami, przy czym posiadają one skomplikowaną specyficzną strukturę hydrologiczną [2].

Wzrost liczby zbiorników zaporowych na całym świecie oraz bieżące oceny ich stanu ekologicznego zapewniające wysoką jakość użytkową wody zapoczątkowały poważne badania limnologiczne tych ekosystemów wodnych. W ich wyniku zostały ustalone istotne różnice w funkcjonowaniu ekosystemów jezior i zbiorników zaporowych [3÷5]. Główną ich przyczyną są abiotyczne czynniki ekosystemu. Choć procesy warunkujące obieg materii i energii w jeziorach i zbiornikach zaporowych mają podobną naturę, ich intensywność oraz zmienność w czasie i przestrzeni znacznie różnią się w zależności od ich właściwości [1].

Konieczność zwrócenia szczególnej uwagi na procesy eutrofizacji i kształtowanie jakości wody w zbiornikach zaporowych jest wywołana przede wszystkim aspektem praktycznym. Większość istniejących i nowo budowanych zbiorników zaporowych jest przeznaczona do kompleksowego wykorzystania, a priorytetem jest zaopatrzenie w wodę. Intensyfikacja procesów eutrofizacji stwarza wiele trudności o charakterze technologicznym i sanitarno-higienicznym w procesach uzdatniania wody. Zmiana stanu troficzności ekosystemu wodnego jest ściśle związana z pogorszeniem się wielu najważniejszych parametrów warunkujących jakość wody, takich jak: zwiększenie liczebności i biomasy fitoplanktonu, wzrost zawartości substancji organicznych, zwiększenie mętności, pojawienie się zapachu, barwy oraz substancji toksycznych i patogennej mikroflory.

Zbiorniki zaporowe są budowane przeważnie w regionach gęsto zaludnionych i intensywnie rozwijających się, w związku z czym ulegają większym wpływom antropogenicznym. Jakość wód w zbiornikach zaporowych pogarsza się zwłaszcza w pierwszych latach ich funkcjonowania, podczas wyługowywania substancji chemicznych z zalanych gruntów, co objawia się zwiększeniem produktywności i prowadzi do anomalnie intensywnego rozwoju fitoplanktonu. W dalszym ciągu ekosystem zbiorników zaporowych stabilizuje się, a procesy wewnętrzne stają się bardziej zbilansowane.

Uwzględniając specyfikę zbiorników zaporowych i ich wielofunkcyjność, można stwierdzić, że bardzo aktualne staje się zastosowanie systemów klasyfikacji i wskaźników do oceny ich statusu troficznego. W tej kwestii nie ma wśród limnologów jednomyślności: jedni twierdzą, że ze względu na specyfikę ekosystemów zbiorników zaporowych istnieje konieczność opracowania specjalnych wskaźników [6], drudzy zaś uważają, że tradycyjne metody oceny troficzności sprawdzają się również w przypadku zbiorników zaporowych [1].

Stosując wskaźniki i kryteria do oceny stopnia troficzności zbiorników zaporowych, należy uwzględnić dwie specyficzne cechy tych ekosystemów:

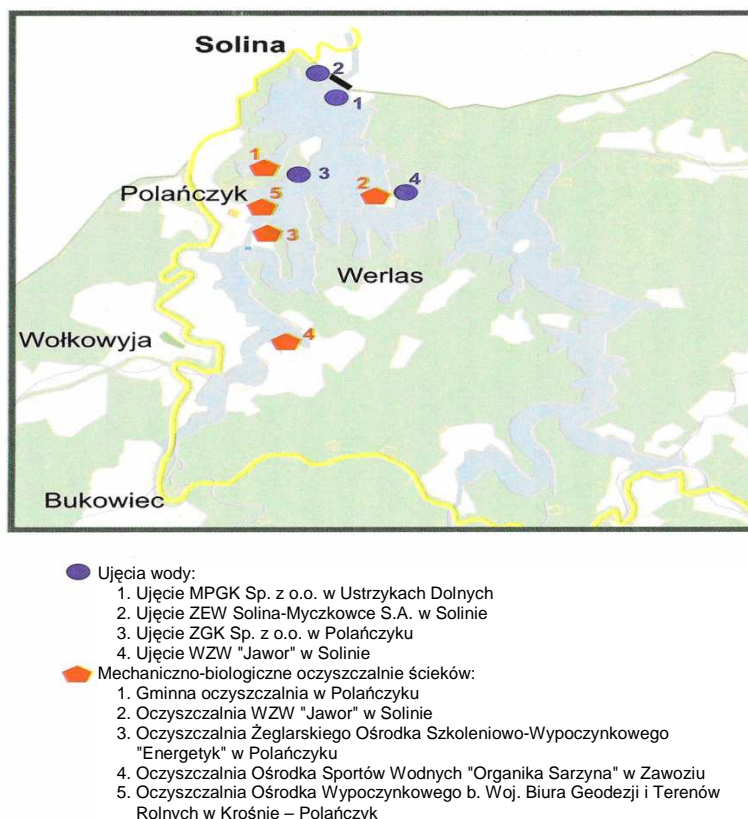
- w wyniku pionowej niejednorodności składu wody w zbiornikach zaporowych często obserwowana jest pionowa niejednorodność parametrów abiotycznych i biotycznych oraz warunków troficznych [7], w związku z czym przy zastosowaniu tradycyjnych wskaźników eutrofizacji konieczne jest ich przestrzenne uśrednienie,
- w zbiornikach zaporowych mogą występować nieadekwatne korelacje między ogólnym fosforem a poziomem troficzności [6].

