

Wizja rekultywacji jeziora Jelonek w Gnieźnie

W Gnieźnie realizowany jest pionierski program, który ma przyczynić się do poprawy jakości wody w jeziorze Jelonek. Na czym one polegają i jaka jest ich efektywność?



Jezioro Jelonek położone jest w Gnieźnie na terenie Parku Piastowskiego. Przez jezioro przepływa Struga Gnieźnieńska – dopływ Wełny. Jezioro Jelonek (potocznie zwane przez mieszkańców Wenecją) zajmuje powierzchnię ok. 15 ha. Jego objętość to 170 000 m³, a maksymalna głębokość 2,4 m.

Wymogi prawne oceny stanu jezior

Zgodnie z Ustawą z 20 lipca 2017 r. Prawo wodne, ocena stanu wód powierzchniowych obejmuje klasyfikację stanu ekologicznego, a w przypadku wód silnie zmienionych – potencjału ekologicznego, dokonywaną zgodnie z przepisami wykonawczymi, zawartymi w rozporządzeniu Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (DzU z 2019 r. poz. 2149)¹. Za decydujące o klasyfikacji uznano wskaźniki biologiczne, do których należą indeks fitoplanktonowy, indeks okrzemkowy, makrofityowy indeks stanu ekologicznego, indeks LMI określany na podstawie makrozoobentosu oraz jeziorowy indeks rybny. Elementy

oceny związane ze wskaźnikami fizyczno-chemicznymi i hydromorfologicznymi uznano za wspierające ocenę dokonywaną w oparciu o wskaźniki biologiczne. O ocenie stanu ekologicznego jeziora decyduje najgorsza wartość spośród indeksów biologicznych. Wskaźniki fizyczno-chemiczne niemieszczące się w stanie dobrym mogą obniżyć stan ekologiczny jeziora do stanu umiarkowanego. Aktualne wartości graniczne dla dobrego stanu ekologicznego przedstawiono w tab. 1.

Badania fizykochemiczne wody

W Instytucie Inżynierii i Ochrony Środowiska Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Hipolita Cegielskiego w Gnieźnie podjęto działania związane z określeniem fizykochemicznych parametrów wody z jeziora Jelonek. Próbkę wody pobrano 19 listopada 2019 r. W laboratorium uczelni wykonano pomiary, wykorzystując poniższą aparaturę: pH-metr HANNA typ HI221 z elektrodą szklaną; konduktometr CC-501

Tab. 1. Wartości graniczne dla dobrego stanu ekologicznego jezior (zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej)

Wskaźnik	Wartość graniczna	
	do końca 2021 r.	od 1 stycznia 2022 r.
Indeks fitoplanktonowy dla polskich jezior (PMPL)	≤ 2	≤ 2
Indeks okrzemkowy dla jezior (IOJ)	≥ 0,59	≥ 0,59
Makrofityowy indeks stanu ekologicznego (ESMI)	≥ 0,41	≥ 0,41
Indeks LMI (makrobezkręgowce bentosowe)	≥ 0,588	≥ 0,588
Jeziorowy indeks rybny LFI+	≥ 0,595	≥ 0,595
Jeziorowy indeks rybny LFI-EN	≥ 0,557	≥ 0,557
Przewodność w 20°C (μS/cm)	≤ 800	≤ 600
Przezroczystość – widzialność krążka Secchiego (m)	≥ 1	≥ 1
Tlen rozpuszczony (mg O ₂ /l)	≥ 4	-
Azot ogólny (mg N/l)	≤ 2	≤ 1,5
Fosfor ogólny (mg P/l)	≤ 0,12	≤ 0,06

z czujnikiem konduktometrycznym (Elmetron); spektrofotometr LF300 walizkowy (SLANDI), tlenomierz MI-605 (Milwaukee). Oznaczono takie parametry jak pH, przewodnictwo właściwe, tlen rozpuszczony, procent nasycenia wody tlenem, azot amonowy, azotyny i azotanowy; siarczany; fosforany, żelazo dwuwartościowe, jony manganu, a także twardość wody. Uzyskane wyniki zebrano w tab. 2.

