

Niekorzystne zmiany zachodzące w śródlądowych zbiornikach wodnych spowodowane działalnością człowieka

Jerzy Antychowicz, Roman Kujawa¹

z Katedry Rybactwa Jeziorowego i Rzecznego Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

Weterynaryjny nadzór nad obiektami hodowli ryb wymaga wiedzy nie tylko z zakresu chorób ryb, ale również opowania wiadomości dotyczących ekologii środowiska wodnego oraz zmian cywilizacyjnych zachodzących w rzekach i jeziorach. Lekarz weterynarii dbający o zdrowie zwierząt lądowych i ryb oraz posiadający wiedzę z zakresu fizykochemicznych i biologicznych zmian zachodzących w rzekach, stawach i jeziorach swojego regionu, wraz z hodowcami ryb działającymi na jego terenie może wiele uczynić dla zatrzymania degradacji rzek i jezior.

Ochrona środowisk wodnych ma szerokie uzasadnienie. W pierwszym rzędzie wiąże się z zapobieganiem pogarszania się jakości wody pitnej i przemysłowej, jak również z ochroną szeregu roślin i zwierząt wodnych zagrożonych wyginięciem. Zdrowie ludzi i zwierząt gospodarskich zależy w dużym stopniu od dostępu do wody pitnej o odpowiedniej jakości – bogatej w różnorodne składniki mineralne, a szczególnie te, które określa się jako mikroelementy. Woda powierzchniowa (w rzekach i jeziorach), zanim zostanie dopuszczona do picia, poddana jest różnym procesom oczyszczania. W zależności od pochodzenia wody i jej stopnia zanieczyszczenia stosuje się odpowiednio dobrane metody spośród takich, jak: koagulacja, sedimentacja, filtrowanie przez warstwy piasku i dezynfekcja. Woda gruntowa jest zwykle jedynie dezynfekowana. Do dezynfekcji używa się substancji, takich jak chlor, ozon, dwutlenek chloru i chlorki. Uzdatnianie wody polega również na: uregulowaniu jej pH, zmiękczeniu, dodaniu substancji antykorozyjnych, regulacji jej alkaliczności, filtracji, absorpcji aktywnym węglem oraz fluoryzacji. W trakcie procesu oczyszczania wody pochodzącej ze zbiorników śródlądowych (rzek, jezior) eliminacji ulegają nie tylko substancje trujące i zanieczyszczające wodę, ale również niektóre niezbędne do zachowania zdrowia ludzi i zwierząt. Szczególnie drastycznej demineralizacji ulegają wody poddane procesowi zmiękczenia i filtracji membranowej. Według WHO (1) niektóre jony powinny jako mikroelementy występować w pitnej wodzie, ponieważ są niezbędne dla zdrowia

człowieka. Należą do nich między innymi: PO_4^{3-} , MoO_4^{2-} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} i Mn^{2+} . Całkowita koncentracja substancji mineralnych rozpuszczonych w dobrej wodzie pitnej powinna wynosić kilkaset mg/l. Zbyt niska jakość wody ogranicza jej zastosowanie w przemyśle, co niewątpliwie wpływa na ekonomię wielu krajów europejskich. Z powodu wysokiego stopnia zanieczyszczenia niektóre zbiorniki wodne nie nadają się do celów rybackich, rekreacyjnych i wędkarskich.

Zasoby wód śródlądowych: wody powierzchniowe i głębinowe

Zasoby wodne w Polsce są niskie i wynoszą około 36% średniej europejskiej zużycia wody przez jednego mieszkańca rocznie (dane Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska). Gospodarkę wodną utrudniają znaczne roczne wahania poziomu wód powierzchniowych. Zbyt mała ilość starych zbiorników gromadzących wodę nie pozwala na niwelację wód powodziowych wiosną i nie zapobiega deficytom wody w lecie. Tradycyjnie gospodarowanie wodą dotyczy zwykle osobno wód powierzchniowych i wód gruntowych, tak jak gdyby były one oddzielone od siebie. W rzeczywistości wody powierzchniowe występujące w zbiornikach wodnych, takich jak: strumienie, rzeki, zbiorniki zaporowe, tereny podmokłe i delty rzek, mieszają się z wodami gruntowymi. W wielu sytuacjach z wód gruntowych do wód powierzchniowych przepływa część wody i rozpuszczonych w niej substancji mineralnych. Możliwe jest również, że woda powierzchniowa dostająca się do wody gruntowej zmienia jej jakość. Intensywny pobór wody z rzeki może uszczuplać zasoby wody gruntowej, a wypompowywanie wody gruntowej może doprowadzić do obniżenia się poziomu wody w różnych rodzajach zbiorników wody powierzchniowej.

