

**Agnieszka BAŃKOWSKA**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW  
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

## **Ocena działania struktur BIO-HYDRO w rekultywacji Jeziora Elckiego**

### **Performance evaluation of the BIO-HYDRO structures in recultivation of the Elckie Lake**

**Słowa kluczowe:** rekultywacja jeziora, redukcja zanieczyszczeń, struktury BIO-HYDRO

**Key words:** lakes recultivation, pollutant reduction, BIO-HYDRO structures

#### **Wprowadzenie**

Jezioro Elckie leży w środkowej części Pojezierza Elckiego, na terenie gminy miejskiej Elk. Jego powierzchnia wynosi 382,4 ha, a głębokość maksymalna 55,8 m. Ze względu na wyraźne zróżnicowanie charakterystyk morfometrycznych w jeziorze wyróżnia się trzy części, nazywane płosami: północnym, południowym i zachodnim, które traktuje się jako trzy odrębne zbiorniki. Obserwowana od lat siedemdziesiątych antropogenna eutrofizacja Jeziora Elckiego, w tym płosa północnego, objawiała się całkowitym odtlenieniem hipo- i metalimnionu, powstaniem strefy siarkowodorowej i uruchomieniem wewnętrznego zasilania w fosfor. Parametry troficzne i tlenowe zbiornika kwalifikowały jego

wody do eutroficznych, niekiedy nawet do politroficznych, a zakwity wód uniemożliwiały rekreacyjne i gospodarcze użytkowanie akwenu. Rozpoczęta pod koniec lat dziewięćdziesiątych rekultywacja płosa północnego obejmuje trzy grupy zabiegów: napowietrzanie hipolimnionu, chemiczną dezaktywację fosforu oraz zastosowanie struktur BIO-HYDRO do ograniczenia dopływu biogenów. Ocena działania tych struktur jest tematem niniejszej pracy.

#### **Charakterystyka obiektu badań**

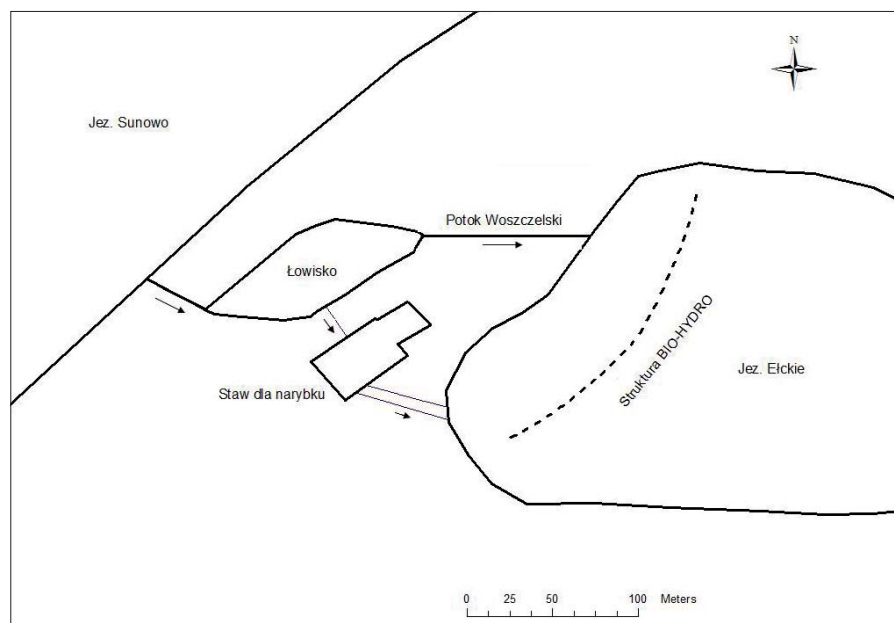
Północne plosa Jeziora Elckiego ma powierzchnię 80,4 ha, średnią głębokość 9,7 m, a maksymalną 24 m. Jest ono zbiornikiem przepływowym o objętości 7 779 000 m<sup>3</sup>, który łączy się wąskim przesmykiem z południowym plosem jeziora. Plosa północne zasilane jest przez Potok Woszczelski, który w górnym biegu przepływa przez jeziora: Sawinda Wielka, Woszczelskie i Sunowo,

oraz jest zasilany licznymi rowami melioracyjnymi. Na potoku, w sąsiedztwie dopływu do plosa północnego, istnieje zbiornik wykorzystywany jako łowisko gospodarstwa rybackiego (rys. 1).