Nie badano wskaźników biologicznych, więc ocena stanu ekologicznego na podstawie uzyskanych wyników nie jest pełna. Spośród badanych wskaźników fizyczno-chemicznych tylko tlen rozpuszczony, przewodnictwo oraz częściowo zawartość azotu i fosforu można odnieść do aktualnie obowiązujących wartości granicznych dla dobrego stanu ekologicznego. Dwa pierwsze wskaźniki mieszczą się w tych wartościach granicznych, choć przewodnictwo należy uznać za podwyższone, gdyż jego wartość jest wyższa niż 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, przewidziane dla stanu dobrego od 2022 r. Stężenie azotu prawdopodobnie mieści się w normie dla stanu dobrego, gdyż suma oznaczonych form mineralnych wynosi 0,375 mg N/l. Ponieważ stężenie azotu organicznego rzadko przekracza wartość azotu mineralnego, należy przypuszczać, że i tym razem jest niższe od 1,625 mg N/l, wymagane do spełnienia warunku nieprzekroczenia wartości granicznej 2 mg N/l dla

azotu ogólnego. W dobrym stanie ekologicznym mieści się też stężenie fosforu, gdyż oznaczona wartość 0,22 mg PO_4/l to 0,072 mg P/l. Wartość ta nie będzie jednak spełniać wymagań dobrego stanu ekologicznego od 2022 r., gdyż przekracza 0,06 mg P/l.

Pozostałe badane wskaźniki jakości wody świadczą o lekko alkalicznym jej odczynie, stosunkowo niskiej twardości, zwiększonej mętności, umiarkowanej zawartości siarczanów oraz niskiej zawartości żelaza i manganu. Z powyższych wskaźników tylko mętność wykazuje podwyższone wartości, co w przypadku płytkich jezior jest często stwierdzane, a wynika z rozwoju fitoplanktonu oraz możliwej resuspensji osadów dennych pod wpływem wiatru.

Przy ocenie stanu jakości wody należy jednak brać pod uwagę warunki klimatyczne i meteorologiczne związane z porami roku. Powyższe badania były przeprowadzone jesienią, przy obniżonej temperaturze powietrza i wody. Procesy biochemiczne zachodzący więc znacznie wolniej niż w lecie, przy temperaturze wody przekraczającej 20°C. Dotyczy to zwłaszcza rozwoju fitoplanktonu, który przy podwyższonych stężeniach azotu i fosforu jest w lecie bardzo intensywny, tworząc zakwity wody. Wyprodukowana biomasa fitoplanktonu po obumarciu trafia do osadów dennych, gdzie ulega mineralizacji. Bakterie prowadzące ten proces zużywają tlen, powodując od-

tlenienie osadów i wody nadosadowej, a także wydzielanie mineralnych form azotu i fosforu, umożliwiając dalszy rozwój fitoplanktonu. Problemem jest szczególnie rozwój sinic planktonowych, wydzielających do wody cyjanotoksyny, które w lecie pospolicie występują w jeziorze Jelonek. Toksyny te są niebezpieczne dla ludzi w czasie nie tylko zażywania kąpeli, ale również spożywania ryb złowionych w jeziorze, bowiem kumulują się w ich ciele. W czasie wietrznej pogody zagrożeniem dla zdrowia może być nawet przebywanie nad jeziorem, bowiem w powietrzu obecne są aerozole zawierające toksyny sinicowe. Z tego względu wskazane jest podjęcie działań rekultywacyjnych, mających na celu obniżenie zawartości związków biogenych w wodzie, szczególnie fosforu, co ograniczy rozwój fitoplanktonu, zwłaszcza sinic.