Woda deszczowa opadająca przez warstwę atmosfery zbiera CO_2 , który się w niej rozpuszcza. Woda ta przesącza się następnie przez różne warstwy gruntu i w trakcie tego dodatkowo pobiera dwutlenek węgla ze słabego roztworu H_2CO_3 ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$). Przepływając przez

Human related negative changes on the inland water reservoirs

Antychowicz J., Kujawa R.¹, Department of Lake and River Fisheries, University of Warmia and Mazury in Olsztyn¹

The aim of this paper was to present basic information concerning inland waters environment and to assess recent changes that take place in rivers and lakes. The authors focus mainly on the explanation of water environment degradation. Here, the major causes and their impact upon aquatic flora and fauna were discussed. Also chances for the rivers and lakes restitution were analyzed. Degradation of inland water environment influences many aspects of human life as well as health and welfare of domestic animals and wild and farmed fishes. The review was based on the broad world reference data and information derived from the book „Larvicultura”.

Keywords: inland water environment, fish, Poland.

lokalnie różnorodne pokłady mineralne, wzbogaca się w różne rozpuszczalne substancje, a niekiedy zostaje zanieczyszczona substancjami toksycznymi. Po długotrwałym działaniu w ciągu wielu stuleci węglanowe podłoże uległo wypłukaniu, a w wyniku tego powstał podziemny system kanałów i zbiorników dla wody gruntowej. Gdy woda gruntowa miesza się z wodą powierzchniową, wówczas mogą w niej zachodzić zmiany ilościowe i jakościowe (2, 3). Skutki mieszania się wód powierzchniowych i gruntowych mogą mieć znaczny wpływ na całe wodne środowisko. Zmianie mogą ulegać między innymi następujące właściwości wody powierzchniowej: kwasowość, temperatura i koncentracja tlenu.

Czynniki wpływające na rozwój flory i fauny wodnej

W rejonach mieszania się wód powierzchniowych i gruntowych rozwija się zwykle bogata fauna. Wiele z żyjących tam zwierząt wodnych stanowi istotne ogniwo pokarmowe niezbędne do funkcjonowania różnych mikroekosystemów wodnych wraz z wchodzącymi w ich skład rybami (ryc. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). Z drugiej strony zmieniający się w ciągu pewnego okresu skład gatunkowy i ilość bezkręgowców wodnych mogą być wskaźnikami negatywnych fizykochemicznych zmian zachodzących w określonym zbiorniku wodnym.

Komponenty ściółki leśnej, opadające liście oraz materia organiczna spływająca z terenów przyległych do rzek i jezior oraz związki organiczne i mineralne wytwarzane stale w tych zbiornikach wodnych stanowią materiał nawozowy (biogeny) dla glonów i wyższych roślin naczyniowych



Ryc. 1. Skorupiaki wodne – *Daphnia* spp. (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 2. Larwy chruścików (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 3. Rak pręgowany (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 4. Okoi – ryba eurytypowa (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 5. Certa – ryba reofilna (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 6. Karaś pospolity – ryba limnofilna (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 7. Trzc nurogęs (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 8. Wodna roślinność naczyniowa (fot. Roman Kujawa)

(ryc. 8). Źródłem związków zawierających węgiel jest, między innymi, respiracja (oddychanie) i aktywność pokarmowa niektórych bezkręgowców wodnych i ryb. Materiał organiczny i mineralny unoszony przez nurt wody oraz przez wody powodziowe jest akumulowany głównie w środkowym i dolnym biegu rzek (4). Cząstki stałe osadzają się szczególnie obficie w rejonach zakoli odgrywających rolę naturalnych osadników. Rozwój roślinności rzecznej i jej skład gatunkowy uzależniony jest od zasobów substancji nawozowych oraz od grubości osadów dennych (możliwość ukorzenienia) i szybkości prądu wody. Roślinność jest zwykle najobfitsza w silnie meandrujących ciekach. W górnych odcinkach rzek, gdzie koncentracja substancji nawozowych jest niewielka, a przepływ wody szybki rośliny naczyniowe (makrofity) występują w ograniczonej ilości (5). Występujące w umiarkowanych ilościach morfologicznie zróżnicowane na łodygi, liście i korzenie rośliny wyższe całkowicie zanurzone w wodzie (zwane niekiedy roślinnością miękką) korzystnie wpływają na środowisko wodne. Zaopatrują one środowisko wodne w tlen i stwarzają warunki dla rozwoju organizmów stanowiących pokarm ryb, jak również stwarzają możliwość ukrycia się ryb spokojnego żeru, szczególnie wylęgu różnych gatunków ryb przed drapieżnikami.

Niezróżnicowane morfologicznie niższe rośliny, często mikroskopijnej wielkości glony są bardzo istotnym składnikiem flory wodnej, stanowiąc podstawę łańcucha pokarmowego, na szczycie którego występują ryby drapieżne, ewentualnie ptaki wodne. Niektóre gatunki glonów stale przyczyniają do różnych obiektów zanurzonych w wodzie lub pokrywają osady dennie (ma to miejsce głównie w górnych odcinkach rzek) i noszą nazwę glonów naroślowych, inne unoszą się w toni wodnej i wówczas określa się je jako fitoplankton.