Pomimo umiarkowanej odporności na degradację (II kategoria podatności) plosa północne Jeziora Elckiego ulegało przyspieszonej degradacji w wyniku dopływu zanieczyszczeń z licznych źródeł punktowych i rozproszonych. Jako źródła zanieczyszczeń wymieniane były: zanieczyszczenia obszarowe ze zlewni bezpośredniej, zanieczyszczenia sanitarne z nieskanalizowanych osiedli mieszkaniowych zlokalizowanych nad brzegiem jeziora, zrzuty ścieków opadowych, zanieczyszczenia dopływające Potokiem Woszczelskim, w tym pochodzące ze stawów hodowlanych – odprowadzanych do Potoku (Lossow i Gawroń-

ska 1992, Projekt... 1998, Raport 2003). Oszacowano, że z ogólnego ładunku fosforu dopływającego do plosa północnego i wynoszącego  $3955 \text{ kg P} \cdot \text{rok}^{-1}$ , około 49 % pochodzi z Potoku Woszczelskiego, 31% z zasilania wewnętrznego, a 14% dostarcza gospodarstwo rybackie (Projekt... 1998).

W związku z postępującą degradacją jeziora w 1998 roku w plosie północnym podjęto działania rekultywacyjne, zmierzające do zahamowania procesu eutrofizacji oraz odwrócenia niekorzystnych tendencji. Działania te obejmują napowietrzanie wód hipolimnionu oraz chemiczną dezaktywację fosforu. Elementem procesu rekultywacji jest także ograniczenie dopływu biogenów wprowadzanych za pośrednictwem Potoku Woszczelskiego z jeziora Sunowo oraz ze stawów hodowlanych gospodarstwa



RYSUNEK 1. Usytuowanie struktury BIO-HYDRO na Jeziorze Elckim (Projekt... 1998)  
 FIGURE 1. Localization of BIO-HYDRO structures on Elckie Lake (Projekt... 1998)

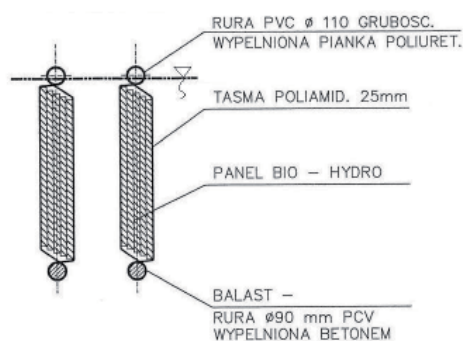
rybackiego. Działanie to realizowane jest za pomocą struktur BIO-HYDRO zainstalowanych na jeziorze, w rejonie dopływu Potoku Woszczelskiego do płosa północnego (rys. 1).

Struktury BIO-HYDRO mają postać kratownicy z tworzywa sztucznego. Zbudowane są z paneli o wymiarach 100 × 100 × 20 cm, podwieszonych do pływaków rurowych. W dolnej części paneli znajduje się obciążnik stabilizujący strukturę w pozycji pionowej. Budowę struktury BIO-HYDRO przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

Celem zastosowania struktury BIO-HYDRO było zapewnienie powierzchni do rozwoju glonów peryfitytonowych, które w miarę swojego wzrostu i nam-