Ważniejsze metody rekultywacji

Inżynieryjnymi metodami rekultywacji jezior są m.in.:

► Usuwanie osadów dennych – polega na pogłębieniu misy jeziora, ograniczeniu nadmiernego rozwoju makrofitów oraz radykalnym ograniczeniu „zasilania wewnętrznego”. Naukowcy zwracają uwagę, że przed przystąpieniem do zabiegu pogłębienia należy określić przestrzenną miąższość osadów, zawartość fosforu na różnych głębokościach pobranych rdzeni osadowych oraz zawartość metali śladowych i trwałych zanieczyszczeń organicznych – wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i polichlorowanych bifenyli (PCB). Zaleca się usunięcie górnej (10-50 cm) warstwy osadów, bo największe zagrożenie stanowią osady współczesne, w których znajduje się 90% fosforu występującego w całym ekosystemie jeziora.

► Inaktywacja fosforu w osadach dennych – ma na celu ograniczenie intensywności uwalniania fosforu z osadów dennych („zasilania wewnętrznego”) poprzez bezpośrednie dodawanie do osadów związków chemicznych, obróbkę mechaniczną, napowietrzanie i koagulację. Dodanie do powierzchniowej warstwy osadów roztworu azota-

Tab. 2. Wybrane parametry fizykochemiczne analizy wody z jeziora Jelonek z 19 listopada 2019 r.

Oznaczany wskaźnik	Średnia wartość oznaczanego wskaźnika
Temperatura powietrza [°C]	8
Temperatura wody [°C]	8,6
Odczyn [pH]	8
Tlen rozpuszczony [mg O_2/l]	7,88
Procent nasycenia tlenem [%]	90,5 $\pm$ 0,58
Przewodnictwo [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	654,2 $\pm$ 8,07
Mętność [NTU]	26,9 $\pm$ 0
Twardość wody [°N]	5,28 $\pm$ 0,59
Mangan [mg Mn/l]	0,021 $\pm$ 0,016
Żelazo dwuwartościowe [mg Fe/l]	0,055 $\pm$ 0,008
Fosforany ogólne [mg PO_4/l]	0,22 $\pm$ 0,03
Siarczany [mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$]	52,7 $\pm$ 8,01
Azot amonowy [mg N/l]	0,279 $\pm$ 0,09
Azot azotynowy [mg N/l]	0,016 $\pm$ 0,005
Azot azotanowy [mg N/l]	0,08 $\pm$ 0,06
Azot azotanowy [mg N/l]	0,08 $\pm$ 0,06

nu wapnia $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stymuluje proces denitryfikacji. Zwiększenie pojemności sorpcyjnej osadów względem fosforu uzyskuje się poprzez dozowanie FeCl_3 . Natomiast stosowanie wodorotlenku wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pozwala na utrzymanie w warstwie przydennej optymalnego pH – ok. 7-7,5.

► Izolowanie osadów dennych (przykrywanie) – polega na oddzieleniu osadów dennych od wody nadosadowej poprzez pokrycie ich powierzchni warstwą izolującą. W tym celu stosuje się bariery mechaniczne lub aktywne chemicznie, w oparciu o różnego rodzaju koagulanty. Barierą mechaniczną mogą być materiały naturalne takie jak piasek, żwir czy glina bądź materiały syntetyczne.

► Inaktywacja fosforu w toni wodnej – polega na strąceniu biodostępnego fosforu z toni wodnej i jego unieruchomieniu w osadach dennych za pomocą koagulantu, np.:

a) związków glinu: siarczanu glinu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, chlorku glinu AlCl_3 , chlorku dihydroksoglinu $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}$, chlorku-siarczanu (VI) glinu AlSO_4Cl i polichlorku glinu.

Przy $\text{pH} < 6$ tworzą się nierozpuszczalne formy pośrednie $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ lub $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$; a przy $\text{pH} < 4$ dominuje rozpuszczalna, toksyczna forma Al^{3+} . Przy $\text{pH} > 8$ zwiększa się rozpuszczalność siarczanu glinu, tworzy się jon $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ i maleją właściwości sorpcyjne względem fosforu,

b) związków żelaza: chlorku żelaza (III) FeCl_3 , chlorku żelaza (II) FeCl_2 i siarczanu żelaza (III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Związki żelaza mają największą skuteczność przy pH w zakresie od 5 do 7,

c) związków wapnia: kwaśnego węglanu wapnia (II) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ oraz wodorotlenku wapnia (II) $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Aplikacja związków wapnia do wody zawierającej duże stężenia fosforu skutkuje powstaniem hydroksyapatytu $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ – minerału, w którym unieruchomiony zostaje fosfor. Ortofosforany wskutek reakcji z wapnem wytrącają się w postaci amorficznego fosforanu trójwapniowego lub krystalicznego hydroksyapatytu bądź fosforanu czterowapniowego, co jest uzależnione od pH, temperatury, nasłonecznienia, sumy zanieczyszczeń antropogenicznych:

