

**Anna DROŹDZIK**

Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja 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

## Ocena stanu troficznego wód zbiorników zaporowych Jeziorsko i Sulejowskiego

Proces eutrofizacji zbiorników zaporowych jest bardzo istotnym problemem środowiskowym i ze względu na ich ważne funkcje gospodarcze musi być stale monitorowany. Trudności prognozowania stanu trofii wód oraz ograniczona możliwość sterowania procesem powodują potrzebę systematycznej kontroli przebiegu eutrofizacji w celu wczesnego reagowania. Wiarygodnej oceny dostarczają wskaźniki wieloparametrowe, odznaczające się wieloaspektowym podejściem do problemu. W badaniach przedstawionych w artykule do oceny stanu trofii wód zbiorników Jeziorsko i Sulejowskiego zastosowano integralny wskaźnik troficzności (ang. *Index of Trophic State* - ITS), który odzwierciedla bilans procesów produkcji i rozkładu substancji organicznej produkowanej przez glony oraz bazuje na wartościach pH i nasycenia wody tlenem, a więc standardowych pomiarach monitoringowych. Pozwala on dzięki temu w szybki i tani sposób ocenić stan trofii. W celu weryfikacji wyników uzyskanych z zastosowaniem integralnego wskaźnika troficzności (ITS) przeprowadzono również ocenę według wartości granicznych koncentracji fosforu całkowitego i chlorofilu „a” ustalonych przez Vollenweidera i OECD. Ocena stanu troficznego wód obu zbiorników dokonana na podstawie różnych metod charakteryzuje się bardzo zbliżonymi wynikami, co potwierdziło zasadność zastosowania wskaźnika ITS do oceny stanu troficznego wód.

**Słowa kluczowe:** eutrofizacja, zbiornik zaporowy, integralny wskaźnik troficzności (ITS), chlorofil „a”, fosfor całkowity

### Wprowadzenie

Produktywność ekosystemu wodnego jest czynnikiem kształtującym jakość wody i zależy między innymi od sposobu gospodarowania całą zlewnią zbiornika. Presja wywierana działalnością człowieka potęguje i przyspiesza naturalny proces sukcesji, stając się przez to główną przyczyną pogarszającego się stanu ilościowego i jakościowego wód. Polska ze względu na małą zasobność w wodę powinna prowadzić racjonalną gospodarkę wodną i nie dopuszczać do degradacji ubogich zasobów.

Wynikiem nieprzemyślanego gospodarowania w granicach zlewni, zwłaszcza zabiegów agrotechnicznych, jest wzbogacanie wód w substancje biogenne. Kowalik i inni [1] podają za Smoroniem [2], że 70% azotu i 50% fosforu z całkowitej ich ilości w wodach płynących pochodzi właśnie z obszarów wiejskich. Efektem nad-

miernego dostarczania związków biogenych jest ich intensywne wykorzystywanie przez roślinność wodną, napędzające syntezę w kolejnych ogniach łańcucha troficznego. Eutrofizacja powodowana przeżyźnieniem skutkuje zaburzeniem równowagi ekologicznej, co z kolei prowadzi do pogorszenia jakości wód.

Opady atmosferyczne wyraźnie wpływają na jakość wód. Mogą one powodować przemieszczanie się zanieczyszczeń po powierzchni terenu lub ich wymycie w głąb profilu przez szczeliny w gruncie [3, 4]. O tym, jaką drogą będzie migrować woda z konkretnego opadu, decyduje sposób użytkowania zlewni. Rodzaj pokrycia terenu określa warunki przemieszczania się wód opadowych do odbiornika: po powierzchni terenu, podpowierzchniowo lub drogą podziemną. Ta część opadu atmosferycznego, która spływa powierzchniowo, nazywana jest opadem efektywnym. To on wzbogaca rzeki aż w 65% związków azotowych i powoduje rocznie wymywanie fosforanów na poziomie 0,1÷5% [5-8]. Związki chemiczne deponowane na terenie zlewni, głównie wskutek nawożenia, mogą wraz ze spływem powierzchniowym stać się obszarowym źródłem zanieczyszczeń. Badania dowiodły, że warstwa gleby, na którą faktycznie oddziałuje spływ powierzchniowy, wynosi 0,13 do 3,74 cm [9, 10]. Zbiorniki wodne należy więc zabezpieczać przed dostawaniem się do nich substancji zanieczyszczających, zawartych w spływach powierzchniowych z obszaru zlewni.

W pewnym stopniu możliwa jest neutralizacja wprowadzanych zanieczyszczeń w naturalnych procesach samooczyszczania, jednak wody stojące nie podlegają tak wyraźnemu samooczyszczaniu jak rzeczne [11]. Proces ten odbywa się bowiem z udziałem tlenu pobieranego z wody i powietrza, dlatego turbulencyjny charakter przepływu w środowisku rzeczonym jest czynnikiem sprzyjającym [12], a zanieczyszczenia są dzięki temu rozcieńczane i rozpraszane [11]. Ekosystemy zbiorników zaporowych charakteryzują się specyficznymi warunkami przemian biochemicznych: przerywają kontinuum rzeki, obniżają siłę nośną wody, wzmagając sedymentację i retencjonowanie materii nawet do 90% [13, 14]. Ich stojące wody są często zeutrofizowane, co niejednokrotnie uniemożliwia im spełnianie zadań, dla których zbiorniki te zostały wybudowane [15].