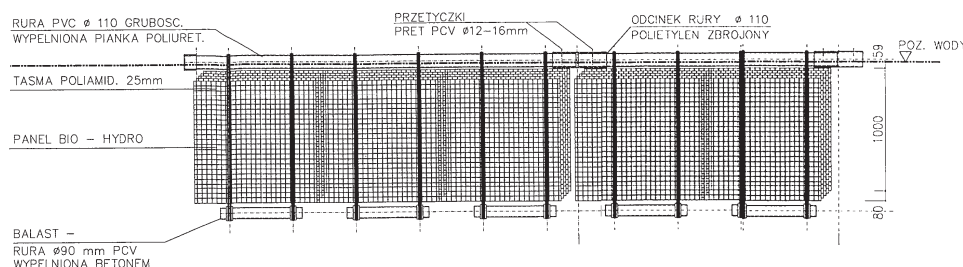
nażania się zaczynały pełnić funkcję biologicznego filtra, wbudowując w swą biomasę nutrieny rozpuszczone w przepływającej przez nie wodzie. Zadaniem struktury jest zatem biologiczna dezaktywacja biogenów docierających do północnego płosa jeziora.

Struktury BIO-HYDRO są instalacją bezobsługową, wymagającą jedynie zanurzenia pod powierzchnię wody na okres zimy, z uwagi na ryzyko ich zniszczenia podczas zamarzania jeziora. Ze względu na trudności techniczne związane z zanurzaniem zaniechano zatapiaania barier na okres zimowy. Eksploatacja struktur, zgodnie z zaleceniami, nie wymaga także ich czyszczenia, wskazany jest bowiem silny rozwój organizmów peryfitytonowych (Projekt... 1998).



RYSUNEK 2. Struktura BIO-HYDRO – przekrój (Projekt... 1998)

FIGURE 2. The BIO-HYDRO Structure – cross-section (Projekt... 1998)



RYSUNEK 3. Struktura BIO-HYDRO – widok (Projekt... 1998)

FIGURE 3. The BIO-HYDRO Structure – view (Projekt... 1998)

## Wyniki badań i ich analiza

Oceny skuteczności struktur BIO-HYDRO w przechwytywaniu ładunku biogenów dokonano na podstawie wyników badań jakości wód przeprowadzonych w 2006 roku na dwóch stanowiskach usytuowanych przed i za strukturą. Głębokość jeziora na tych stanowiskach wynosi 5 m, a analizy chemiczne wykonano dla prób

pobrane z głębokości 1 m. Próby wody do analiz jakościowych pobrano trzykrotnie: w okresie wiosennej i jesiennej miksji oraz stagnacji letniej. Wyniki badań jakości wody przedstawiono w tabelach 1–4.

W zakresie związków fosforu wiosną obserwowano wyraźne zmniejszenie stężenia tego pierwiastka w wodzie przepływającej przez strukturę – stężenie fosforu ogólnego uległo redukcji o 62%, a stężenie fosforanów o 66% (tab. 1).

Wiosną następuje zatem bardzo wyraźne ograniczenie ilości fosforu zawartego w toni wodnej. Należy natomiast podkreślić, że wiosenne stężenie fosforu całkowitego w wodzie przed strukturą BIO-HYDRO odpowiada warunkom politrofii i przekracza 12-krotnie stężenie

nie uznawane za zapowiedź letnich zakwitów wód według kryterium Vollenweidera (Kajak 1979). Wynika z tego, że wiosną Potok Woszczelski wprowadza do płosa północnego duże ilości fosforu.

Latem obserwuje się przeciwny kierunek zmian jakości wód – za strukturą woda jest bardziej zasobna w fosfor ogólny, a koncentracja fosforanów jest znikoma na skutek ich silnej asymilacji przez fitoplankton. Jednocześnie stężenie fosforu ogólnego wiosną i latem, zarówno przed, jak i za strukturą, utrzymuje się w zakresie typowym dla II klasy czystości wód, określonej według metodyki opisanej przez Kudelską i inych (1992).

Jesienią nie obserwuje się w zasadzie wpływu struktur BIO-HYDRO na zmiany zasobności wody w fosfor ogólny.