Rekultywacja jeziora Jelonek w latach 1996-2017

Przytoczmy kilka faktów związanych z rekultywacją jeziora Jelonek:

► **Lata 1996-2002** – napowietrzanie jeziora przy pomocy sprężonego powietrza. W roku 1996 wykopano też zbiornik sedymentacyjny o powierzchni ok. 1 ha na dopływie Strugi Gnieźnieńskiej, którego zadaniem było przechwytywanie zanieczyszczeń dopływających do jeziora. Dzięki napowietrzaniu poprawiono natlenienie wód jeziornych oraz zlikwidowano sinicowe zakwity wody. Stężenia związków biogenych nadal pozostały wysokie.

► **Lata 2009-2010** – projekt miasta Gniezna nr LIFE07 ENV/PL/000605 pt. „Rekultywacja Jeziora Jelonek i Winiary w Gnieźnie metodą inaktywacji fosforu w osadach dennych”, finansowany przez UE w ramach Instrumentu Finansowego LIFE+. W projekcie zastosowano metodę blokowania fosforu bezpośrednio w osadach dennych, przy użyciu koagulantów, co spowodowało zmniejszenie fosforu w toni wodnej, a więc osłabienie rozwoju sinic i glonów fitoplanktonowych. Zastosowano moduł nawodny i podwodny służący do dozowania substancji chemicznych do osadów dennych. Ponadto wprowadzono ryby drapieżne, w jeziorze nasadzono ramienie, rośliny wynurzone i zanurzone. Wprowadzono także w wytyczonych obszarach jeziora baloty słomy jęczmiennej, której rozkład uwalnia substancje zwane algiastatami, hamując rozwój glonów i sinic. Wprowadzono także wykaszanie nadmiaru roślinności tworzącej trzcinowiska.

► **2015 r.** – przeprowadzono analizę obecnego stanu oraz możliwości ochrony i rekultywacji jeziora Jelonek. Wykonano trzy zabiegi mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu preparatem PIX oraz dokonano zarybienia narybkiem jesiennym szczupaka.

► **2016 r.** – przeprowadzono zarybienie narybkiem wiosennym szczupaka. Realizowano projekt wykorzystujący naturalne technologie biologiczne od lutego do grudnia. Wprowadzono system sedymentacyjno-biofiltracyjny na dopływie do jeziora.

► **2017 r.** – montaż aeratora z napędem elektrycznym, monitoring badawczy obejmujący analizy parametrów wody i wskaźników osadów dennych. Wiosną zbudowano infrastrukturę na terenie między ul. Dalkoską a jeziorem Jelonek. Na tym obszarze Struga Gnieźnieńska przepływała obok stawu wykopanego w 1996 r. Koryto rzeki skierowano do stawu, na którym zainstalowano filtry i czynne podłoża (tzw. system sedymentacyjno-biofiltracyjny). Druga sekcja naturalnych filtrów znalazła się w korycie strugi między mostkiem a jeziorem. Jednocześnie badano wodę na dopływie i odpływie. Zaobserwowano redukcję zanieczyszczeń – w okresie od lipca do listopada np. azot azotanowy spadł o 73%, a fosforany o 52%. Nastąpiła także redukcja zanieczyszczeń biologicznych w lipcu i sierpniu – występowanie bakterii z grupy *Coli* i *Escherichia coli* spadło kolejno o 46% i 43%.