Potrzeba stałego monitorowania i oceny stanu troficznego wód zbiorników wymaga kompleksowego podejścia opartego na wskaźnikach zintegrowanych [16]. Zalecane jest stosowanie indeksów liczbowych obliczanych na podstawie kilku czynników eutrofizacji i odzwierciedlających reakcję ekosystemu na wzbogacanie w substancje odżywcze. Ocena na podstawie pojedynczych wskaźników rzadko daje wiarygodny wynik.

Celem niniejszej pracy była ocena stanu troficznego wód dwóch zbiorników zaporowych województwa łódzkiego z wykorzystaniem integralnego wskaźnika troficzności (ITS) [16, 17]. Jego zastosowanie wymagało wcześniejszego przeprowadzenia analizy korelacyjnej w celu stwierdzenia istnienia liniowej zależności między pH a nasyceniem wody tlenem. Dla weryfikacji wiarygodności wyników uzyskanych na podstawie wskaźnika ITS stan trofii wód zbiorników oceniono również na podstawie kryteriów jednoparametrowych (chlorofilu „a” i fosforu

całkowitego). Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono przy użyciu pakietu STATISTICA 12.5 firmy StatSoft Polska.

## 1. Obszar, materiały i metody badań

Obszar badań stanowiły dwa zbiorniki zaporowe usytuowane w podobnych warunkach geograficznych, Zbiornik Jeziorsko i Zbiornik Sulejowski, ponieważ dążono do uchwycenia ogólnej tendencji w regionie i wyeliminowania wpływu ewentualnych lokalnych czynników decydujących o sporadycznym wystąpieniu nietypowej sytuacji. Zarządcami wód są odpowiednio Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Poznaniu i Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Warszawie. Oba zbiorniki znajdują się w centralnej Polsce (województwo łódzkie), na obszarze o niskich w skali kraju sumach opadów atmosferycznych. Średnia roczna suma opadów dla obszaru lokalizacji zbiorników w wieloletnim okresie 1981-2010 wyniosła 570,1 mm [18].

Zbiornik Jeziorsko, o pojemności 202 mln m<sup>3</sup> i powierzchni 42,3 km<sup>2</sup>, spiętrza wody rzeki Warty w 484,3 kilometrze [19], należy do dorzecza Odry. Jego zlewnia bezpośrednia wynosi 538 km<sup>2</sup>, ma charakter głównie rolniczy (71,1% grunty orne, 16,4% lasy, 12,5% nieużytki) [13]. Spadek zlewni Zbiornika Jeziorsko wynosi 3,52‰, spadek Warty do przekroju zapory to 0,803‰ (obliczone na podstawie [20]). Średnia roczna suma opadów w badanym pięcioleciu (2010-2014) wyniosła 535 mm [21].

Zbiornik Sulejowski, o pojemności 70 mln m<sup>3</sup> i powierzchni 23,8 km<sup>2</sup>, z zaporą zlokalizowaną w 138,9 kilometrze biegu rzeki Pilicy, należy do dorzecza Wisły. Zlewnia obejmuje tereny rolnicze i leśne, które stanowią odpowiednio 64,1 i 26,9%. Zlewnia bezpośrednia stanowi 4884 km<sup>2</sup> [22, 23]. Spadek zlewni Zbiornika Sulejowskiego wynosi 3,59‰, spadek Pilicy do przekroju zapory to 0,988‰ (obliczone na podstawie [20]). Średnia roczna suma opadów w badanym pięcioleciu (2010-2014) wyniosła 645 mm (obliczone z udostępnianych on-line danych IMGW) [21].

Badania były oparte na analizie statystycznej (korelacyjnej). Bazę danych stanowiły pomiary podstawowych parametrów i wskaźników jakości wód wykonane w ramach monitoringu wód powierzchniowych prowadzonego przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi w okresie 2010-2014. Dane o jakości wód pozyskano z WIOŚ w Łodzi, udostępnione na stronie internetowej [24]. Wykorzystano wyniki badań oraz opracowane przez WIOŚ w Łodzi Raporty o stanie środowiska w województwie łódzkim w poszczególnych latach [25]. Stan troficzny wód oceniano za pomocą wskaźnika ITS, stężeń granicznych chlorofilu „a” oraz fosforu całkowitego ustalonych przez OECD i Vollenweidera, a jednorazowo także według przezroczystości wód zgodnie z kryteriami OECD.

Ocenę stanu troficznego wód badanych zbiorników na podstawie wskaźnika ITS poprzedzono analizą korelacyjną w celu ustalenia charakteru zależności między pH i nasyceniem wody tlenem. Baza danych do analizy korelacyjnej obejmowała wartości pH, temperatury wody ( $^{\circ}\text{C}$ ), zawartość tlenu ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) oraz nasycenie wody tlenem (%). Weryfikacja wyników uzyskanych na podstawie wskaźnika ITS bazowała na danych o stężeniu fosforu całkowitego ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) i chlorofilu „a” ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) oraz przezroczystości (m).

Ocena stanu troficznego na podstawie wskaźnika ITS na tle innych metod wyróżnia się prostotą i niskimi kosztami stosowania, gdyż bazuje na wartościach parametrów rutynowo mierzonych w ramach monitoringu. Wymaga jedynie wcześniejszego ustalenia charakteru zależności pomiędzy wartościami pH a nasyceniem wody tlenem, które odzwierciedlają bilans tlenu i dwutlenku węgla w wodzie, zmieniający się wraz ze zmianą bilansu procesów produkcji i rozkładu substancji organicznej. Wskaźnik ITS oblicza się zgodnie z równaniem:

$$\text{ITS} = \frac{\sum \text{pH}_i}{n} + a \cdot \left( 100 - \frac{\sum [\text{O}_2\%]}{n} \right)$$

gdzie:

$\text{pH}_i$  - wartość pH wody,

$\text{O}_2\%$  - wartość procentowego nasycenia wody tlenem mierzona synchronicznie z pomiarem pH wody,

$a$  - współczynnik empiryczny,

$n$  - liczba pomiarów w badanym okresie [16].

