

## **WPŁYW SZTUCZNEGO NAPONIEWIERZANIA Z DESTRATYFIKACJĄ NA ZMIENNOŚĆ WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW ZAWARTOŚCI MATERII ORGANICZNEJ W WODACH JEZIORA DŁUGIEGO**

*Katarzyna Parszuto, Jolanta Grochowska*

Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

### **Wstęp**

Jeziro Długie w Olsztynie przez ponad dwadzieścia lat było odbiornikiem ścieków bytowo-gospodarczych, co spowodowało całkowitą jego degradację [GAWROŃSKA, LOSSOW 2003], określaną jako saprotrofia. Jak wykazały badania GAWROŃSKIEJ [1984], odcięcie dopływu ścieków w 1976 roku wpłynęło na obniżenie ilości związków organicznych w wodach zbiornika, nie spowodowało jednak wyraźnych zmian jakościowych. Poprawa warunków środowiskowych w jeziorze nastąpiła dopiero po zastosowaniu wieloletniego sztucznego napowietrzania z destryfikacją [GAWROŃSKA, LOSSOW 2003; GAWROŃSKA i in. 2003; GROCHOWSKA, GAWROŃSKA 2004].

Celem pracy było określenie wpływu zastosowanej metody rekultywacyjnej na zmienność wskaźników materii organicznej, takich jak całkowity węgiel organiczny (TOC), cząsteczkowy węgiel organiczny (POC) i rozpuszczony węgiel organiczny (DOC) oraz całkowity azot organiczny (TON) i całkowity fosfor organiczny (TOP) w wodach Jeziora Długiego.

### **Materiał i metody badań**

Sztuczne napowietrzanie Jeziora Długiego prowadzone było w latach 1987–2000 przez zespół naukowy pod kierunkiem dr hab. Heleny Gawrońskiej, prof. UWM oraz prof. dr hab. Konstantego Lossowa z Katedry Inżynierii Ochrony Środowiska UWM w Olsztynie. W celu określenia wpływu sztucznego napowietrzania na zmienność wskaźników materii organicznej analizowano jedynie wyniki badań z lat 1998 i 1999, przy czym rok 1999 był rokiem kontrolnym, w którym nie prowadzono sztucznej destryfikacji.

Próby wody pobierano na najgłębszym stanowisku zbiornika (17,3 m) z głębokości 1, 5, 10 i 15 m – od kwietnia do sierpnia 1998 roku, przeciętnie raz w miesiącu, a w roku kontrolnym – w kwietniu, na początku i w szczycie stagnacji letniej oraz we wrześniu.

Szczegółowe dane morfometryczne jeziora oraz opis zlewni i metody rekul-

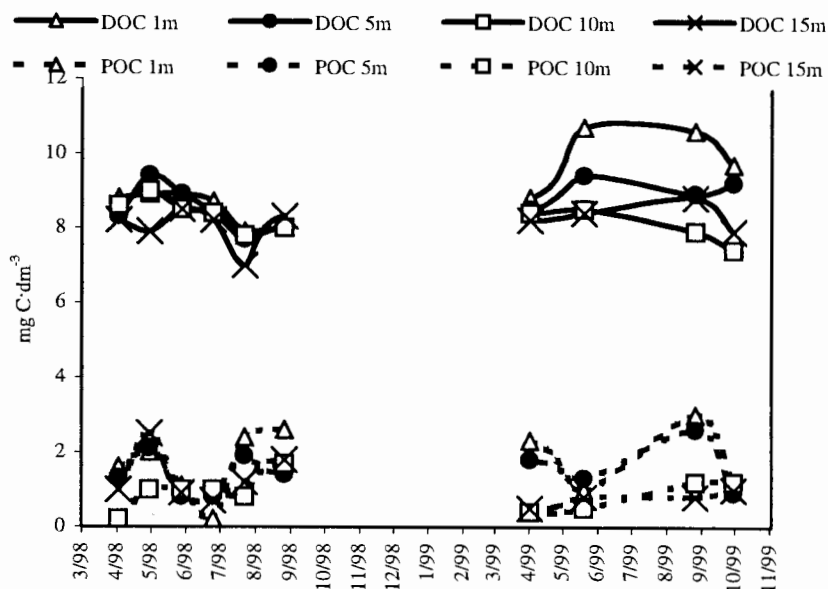
tywacji zbiornika znajdują się w pracach GAWROŃSKIEJ [1994], GAWROŃSKIEJ i in. [2003], GROCHOWSKIEJ, GAWROŃSKIEJ [2004].

