

Andrzej JAGUŚ¹

OCENA STANU TROFICZNEGO WÓD ZBIORNIKÓW KASKADY SOŁY

ASSESSMENT OF TROPHIC STATE OF WATER IN SOLA CASCADE DAM RESERVOIRS

Abstrakt: Celem badań było rozpoznanie stanu troficznego wód retencjonowanych w zaporowych zbiornikach kaskady Soły (zbiorniki: Tresna, Porąbka, Czaniec), położonej w obszarach karpackich południowej Polski. Łączna pojemność zbiorników wynosi około 122 mln m³, a powierzchnia zlewni kaskady jest równa 1119 km². Gromadzone wody są wykorzystywane na potrzeby komunalne i gospodarcze. Na podstawie zmierzonych parametrów fizykochemicznych wód rzeki Soły oraz wód zbiornikowych oceniono stopień ich eutrofizacji. W ocenie wykorzystano normy określone w polskich przepisach prawnych, wskaźnik Carlsona (TSI - *Trophic State Index*), wskaźnik Neverovej-Dziopak (ITS - *Index of Trophical State*) oraz normy zalecane przez Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD). Analizy danych z lat 2007-2009 wykazały, że jakość retencjonowanych wód odpowiadała parametrom charakterystycznym dla mezotrofii oraz eutrofii, przy czym najmniej korzystny stan trofii dotyczył najniższego zbiornika kaskady - zbiornika Czaniec. Wskazuje to na potrzebę optymalizacji zagospodarowania przestrzennego zlewni kaskady pod kątem ograniczenia ładunku zanieczyszczeń (zwłaszcza substancji biogennej) dostającego się do wód powierzchniowych.

Słowa kluczowe: obszary górskie, zasoby wodne, jakość wód, eutrofizacja, wskaźnik trofii

Obszary górskie południowej Polski pełnią strategiczne znaczenie dla krajowego zaopatrzenia w wodę [1]. Powstające tu zasoby wodne (około 30% zasobów krajowych) wymagają więc szczególnej ochrony, poprzedzonej monitoringiem jakościowo-ilościowym wód. Dotyczy to zarówno wód płynących, jak i retencjonowanych w licznych zbiornikach zaporowych [2]. Zwłaszcza zbiorniki wodne, jako środowiska limniczne (wody stojące), są narażone na zanieczyszczenie ze względu na mniejsze możliwości samooczyszczania, a istotnym czynnikiem ograniczającym wykorzystanie wód jest często proces eutrofizacji, związany z nadmiernym dopływem substancji pokarmowych [3]. Stąd też monitoring i ocena jakości wód powinny w pierwszej kolejności obejmować geosystemy zbiorników wodnych, które na ogół są rezerwuarami wód do celów komunalnych i gospodarczych.

Celem pracy było rozpoznanie stanu troficznego wód zbiorników kaskady Soły, umożliwiające ocenę potrzeb działań ochronnych w zakresie ograniczenia ładunku zanieczyszczeń napływających z obszaru zlewniowego. Kaskadę tworzą 3 zbiorniki (od najwyższego: Tresna, Porąbka, Czaniec), których zapory przegradzają dolinę rzeki Soły w rejonie jej południkowego, przełomowego odcinka przez pasmo Beskidu Małego [4]. Zbiorniki mają charakter wielofunkcyjny, przy czym najniższy (Czaniec) jest zbiornikiem wodociągowym na potrzeby miasta Bielsko-Biała oraz miast konurbacji śląskiej. W zbiornikach może być zgromadzone około 122 mln m³ wody (Tresna - 94,6 mln m³, Porąbka - 26,6 mln m³, Czaniec - 1,3 mln m³), spływającej z powierzchni 1119 km² [5, 6]. Kaskada jest zasilana głównie wodami rzeki Soły, choć zbiorniki posiadają także dopływy bezpośrednie. Rozpoznanie terenowe obszaru zlewni wskazuje, że podstawowymi źródłami ewentualnego zanieczyszczenia wód są: ścieki z obszarów nieskanalizowanych, nawozy

¹ Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, tel. 33 827 91 87, fax 33 827 91 01, email: ajagus@ath.bielsko.pl

stosowane w działalności rolniczej, niezagospodarowane odchody zwierzęce oraz spływy erozyjne.