$3 \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2 \text{PO}_4^{3-} \rightarrow 6 \text{OH}^- + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
amorficzny fosforan trójwapniowy,

**$10 \text{Ca}(\text{OH})_2 + 6 \text{PO}_4^{3-} \rightarrow$
 $18 \text{OH}^- + \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2 \downarrow$**
krystaliczny hydroksyapatyt

**$4 \text{Ca}(\text{OH})_2 + 3 \text{PO}_4^{3-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
 $9 \text{OH}^- + \text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \downarrow$**
fosforan czterowapniowy
(rzadko w tej postaci),

d) Phoslock® – substancji składającej się z gliny bentonitowej modyfikowanej lantanem. Na skutek wiązania fosforu przez lantan powstaje rabdofan-La zaadsorbowany na powierzchni ben-

tonitu. Rabdofan-La charakteryzuje się niską rozpuszczalnością i większą stabilnością wobec zmian pH aniżeli sole żelaza i glinu.

► Sztuczne napowietrzanie – poprawa warunków tlenowych w warstwach nad dennych, a tym samym podwyższenie potencjału oksydoredukcyjnego i zmiana kierunku przepływu pierwiastków z toni wodnej do osadów, ograniczenie „zasilań wewnętrznych”, a w konsekwencji poprawa warunków środowiskowych w całym jeziorze.

► Napowietrzanie z zachowaniem uwarstwienia termicznego – polega na zwiększeniu zawartości tlenu w hypolimnionie bez burzenia układów termicznych

A. Melchior



i znacznego wzrostu temperatury nad dnem. Można to uzyskać przy pomocy specjalnych urządzeń, takich jak ekoflox czy aerator pulweryzacyjny, lub przez mechaniczne wypompowanie wody hypolimnionu do basenów rozpryskowych znajdujących się na brzegu jeziora. Po natlenieniu i nieznacznym wzroście temperatury woda powraca grawitacyjnie do warstw naddennych jeziora.

► Usuwanie wód hypolimnionu – polega na zagrozdzeniu odpływu powierzchniowego jazem i ułożeniu na dnie zbiornika rurociągu, którego wlot znajduje

chłodniejsza niż woda powyżej (przez cały rok poniżej 10°C) i niemieszająca się z warstwą powierzchniową.

Która metoda najefektywniejsza?

Chmista i Hämmerling² dokonali przeglądu metod rekultywacji zbiorników wodnych. Aby określić, jaka metoda byłaby najlepsza, zastosowali metodę analitycznego procesu hierarchicznego (model AHP). Jest to narzędzie wykorzystywane przy podejmowaniu złożonej decyzji, gdy

pod uwagę ogólną ocenę, za najlepszą z metod rekultywacji uznano inaktywację fosforu (37%), drugą było bagrowanie (20%), trzecią natomiast biomanipulacja i biostruktury (15%). Inaktywacja fosforu okazała się najskuteczniejszą metodą rekultywacji jezior, niezależnie od typu miktycznego zbiornika, jeżeli źródłem zanieczyszczeń są biogeny, przy stosunkowo niewielkich kosztach.

Gołdyn i in.³ oraz Podsiadłowski i Gołdyn⁴ zwracają uwagę, że zarówno z przyrodniczego, jak i z ekonomicznego punktu widzenia najkorzystniejsze jest zastosowanie metod zrównoważonych, które nie ingerują głęboko w ekosystem jeziorny, lecz stymulują naturalne procesy zachodzące w jeziorze, prowadzące do poprawy jakości wody. Wskazane jest przy tym równoczesne zastosowanie kilku metod, które działając synergicznie, uniemożliwiają powstanie mechanizmów sprzężenia zwrotnego, niweczących efekty rekultywacji. Wśród metod zrównoważonej rekultywacji wymieniają oni inaktywację fosforu przy pomocy niewielkich dawek związków żelaza i/lub magnezu, stopniowe natlenianie wód naddennych przy wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii (wiatr, słońce), dostarczanie azotanów na dno jeziora czy sterowanie mechanizmami troficznymi w ekosystemie (biomanipulacja). Metody te działają wolniej od tradycyjnych, lecz dają większą szansę na uzyskanie pozytywnych efektów, gdyż umożli-