Stężenie nietłotnego TOC i DOC (po filtrze GF/F o średnicy porów  $0,65 \mu\text{m}$ ) oznaczano za pomocą analizatora Shimadzu TOC 5000 po uprzednim zakwaszeniu próbki do pH 2 i usunięciu  $\text{CO}_2$ . Zawartość POC uzyskano z różnicy między stężeniem TOC i DOC. Stężenie TON i TOP oznaczono zgodnie z metodą podaną przez HERMANOWICZA i in. [1999].

Zależności między badanymi parametrami określono za pomocą współczynnika korelacji, różnice między średnimi w 1998 i 1999 roku – testem t-Studenta dla prób zależnych.

## Wyniki

Sztuczne napowietrzanie spowodowało destratyfikację TOC i DOC, których stężenia zawierały się w granicach od  $8,00$  do  $11,5 \text{ mg C}\cdot\text{dm}^{-3}$  oraz od  $7,00$  do  $9,4 \text{ mg C}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Zawartość POC wahała się w zakresie  $0,20$ – $2,60 \text{ mg C}\cdot\text{dm}^{-3}$  i – wiosną oraz w szczycie stagnacji letniej – wykazywała zróżnicowanie w słupie wody jeziora (rys. 1).



Rys. 1. Zmiany POC i DOC w wodach Jeziora Długiego w latach 1998–1999 w kolejnych miesiącach

Fig. 1. Changes of POC and DOC in the Lake Długie water in 1998–1999 in successive months

Przerwanie sztucznego napowietrzania nie wpłynęło istotnie na wzrost średniej zawartości TOC w wodzie jeziora ( $10,06 \text{ mg C}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), natomiast w okresie wegetacyjnym zaznaczyło się wyraźne uwarstwienie TOC, DOC i POC ze spadkiem zawartości wraz z głębokością (rys. 1). Stężenia TOC, DOC i POC zmieniały się w granicach:  $8,60$ – $13,60 \text{ mg C}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,  $7,40$ – $10,70 \text{ mg C}\cdot\text{dm}^{-3}$  oraz  $0,40$ – $3,00$

mg C·dm<sup>-3</sup>.

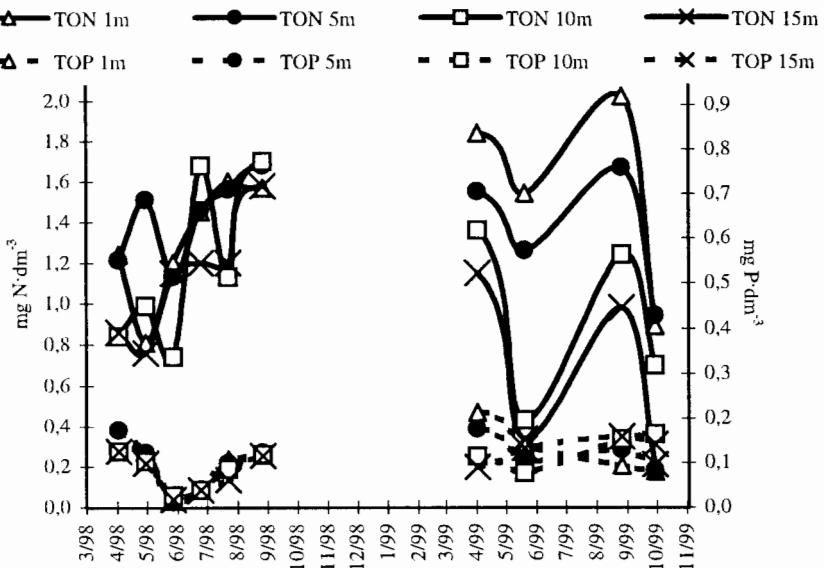
W całym okresie badań stężenie TOC istotnie zależało od zmian POC, jednak silniejszy związek wykazano między TOC i DOC ( $r = 0,82$  dla  $n = 15$ ,  $p = 0,01$ ). Stosunek POC:DOC wahał się między 2 i 33% podczas sztucznej destryfikacji oraz od 5 do 29% w roku kontrolnym (tab. 1). Stwierdzono wysoce istotną zależność między POC i POC:DOC w 1998 roku ( $r = 0,99$  dla  $n = 24$ ,  $p = 0,01$ ) i w 1999 roku ( $r = 0,98$  dla  $n = 16$ ,  $p = 0,01$ ). Podczas napowietrzania średnia wartość POC:DOC w wodach naddennych jeziora była prawie dwukrotnie wyższa niż w roku kontrolnym.