Przedmiot badań i metody

Stan troficzny wód jest oceniany różnymi metodami, które polegają zwykle na analizie określonych właściwości fizykochemicznych. Najczęściej wykorzystuje się takie parametry, jak: odczyn, przezroczystość, a także zawartości: fosforu, azotu, azotanów, tlenu oraz chlorofilu *a*. Zmierzone wartości parametrów - bezpośrednio lub po przeliczeniu wskaźnikowym - przyrównuje się do wartości granicznych stanu trofii.

Do określenia stanu troficznego wód kaskady Soły (zasilających zbiorniki i zbiornikowych) wykorzystano dane państwowego monitoringu środowiska z lat 2007-2009. Woda do analiz fizykochemicznych była pobierana jeden raz w miesiącu z rzeki Soły w strefie jej wpływu do zbiornika Tresna. Dało to 36 serii pomiarowych. W okresach letnich analizowano także wodę z wszystkich zbiorników pobieraną w strefach przyzaporowych, co dało 3 serie pomiarowe. W ocenie trofii wód Soły wykorzystano zalecenia określone w polskich przepisach prawnych [7] oraz wskaźnik ITS (*Index of Trophical State*) autorstwa Neverovej-Dziopak [8]. Z kolei w odniesieniu do wód zbiornikowych posłużono się wspomnianymi normami prawnymi [7] oraz wskaźnikiem TSI (*Trophic State Index*) Carlsona [9]. Dodatkowo uwzględniono elementy metodyki rozpoznania troficznego sygnowanej przez Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) [10].

Należy nadmienić, że zastosowanie wskaźnika ITS opiera się na znajomości koncentracji tlenu i ditlenku węgla w wodzie, wyrażonych poprzez nasycenie wody tlenem oraz jej odczyn. Wskaźnik oblicza się tylko w przypadku istnienia korelacji liniowej pomiędzy wartościami pH a procentem nasycenia wody tlenem. Z kolei stosowanie wskaźnika TSI nie powinno obejmować stref dopływów do zbiorników wodnych (zwłaszcza w obszarach urzeźbionych) ze względu na zbyt duże oddziaływanie napływającego rumowiska na stan uwzględnianych do obliczeń parametrów, czyli przezroczystości wody, a także zawartości fosforu i chlorofilu *a*.

Z uwagi na źródłkowy charakter zlewni kaskady Soły retencjonowane w zbiornikach wody powinny wyróżniać się wysoką jakością, odzwierciedloną stanem oligotrofii (niskiej żyzności) lub rzadko mezotrofii (umiarkowanej żyzności). Stan eutrofii (wysokiej żyzności) należy postrzegać jako niepożądany w świetle pozahodowlanych kierunków wykorzystania omawianych akwenów.

Stan troficzny wód Soły

Zgodnie z wytycznymi kwalifikowania wód płynących do eutroficznych, ujętymi w stosownym Rozporządzeniu Ministra Środowiska [7], wody rzeki Soły wpływające do zbiornika Tresna nie przejawiały stanu eutrofii. Świadczą o tym zarejestrowane niższe od granicznych średnie roczne wartości stężeń substancji wskaźnikowych - fosforu ogólnego, azotu ogólnego, azotu azotanowego, azotanów i chlorofilu *a* (tab. 1). Wody te jednak wpływają do zbiornika, a więc środowiska o większej podatności na eutrofizację. Obecne w nich pierwiastki biogenne (P, N) występowały w ilościach, które w geosystemach limnicznych mogą stymulować rozwój życia biologicznego [11].