Wartości wskaźnika ITS ustalone dla poszczególnych stanów troficznych przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wartości wskaźnika ITS dla wód o różnym stanie troficznym

Table 1. Values of ITS index for waters of different trophic state

| Stan troficzny   | Wartość wskaźnika ITS |
|------------------|-----------------------|
| Dystrofia        | $< 5,7 \pm 0,3$       |
| Ultraoligotrofia | $6,3 \pm 0,3$         |
| Oligotrofia      | $7,0 \pm 0,3$         |
| Mezotrofia       | $7,7 \pm 0,3$         |
| Eutrofia         | $> 8,3 \pm 0,3$       |

Źródło: [16]

W celu weryfikacji wyników uzyskanych na podstawie wskaźnika ITS stan trofii wód oceniono również na podstawie wartości granicznych stężeń chlorofilu „a” i fosforu całkowitego określonych przez OECD i Vollenweidera. Ich zestawienie zawiera tabela 2.

Tabela 2. Wartości graniczne stężenia chlorofilu „a” i fosforu całkowitego wg Vollenweidera i OECD dla wód o różnym stanie troficznym

Table 2. Threshold values of chlorophyll “a” and total phosphorus by Vollenweider and OECD for waters of different trophic state

| Kryterium   | Metoda oceny    |                    |
|---|-----------------|--------------------|
|   | Stan troficzny  | Wartości graniczne |
| Koncentracja chlorofilu „a”<br>(Chl a, $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )                  | OECD            |                    |
|   | Oligotrofia (O) | < 2,5              |
|   | Mezotrofia (M)  | 2,5÷8,0            |
|   | Eutrofia (E)    | 8,0÷25,0           |
|   | Hipertrofia (H) | > 25,0             |
| Koncentracja fosforu całkowitego<br>( $P_{\text{og}}$ , $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) | OECD            |                    |
|   | Oligotrofia (O) | < 10               |
|   | Mezotrofia (M)  | 10÷35              |
|   | Eutrofia (E)    | 35÷100             |
|   | Hipertrofia (H) | > 100              |
| Koncentracja fosforu całkowitego<br>( $P_{\text{og}}$ , $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) | Vollenweider    |                    |
|   | Oligotrofia (O) | 5÷10               |
|   | Mezotrofia (M)  | 10÷30              |
|   | Eutrofia (E)    | 30÷100             |
|   | Hipertrofia (H) | > 100              |

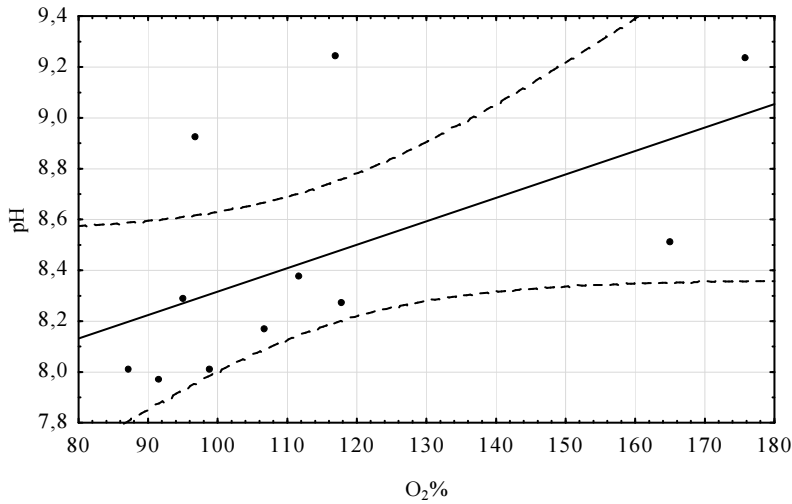
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [16, 26]

## 2. Dyskusja wyników

Warunkiem stosowania integralnego wskaźnika troficzności ITS jest istnienie liniowej zależności pomiędzy wartościami pH a nasyceniem wody tlenem. Przeprowadzona w celu sprawdzenia możliwości jego zastosowania analiza korelacyjna pokazuje, że w obu badanych zbiornikach charakter zależności między tymi parametrami jest liniowy. Dla Zbiornika Jeziorsko współczynnik korelacji  $r = 0,58$  (liczba pomiarów  $N = 11$ , poziom istotności  $p = 0,05$ ) (rys. 1). Dla Zbiornika Sulejowskiego współczynnik korelacji  $r = 0,79$  (liczba pomiarów  $N = 48$ , poziom istotności  $p = 0,05$ ) (rys. 2). Powyższe wartości współczynników korelacji uprawniają do stwierdzenia istnienia liniowej zależności, a więc i zasadności zastosowania wskaźnika ITS do oceny stanu trofii wód badanych zbiorników.