Oczywiste jest, że wskaźniki troficzności opracowane dla konkretnych zbiorników mogłyby zapewnić bardziej precyzyjną ocenę, ale ich opracowanie wymaga szczegółowych, wieloletnich badań limnologicznych. Jak pokazało doświadczenie, do orientacyjnej oceny stanu troficzności tych ekosystemów możliwe jest wykorzystanie istniejących wskaźników troficzności, opracowanych dla ekosystemów jeziornych z uwzględnieniem specyficznych cech zbiorników zaporowych [1].

Z ekologicznego punktu widzenia zaporowe zbiorniki wodne należą do specyficznego rodzaju sztucznych zbiorników i znacząco różnią się od nich ze względu na możliwość regulowania zmian poziomu wody, co wpływa na kształtowanie specyfiki tych ekosystemów. Jakość wody i charakter linii brzegowej są kształtowane w warunkach znacznych i nieregularnych zmian poziomów wody. Ponieważ zbiorniki zaporowe są budowane przeważnie na rzekach, można je rozpatrywać jako produkt transformacji ekosystemu rzecznoego, a jego sukcesję jako osiągnięcie przez rzekę nowego poziomu ewolucyjnego, pod wpływem stałego oddziaływania czynników antropogenicznych [8]. Można potwierdzić to również tym, że biocenoza zbiorników zaporowych jest kształtowana poprzez biocenozę rzecznoą w wyniku jej zubożenia [9]. Ponieważ ekosystemy zbiorników zaporowych przeznaczone były do maksymalnego wykorzystania zbiorników w celach energetyki, transportu wodnego, irygacji, ochrony przed powodzią oraz zaopatrzenia w wodę i rekreacyjnych, to czynniki abiotyczne i biotyczne w różnych zbiornikach zaporowych różnią się od tychże czynników w normalnie funkcjonujących ekosystemach jeziornych. Jakość wód w zbiornikach zaporowych często stanowi problem ze względu na możliwości wykorzystania wody w różnych celach.

### 3. Ocena stanu troficzności zbiornika Solina

Zbiornik Solina, jako największy zbiornik zaporowy w Polsce, skupia ponad 18% wody gromadzonej w kraju. Jest to zbiornik wielozadaniowy, który nie tylko retencjonuje wodę do celów energetycznych i przeciwpowodziowych i wyrównuje poziom wody w rzece San poniżej zbiornika, ale także służy do zaopatrzenia w wodę oraz do celów rekreacyjnych. Jednocześnie jest odbiornikiem ścieków z pięciu oczyszczalni mechaniczno-biologicznych. Są to w większości oczyszczalnie klasyczne, nieposiadające etapu wzmożonego usuwania związków biogenych (rys. 1.) [10].