Temperatura oraz skład chemiczny wody (zasoby związków mineralnych i organicznych) i zmieniająca się sezonowo koncentracja glonów (naroślowych i planktonowych) oraz szybkość przepływu wody determinują ilość i koncentrację bezkręgowców wodnych. Przeprowadzana regularnie analiza ilości i składu gatunkowego bezkręgowców wodnych stanowi jeden z elementów współczesnych systemów monitorowania stanu ekologicznego i zanieczyszczenia rzek (6). Skład gatunkowy ichtiofauny i obfitość ryb mogą być również wskaźnikami stanu czystości i żyzności rzek i jezior oraz panujących na terenie dorzecza warunków do rozrodu poszczególnych ich gatunków.

Radwan i wsp. (7) wymieniają między innymi, że w śródlądowych zbiornikach wodnych w Polsce żyją pierwotniaki należące do

750 gatunków i bezkręgowce należące do 3667 gatunków, w tym larwy owadów żyjące w wodzie, które zalicza się do 1631 gatunków. Kręgowce wodne reprezentowane są głównie przez ryby należące do 70 gatunków. Oprócz tego kręgowce, których bytowanie zależy od istnienia ekosystemów rzek i jezior reprezentują ptaki należące do 150 gatunków.

Pogarszanie się jakości wód powierzchniowych, gruntowych oraz niszczenie przez człowieka naturalnego charakteru zbiorników wodnych spowodowały, że kiedyś bogata flora i fauna rzek i jezior europejskich ulega ciągle zubażaniu. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska podaje, że w latach 2000–2008 ryby śłodkowodne należące do 29 gatunków zostały zaliczone do zagrożonych wyginieciem. 10 tys. śródlądowych bezkręgowców wodnych w skali całego globu wyginęło lub jest na skraju wyginiecia (8). Ciągły wzrost zapotrzebowania na wodę i związane z tym niszczenie mikrośrodków wodnych powodować będzie dalsze zmniejszanie się ilości gatunków bezkręgowców wodnych, a więc redukcję bioróżnorodności flory i fauny rzek i jezior.

Zwierzęta wód śródlądowych są obecnie bardziej zagrożone wymarciem niż zwierzęta lądowe. Wciąż stosunkowo mało o nich wiemy, a ich obserwacja jest trudniona (9). Często niedoceniana jest szczególnie rola, jaką w ekologii całego zbiornika odgrywają bezkręgowce zamieszkujące dennie osady zbiorników wodnych (10). Równocześnie zwierzęta dennie (bentosowe) jako pierwsze padają ofiarą wszelkich kataklizmów dotykających środowisko wodne, do których zaliczają się deficyty tlenowe, susze i gwałtowne powodzie. Duże bentosowe bezkręgowce zagrzebane głęboko w mule dennym przyspieszają krążenie substancji pokarmowo-nawozowych (biogenów) w zbiorniku wodnym i w ten sposób regulują przepływ energii

między poszczególnymi ogniwami łańcuchów pokarmowych. Małże, raki, rureczniki, larwy owadów wodnych i latających mieszają osady i natleniają w ten sposób ich głębsze warstwy i przez to przyspieszają rozkład substancji organicznych. Substancje te pochodzą między innymi z liści drzew i krzewów oraz spływów cząstek materii organicznej z przylegających do zbiorników wodnych gruntów. Od nich zależy właściwe krążenie azotu, fosforu, organicznego węgla i mikroelementów w zbiornikach wodnych. Niektóre bezkręgowce bentosowe wstępnie rozkładają rośliny i materię organiczną, przygotowując je do konsumpcji przez inne zwierzęta wodne. Wywierają one również wpływ na dynamikę wytwarzania przez bakterie gazów, takich jak CO_2 , CH_4 , H_2S i N_2 . Niektóre dennie bezkręgowce wodne stanowią pokarm dla ryb. Innymi słowy bezkręgowce wodne szczególnie bentosowe pełnią szereg bardzo ważnych funkcji niezbędnych do utrzymania prawidłowo funkcjonujących ekosystemów wodnych. Obecność endemicznych bezkręgowców stwierdza się również w głębinowych wodach gruntowych (10).

Czynniki wpływające na rozwój różnorodności ichtiofauny – mikrohabitaty

Okresowość rozrodu ryb należących do wielu gatunków pokrywa się zwykle z terminami wylewów. Na zalanych łąkach i strefach przejściowych ziemno-wodnych występuje obfitość pokarmu dla wylęgu i narybku wielu gatunków ryb. W klimacie strefy umiarkowanej optymalne warunki do rozrodu ryb tworzą się wówczas, gdy wylewy rzek następują przy podwyższonej na wiosnę temperaturze wody (11). Wiosenne rozlewiska stwarzają warunki do odbycia tarła, inkubacji ikry i wykluwania się wylęgu (ryc. 9).