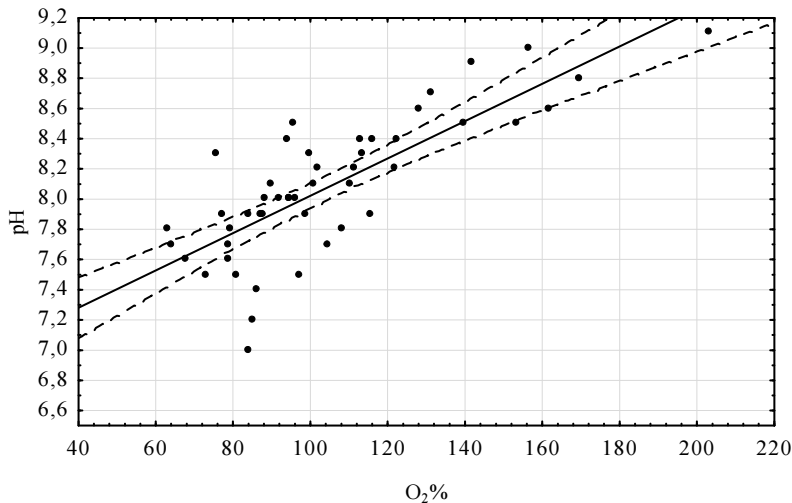
Oceny stanu trofii wód dokonano na podstawie średniorocznych wartości ITS w poszczególnych punktach pomiarowo-kontrolnych (ppk). Lokalizację ppk przedstawia rysunek 3. Na Zbiorniku Jeziorsko monitoring prowadzono w jednym ppk, zlokalizowanym powyżej zapory. W dwóch analizowanych latach wartości wskaźnika wyniosły:  $ITS = 8,15$  w 2011 r. oraz  $ITS = 8,35$  w 2014 r., średnia dla bada-

nego okresu to  $ITS = 8,25$ . Zgodnie z wartościami normatywnymi (tab. 1) wody zbiornika ocenia się jako eutroficzne, co więcej - widoczna jest tendencja wzrostowa stanu troficznego wód na przestrzeni badanych lat. Wyniki oceny przedstawia rysunek 4.



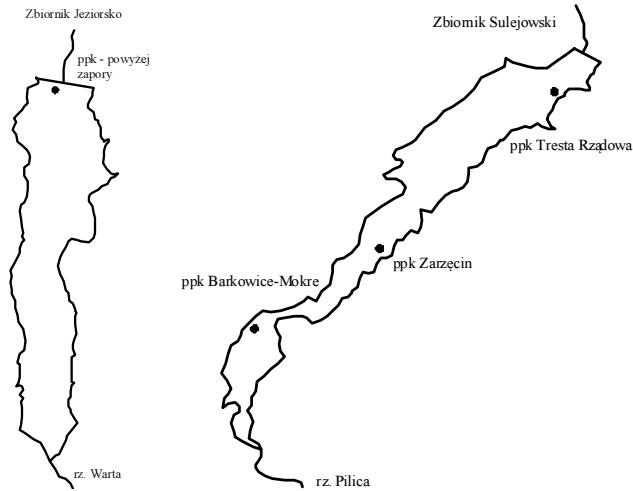
Rys. 1. Korelacje wartości pH i nasycenia wody tlenem dla Zbiornika Jeziorsko ( $r = 0,58$ )

Fig. 1. Correlations between pH and oxygen content in Jeziorsko Reservoir ( $r = 0,58$ )



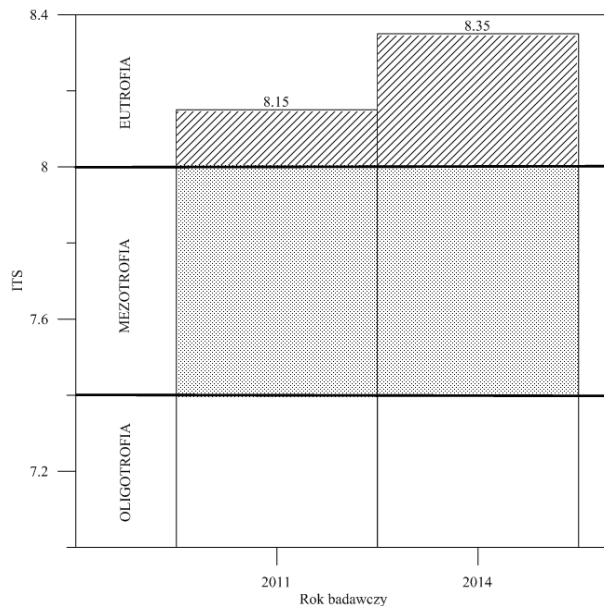
Rys. 2. Korelacje wartości pH i nasycenia wody tlenem dla Zbiornika Sulejowskiego ( $r = 0,79$ )

Fig. 2. Correlations between pH and oxygen content in Sulejowski Reservoir ( $r = 0,79$ )