Rys. 1. Lokalizacja ujęć wody i oczyszczalni ścieków na zbiorniku Solina, <http://leskobezcenzury.blogspot.com/2010/02/gospodarka-wodna.html>

Badania prowadzone od początku istnienia zbiorników zaporowych Solina–Myczkowce wskazują na postępujące negatywne zmiany ich ekosystemu, co jest związane przede wszystkim ze wzbogacaniem wód w substancje biogenne, dopływające ze zlewni, i co prowadzi do intensyfikacji procesów eutrofizacji i jej negatywnych konsekwencji [11]. Proces eutrofizacji powoduje zachwianie

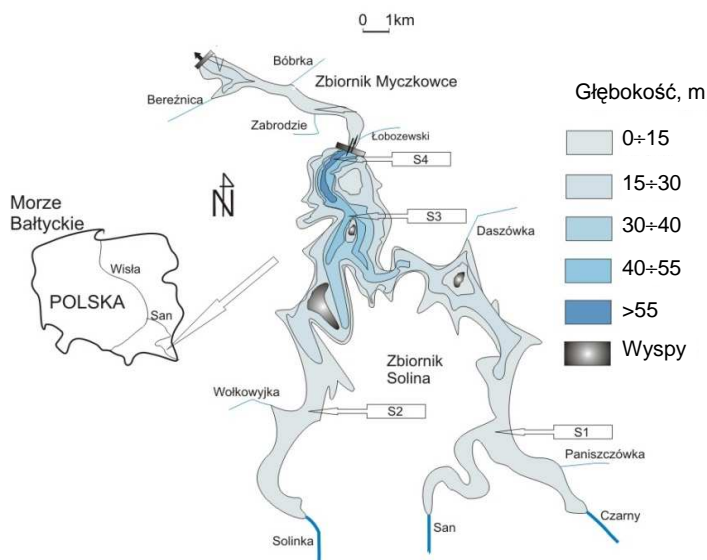
równowagi ekologicznej zbiorników wodnych i prowadzi do pogorszenia właściwości użytkowych wód. Aby ochronić i zachować tak cenny pod względem gospodarczym i przyrodniczym obszar wodny, jakim jest zbiornik zaporowy Solina i ekosystemy z nim związane, niezmiennie ważne jest monitorowanie i prognozowanie zmian stanu troficznego tych wód w celu zapobiegania jego degradacji i utraty walorów użytkowych, przyrodniczych i rekreacyjnych. Tradycyjnie stan troficzny zbiorników i cieków wodnych jest oceniany na podstawie całokształtu dużej liczby charakterystyk hydrobiologicznych, do których zalicza się m.in.: liczebność, biomasę, skład gatunkowy roślinności wodnej, prędkość fotosyntezy, stężenie chlorofilu.

Pomiar i określenie wymienionych wskaźników, zwłaszcza wskaźników hydrobiologicznych, są dość pracochłonne, kosztowne oraz wymagają wysokich kwalifikacji i wąskiej specjalizacji badaczy. Nie wszystkie z wymienionych kryteriów oceny stanu troficznego mogą być zalecane do ocen praktycznych, ponieważ mają pewne ograniczenia i wady. Spośród ogromnej liczby wskaźników do bezpośredniej oceny stanu troficznego wód za najbardziej wygodne i najczęściej stosowane mogą być uznane: koncentracje substancji biogennych, prędkość wyczerpywania się tlenu w hipolimnionie, przeźroczystość wody i zawartość chlorofilu. Obok oceny stanu troficzności na podstawie zespołu wskaźników częste zastosowanie znalazły wskaźniki zintegrowane, polegające na współzależności czynników eutrofizacji i wskaźników odzwierciedlających reakcje ekosystemu wodnego. Bardzo ważną cechą praktyczną takich wskaźników jest prosty sposób ich pomiaru, interpretacji i oceny oraz możliwości ich zastosowania do różnych celów praktycznych, tj. do monitoringu, prognozowania, modelowania matematycznego oceny efektywności przedsięwzięć ochronnych i podejmowania decyzji w zakresie ochrony i racjonalnego wykorzystania zasobów wodnych.

## 4. Wyniki badań

### Ocena stanu troficzności na podstawie tradycyjnych wskaźników

Celem badań była ocena stanu troficzności zbiornika zaporowego Solina na podstawie wskaźników tradycyjnych, tj.: fosforu całkowitego, azotu całkowitego, mineralnych form azotu i fosforu oraz chlorofilu-a, i za pomocą integralnego kryterium troficzności wód ITS (*Index of Trophical State*) [12]. Podstawę oceny stanu troficzności zbiornika Solina stanowiły średnie wartości badanych wskaźników z okresu pomiarowego 2005-2006 w punktach poboru próbek wody, których lokalizacja wynikała z morfometrii zbiornika oraz położenia dopływów: dwa stanowiska w górze zbiornika (*S1* i *S2*), stanowisko w miejscu najlepszego wymieszania wód dopływających z obydwu odnóg (*S3*) i stanowisko w 200 m od zapory (*S4*) (rys. 2.) [11]. Wartości wskaźników eutrofizacji w zbiorniku stanowiące podstawę oceny przedstawiono w tab. 1.