Tabela 1; Table 1

Stosunek POC:DOC oraz TOC:TON w wodach Jeziora Długiego  
POC:DOC and TOC:TON ratio in the Lake Długie water

		1998		1999	
m		średnia average Value	zakres range	średnia average Value	zakres range
POC : DOC (%)	1	20	2–33	19	9–28
	5	16	9–25	19	10–29
	10	11	2–21	11	5–16
	15	17	9–32	10	6–13
TOC : TON	1	8,3	6,1–13,5	8,2	6,0–12,2
	5	7,0	5,6–8,6	8,2	6,6–10,7
	10	8,7	5,6–12,8	11,8	6,5–20,9
	15	8,9	6,4–13,7	21,7	7,6–42,4

Stężenia TON wykazywały podobną tendencję jak zmiany POC – w czasie napowietrzania wzrastały w okresie wegetacyjnym (0,74–1,70 mg N·dm<sup>-3</sup>), (rys. 2).



Rys. 2. Zmiany TON i TOP w wodach Jeziora Długiego w latach 1998–1999  
Fig. 2. Changes of TON and TOP in the Lake Długie water in 1998–1999

W roku kontrolnym zaznaczyła się różnica stężeń między warstwą powierzchniową oraz wodami hypolimnionu (10 i 15 m), gdzie ilość TON obniżyła się. Średnia zawartość TON nie uległa istotnej zmianie i wyniosła 1,23 mg N·dm<sup>-3</sup> i 1,09 mg N·dm<sup>-3</sup> odpowiednio w 1998 i 1999 roku.

W czasie napowietrzania stosunek TOC:TON wahał się w zakresie od 5,6 do 13,7 (tab. 1). Średnia wartość tego wskaźnika wzrosła w roku kontrolnym do ok. 12,5 wobec 8,2 w 1998 roku. Zaobserwowano wyraźny wzrost TOC:TON w warstwach wód głębiej położonych – szczególnie silnie zaznaczony na początku lata oraz pod koniec okresu wegetacyjnego (maksymalnie 42,4). Wartość TOC:TON wysoce istotnie korelowała ze zmianami stężenia TON zarówno w czasie sztucznego napowietrzania ( $r = -0,91$  dla  $n = 24$ ,  $p = 0,01$ ), jak i w roku kontrolnym ( $r = -0,77$  dla  $n = 28$ ,  $p = 0,01$ ). Nie wykazano istotnego statystycznie związku między TOC a TOC:TON.

Sztuczne napowietrzanie spowodowało także destratyfikację TOP – jego stężenia wahały się od 0,01 do 0,17 mg P·dm<sup>-3</sup> (rys. 2). W 1999 roku ilość TOP wzrosła w całej masie wody średnio do 0,12 mg P·dm<sup>-3</sup> wobec 0,09 mg P·dm<sup>-3</sup> w roku 1998 ( $t = 2,44$  dla  $n = 24$ ,  $p = 0,02$ ). Zaznaczyła się stratyfikacja stężeń wyrażająca się spadkiem zawartości wraz z głębokością na początku lata oraz wzrostem – pod koniec okresu wegetacyjnego.

## Dyskusja

O ilości i jakości organicznych związków węgla, azotu i fosforu w jeziorze decyduje dopływ allochtonicznej materii organicznej (cieki, spływ powierzchniowy ze zlewni), produkcja zbiornika (autochtoniczna materia organiczna), zasilanie wewnętrzne oraz przemiany biologiczne i chemiczne [BAJKIEWICZ-GRABOWSKA 2002].

Likwidacja gradientu termicznego podczas sztucznego napowietrzania wód Jeziora Długiego wpłynęła na wzrost sedimentacji materii organicznej, szczególnie frakcji cząsteczkowej. Potwierdziła to prawie dwukrotnie wyższa wartość POC:DOC w wodach naddennych w czasie sztucznej destratyfikacji oraz zwiększenie stosunku TOC:TON w wodach hypolimnionu po wyłączeniu sprężarek. Destratyfikacja stężeń wszystkich badanych parametrów była nietrwała i po przzerwaniu napowietrzania założyło się wyraźne uwarstwienie, polegające na spadku stężeń wraz z głębokością. Słabo zaznaczoną stratyfikację zawartości TON w wodzie zaobserwował Lossow [1987] w czasie napowietrzania jeziora Mutek k. Reszla, natomiast wyrównanie ilości TOP wystąpiło również w czasie sztucznej destratyfikacji wód Jeziora Starodworskiego [Lossow 1980].