**Rys. 3. Lokalizacja punktów pomiarowo-kontrolnych na zbiornikach**

**Fig. 3. Localization of measurement-control points at reservoirs**

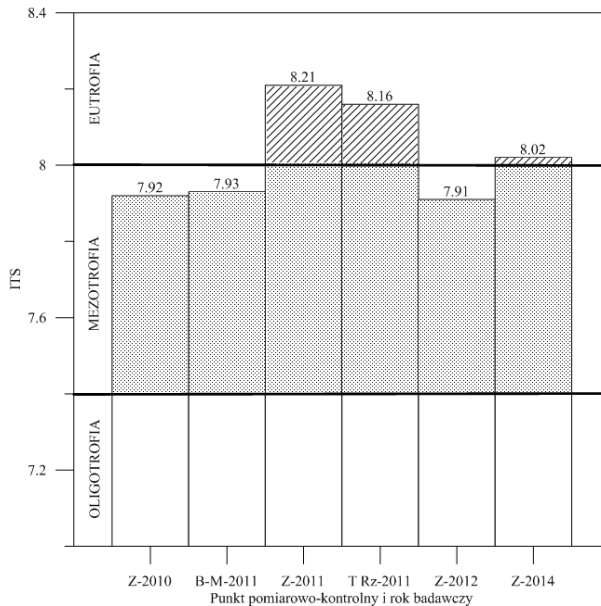


**Rys. 4. Średnie roczne wartości wskaźnika ITS dla Zbiornika Jeziorsko**

**Fig. 4. Annual means of ITS for Jeziorsko Reservoir**

W przypadku Zbiornika Sulejowskiego możliwa była dokładniejsza analiza stanu troficznego wód. Dane WIOŚ obejmują bowiem lata: 2010, 2011, 2012 i 2014, dodatkowo pochodzą z kilku ppk. Oznaczenia wykonywano dla ppk w centralnej części zbiornika (ppk Zarzęcin), a w 2011 r. dodatkowo dla ppk w pobliżu wpływu do zbiornika (ppk Barkowice-Mokre) i niedaleko zapory (ppk Tresta Rządowa). Wyniki oceny stanu troficznego wód oraz dynamikę zmian wartości ITS w poszcze-

gólnych ppk Zbiornika Sulejowskiego przedstawiają rysunki 5-7. Wody Zbiornika Sulejowskiego w badanym okresie można zaklasyfikować jako mezoeutroficzne i eutroficzne. Na przestrzeni lat 2010-2014 ich stan zmienił się w kierunku wzrostu trofii (rys. 5).



Oznaczenia: Z - ppk Zarzęcin, B-M - ppk Barkowice-Mokre, T Rz - ppk Tresta Rządowa

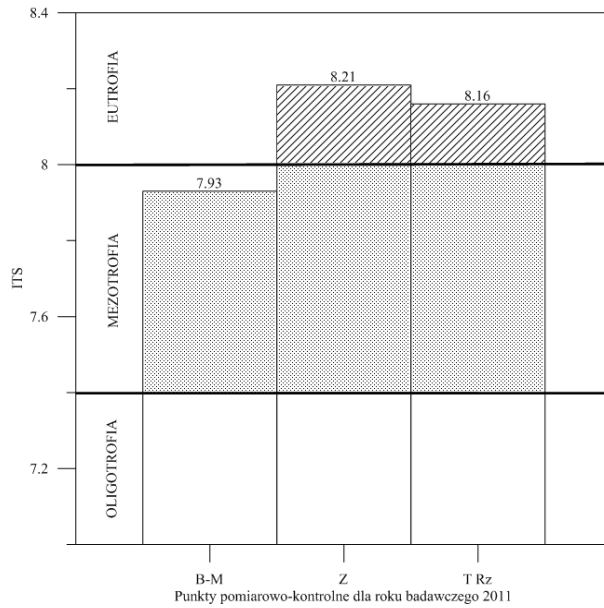
**Rys. 5.** Dynamika wskaźnika ITS w badanym okresie dla ppk Zbiornika Sulejowskiego

**Fig. 5.** The dynamism of ITS in analyzed period for Sulejowski Reservoir's measurement - control points

Najwyższe wartości wskaźników ITS w Zbiorniku Sulejowskim stwierdzono w 2011 r. Badania wykonane w analogicznych okresach 2011 r., ale dla różnych ppk, wskazują najniższą wartość (ITS = 7,93) oznaczającą mezoeutrofię w pobliżu wpływu Pilicy do zbiornika (ppk Barkowice-Mokre). Można przypuszczać, że jest to spowodowane dynamicznym oddziaływaniem dopływających wód rzecznych. Najwyższą wartość wskaźnika (ITS = 8,21) w 2011 r., wskazującą na eutrofię, stwierdzono dla centralnej części zbiornika (ppk Zarzęcin). Nieco niższą wartość (ITS = 8,16), lecz w granicach eutrofii, uzyskano dla ppk zlokalizowanego niedaleko zapory (ppk Tresta Rządowa). Otrzymane wyniki oceny prezentuje rysunek 6.

Przeprowadzona czasowo-przestrzenna analiza dynamiki zmian stanu troficznego potwierdza istniejącą tendencję utrzymywania się wysokiego poziomu trofii wód na obszarze całego zbiornika. Najkorzystniejsze warunki z punktu widzenia wystąpienia i rozwoju eutrofizacji istnieją w środkowej części zbiornika. Brak tu oddziaływania dopływu wód rzecznych, a także „przyzaporowych” zaburzeń związanych ze zrzutem wód. Analiza wykonana na przestrzeni lat 2010-2014 dla tego samego ppk (Zarzęcin - środkowa część zbiornika) pokazuje wahania stanu troficznego wód od mezoeutrofii w 2010 i 2012 r. do eutrofii w 2011 i 2014 r. (rys. 7).

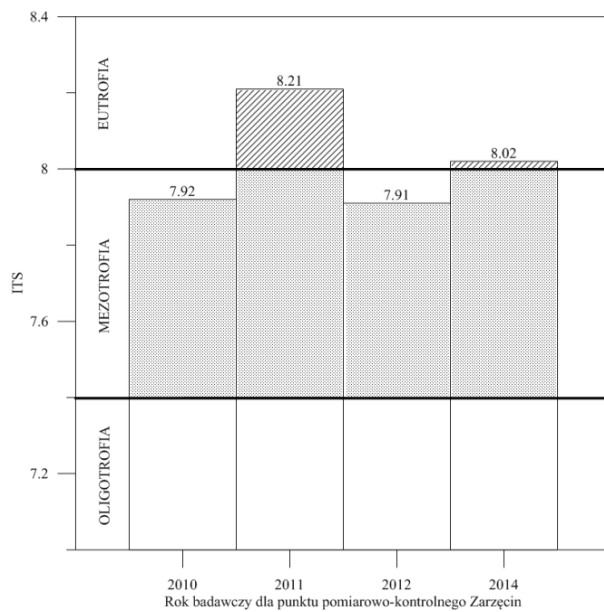




Oznaczenia: Z - ppk Zarzęcin, B-M - ppk Barkowice-Mokre, T Rz - ppk Tresta Rządowa