Rys. 2. Punkty poboru próbek wody z powierzchni zbiornika Solina

Tabela 1. Wartości wskaźników eutrofizacji w zbiorniku Solina

Punkt poboru próbek	Wskaźniki eutrofizacji					
	$P_{\text{całk.}}$ , mg/l	$N_{\text{całk.}}$ , mg/l	Chl-a, $\mu\text{g/l}$	$\text{NO}_3^-$ , mg/l	$\text{NH}_4^+$ , mg/l	$\text{PO}_4^{3-}$ , mg/l
S1	0,085	2,35	2,87	1,5	0,150	0,040
S2	0,100	2,90	3,86	1,6	0,155	0,035
S3	0,065	2,60	2,97	1,7	0,155	0,035
S4	0,060	2,40	2,83	1,6	0,155	0,030

Ocenę stopnia troficzności wód zbiornika Solina opartą na tradycyjnych wskaźnikach eutrofizacji wykonano z uwzględnieniem zakresu ich wartości normatywnych. Zakres tych wartości w wodach o różnym poziomie troficzności przyjęto na podstawie zestawienia stanowiącego analizę wyników badań różnych autorów [1, 13]. Wyniki oceny stanu troficzności przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Wyniki oceny stanu troficznego zbiornika Solina na podstawie tradycyjnych wskaźników

Punkt poboru próbek	Wskaźniki eutrofizacji					
	$P_{\text{całk.}}$ , mg/l	$N_{\text{całk.}}$ , mg/l	Chl-a, $\mu\text{g/l}$	$\text{NO}_3^-$ , mg/l	$\text{NH}_4^+$ , mg/l	$\text{PO}_4^{3-}$ , mg/l
S1	eutrofia	eutrofia	mezotrofia	eutrofia	mezotrofia	mezotrofia
S2	eutrofia	eutrofia	mezotrofia	eutrofia	mezotrofia	mezotrofia
S3	eutrofia	eutrofia	mezotrofia	eutrofia	mezotrofia	mezotrofia
S4	eutrofia	eutrofia	mezotrofia	eutrofia	mezotrofia	mezotrofia

Stan troficzności wód powierzchniowych jest uwarunkowany ich bilansem biotycznym, który należy rozpatrywać w ujęciu bilansu rocznego. W okresie badawczym 2005÷2006 wartości wskaźników eutrofizacji, ujawniając zmienność sezonową, nie wykazywały wielkich różnic wartości średniorocznych. Różne części akwenu zbiornika Solina charakteryzowały się jednakowymi warunkami troficznymi, bez względu na różnice hydrologiczne i morfologiczne. Ocena stanu troficzności na podstawie zestawu wskaźników eutrofizacji często daje niejednoznaczne wyniki, co jest uwarunkowane wadami tej metody oraz tym, że często normatywne wartości tych wskaźników ustalone dla wód o różnym poziomie troficzności pokrywają się, utrudniając kwalifikowanie wód do danego poziomu trofii. Stosując taką metodologię oceny, można mówić o jej pewnym prawdopodobieństwie. Jak wynika z analizy danych zawartych w tab. 2., ocena na podstawie zawartości  $P_{\text{całk}}$ ,  $N_{\text{całk}}$  i  $\text{NO}_3^-$  wskazuje na warunki eutroficzne, natomiast zawartość Chl-a,  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{PO}_4^{3-}$  kwalifikuje ten zbiornik jako zbiornik mezotroficzny. Biogennymi formami azotu i fosforu są mineralne formy tych pierwiastków. Niektórzy autorzy uważają, że priorytetową formą jest właśnie azot amonowy, a ich ogólna zawartość stanowi pośredni wskaźnik eutrofizacji [1]. Uwzględniając ten fakt oraz to, że zawartość chlorofilu-a w wodzie jest podstawowym wskaźnikiem produktywności wód, należy przyjąć, że zbiornik Solina w okresie 2005÷2006 wykazywał cechy wód mezotroficznych, z tendencją przejścia do początkowego stadium eutrofii. Potwierdzają to również wyniki badań tego akwenu wykonane przez innych autorów. Przykładowo wyznaczona dla Soliny wartość wskaźnika troficzności Carlsona TSI wynosząca 40 wskazuje również na mezoeutroficzny charakter wód [11], a wskaźnik przejrzystości według krążka Secchiego w okresie letnim o wartości 0,9÷3,45 m także charakteryzują wody zbiornika jako mezoeutroficzne [10]. Z punktu widzenia zaopatrzenia ludności w wodę i celów rekreacyjnych wody oligotroficzne są najbardziej przydatne, natomiast z punktu widzenia warunków bytowania ryb oraz ogólnej stabilności ekosystemu warunki mezotroficzne są bardziej pożądane.