Ryc. 9. Wiosenne rozlewiska rzeki Wissa (fot. Roman Kujawa)

Tereny rozlewisk zapewniają obfity rozwój fitoplanktonu, a na ich bazie rozwój bezkręgowców wodnych, takich jak drobne skorupiaki i larwy owadów latających, które stanowią pokarm młodych ryb. Oprócz tego wioślarki (*Cladocera*, ryc. 1) i inne drobne skorupiaki wodne żyjące w toni wodnej odfiltrują wodę podczas pobierania glonów i drobnych cząstek zawieszin organicznych i w ten sposób przyspieszają jej klarowanie.

Na obszarze doliny zalewowej tworzą się lokalnie różnorodne mikrośrodowiska wodne (mikrohabitaty), każde o swoistym składzie flory i fauny (12). Wiedza z zakresu ich struktury i funkcjonowania jest niezwykle istotna przy restytuowaniu (odbudowie) środowiska wodnego i przywracania go do pierwotnego stanu, a przez to do stworzenia dobrych warunków ekologicznych dla różnych roślin i zwierząt wodnych (4). Podstawowymi warunkami renaturyzacji rzek są: odbudowa i utrzymanie jej naturalnych mikrohabitatów zapewniających dobre warunki do życia pierwotniakom, bezkręgowcom wodnym i rydom oraz utrzymanie różnorodności flory i fauny. Określone mikrohabitaty są niezbędne dla odbycia tarła ryb określonych gatunków oraz są miejscami, gdzie chronią się i żerują młode ryby wkrótce po wykluciu się z ikry.

Ze względu na wymagania dotyczące substratu, na którym składane są jaja (ikra) podczas tarła, ryby dzielą się na reofilne, limnofilne i eurytypowe. Ryby reofilne, np. certa (ryc. 5), potrzebują piaszczystego lub żwirowo-kamienistego dna i płynącej wody; ryby limnofilne, np. karaś pospolity (ryc. 6), potrzebują wód stojących obfitych w rośliny. Najnowsze badania potwierdzają olbrzymią rolę wylewów rzek i obecności rozlewisk rzecznych na utrzymanie różnorodności gatunków ryb w sąsiadujących z rozlewiskami rzekach (13).

Młode ryby z rozlewisk wraz z cofającą się wodą dostają się do koryt rzek i do jezior, gdzie rosną i osiągają dojrzałość płciową. Rejony potencjalnych rozlewisk padają jako pierwsze ofiarą regulacji rzek. Oddzielanie łąk nadrzecznych i rękawów rzecznych od koryt rzek wałami przeciwpowodziowymi powoduje, że tarliska wielu gatunków ryb ulegają likwidacji. Proces ten przyczynia się do zmniejszenia różnorodności ichtiofauny.

Ocena jakości wód powierzchniowych

Zmiany zachodzące w ekosystemach wodnych jezior są równocześnie wskaźnikami informującymi o stanie rzek i całego dorzecza, jak również lokalnego środowiska lądowego (14). Wiele zbiorników wodnych (rzek, jezior i rozlewisk) w Polsce charakteryzuje wciąż jeszcze znaczna różnorodność morfologiczna, a wypełniająca je woda ma zróżnicowany skład chemiczny i różne, okresowo zmieniające się parametry fizyczne.

Oceniając jakość wód jeziornych, zwykle bada się sześć podstawowych parametrów: całkowita zawartość azotu i fosforu (świadczące o jej żyzności), nasycenie wody tlenem (świadczące o poziomie równowagi biologicznej panującej w danym zbiorniku wodnym), zawartość chlorofilu (wskazująca na intensywność rozwoju fitoplanktonu w wodzie), przewodnictwo elektrolityczne (określające koncentrację elektrolitów – kationów i anionów), przejrzystość wody (świadcząca między innymi o stopniu procesu eutrofizacji). Oprócz tego w krajach Unii Europejskiej dużą wagę przywiązuje się do oceny jakości ekosystemów wodnych na podstawie wskaźników biologicznych (15). W tym zakresie analizie podlegają określone grupy organizmów wodnych, takie jak fitoplankton oraz wyższe rośliny

jeziorowe. Przy określaniu tych ostatnich stosuje się indeks Makrofitowy Wskaźnik Stanu Ekologicznego (Ecological State Macrophyte Index – ESMI). Oprócz tego pod uwagę brane są również wyniki badań populacji bezkręgowców dennych i kręgowców wodnych – głównie ryb.