**Rys. 6. Dynamika wskaźnika ITS wzdłuż Zbiornika Sulejowskiego w 2011 r.**

**Fig. 6. The dynamism of ITS along Sulejowski Reservoir in 2011**



**Rys. 7. Dynamika wskaźnika ITS w ppk Zarzęcin Zbiornika Sulejowskiego w badanym okresie**

**Fig. 7. The dynamism of ITS in Zarzęcin measurement-control point at Sulejowski Reservoir in the analyzed period**

Po uśrednieniu wartości ITS dla ppk Zarzęcin i porównaniu z pozostałymi wartościami tego wskaźnika dla badanego okresu otrzymano następujące oceny: Barkowice-Mokre (ITS = 7,93) mezoeutrofia, Zarzęcin (ITS = 8,02) eutrofia, Tresta Rządowa (ITS = 8,16) eutrofia. Można więc wnioskować, że w rozległych i dużych zbiornikach (Jeziorsko 16,34 km długości, Sulejowski 16,54 km długości) (pomiar na podstawie [20]) w miarę zbliżania się do zapory trofia wód wzrasta.

W celu weryfikacji oceny stanu troficznego wód zbiorników uzyskanej za pomocą wskaźnika ITS przeprowadzono ocenę na podstawie granicznych stężeń fosforu całkowitego i chlorofilu „a”. Wyniki oceny przedstawiono w tabeli 3. Ocena na podstawie systemu OECD kwalifikuje wody Zbiornika Jeziorsko jako hipertroficzne (2011 r.) oraz eutroficzne (2014 r.), natomiast wody Zbiornika Sulejowskiego zarówno w 2011 r., jak i w 2014 r. jako hipertroficzne. Zawartość fosforu całkowitego wg OECD określa wody Zbiornika Jeziorsko jako hipertroficzne w roku 2011 i eutroficzne w roku 2014, natomiast wody Zbiornika Sulejowskiego jako eutroficzne, jednak blisko granicy hipertrofii (2011 r. i 2014 r.). Dla obu zbiorników oceny według wartości granicznych stężeń fosforu całkowitego zaproponowanych przez Vollenweidera są zbieżne z ocenami wg wartości OECD. Dodatkowo dla ppk Zarzęcin w 2014 r. mierzono przezroczystość wody, której średnia wartość w roku wyniosła 1,22 m i wg OECD klasyfikuje wody jako hipertroficzne.

Tabela 3. **Oceny stanu troficznego wód zbiorników Jeziorsko i Sulejowskiego na podstawie wartości granicznych chlorofilu „a” i fosforu całkowitego (według Vollenweidera i OECD)**

Table 3. **The results of trophic state assessment for Jeziorsko and Sulejowski Reservoir based on threshold values of chlorophyll “a” and total phosphorus (by Vollenweider and OECD)**

| Kryterium i metoda oceny  | Obszar i okres badań |      | Wartość wskaźnika | Ocena stanu trofii |
|---|----------------------|------|-------------------|--------------------|
|   | Zbiornik             | Rok  |                   |                    |
| Koncentracja chlorofilu „a” (Chl a, $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) wg OECD                           | Jeziorsko            | 2011 | 31,22             | H                  |
|   |                      | 2014 | 19,95             | E                  |
|   | Sulejowski           | 2011 | 30,47             | H                  |
|   |                      | 2014 | 34,32             | H                  |
| Koncentracja fosforu całkowitego ( $P_{\text{og}}$ , $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) wg OECD          | Jeziorsko            | 2011 | 119,0             | H                  |
|   |                      | 2014 | 74,0              | E                  |
|   | Sulejowski           | 2011 | 92,2              | E                  |
|   |                      | 2014 | 91,3              | E                  |
| Koncentracja fosforu całkowitego ( $P_{\text{og}}$ , $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) wg Vollenweidera | Jeziorsko            | 2011 | 119,0             | H                  |
|   |                      | 2014 | 74,0              | E                  |
|   | Sulejowski           | 2011 | 92,2              | E                  |
|   |                      | 2014 | 91,3              | E                  |

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 4 stanowi zbiorcze zestawienie wyników pozwalające porównać uzyskane oceny stanu trofii wód. Tabela zawiera wszystkie oceny, ale porównań dokonano dla 2011 i 2014 roku, ponieważ tylko dla tych lat możliwe było wykorzystanie wszystkich opisanych w artykule metod.