TABELA 1. Zmiany stężenia fosforu w wodzie w wyniku jej przepływu przez strukturę BIO-HYDRO  
TABLE 1. Changes of phosphorus concentration in water flowing through the BIO-HYDRO structure

Data badań Investigation date	Stężenie fosforu całkowitego [ $\mu\text{g P}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] Total phosphorus concentration		Stężenie fosforanów [ $\mu\text{g P}\cdot\text{PO}_4\cdot\text{dm}^{-3}$ ] Phosphates concentration	
	przed strukturą in front of structure	za strukturą behind structure	przed strukturą in front of structure	za strukturą behind structure
07.05.2006 r.	127	48	86	29
06.08.2006 r.	34	74	2	9
12.10.2006 r.	34	31	1	0

TABELA 2. Zmiany stężenia azotu azotanowego i ogólnego w wodzie w wyniku jej przepływu przez strukturę BIO-HYDRO  
TABLE 2. Changes of nitrates and total nitrogen concentration in water flowing through the BIO-HYDRO structure

Data badań Investigation date	Stężenie azotanów [ $\text{mg N}\cdot\text{NO}_3\cdot\text{dm}^{-3}$ ] Nitrates concentration		Stężenie azotu ogólnego [ $\text{mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] Total nitrogen concentration	
	przed strukturą in front of structure	za strukturą behind structure	przed strukturą in front of structure	za strukturą behind structure
07.05.2006 r.	0,15	0,18	2,28	2,05
06.08.2006 r.	0,06	0,06	0,87	0,86
12.10.2006 r.	0,07	0,06	0,64	0,74

ny, natomiast zasoby fosforanów ulegają całkowitemu wyczerpaniu w wyniku produkcji pierwotnej.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki zmian stężenia azotu azotanowego i ogólnego w wyniku przepływu wody przez strukturę BIO-HYDRO. Również w tym wypadku brak jest jednoznacznych tendencji wpływu struktury na zmianę stężeń badanych zanieczyszczeń wody.

Wiosną stężenie azotu ogólnego zmniejszyło się nieznacznie w wyniku przepływu wody przez strukturę BIO-HYDRO. Latem stężenia azotanów i azotu ogólnego w wodzie przed i za strukturą były podobne, a jesienią stężenie azotu ogólnego w wyniku przepływu wody przez strukturę nieznacznie

wzrosło. W odniesieniu do azotu badana struktura biologiczna nie wykazuje zatem wyraźnej tendencji oddziaływania.

Podobne wnioski można sformułować na podstawie wyników badań przewodności elektrolitycznej wody, które przedstawiono w tabeli 3.

Przewodność elektrolityczna wody na stanowisku przed i za strukturą praktycznie nie zmieniała się w całym okresie badawczym. Wynika z tego, że struktura BIO-HYDRO nie redukuje ogólnej ilości substancji rozpuszczonych w wodzie. Niepokojące są zwłaszcza duże wartości tego wskaźnika w okresie wiosennym (398 i 396  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), które wskazują na pozaklasowy charakter wód w rejonie ujścia Potoku Woszczelskiego.

TABELA 3. Zmiany przewodności elektrolitycznej wody w wyniku jej przepływu przez strukturę BIO-HYDRO

TABLE 3. Changes of water electrolytic conductivity after flowing trough the BIO-HYDRO structure

Data badań Investigation date	Przewodność elektrolityczna [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] Electrolytic conductivity	
	przed strukturą in front of structure	za strukturą behind structure
07.05.2006 r.	398	396
06.08.2006 r.	315	319
12.10.2006 r.	358	360

TABELA 4. Zmiany stężenia chlorofilu „a” w wodzie w wyniku jej przepływu przez strukturę BIO-HYDRO

TABLE 4. Changes of chlorophyll „a” concentration in water flowing trough the BIO-HYDRO structure

Data badań Investigation date	Stężenie chlorofilu „a” [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] Chlorophyll „a” concentration	
	przed strukturą in front of structure	za strukturą behind structure
07.05.2006 r.	8,89	9,36
06.08.2006 r.	34,17	18,35
12.10.2006 r.	47,74	33,58

Jedynym wskaźnikiem jakości wód wykazującym stałą tendencję zmian przy przepływie wody przez barierę BIO-HYDRO jest stężenie chlorofilu „a”, pośrednio informujące o zasobności wody w nutrieny (tab. 4).