### Ocena na podstawie integralnego kryterium troficzności ITS

Potrzeby praktyki monitoringu i ochrony wód przed eutrofizacją wymagają opracowania i zastosowania prostych, pragmatycznych wskaźników liczbowych, pozwalających na zmniejszenie kosztów monitoringu i przydatnych do rozwiązywania zadań aplikacyjnych. Eutrofizacja wód powierzchniowych prowadzi do naruszenia bilansu prędkości procesów produkcji i rozkładu substancji organicznych, które stanowią podstawę obiegu biotycznego substancji w przyrodzie i są najbardziej fundamentalną charakterystyką dowolnego ekosystemu i biosfery jako całości. Można zatem przyjąć, że kryterium – odzwierciedlające najbardziej adekwatnie stan ekologiczny wód powierzchniowych – jest to materialny, energetyczny lub kinetyczny bilans produkcji i rozkładu substancji organicznych.

Jednocześnie kryterium to charakteryzuje stan troficzny zbiorników i cieków wodnych, ponieważ stopień troficzości wód jest uwarunkowany właśnie końcowym bilansem tych procesów [13]. Wskaźnik stanu troficznego wód ITS oparty jest na założeniach teoretycznych, w myśl których zachwianie równowagi procesów produkcji i rozkładu substancji organicznych w dowolnych ekosystemach prowadzi przede wszystkim do zmian stosunków ilościowych stężeń tlenu  $O_2$  i dwutlenku węgla  $CO_2$ . Z rozważań tych wynika, że stan bilansu biotycznego wód powierzchniowych, określony jako stan troficzości, jest funkcją wartości pH i nasycenia wody tlenem, czyli  $V_{prod}/V_{rozk} = f(pH \text{ i } [O_2\%])$ , i może być charakteryzowany zależnością między wartością pH a nasyceniem wody tlenem [13].

Przy jednakowym nasyceniu wody tlenem wartość pH jest tym większa, im wyższy jest status troficzny wód. To pozwoliło zaproponować wartość pH przy 100% nasyceniu wody tlenem jako integralnym wskaźnikiem stanu ekologicznego wód powierzchniowych, który został nazwany ITS. Do jego obliczania zaproponowano równanie:

$$ITS = \Sigma pH_i / n + a(100 - \Sigma [O_2\%] / n) \quad (1)$$

gdzie:  $pH_i$  – pomiar wartości pH,

$[O_2\%]$  – stężenie tlenu w wodzie mierzone synchronicznie z pomiarami pH,

$a$  – współczynnik empiryczny,

$n$  – liczba pomiarów.

Wartości integralnego wskaźnika ITS odpowiadające różnym stanom bilansu biotycznego, obliczone na podstawie empirycznych danych dla różnych ekosystemów słodkowodnych, przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3. Wartości integralnego wskaźnika ITS w wodach słodkich o różnym stanie troficzości, na podstawie [13]

Bilans biotyczny ( $V_{prod}/V_{rozk}$ )	Stan troficzny	Wskaźnik ITS
Ujemny ( $V_{prod}/V_{rozk} < 1$ )	dystroficzny ultraoligotroficzny	$< 5, 7 \pm 0,3$ $6,3 \pm 0,3$
Zerowy ( $V_{prod}/V_{rozk} = 1$ )	oligotroficzny	$7,0 \pm 0,3$
Dodatni ( $V_{prod}/V_{rozk} > 1$ )	mezotroficzny eutroficzny	$7,7 \pm 0,3$ $> 8,3 \pm 0,3$