Według Sobolewskiego (14) jeziora najwyższej klasy charakteryzują następujące właściwości wody: wysoka przejrzystość, niska zawartość całkowitego fosforu, wysokie nasycenie tlenem w najgłębszej jej warstwie, niska koncentracja chlorofilu i niskie przewodnictwo elektrolityczne. W ocenie statusu jezior bierze się również pod uwagę częstotliwość występowania w ciągu roku w poszczególnych akwenach trujących cyjanobakterii. Ich zakwit wskazuje, że w jeziorze doszło do poważnego zaburzenia równowagi biologicznej. Zakwitom tych glonów towarzyszy zmiana zabarwienia wody na granatową i śnięcie ryb. Ważnym kryterium wskazującym na wysoką wartość biologiczną wody w jeziorze jest zrównoważony rozwój w nim roślin zanurzonych i fitoplanktonu. Rośliny zanurzone i fitoplankton wytwarzają tlen, który jest niezbędny do życia zwierząt wodnych, między innymi ryb, oraz do sprawnego przebiegu procesów samooczyszczania się zbiorników wodnych. Uważa się, że rośliny zanurzone nie dopuszczają do tak ekstremalnych wahań tlenu i dwutlenku węgla w wodzie, jakie mają miejsce przy intensywnych zakwitach fitoplanktonu (ryc. 10).

Kategorie zbiorników wodnych i kryteria oceny ich stanu ekologicznego

Najlepsze warunki ekologiczne stwierdza się zwykle w jeziorach o niewielkiej zlewni wodnej i dużej głębokości, w których występuje zjawisko stratyfikacji termicznej. Stratyfikacja termiczna polega na regularnym, w każdej z czterech pór roku, przemieszczaniu się mas wody i ustalaniu się jej sezonowego uwarstwienia wynikającego z różnego ciężaru właściwego wody w różnych temperaturach. Uwzględniając stopień destrukcji biologicznej występującej w poszczególnych jeziorach, próbuje się je uszeregować w pięciu grupach:

1. Status bardzo dobry – jeżeli w jeziorze zachował się dawny stan naturalny lub gdy uległ on jedynie minimalnym zmianom.
2. Status dobry – gdy zmiany, które zaszły w jeziorze w porównaniu do dawnego naturalnego stanu, są niewielkie.
3. Status umiarkowany – przy umiarkowanych zmianach zachodzących w środowisku jeziora.
4. Status słaby – przy znacznie zmieniających biologicznych, fizycznych i chemicznych, a nawet morfologicznych cechach jeziora; gdy występująca w nim



Ryc. 10. Jezioro Kopań z silnym zakwitom glonów (fot. Roman Kujawa)

flora i fauna różni się znacznie od naturalnej i w dużym stopniu jest nietypowa.

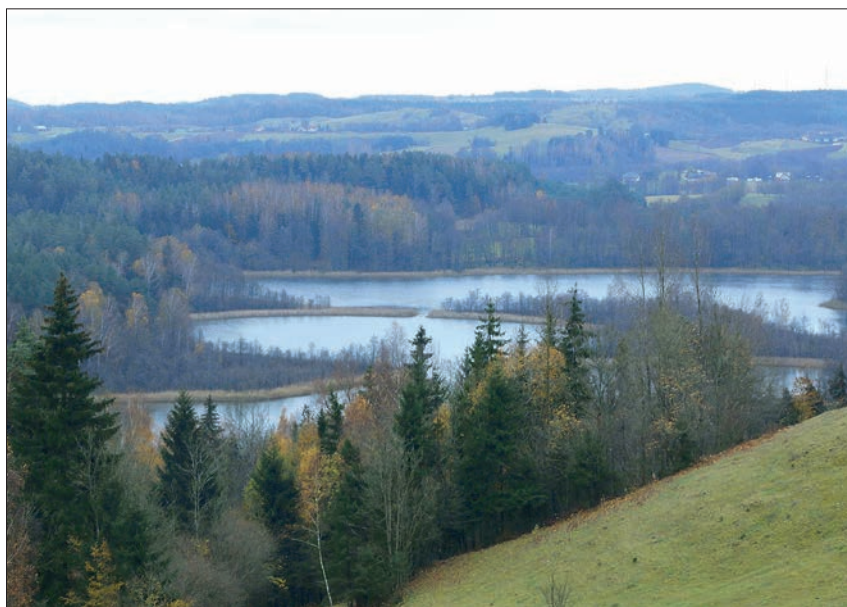
5. Status zły – gdy w jeziorze zaszły tak duże zmiany, że na znacznych przeszczeniach brak jest zupełnie przedstawicieli flory i fauny, które są typowe dla tego rodzaju zbiornika wodnego.