Rekultywacja jeziora powinna być poprzedzona zabiegami ochronnymi, usuwającymi zewnętrzne źródła zanieczyszczeń, odpowiedzialne za degradację ekosystemu. W przypadku jeziora Jelonek zrobiono już pierwszy krok, montując na dopływie specjalną strefę sedymentacyjno-biofiltracyjną, która zatrzymuje około połowy dopływających ze zlewni związków biogenych.

się w najgłębszej części jeziora, a wylot na odpływie. Różnica poziomów wody pomiędzy górną krawędzią rurociągu a powierzchnią podpiętrzonego jeziora sprawia, że rurociąg umożliwia samoistny wypływ wody naddennej. Hypolimnion to dolna warstwa wody w głębokim jeziorze stratyfikowanym termicznie,

mamy określoną liczbę kryteriów i parametrów. Opracowując model AHP, wzięli pod uwagę skuteczność zabiegów z uwagi na powód degradacji, indywidualny typ zbiornika, niezbędny czas potrzebny do przeprowadzenia procesu, koszty prac oraz źródła zanieczyszczeń wpływających na jakość wody w zbiorniku. Biorąc

wiają wprowadzanie bieżących korekt przy zauważeniu niekorzystnych zmian w ekosystemie. Są też znacznie tańsze od typowych metod technicznych, gdyż wykorzystują naturalne mechanizmy odpowiedzialne za poprawę jakości wody.

Wizja rekultywacji

Rekultywacja jeziora powinna być poprzedzona zabiegami ochronnymi, usuwającymi zewnętrzne źródła zanieczyszczeń, odpowiedzialne za degradację ekosystemu. W przypadku jeziora Jelonek zrobiono już pierwszy krok, montując na dopływie specjalną strefę sedymentacyjno-biofiltracyjną, która zatrzymuje około połowy dopływających ze zlewni związków biogenych i większość zawieszin. Jańczak⁵ zwraca jednak uwagę, że tego typu osadniki muszą być regularnie czyszczone (odmulane), najlepiej co trzy lata, w przeciwnym przypadku stają się dodatkowym źródłem zanieczyszczeń. Ponieważ mijają właśnie trzy lata od zamontowania systemu sedymentacyjno-biofiltracyjnego, niezbędne jest sprawdzenie jego aktualnej efektywności i jeśli okaże się to niezbędne, podjęcie odpowiednich środków zaradczych. Drugim bardzo istotnym źródłem degradacji jeziora jest okresowy przelew awaryjny na ogólnospławnej kanalizacji sanitarnej. W czasie ulewnych deszczy mieszanika surowych ścieków komunalnych i deszczowych odprowadzana jest do jeziora, powodując bardzo poważne zmiany w ekosystemie, z masowym śnięciem ryb włącznie. Konieczna jest więc przebudowa kanalizacji sanitarnej, uniemożliwiająca działanie przelewu burzowego. Ponieważ jest to proces kosztowny i długotrwały, można wprowadzić rozwiązanie zastępcze, polegające na zamontowaniu odpowiednio dużego zbiornika podziemnego na obrzeżu jeziora lub podwodnego w litoralu jeziora, który gromadziłby ścieki z przelewu burzowego. Zgromadzone ścieki w ciągu kilku następnych dni byłoby przepompowane do kanalizacji, trafiając na oczyszczalnię ścieków.

W przypadku umieszczenia zbiornika w litoralu jeziora można na nim zamontować podest z ławkami, stanowiący doskonałą platformę widokową na

jezioro. Rozwiązania tego typu są znane w świecie, np. w Berlinie na Sprewie.

Rekultywacja jeziora Jelonek powinna się skupić na likwidacji sinicowych zakwitów wody, gdyż stanowią one zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt. Ponieważ za powstawanie tych zakwitów odpowiedzialne są zbyt wysokie stężenia związków biogenych w toni wodnej, rekultywacja powinna doprowadzić do ich obniżenia, a następnie do ciągłego utrzymywania na odpowiednio niskim poziomie. Pierwszy krok w tym kierunku został już zrobiony – na jeziorze zamontowano fontannę, która natlenioną wodę odprowadza na dno, podnosząc potencjał redoks w osadach dennych. Sprzyja to retencjonowaniu fosforu w osadach dennych, zmniejszając zasilanie wewnętrzne toni wodnej, czyli uwalnianie fosforu z dna. Wskazane byłoby wyposażenie jej w panele fotowoltaiczne, by była bardziej przyjazna dla środowiska. Niezbędne byłoby również zamontowanie podobnej (lub większej) fontanny na środku jeziora, by swym zasięgiem objęła większą powierzchnię dna.