Aby zweryfikować możliwość zastosowania tego wskaźnika do oceny stanu troficznego sztucznych zbiorników wodnych, dokonano oceny stanu troficznego zbiornika Solina za pomocą ITS (tab. 4.). Ocena poziomu trofii na podstawie integralnego kryterium ITS wykazała stan eutroficzny, co koreluje z oceną na



podstawie stężeń całkowitych form azotu i fosforu oraz azotu amonowego. Należy zwrócić uwagę, że zawartość tlenu w wodzie zależy nie tylko od stanu bilansu biotycznego i temperatury, ale też od stopnia mineralizacji wody. Woda o większym stopniu mineralizacji ma odczyn zasadowy, dobre właściwości buforowe, a w warunkach oligotroficznych wartości pH zmieniają się w granicach  $7,7 \div 8,4$ , czyli wartości ITS w takich wodach będą wyższe niż w słodkich przy jednakowych warunkach troficznych [13].

Tabela 4. Ocena stanu troficzności zbiornika Solina na podstawie wskaźnika ITS

Punkt poboru próbek	Wartość ITS	Stan troficzności
S1	8,5	eutrofia
S2	8,5	eutrofia
S3	8,8	eutrofia
S4	8,8	eutrofia

Uwzględniając to, że woda zbiornika Solina ma odczyn lekko zasadowy, a średnie roczne wartości pH na stanowiskach pomiarowych w ciągu okresu badawczego zawierały się w granicach  $8,36 \div 8,52$ , do oceny stanu troficzności wód zbiornika Solina zastosowano również wskaźnik ITS(S) opracowany dla wód średniej i wysokiej mineralizacji. Obliczano go z relacji [14]:

$$\text{ITS(S)} = \text{pH} - \lg [\text{O}_2, \%] \quad (2)$$

Wartości wskaźnika ITS(S) dla wód o różnym poziomie troficzności przedstawiono w tab. 5. Wyniki oceny stanu troficzności zbiornika Solina na podstawie wskaźnika ITS(S) przedstawiono zaś w tab. 6.

Tabela 5. Wartości integralnego wskaźnika ITS(S) w wodach słonawych o różnym stanie troficzności, na podstawie [14]

Stan troficzny	Wskaźnik ITS(S)
Dystroficzny	$<4,5$
Oligotroficzny	$4,6 \div 5,0$
Mezotroficzny	$5,1 \div 6,5$
Eutroficzny	$6,6 \div 11,3$

Tabela 6. Ocena stanu troficzności zbiornika Solina za pomocą wskaźnika ITS(S)

Punkt poboru próbek	Wartość ITS(S)	Stan troficzności
S1	6,51	mezotrofia
S2	6,47	mezotrofia
S3	6,56	mezotrofia
S4	6,42	mezotrofia

Wyniki oceny stanu troficznego wód za pomocą wskaźnika ITS(S) pozwoliły zakwalifikować zbiornik do wód mezotroficznych, co koreluje z oceną na podstawie mineralnych form azotu i fosforu oraz chlorofilu-a.

## 5. Wnioski

1. Konieczność oceny stanu troficzności sztucznych zbiorników wodnych wynika z aspektu praktycznego, ze względu na wiele funkcji gospodarczych i przyrodniczych, które pełnią te jednolite części wód powierzchniowych.
2. Z ekologicznego punktu widzenia zaporowe zbiorniki wodne należą do specyficznego rodzaju sztucznych zbiorników i znacząco różnią się od nich ze względu na możliwość sterowania zmianami poziomu wody, co wpływa na kształtowanie specyfiki tych ekosystemów.
3. Przy uwzględnieniu specyfiki zbiorników zaporowych i ich wielofunkcyjności niezwykle ważne jest zastosowanie odpowiednich systemów klasyfikacji i wskaźników do oceny ich statusu troficznego.
4. Oceny stanu troficzności można dokonać na podstawie zestawu czynników tradycyjnych, takich jak chlorofil, przejroczystość, zawartość azotu i fosforu, co jednak nie zawsze pozwala zakwalifikować wody do określonego poziomu troficzności z wymaganym stopniem prawdopodobieństwa.
5. Bardziej wygodne i wiarygodne są wskaźniki zintegrowane, które opracowano na podstawie badania zależności między różnymi czynnikami eutrofizacji a parametrami odzwierciedlającymi reakcje ekosystemu wodnego na wzrost poziomu troficzności.
6. W pracy przedstawiono wyniki oceny stanu troficzności zbiornika zaporowego Solina na podstawie danych z badań wybranych wskaźników stanu wody w okresie badawczym 2005÷2006 za pomocą wskaźników tradycyjnych oraz dwóch integralnych kryteriów stanu troficznego wód, opracowanych dla wód o niskim stopniu mineralizacji i wód słonawych.
7. Oceny na podstawie wskaźników tradycyjnych oraz dwóch zastosowanych kryteriów pozwoliły scharakteryzować wody zbiornika Solina jako wody mezotroficzne z tendencją przejścia na początkowe stadium eutrofii, co korelowało z wynikami badań innych autorów.
8. Wiarygodność oceny stanu troficzności wód zbiornika, poprzez zastosowanie integralnych kryteriów troficzności ITS i ITS(S), umożliwia organizację taniego i szybkiego monitoringu procesu eutrofizacji w zbiorniku Solina, ocenę głównych czynników ograniczających ten proces oraz prognozowanie jego rozwoju.