Badania Sobolewskiego (14) wykazały, że w Polsce w 50 jeziorach (14% wszystkich jezior), rozproszonych w różnych rejonach kraju, występuje bardzo dobry stan ekologiczny. Wszystkie te jeziora występują w silnie zalesionych rejonach Polski w sąsiedztwie dużych kompleksów leśnych, takich jak Tuchola, Augustów i Białowieża. Przykładem tego typu zbiornika wodnego jest jezioro Jaczno, którego brzegi porastają świerki i sosny (ryc. 11).

Okazało się, że więcej niż 60 jezior w Polsce charakteryzuje zły stan ekologiczny. Wśród tych jezior większość położona jest na obszarach rolniczych i zasilana jest wodą z dużych zlewni wodnych. W rejonach tego typu sieć rzek jest dostarczycielem znacznych ilości substancji nawozowych, które wywierają decydujący wpływ na kształtowanie się określonych ekosystemów tych jezior.

Wskaźnikami pogarszania się jakości wody są przede wszystkim negatywne zmiany jej fizykochemicznych i hydromorfologicznych właściwości. Status wód powierzchniowych określa się przez porównanie wyników monitoringu wskaźników fizykochemicznych wody z koncentracjami uznanymi jako progowe. W przypadku oceny czystości rzek istotne jest również badanie obecności w wodzie rzecznej substancji toksycznych dla organizmów wodnych. Szczególnie istotne jest monitorowanie właściwości wody w ujściowych odcinkach rzek wpadających do mórz. Wyniki w zakresie badania koncentracji substancji azotowych i fosforowych oraz BOD (biologicznego zapotrzebowania na tlen) wody wpływającej do Bałtyku wskazują pośrednio, że sytuacja ekologiczna rzek od 1998 r. uległa stopniowo niewielkiej poprawie.

Cennych danych z zakresu zmian zachodzących w biologii zbiorników wodnych dostarcza paleolimnologia, czyli badanie osadów dennych, które nawiązywały się przez wiele lat (16). Materiałem porównawczym do aktualnych wyników badań są często dane dotyczące stanu flory i fauny środowiska wodnego z okresu poprzedzającego intensywny rozwój rolnictwa na danym terenie. Podstawowymi wskaźnikami jakości wody w tej metodzie są różne organizmy zwierzęce i roślinne zachowane w różnych warstwach mułowych osadów dennych. W tym zakresie przeprowadza się najczęściej analizę ilości i składu gatunkowego różnych okrzemek (jednokomórkowych, przezroczystych glonów



Ryc. 11. Jezioro Jaczno na Suwalszczyźnie (fot. Roman Kujawa)

wielkości równej grubości włosa ludzkiego) i larw owadów latających z grup ochotkowatych (od 0,5 do 14 mm), które zostały naturalnie zachowane w grubych warstwach osadów dennych. Dane uzyskane z analizy zawartości głębokich warstw mułu (z okresu sprzed intensywnego rozwoju rolnictwa na danym terenie) mogą służyć jako wartości porównawcze do wyników współczesnych badań ekologii poszczególnych jezior (17). Również skorupiakowy zooplankton (żyjący w toni wodnej) i wioślarki wchodzące w skład mikrobentosu (żyjące w rejonie dna) używane są często w paleolimnologii jako materiał referencyjny. W badaniach uwzględnia się występowanie populacji wioślarek między innymi takich jak: *Bosmina* spp., *Sida crystallina*, i *Daphnia longispina*. Badania te pozwalają określić dawny ekologiczny stan poszczególnych jezior i zmiany zachodzące między innymi podczas ich eutrofizacji. Wyniki badań jednego z fińskich jezior przeprowadzonych przez Luoto i Salonen (17) wykazały, że eutrofizacja jeziora zapoczątkowana wskutek intensyfikacji rolnictwa w XIX w. pogłębiała się stale aż do czasów współczesnych. Nadmierna koncentracja substancji nawozowych w tym jeziorze spowodowała wyraźne zmiany w składzie gatunkowym wioślarek, jak i modyfikację ich funkcji.

Negatywne zmiany zachodzące w rzekach, jeziorach i wodach gruntowych

Eutrofizacja

Polskie jeziora w większości mają charakter eutroficzny z widocznymi procesami stopniowego starzenia się. Wskazują na to wartości podstawowych wskaźników

eutrofizacji występujące w wodzie, takich jak: wzrost koncentracji fosforu i azotu całkowitego, zwiększenie się zawartości chlorofilu i obniżenie się przezroczystości wody. Naturalny postępujący od stuleci proces eutrofizacji zbiorników wodnych na ziemi przyspieszany jest czynnikami związanymi z działalnością ludzką. Efektem tej działalności jest pojawienie się w zbiornikach wodnych wielu zmian związanych z obecnością nadmiernych ilości biogenów. Nadmierne wzbogacanie wody w składniki odżywcze dla roślin powoduje zaburzenie dotychczasowej równowagi biologicznej panującej dawniej w zbiornikach wodnych. Objawia się to między innymi pogorszeniem jakości wody, a następnie zmianą składu flory i fauny wodnej. Wypłycające się zbiorników wodnych doprowadza do wyginięcia wielu gatunków ryb. Według danych z 2014 r. (14) eutrofizacja dotyczy 44% jezior europejskich. Bezpośrednią przyczyną przyspieszenia tego zjawiska jest nienaturalny masowy rozwój fitoplanktonu, który spowodowany jest dużą koncentracją azotanów i fosforanów stale dostarczanych do zbiorników wodnych wraz z nawozami stosowanymi w rolnictwie.