Tabela 4. Stan trofii wód zbiorników Jeziorsko i Sulejowskiego na podstawie oceny różnymi metodami

Table 4. Trophic state of Jeziorsko and Sulejowski Reservoir's water evaluated by various methods

| Zbiornik   | Rok  | ppk             | Metoda oceny |              |                        |                                |
|------------|------|-----------------|--------------|--------------|------------------------|--------------------------------|
|            |      |                 | ITS          | OECD - Chl a | OECD - P <sub>og</sub> | Vollenweider - P <sub>og</sub> |
| Jeziorsko  | 2011 | powyżej zapory  | E            | H            | H                      | H                              |
|            | 2014 | powyżej zapory  | E            | E            | E                      | E                              |
| Sulejowski | 2010 | Zarzęcin        | M/E          | –            | –                      | –                              |
|            | 2011 | Barkowice-Mokre | M/E          | H            | H                      | H                              |
|            |      | Zarzęcin        | E            | E            | E                      | E                              |
|            |      | Tresta Rządowa  | E            | H            | E                      | E                              |
|            | 2012 | Zarzęcin        | M/E          | –            | –                      | –                              |
|            | 2014 | Zarzęcin        | E            | H            | E                      | E                              |

Źródło: Opracowanie własne

Generalnie wyniki ocen uzyskane na podstawie różnych metod są wyraźnie zbliżone. Bardzo wysoka zgodność ocen występuje dla Zbiornika Jeziorsko - ppk powyżej zapory w 2014 r. oraz dla Zbiornika Sulejowskiego - ppk Zarzęcin w 2011 r. W większości pozostałych przypadków wyniki oceny według stężeń granicznych fosforu całkowitego i chlorofilu „a” dają nieco wyższy stan trofii. Pamiętając, że wskaźnik ITS odzwierciedla bilans biotyczny warunkujący w istocie poziom trofii wód, należy uznać oceny na podstawie ITS za bardziej wiarygodne. Porównanie wyników daje więc podstawy, by stwierdzić zasadność stosowania integralnego kryterium troficzości ITS do oceny stanu trofii wód.

## Podsumowanie i wnioski

Definiowanie eutrofizacji jako całokształtu skomplikowanych procesów uzależnionych od współdziałania szerokiego spektrum czynników oraz wyniki przeprowadzonej analizy stanu troficznego wód zbiorników Jeziorsko i Sulejowskiego prowadzą do następujących wniosków:

1. Podają w wątpliwość trafność oceny na podstawie stosowanych powszechnie metod polegających na jednoparametrowej klasyfikacji. Sugerują istnienie realnej możliwości złej interpretacji - „przeszacowania” stanu troficznego na podstawie oddzielnej oceny wartości granicznych pojedynczych parametrów.

2. Ze względu na złożoność procesu eutrofizacji prawidłowe wydaje się więc stosowanie wskaźników zintegrowanych, sformułowanych na podstawie zależności korelacyjnych między czynnikami eutrofizacji. Zastosowany w pracy wskaźnik ITS daje bardziej wiarygodne wyniki oceny, ponieważ, bazując na współzależnościach między mierzonymi parametrami, odzwierciedla bilans procesów produkcji i rozkładu substancji organicznych produkowanych przez glony w procesie eutrofizacji, co stanowi istotę procesu eutrofizacji.
3. Ze względu na konstrukcję wskaźnika ITS opartego na pomiarze tylko dwóch parametrów (pH i nasycenia wody tlenem) może on być stosowany jako tania metoda szybkiego i częstego monitoringu tempa eutrofizacji.

## Literatura

- [1] Kowalik T., Kanownik W., Bogdał A., Policht-Latawiec A., Wpływ zmian użytkowania zlewni wyżynnej na kształtowanie jakości wody powierzchniowej, Rocznik Ochrona Środowiska 2014, 16, 223-238.
- [2] Smoroń S., Eutrophication of surface water as an influence of biogenic compounds penetration from the agriculture sources to the environmental, Zeszyty Edukacyjne IMUZ 1998, 5, 57-70.
- [3] Sapek B., Nagromadzenie i uwalnianie fosforu w glebach - źródła, procesy, przyczyny, Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie 2014, 14, 1(45), 77-100.
- [4] McDonald D., Reid K., Phosphorus leaching? [w:] Agronomy Guide for Field Crops, Praca zbiorowa, red. Ch. Brown, OMAFRA, Toronto 2003.
- [5] Kaniuczak J., Augustyn Ł., Zawartość związków azotowych i fosforanów w wodach powierzchniowych przeznaczonych do zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia, Inżynieria Ekologiczna 2011, 27, 46-59.
- [6] Dobrzańska B., Dobrzański G., Kielczewski D., Niedobory i zanieczyszczenie wód, [w:] Ochrona środowiska przyrodniczego, red. nauk. G. Dobrzański, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2008, 159-169.
- [7] Grabińska B., Koc J., Skwierawski A., Rafałowska M., Sobczyńska-Wójcik K., Stężenia i wpływ azotu amonowego z wodami rzecznyymi ze zlewni o zróżnicowanym użytkowaniu, Inżynieria Ekologiczna 2005, 13, 81-86.
- [8] Kiryluk A., Rauba M., Wpływ rolnictwa na stężenie fosforu ogólnego w wodach powierzchniowych zlewni rzeki Śliny, Inżynieria Ekologiczna 2011, 26, 122-132.
- [9] Pietrzak S., Wesołowski P., Brysiewicz A., Dubil M., Chemizm polowego spływu powierzchniowego na tle uwarunkowań agrotechnicznych, w wybranym gospodarstwie województwa zachodniopomorskiego, Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie 2013, 13, 3(43), 115-129.
- [10] Sharpley A.N., Depth of surface soil-runoff interaction as affected by rainfall, soil slope and management. Soil Science Society of America Journal 1985, 49, 1010-1015.
- [11] Chelmiński W., Woda. Zasoby, degradacja, ochrona, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2001.
- [12] Jarosiewicz A., Proces samooczyszczania w ekosystemach rzecznych, Słupskie Prace Biologiczne 2007, 4, 27-41.
- [13] Galicka W., Kruk A., Zięba G., Bilans azotu i fosforu w Zbiorniku Jeziorsko, Nauka Przyroda Technologie 2007, 1, 2, #17, 1-9.
- [14] Straskraba M., Retention time as a key variable of reservoir limnology, [w:] Theoretical Reservoir Limnology and Its Applications, red. J.G. Tundisi, M. Straskraba, Backhuys Publishers, Leiden 1999, 385-410.
- [15] Jaguś A., Ocena stanu troficzności wód zbiorników kaskady Soły, Proceedings of ECOpole 2011, 5(1), 233-238.