Niekorzystną sytuację troficzną ujawniły natomiast obliczenia wskaźnika ITS, bazującego na charakterystyce gospodarki gazowej wód. Wykazały one, że wody Soły wpływające do zbiornika Tresna były w latach 2007-2008 zeutrofizowane (tab. 2) - stan eutrofii występuje w przypadku wartości ITS $> 8,3 \pm 0,3$ [8]. Wody te charakteryzowały się zasadowym odczynem (średnie pH było równe 8,3 w 2007 r. i 8,2 w 2008 r.), przy jednoczesnym nasyceniu tlenem bliskim stanowi nasycenia normalnego (średnio 101,29% w 2007 r. i 95,46% w 2008 r.). Świadczy to o zdolności środowiska do produkcji biologicznej [12].

Tabela 1
Średnie roczne stężenia substancji wskaźnikowych eutrofizacji w wodach rzeki Soły
(na podstawie danych WIOŚ w Katowicach)

Table 1
The average annual values of eutrophication indices in the waters of Sola river
(on the base of data taken from WIOS in Katowice)

| Rok | P _{og} | N _{og} | N-NO ₃ | NO ₃ | Chlorofil a [µg/dm ³] |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|
| | [mg/dm ³] | | | | |
| 2007 | 0,034 | 1,165 | 0,861 | 3,808 | 3,647 |
| 2008 | 0,032 | 1,222 | 0,954 | 4,221 | - |
| 2009 | 0,053 | 1,408 | 1,006 | 4,450 | - |
| Występowanie eutrofizacji [7] | > 0,25 | > 5,0 | > 2,2 | > 10,0 | > 25,0 |

Tabela 2
Zależność pH od nasycenia tlenem (n-2 = 10, α = 0,05)
oraz wartości wskaźnika ITS dla wód rzeki Soły (na podstawie danych WIOŚ w Katowicach)

Table 2
The influence of pH value on the degree of oxygen saturation (n-2 = 10, α = 0,05)
as well as values of ITS recorded for the waters of Sola river (on the base of data taken from WIOS in Katowice)

| Rok | Współczynnik korelacji | Istotność korelacji | Współczynnik regresji liniowej | Istotność regresji liniowej | ITS [8] | Stan trofii [8] |
|------|------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------|-----------------|
| 2007 | 0,89 | tak | 0,032 | tak | 8,2172 | eutrofia |
| 2008 | 0,69 | tak | 0,0323 | tak | 8,2965 | eutrofia |
| 2009 | 0,15 | nie | 0,0032 | nie | - | - |

Stan troficzny wód zbiorników

Wody przyzaporowych stref zbiorników, w świetle wartości granicznych wskaźników eutrofizacji wód stojących [7], generalnie nie były zeutrofizowane. Jedynie przezroczystość wód zbiornika Czaniec kształtowała się niekorzystnie, wskazując na procesy eutrofizacyjne (tab. 3). Według norm OECD [10], przezroczystość wód zbiornika Czaniec kwalifikowała go jako akwen mezotroficzny i eutroficzny, a zbiorniki Tresna i Porąbka wykazywały w tym względzie cechy akwenów oligotroficznych i mezotroficznych. Stężenia związków fosforu i azotu były podobne we wszystkich zbiornikach. Pierwiastki te występowały w ilościach, przy których możliwe są zakwity wód. Zdaniem Vollenweidera [13], zakwity wody mogą wystąpić przy stężeniu związków azotu powyżej 0,3 mg N_{og}/dm³, a związków fosforu powyżej 0,015 mg P_{og}/dm³, tymczasem w wodach omawianych zbiorników zawartości azotu rejestrowano w granicach 0,74÷1,31 mg N_{og}/dm³, a fosforu 0,03÷0,05 mg P_{og}/dm³.

Obliczenia wskaźnika Carlsona [9] pokazały, że stan troficzny zbiorników kształtował się najczęściej na pograniczu mezotrofii i eutrofii (tab. 4). Wyrażał to zwłaszcza wskaźnik wyznaczony na podstawie zawartości fosforu w wodzie, gdyż jego wartości przekraczały 50 jednostek według skali:

- TSI < 40 - oligotrofia;
- TSI od 40 do 50 - mezotrofia;
- TSI od 50 do 60 - mezoeutrofia;
- TSI > 60 - eutrofia.