Wiosną stężenia chlorofilu „a” na stanowisku przed i za strukturą BIO-HYDRO były zbliżone, jednak w lecie i na jesieni wykazywały wyraźną i stałą tendencję spadkową w wyniku przepływu wody przez barierę biologiczną. Przy czym najsilniej oddziaływanie to zaznaczało się latem, kiedy stężenie chlorofilu „a” w wodzie za barierą było prawie dwukrotnie niższe niż na stanowisku przed nią. Pod względem stężenia chlorofilu „a” wodę przed barierą BIO-HYDRO można zaliczyć do III klasy, a wody za nią – do II klasy czystości. Uzyskane wyniki mogą wskazywać na to, że woda po przepłynięciu przez badaną strukturę była mniej zasobna w biogeny i mniej produktywna. Nie znajduje to jednak potwierdzenia w danych o stężeniach azotu, fosforu oraz przewodności elektrolitycznej.

### **Podsumowanie i wnioski**

Uzyskane wyniki badań nie pozwalają jednoznacznie ocenić działania struktur BIO-HYDRO. Jakość wód przy przepływie przez barierę w zależności od wskaźnika jakości i okresu badań ulega poprawie lub pogorszeniu. Nie zauważa się wyraźnych i jednoznacznych tendencji zmian jakości wody w wyniku oddziaływania bariery. Jedynie dane o stężeniu chlorofilu „a” sugerują, że bariery wpływają na zmniejszenie ogólnej produktywności wody. Jednakże prze-

czy temu stwierdzeniu brak wpływu struktur BIO-HYDRO na ogólną ilość soli rozpuszczonych w wodzie. Wiosną zaznacza się wyraźnie silne oddziaływanie struktury BIO-HYDRO w stosunku do stężenia fosforu ogólnego, który ulegał redukcji nawet o 66%. Jednak latem i jesienią obserwuje się wzrost ilości fosforu w wodzie za barierą w stosunku do stanowiska położonego przed nią. Podobnie zarysowują się zmiany stężenia azotu. Wiosną zaznacza się wpływ bariery BIO-HYDRO, co wyraża się nieco mniejszym nagromadzeniem azotu za tą strukturą. Jednak latem i jesienią nie obserwuje się oczyszczającego działania bariery. Wnioski te prowadzą do stwierdzenia, że efektywność działania struktur BIO-HYDRO jest bardzo wysoka w stosunku do fosforu wiosną i nieznaczna w stosunku do azotu w tym samym okresie. Jednak okresowo struktury te nie tylko nie wykazują działania oczyszczającego, ale – co więcej – wpływają na wzrost zasobności wody w nutrieny. Bariery nie wykazują natomiast nawet okresowego działania biofiltracyjnego, w stosunku do ogólnej ilości związków rozpuszczonych w wodzie, mierzonego wartością przewodności elektrolitycznej właściwej.

Opisana sytuacja może być spowodowana kilkoma czynnikami. Jako pierwsze nasuwa się przypuszczenie, że przyczyną niskiej efektywności bariery BIO-HYDRO może być ich sposób zainstalowania – odmienny niż zakładano w projekcie technicznym rekultywacji. Struktury BIO-HYDRO usytuowane są w płaszczyźnie w jednej linii, podczas gdy projekt techniczny zakładał ich rozmieszczenie w trzech rzędach. Przy takim układzie paneli woda przepływała-



by przez struktury trzykrotnie, a obecnie przepływa jeden raz, co w sposób oczywisty może wpływać na efektywność oddziaływania struktur BIO-HYDRO.

Zastanawiające jest także, że okresowo stężenia biogenów w wodzie za barierą są wyższe niż w stanowisku położonym przed nią. Może to wskazywać na to, że Potok Woszczelski nie jest jedynym źródłem dopływu zanieczyszczeń. Sugerowały to także wyniki badań wykonanych w latach 1999–2001 (Ej-smond-Karabin i in. 2001).