Wzrost temperatury wód głębiej położonych powoduje zwiększenie tempa rozkładu materii organicznej [CERCO 1989; ZDANOWSKI i in. 2002], co może prowadzić do wyczerpywania tlenu. Podczas napowietrzania stężenie tlenu w wodach naddennych Jeziora Długiego nie spadło poniżej 1,9 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, co umożliwiło obniżenie ilości materii organicznej łatwo rozkładalnej (BZT<sub>5</sub>) [GROCHOWSKA, GAWROŃSKA 2004] i opornego na rozkład biologiczny DOC oraz POC pochodzącego z produkcji pierwotnej [PARSZUTO, GŁAŻEWSKI 2004].

Duże znaczenie miał fakt, że w roku kontrolnym średnia zawartość TOC i TON w wodach jeziora nie uległa istotnemu zwiększeniu. Średnia wartość TOC:TON poniżej 17 [GÓRNIK 1996] wskazywała, że w wodach Jeziora Długiego

przeważała autochtoniczna materia organiczna.

Sztuczne napowietrzanie spowodowało istotne obniżenie ilości fosforu mineralnego wskutek ograniczenia jego uwalniania z osadów dennych [GAWROŃSKA i in. 2003]. Znacznie mniejszy wpływ rekultywacja wywarła na zawartość TOP [GAWROŃSKA i in. 2003], który w całej toni wodnej wykazywał duże wahania – niezależne od zmian fosforu mineralnego. W czasie napowietrzania zawartość TOP była mniejsza niż w roku kontrolnym, zwłaszcza w wodach naddennych, co potwierdza istotny wpływ warunków tlenowych i podwyższonej temperatury na tempo rozkładu materii organicznej.

### Podsumowanie

Sztuczne napowietrzanie z destryfikacją wpłynęło korzystnie na procesy przemiany i obniżenie ilości organicznych związków węgla, azotu i fosforu w wodach Jeziora Długiego. Było to związane ze wzrostem sedimentacji oraz intensywności rozkładu materii organicznej spowodowanej podwyższeniem temperatury oraz stężenia tlenu w głębszych partiach wody jeziora.

### Literatura

- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E. 2002. *Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych*. Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa: 274.
- CERCO C.F. 1989. *Measured and modelled effects of temperature, dissolved oxygen and nutrient concentration on sediment – water nutrient – exchange*. Hydrobiol. 174: 185–194.
- GAWROŃSKA H. 1984. *Wpływ ograniczenia dopływu ścieków na warunki fizyczno-chemiczne wód Jeziora Długiego*. Roczn. Nauk Rol. Ser. H 100(4): 27–52.
- GAWROŃSKA H. 1994. *Wymiana azotu i fosforu między osadami a wodą w jeziorze sztucznie napowietrzonym*. Acta Acad. Agricult. Tech. Olszt., Protectio Aquarum et Piscatoria 19: 3–49.
- GAWROŃSKA H., LOSSOW K. 2003. *Possibilities of a saprotrophic lake recultivation exemplified by Lake Długie in Olsztyn*. Pol. J. Environ. Stud. 12(3): 301–307.
- GAWROŃSKA H., BRZOSOWSKA R., GROCHOWSKA J., LOSSOW K. 2003. *Possibilities to reduce internal loading to lake water by artificial aeration*. Pol. J. Environ. Stud. 12(2): 171–179.
- GROCHOWSKA J., GAWROŃSKA H. 2004. *Restoration effectiveness of a degraded lake using multi-year artificial aeration*. Pol. J. Environ. Stud. 13(6): 671–681.
- GÓRNIAK A. 1996. *Substancje humusowe i ich rola w funkcjonowaniu ekosystemów śródlądowych*. Diss. Univ. Varsoviensis 448, Białystok: 151.
- HERMANOWICZ W., DOŻAŃSKA W., DOJLIDO J., KOZIOROWSKI B. 1999. *Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków*. Arkady Warszawa: 556 ss.
- LOSSOW K. 1980. *Wpływ sztucznej destryfikacji na układy fizyczno-chemiczne wód Jeziora Starodworskiego*. Zesz. Nauk. ART Olsztyn 11: 3–64.
- LOSSOW K. 1987. *Zmiany chemizmu wód jeziora Mutek pod wpływem trzyletniego sztucznego napowietrzania*. Roczn. Nauk Rol. Ser. H 101(1): 16–38.