Tabela 3
Parametry fizykochemiczne wód zbiorników kaskady Soły na tle wartości granicznych eutrofizacji
(na podstawie danych WIOŚ w Katowicach)

Table 3
Physicochemical parameters of the Sola cascade dam waters related to the maximal values of eutrophication
(on the base of data taken from WIOŚ in Katowice)

| Parametr | Czas pomiaru | Zbiornik Tresna | Zbiornik Porąbka | Zbiornik Czaniec | Występowanie eutrofizacji [7] |
|--|--------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| Fosfor ogólny [mg P/dm ³] | lato 2007 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | > 0,1 |
| | lato 2008 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | |
| | lato 2009 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | |
| Azot ogólny [mg N/dm ³] | lato 2007 | 0,96 | 0,74 | 0,77 | > 1,5 |
| | lato 2008 | 1,22 | 1,21 | 1,14 | |
| | lato 2009 | 0,98 | 0,96 | 1,31 | |
| Chlorofil <i>a</i> [µg/dm ³] | lato 2007 | 6,2 | 12,7 | 10,3 | > 25,0 |
| | lato 2008 | - | - | - | |
| | lato 2009 | 8,7 | - | 2,3 | |
| Przezroczystość [m] | lato 2007 | 2,4 | 3,8 | 1,8 | < 2,0 |
| | lato 2008 | 4,0 | 2,8 | 1,4 | |
| | lato 2009 | 3,2 | 3,0 | 3,0 | |

Tabela 4
Stan troficzny wód zbiorników kaskady Soły według wskaźnika Carlsona [9]
(na podstawie danych WIOŚ w Katowicach)

Table 4
Trophic state of waters in Sola cascade dam reservoirs according to the Carlson index [9]
(on the base of data taken from WIOŚ in Katowice)

| Zbiornik | Czas pomiaru | TSI (Fosfor) | | TSI (Chlorofil <i>a</i>) | | TSI (Przezroczystość) | |
|----------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| | | wartość | stan trofii | wartość | stan trofii | wartość | stan trofii |
| Tresna | lato 2007 | 53,2 | mezoeutrofia | 48,5 | mezotrofia | 47,4 | mezotrofia |
| | lato 2008 | 53,2 | mezoeutrofia | - | - | 40,0 | mezotrofia |
| | lato 2009 | 60,6 | eutrofia | 51,8 | mezoeutrofia | 43,2 | mezotrofia |
| Porąbka | lato 2007 | 53,2 | mezoeutrofia | 55,5 | mezoeutrofia | 40,8 | mezotrofia |
| | lato 2008 | 53,2 | mezoeutrofia | - | - | 45,2 | mezotrofia |
| | lato 2009 | 57,3 | mezoeutrofia | - | - | 44,2 | mezotrofia |
| Czaniec | lato 2007 | 53,2 | mezoeutrofia | 53,5 | mezoeutrofia | 51,5 | mezoeutrofia |
| | lato 2008 | 57,3 | mezoeutrofia | - | - | 55,2 | mezoeutrofia |
| | lato 2009 | 60,6 | eutrofia | 38,8 | oligotrofia | 44,2 | mezotrofia |

Z kolei wartości wskaźnika obliczone na podstawie przezroczystości sugerowały największą żyzność wód zbiornika Czaniec. Jest to związane z najmniejszą głębokością tego akwenu względem pozostałych, co sprzyja nagrzewaniu wód i rozwojowi

fitoplanktonu. Masowe pojawianie się glonów obserwowane jest jednak we wszystkich trzech zbiornikach, co potwierdza wykazany w obliczeniach wskaźnikowych ich niekorzystny status troficzny.

Wnioski

1. Zgodnie z klasyfikowaniem eutrofii według przepisów prawnych, wody zbiorników kaskady Soły na ogół nie zaliczały się do zeutrofizowanych.
2. Obliczenia wskaźników stanu trofii opracowanych według naukowych podstaw metodycznych wykazały, że badane wody charakteryzowała mezotrofia lub eutrofia, co jest szczególnie niekorzystne dla wodociągowego zbiornika Czaniec.
3. Z uwagi na duże znaczenie społeczno-gospodarcze zbiorników kaskady Soły konieczne jest ograniczenie dopływu zanieczyszczeń ze zlewni w celu poprawy jakości retencjonowanych wód.