Drugą metodą rekultywacji, stosunkowo tanią i bardzo efektywną, jest strącanie biogenów z toni wodnej do osadów dennych przy użyciu małych dawek (ok. 10 kg/ha) chlorku magnezu. Powstający w wyniku tego zabiegu nierozpuszczalny fosforan amonowo-magnezowy, zwany struwitem, sedymentuje do osadów dennych. Ponieważ zarówno ze zlewni Strugą Gnieźnieńską, jak i z osadów dennych dopływa ciągle nowy ładunek azotu i fosforu, konieczne jest ponawianie tego zabiegu kilkakrotnie w ciągu roku. Jest to typowy zabieg rekultywacji zrównoważonej, gdyż w jego wyniku następuje zwiększenie stężenia magnezu w toni wodnej jeziora, niezbędnego do związania nadmiaru związków fosforu i azotu. Nie ma też negatywnego wpływu na faunę jeziora, gdyż magnez jest ważnym mikroelementem, pozytywnie wpływającym na organizmy.

Trzecią metodą, która powinna zostać zastosowana równolegle w rekultywacji jeziora Jelonek, jest biomanipulacja. Polega ona na zarybianiu jeziora narybkami ryb drapieżnych. W przypadku Jelonek ze względu na jego małą powierzchnię powinien to być szczupak. Należy wprowadzić do jeziora

ok. 1000 sztuk narybku letniego na 1 ha jeziora (o długości 10-12 cm), zapewniającego kontrolę namnażania się ryb karpiowatych. Dzięki temu w jeziorze może rozwijać się duży zooplankton skorupiakowy, który efektywnie odfiltruje fitoplankton. Zwiększająca się przezroczystość wody sprzyja rozwojowi roślinności zanurzonej, która stabilizuje ekosystem. Gdyby pomimo poprawy przezroczystości wody roślinność zanurzona nie pojawiła się w jeziorze, konieczne będzie jej wprowadzenie, przenosząc nasiona, sadzonki lub turiony z innych jezior.

dr Agnieszka Matłoka,
mgr inż. Karol Ciesielski,
prof. dr hab. Ryszard Gołdyn,
Sandra Strzełńska, Klaudia Wekwerth,
Agata Kozłowska,
prof. dr hab. Jerzy Siepak

Źródła

1. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z 11 października 2019 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (DzU z 2019 r. poz. 2149).
2. Chmst J., Hämmerling M.: Wybór najsukcesyjniejszej metody rekultywacji zbiorników wodnych z wykorzystaniem metody AHP, „Acta Sci. Pol. Formatio Circumietus” 15(2)/2016, s. 27-39, www.formatiocircumietus.actapol.net/pl.
3. Gołdyn R., Podsiadłowski S., Dondajewska R., Kozak A.: *The sustainable restoration of lakes – towards challenges of the water framework directive*, „Ecohydrology & Hydrobiology” 14(1)/2014, s. 68-74.
4. Podsiadłowski S., Gołdyn R.: *Rekultywacja jezior* [w:] Budzyńska A., Dondajewska-Pielka R., Rosińska J., Kozak A., Kowalczyńska-Madura K. (red.): *Ekosystemy wodne: funkcjonowanie, znaczenie, ochrona i rekultywacja*. Bogucki Wyd. Nauk. Poznań 2019, s. 63-70.
5. Jańczak J.: *Rezultaty stosowania ograniczonej rekultywacji jeziora Jelonek w Gnieźnie* [w:] Wiśniewski R., Jankowski J. (red.): *Ochrona i rekultywacja jezior*. Grudziądz 2004, s. 55-63.