Wraz ze wzrostem powierzchni terenów użytkowanych rolniczo zmniejsza się liczba jezior o wysokim statusie ekologicznym. Różne cząstki gleby tworzą zawieszinę a następnie opadają na dno zbiorników wodnych, tworząc grubą warstwę osadów. Przy paciorkowym usytuowaniu jezior substancje chemiczne dostają się kolejno z najwyższej położonego zbiornika do niższej położonych jezior. Największe koncentracje substancji toksycznych, pochodzących z rolnictwa stwierdza się zwykle w jeziorach położonych w najniższym rejonie zlewni (dorzecza).

Degradacja jezior i rzek a redukcja populacji ryb

Ekosystemy jezior są bardzo wrażliwe na działanie człowieka. Zmiana tylko jednego elementu może wywołać cały łańcuch zmian dotyczących nie tylko jakości wody oraz flory i fauny występującej w jeziorze, ale również charakteru otoczenia w pasie wodno-ładowym wokół jeziora. Z kolei rodzaj użytkowania otaczających jeziora gruntów ma decydujący wpływ na koncentrację nietoksycznych i toksycznych związków chemicznych w wodzie rzek i jezior. Substancje te w nadmiarze stają się powodem degradacji coraz większej liczby jezior i rzek w Europie.

Rozwój rolnictwa w dorzeczeniach rzek w XIX w. wpłynął między innymi na kształtowanie się populacji wioślarek będących podstawowym składnikiem naturalnej diety ryb należących do wielu gatunków. Zaobserwowano między innymi, że skutkiem działalności rolniczej było pogorszenie się warunków biologicznych przede wszystkim w głębinowej strefie jezior, co spowodowało redukcję rozwielitek należącej do dennej strefy bentosowej. Z drugiej strony w niektórych jeziorach zaobserwowano wzrost liczebności rozwielitek planktonowych. Zmiany chemizmu wody mogą mieć również wpływ na morfologię tych bezkręgowców wodnych. Przykładem może być wioślarka *Bosmina longispina*, u której zaobserwowano ostatnio znaczne zmniejszenie się wielkości ciała (19).

Skutkiem degradacji rzek i budowy zapór jest zmniejszenie się populacji stacjonarnych i wędrujących ryb łososiowatych oraz różnych wędrujących ryb dwusrodowiskowych przy wzroście gatunków ryb karpiowatych i obniżeniu się wartości połowów rybackich. Jednym z powodów tego zjawiska jest przegradzanie rzek oraz biologiczna i fizyczna degradacja tarlisk ryb.

Tarło naturalne nie może dojść do skutku, jeżeli wskutek degradacji środowiska podłoże na tarliskach jest niestabilne, zamulone lub zanieczyszczone, a równocześnie w rejonie tarlisk brak jest roślinności natleniającej i oczyszczających wodę. Jeżeli na zdegradowanym tarlisku dojdzie nawet do tarła i ikra przeżyje okres inkubacji, to śmiertelność wylęgu będzie bardzo duża, jeżeli brak będzie dostatecznej ilości bezkręgowców wodnych o odpowiednich wymiarach stanowiących ich naturalny pokarm. Dodatkowo nienaturalny z powodu regulacji rzeki szybki przepływ wody nie pozwala młodym rybam na swobodne poruszanie się i zdobywanie pokarmu. Dla ryb starszych korzystna jest obecność miejsc zacienionych, które zapewniają roślinność wodna i brzegowa, jak również obecność w wodzie powalonych pni i podmytych korzeni osłabiających nurt wody (ryc. 12).

Drzewa i krzewy nadbrzeżne oraz wodna roślinność przybrzeżna, jak również korzenie i pnie powalonych drzew są zwykle pedantycznie usuwane podczas regulacji rzek. Skutkiem tych wszystkich zmian jest zwykle zmniejszenie różnorodności gatunkowej ichtiofauny oraz dominacja mało wymagających gatunków ryb osiadających dojrzałość płciową przy niewielkich rozmiarach (19).