Literatura

- [1] Dynowska I.: *Współczesne środowisko przyrodnicze - obieg wody*. [W:] Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze. L. Starkel (red.). PWN, Warszawa 1991, 355-387.
- [2] Twardy S., Kopacz M., Kostuch M., Kuźniar A., Smoroń S., Mazurkiewicz-Boroń G., Szarek-Gwiazda E., Jarząbek A., Kowalik A., Książczyński W.K., Sarna S. i Twaróg B.: Kryteria wyznaczania wód i obszarów wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu pochodzącymi ze źródeł rolniczych (na terenie RZGW w Krakowie). IMUZ, Kraków 2003.
- [3] Kasza H.: Zbiorniki zaporowe - znaczenie, eutrofizacja, ochrona. ATH, Bielsko-Biała 2009.
- [4] Kondracki J.: Geografia regionalna Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1998.
- [5] Chudy Ł.: *Hydrowęzeł beskidzki. Cz. I. Gazeta Obserwatora IMGW*, 2005, 3, 15-20.
- [6] Atlas Podziału Hydrograficznego Polski. Część 2 - Zestawienia zlewni. Praca zbiorowa pod kierunkiem H. Czarneckiej. IMGW, Ministerstwo Środowiska, NFOŚiGW, Warszawa 2005.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych. DzU 2002, Nr 241, poz. 2093.
- [8] Neverova-Dziopak E.: Ekologiczne aspekty ochrony wód powierzchniowych. Polít. Rzeszowska, Rzeszów 2007.
- [9] Carlson R.E.: *A trophic state index for lakes*. Limnol. Oceanogr., 1977, 22(2), 361-369.
- [10] Vollenweider R.A. i Kerekes J.J.: Eutrophication of waters - monitoring, assessment and control. OECD, Paris 1982.
- [11] Kajak Z.: Hydrobiologia - limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1998.
- [12] Starmach K., Wróbel S. i Pasternak K.: Hydrobiologia. Limnologia. PWN, Warszawa 1976.
- [13] Vollenweider R.A.: Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular references to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD Technical Report DAS/CSI/68.27, Paris 1968.

ASSESSMENT OF TROPHIC STATE OF WATER IN SOŁA CASCADE DAM RESERVOIRS

Institute of Environmental Protection and Engineering, Faculty of Materials and Environment Sciences
University of Bielsko-Biala

Abstract: Water resource protection requires water quality monitoring and assessment. It pertains in particular to mountainous regions with a strategic importance for water supply - a serious threat is posed by nutrients, which cause eutrophication. The main sources of nutrients in mountainous areas are: inappropriate farming methods, erosive run-offs, as well as ineffective wastewater treatment. The aim of the research project was to identify the condition of water resources in cascade dam reservoirs located on the river Sola (reservoirs: Tresna, Porabka, Czaniec). The reservoirs are located in the Polish Carpathians. The combined capacity of the reservoirs in question

amounts to about 122 million m³ and their catchment areas cover the area of 1,119 km². The water resources collected are used for residential and municipal purposes. The degree of eutrophication was established on the basis of physical and chemical parameters of the river Sola and the reservoir water. The assessment referenced the norms specified in the Polish law, Carlson index (*TSI - Trophic State Index*), Neverova-Dziopak index (*ITS - Index of Trophical State*) as well as *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) norms. The analyses conducted in 2007-2009, revealed that the quality of water resources retained complied with the characteristic parameters of mesotrophic and eutrophic state. Whereby, the least favourable trophic state was identified in the lowest reservoir in the cascade - Czaniec reservoir. The findings imply that the cascade catchment should be managed in such a way that less polluted surface waters are released into the area.

Keywords: mountainous areas, water resources, water quality, eutrophication, trophic index