## Literatura

1. Даценко Ю.С.: Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты, Москва: ГЕОС 2007, 252 с.
2. Эдельштейн К.К.: Водные массы долинных водохранилищ. Изд-во МГУ, Москва 1991, 176 с.
3. Straskraba M., Tundisi J.G., Duncan A.: Developments in hydrobiology: comparative reservoir limnology and water quality management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands 1993.
4. Thornton K.W., Kennedy R.H., Magoun A.D., Saul G.E.: Reservoir water quality sampling design. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, vol. 18, is. 3, 1982, s. 471-480.
5. Thornton K.W., Kimmel B.L., Payne F.E.: Reservoir limnology – ecological perspectives. John Wiley and Sons, New York 1990.
6. Lind O., Terrell T., Kimmel B.: Problems in reservoir trophic state classification and implications for reservoir management, [in:] Comparative reservoir limnology and water quality management. Kluwer, Netherlands 1992, s. 56-67.
7. Kennedy R.H., Walker W.W.: Reservoir nutrient dynamics, [in:] Reservoir limnology: ecological perspectives. Edited by K.W. Thornton, B.L. Kimmel and F.E. Payne. John Wiley and Sons, New York 1990, s. 109-124.
8. Сухомлинова В.В., Сухомлинов Н.Р.: Факторы и направленность сукцессионного развития водохранилищ ГЭС Биробиджанский государственный педагогический институт, Хинганэкоцентр, Биробиджан, 2005.
9. Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Хабаровск, 28 февраля-3 марта 2005 г.). Дружининские чтения, Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005, Вып. 2, с. 75-78.
10. Skiba W.: San. Ocena stanu i jakości wód płynących oraz zbiornika zaporowego Solina, <http://www.biblioteka.sanok.pl/www/pdf/sanocena.pdf>
11. Koszelnik P.: Źródła i dystrybucja pierwiastków biogennych na przykładzie zespołu zbiorników zaporowych Solina–Myszkowce. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.
12. Tsvetkova L.I., Ponomareva V.N., Kopina G.I., Neverova E.V.: Patent no 2050128. The method of estimation of ecological state of fresh water basins. Moscow 1995.
13. Neverova-Dziopak E.: Ekologiczne aspekty ochrony wód powierzchniowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
14. Цветкова Л.И., Копина Г.И. Неверова Е. и др.: Временные методические рекомендации по определению экологически-допустимых концентраций фосфора в воде водоемов для расчета экологически-допустимых сбросов фосфора со сточными водами в целях предотвращения эвтрофирования. Ленинград 1991.
15. Prus M., Prus P., Klekowski R.Z.: Retencja pierwiastków biogennych oraz produkcja pierwotna i wtórna jako wskaźnik stabilności ekosystemu zbiorników zaporowych Solina i Myszkowice. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Błękitny San”, Dubiecko, 21-22 kwietnia 2006.

## **TROPHIC STATE OF THE SOLINA RESERVOIR**

### **S u m m a r y**

In the paper was assessed the trophic status of the Solina Reservoir situated in the upper catchment of the San river. For the trophic state identification were used both, the literature criteria based on the concentrations of nitrogen and phosphorus in the water, and integrated trophic state indexes TSI and ITS. On the basis of the traditional indicators and two of the criteria, reservoir was have classified as mesotrophic but exist a clear trend towards the reservoir becoming eutrophic.

*Złożono w Oficynie Wydawniczej w styczniu 2011 r.*