PARSZUTO K., GŁĄZEWSKI R. 2004. *The relationship between the contents of particulate (POC) and dissolved (DOC) organic carbon in the waters of Lake Długie and Lake Kortowskie recultivated with different methods*. *Limnological Review* 4: 193–200.

ZDANOWSKI B., DUNALSKA J., STAWECKI K. 2002. *Variability of nutrients content in heated lakes of the Konin area*. *Limnological Review* 2: 457–464.

**Słowa kluczowe:** sztuczne napowietrzanie, destryfikacja, węgiel organiczny, azot organiczny, fosfor organiczny

### Streszczenie

Zbadano wpływ sztucznego napowietrzania z destryfikacją na zmienność wskaźników materii organicznej, takich jak całkowity (TOC), cząsteczkowy (POC) i rozpuszczony (DOC) węgiel organiczny oraz całkowity azot (TON) i fosfor (TOP) organiczny w wodach Jeziora Długiego w Olsztynie. Likwidacja gradientu termicznego wpłynęła na wzrost sedymentacji materii organicznej, szczególnie frakcji cząsteczkowej. Potwierdziła to prawie dwukrotnie wyższa wartość POC:DOC w wodach naddennych w czasie sztucznej destryfikacji oraz zwiększenie stosunku TOC:TON w wodach hypolimnionu po wyłączeniu sprężarek, kiedy założyło się wyraźne uwarstwienie polegające na spadku stężeń badanych parametrów wraz z głębokością.

Po przerwaniu napowietrzania średnia zawartość TOC i TON w wodach jeziora nie uległa istotnemu zwiększeniu. Średnia wartość TOC:TON poniżej 17 wskazywała, że w wodach jeziora przeważała autochtoniczna materia organiczna. W czasie napowietrzania zawartość TOP była mniejsza niż po wyłączeniu sprężarek, zwłaszcza w wodach naddennych, ponieważ w warunkach podwyższonej temperatury i natlenienia wód głębiej położonych rozkład materii organicznej przebiegał szybciej. Umożliwiło to także obniżenie ilości materii organicznej łatwo rozkładalnej (BZT<sub>5</sub>) i opornego na rozkład biologiczny DOC oraz POC pochodzącego z produkcji pierwotnej.

### INFLUENCE OF ARTIFICIAL AERATION WITH DESTRATIFICATION ON THE VARIABILITY OF SELECTED INDICES OF ORGANIC MATTER CONTENT IN THE WATER OF DŁUGIE LAKE

*Katarzyna Parszuto, Jolanta Grochowska*

Department of Environment Protection Engineering,  
University of Warmia and Mazury, Olsztyn

**Key words:** artificial aeration, destratification, organic carbon, organic nitrogen, organic phosphorus

### Summary

The effect of artificial aeration with destratification on the variability of organic matter indicators such like total organic carbon (TOC), particulate

organic carbon (POC), dissolved organic carbon (DOC), total organic nitrogen (TON), and total organic phosphorus (TOP) was examined in the waters of Lake Długie in Olsztyn. Elimination of the thermal gradient resulted in an increased settlement of organic matter, especially the molecule fraction. It was confirmed by almost twice higher POC:DOC ratio in the near-bottom waters during the artificial destratification and by an increased TOC:TON ratio in the hypolimnion after the air-compressors were switched off and stratification occurred, displayed by the decrease in the examined parameter concentrations as the depth increased.

When aeration was terminated the mean content of TOC and TON in the lake waters did not increase considerably. The mean value of the TOC:TON ratio below 17 indicated the dominance of autochthonous organic matter in the lake waters. During aeration, the TOP content was lower than after the air-compressors were switched off, particularly in the near-bottom waters, as the elevated temperature and oxygenation of the deep waters accelerated the degradation of organic matter. It also allowed the reduction of the quantity of easily degradable organic matter ( $BOD_5$ ), DOC resistant to biological degradation, and POC originated from the primary production.

Dr inż. Katarzyna **Parszuto**  
Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
ul. St. Prawocheńskiego 1  
10-957 OLSZTYN-KORTOWO  
e-mail: [kasiapar@uwm.edu.pl](mailto:kasiapar@uwm.edu.pl)