Wyższe okresowo stężenia biogenów w wodzie na stanowisku za barierą BIO-HYDRO mogą także wskazywać na to, że sama bariera staje się okresowo źródłem uwalniania nutrietów wskutek silnego rozwoju organizmów na jej powierzchni i w jej rejonie. Struktura porośnięta glonami tworzyć może dogodne warunki dla rozwoju peryfitonu zwierzęcego i innych grup bezkręgowców. Zdają się to potwierdzać dane o stężeniu fosforu i azotu w rejonie struktury. Wiosną, kiedy bariera nie jest jeszcze silnie zajęta przez peryfiton, oddziałuje redukująco na ilości biogenów zgromadzonych w wodzie. Latem i jesienią struktura przestaje oczyszczać wodę – koncentracje biogenów za strukturą są nawet wyższe niż przed nią. Być może dzieje się tak dlatego, że nagromadzenie organizmów w rejonie bariery jest wówczas bardzo silne, a w efekcie ich bytowania, w tym ekskrecji, obumierania i rozkładu, do wody uwalniane są nutrienty w ilości kompensującej sorbujące oddziaływanie struktury. Projekt techniczny rekultywacji podkreśla, że struktury nie powinny być czyszczone, ponieważ silny rozwój organizmów jest korzystny dla ich działania. Jednakże w obecnej sytuacji, gdy

ich efektywność jest raczej niska, wydaje się, że oczyszczanie paneli mogłoby usprawnić działanie bariery.

Precyzyjne wyjaśnienie przyczyn okresowej niskiej efektywności działania struktur BIO-HYDRO wymaga przeprowadzenia dalszych szczegółowych badań. Ponieważ bariera stanowi główny element ochrony jeziora przed dopływem biogenów, a wyeliminowanie dopływu nutrietów z zewnętrznych źródeł jest warunkiem podstawowym dla prowadzenia w ekosystemie jeziornym zabiegów rekultywacyjnych, więc konieczne jest dokładne monitorowanie oddziaływania struktur BIO-HYDRO na jakość wody oraz ewentualne ich usprawnienie.

## Literatura

- EJSMONT-KARABIN J., KALINOWSKA K., KARABIN A., KORNIATOWSKA R., KUFEL I. 2001: Ocena skutków ekologicznych rekultywacji płosa północnego Jeziora Elckiego metodą ograniczenia dopływów fosforu z głębinowych osadów dennych i z jeziora Sunowo. Wyniki badań prowadzonych w latach 1999–2001. Stacja Hydrobiologiczna Instytutu Ekologii PAN w Mikołajkach.
- KAJAK Z. 1979: Eutrofizacja jezior. PWN, Warszawa.
- KUDELSKAD., CYDZIK D., SOSZKA H. 1992: Wytyczne monitoringu podstawowego jezior. Biblioteka Monitoringu Środowiska. PIOŚ, Warszawa.
- LOSSOW K., GAWROŃSKA H. 1992: Koncepcja rekultywacji Jeziora Elckiego. Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie, Olsztyn.
- Projekt techniczny rekultywacji Jeziora Elckiego Północnego, 1998: EKO-TECH S.C., Warszawa.
- Raport o stanie środowiska województwa warmińsko-mazurskiego w roku 2002, 2003. Red. S. Różański. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Olsztynie, Olsztyn.

## Summary

**Performance evaluation of the BIO-HYDRO structures in recultivation of the Elckie Lake.** The paper presents the evaluation of effectiveness the water pollutants removal process by using the BIO-HYDRO structures, which play a role of biofilter for pollutants inflows to the Elckie Lake with waters of the Woszczelski Stream. The water quality investigation were carried out in spring, summer and autumn of 2006 in two test stands localized in front of the BIO-HYDRO structures and behind them. Based on changes the pollutant concentrations in test

stands it was found that generally structures works poorly. Only during spring time the BIO-HYDRO structures worked effective in case of phosphorus – it was found that the total phosphorus concentration in water behind the structures was reduced in over 60%.

### Author's address:

Agnieszka Bańkowska  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: agnieszka\_bankowska@sggw.pl