- [16] Neverova-Dziopak E., Podstawy zarządzania procesem eutrofizacji antropogenicznej, Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
- [17] Neverova-Dziopak E., Kowalewski Z., Dynamika rozwoju procesów eutrofizacji w rzekach województwa podkarpackiego, *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury* 2013, XXX, 60, (3/13), 47-58.
- [18] IMGW, SERWIS POGODOWY IMGW-PIB, <http://www.pogodynka.pl/polska/daneklimatyczne/>, dostęp: 10.11.2015 r.
- [19] Wicher-Dysarz J., Dysarz T., Wpływ rezerwatu przyrody na eksploatację zbiornika nizinnego Jeziorsko, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 2007, 4(1), 179-186.
- [20] Geoportal, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, <http://mapy.geoportal.gov.pl/imap/>, dostęp: 03.11.2015 r.
- [21] IMGW, SERWIS POGODOWY IMGW-PIB, [http://www.imgw.pl/extcont/biuletyn\\_monitoringu/](http://www.imgw.pl/extcont/biuletyn_monitoringu/), dostęp: 10.11.2015 r.
- [22] Jodłowski A., Gutkowska E., Ocena stanu troficzności wód Zbiornika Sulejowskiego na podstawie indeksu Carlsona, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2012, 15, 4, 341-351.
- [23] Urbaniak M., Analiza porównawcza zawartości dioksyn i związków dioksynopodobnych w zbiornikach zaporowych o różnych formach antropopresji, Uniwersytet Łódzki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Studium Doktoranckie Ekologii i Ochrony Środowiska, Łódź 2009, praca doktorska, [http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-3\\_CLOUD\\_PHD\\_D5.3.12\\_Urbaniak\\_PhD\\_thesis.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-3_CLOUD_PHD_D5.3.12_Urbaniak_PhD_thesis.pdf), dostęp: 11.10.2015 r.
- [24] WIOŚ, Wojewódzki Inspektorat Środowiska w Łodzi, Monitoring rzek i zbiorników zaporowych, [http://www.wios.lodz.pl/Wyniki\\_badan\\_wod\\_powierzchniowych,154](http://www.wios.lodz.pl/Wyniki_badan_wod_powierzchniowych,154), dostęp: 05.06.2015 r.
- [25] WIOŚ, Wojewódzki Inspektorat Środowiska w Łodzi, Publikacje WIOŚ, [http://www.wios.lodz.pl/Publikacje\\_WIOS,12](http://www.wios.lodz.pl/Publikacje_WIOS,12), dostęp: 05.06.2015 r.
- [26] Soszka H., Problemy metodyczne związane z oceną stopnia eutrofizacji jezior na potrzeby wyznaczania stref wrażliwych na azotany, *Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie* 2009, 9, 1(25), 151-159.

## Trophic State Assessment of Jeziorsko and Sulejowski Reservoirs

The natural eutrophication process can be accelerated as the result of anthropogenic activity. The intensification of eutrophication process leads to destroying of the balance between synthesis and destruction of organic compounds that in turn results in the disturbance of ecological equilibrium of whole aquatic ecosystem. Taking into account the high dynamics of eutrophication process and its negative consequence, the continuous monitoring of water trophic state is necessary for early detecting the changes and taking appropriate action. The aim of the paper was the assessment of water trophic state of two dam reservoirs: Jeziorsko and Sulejowski on the base of long-term monitoring within analyzed period 2010-2014. The localization of the reservoirs is borderland between the Malopolska Upland and Środkowopolska Lowland, administrative localization is Łódź Province and they are managed by Regional Water Management Authority in Poznań and by Regional Water Management Authority in Warszawa. The monitoring of Jeziorsko Reservoir was carried out in one measurement-control point above the dam. The monitoring of Sulejowski Reservoir was carried out in three measurement-control points: near to the Pilica river inflow, in the middle of reservoir and above the dam. The database includes monitoring measurements realized in 2011 and 2014 on Jeziorsko Reservoir and in 2010, 2011, 2012, 2014 on Sulejowski Reservoir. The values of reservoirs' water quality parameters were obtained from Province Environmental Protection Inspectorate in Łódź, which realizes the surface water monitoring including artificial lakes, as a part of the State Environment Monitoring Program. The assessment of water trophic state was carried out using the Index of Trophic State (ITS) which is based on the existing of linear relationship between pH and oxygen content in water, the parameters indirectly expressing the balance of oxygen and carbon dioxide

in water. Eutrophication is a consequence of the disturbance of the balance between synthesis and destruction of organic compounds produced by water vegetation, which leads to the changes in content of oxygen and carbon dioxide in water. The results of water trophic state assessment obtained on the base of ITS index indicated the eutrophic and mesoeutrophic level in both reservoirs. The results obtained with the help of ITS were verified by the results obtained on the base of total phosphorus and chlorophyll "a" threshold values determined by Vollenweider and OECD. The assessment of water trophic state on the base of multi-parametric Index of Trophic State (ITS) was confirmed by assessment based on threshold values of single parameters. This proves that ITS index is useful and justified. High trophic state of both reservoirs within whole research period showed that this trend is enduring for multi-year period.

**Keywords:** eutrophication, dam reservoir, Index of Trophic State (ITS), chlorophyll "a", total phosphorus