Zmniejszenie się ilości i pogarszanie się jakości wód gruntowych

Działanie człowieka powoduje zmniejszanie się zasobów wód gruntowych oraz pogarszanie jej jakości. Zmniejszanie się zasobów wód gruntowych związane jest z intensywnym poborem jej do celów przemysłowych i komunalnych oraz stratami podczas eksploatacji kopalń. Zmniejszenie się ilości wód gruntowych powoduje następnie niekorzystny dla całego środowiska łądowego i wodnego spadek poziomu

wód powierzchniowych. Równocześnie jakość wód gruntowych ulega pogorszeniu. Manifestuje się to między innymi wzrostem koncentracji żelaza, które przekracza próg wartości charakterystyczny dla wód o dobrym statusie chemicznym. Żelazo w dużym stopniu pochodzi z naturalnie występujących minerałów, ale wzrost koncentracji tego pierwiastka wiąże się głównie z zanieczyszczeniem składnikami ścieków komunalnych wód powierzchniowych i wtórnie gruntowych. Żelazo rozpuszczone w wodzie gruntowej występuje w zredukowanej formie dwuwartościowej. Niebezpieczna forma żelaza w kontakcie z tlenem ulega utlenieniu do trójwartościowej, która tworzy nierozpuszczalny w wodzie rdzawy wodorotlenek żelaza. Równocześnie obecność bakterii żelazowych powoduje śluzowatość wody i jej silny odór. Koncentracja żelaza w wodzie gruntowej wynosi od 0 do 50 mg/dm³, podczas gdy WHO rekomenduje koncentrację poniżej 0,3 mg/dm³. Obecność amoniaku i azotanów w wodzie gruntowej świadczy również o jej złej jakości i jest spowodowana głównie działalnością ludzką, w mniejszym stopniu substancje te powstają w następstwie naturalnych procesów geochemicznych. Wraz z intensyfikacją rolnictwa w wodzie gruntowej zaczęły się pojawiać pestycydy, arsen oraz wiele innych nieorganicznych i organicznych związków chemicznych.

Czynniki powodujące degradację zbiorników wodnych

Każda ingerencja w otoczenie rzeki czy jeziora ma wpływ na to, co dzieje się w samym zbiorniku wodnym. Zmiany w rejonach zbiorników wodnych wywierają wpływ na żyjące w tych zbiornikach rośliny i zwierzęta. Wielowiekowa działalność ludzi zniszczyła i zubożyła środowisko wód śródlądowych. Degradacja tego środowiska postępuje nadal, chociaż do dyspozycji ludzi zajmujących się ochroną środowiska jest ogromna wiedza z zakresu przyczyn i skutków działań cywilizacyjnych. Równocześnie specjaliści z zakresu rybactwa jeziorowego i rzecznoego prowadzą już próby restytucji biologii rzek i jezior (4).

Wycinanie drzew i krzewów, niszczenie wodnych roślin przybrzeżnych i bagien

W Europie, w tym w Polsce, masowe wycinanie naturalnych lasów mieszanych rozpoczęło się w średniowieczu i kontynuowane jest nadal. Monokulturowe zalesianie nie wyrównuje strat ekologicznych drzewostanów, które zachodzą w Europie. Wycinanie drzew prowadzi do erozji gruntów i spływania cząstek gleby do wód. Doprowadza to do wzrostu mętności wody i spływania



Ryc. 12. Rzeka Grabowa (fot. Roman Kujawa)

zbiorników wodnych. Wzrost ilości zawiesin w toni wodnej nie dopuszcza do przenikania promieni słonecznych do zanurzonych roślin wodnych, doprowadzając do zahamowania ich fotosyntezy. Deficyty tlenu powstające w następstwie tego powodują duszenia się ryb i innych zwierząt wodnych. Dodatkowo osadzanie się zawiesin na roślinach, jak również między listkami skrzelowymi ryb doprowadza u nich do dysfunkcji procesu oddychania, wydalenia i wymiany gazowej (20). Osadzanie się zawiesin na ikrze prowadzi do zamierania zarodków.

Lasy odgrywają bardzo istotną rolę w hydrologicznej równowadze zbiorników wodnych. Drzewa zwiększają parowanie wody, zmniejszają spływy wód deszczowych i erozję gruntów. Oprócz tego umożliwiają przesączanie się wody z powierzchni ziemi do zbiorników wody gruntowej. Zachowanie bujnej roślinności nad brzegami rzek i jezior oraz przybrzeżnej roślinności wodnej, a szczególnie ochrona terenów bagiennych pozwala utrzymać prawidłowe funkcjonowanie środowisk wodnych (ryc. 8).

Drzewa, krzewy i inne rośliny przybrzeżne rosnące wzdłuż linii brzegowej rzek i jezior tworzą pierścień ochronny zatrzymujący substancje spływające z pól i sadów, które są między innymi źródłem azotu i fosforu (ryc. 13).

Regulacja rzek, budowa wałów przeciwpowodziowych

Większość rzek strefy umiarkowanej została w czasie ostatnich stuleci uregulowana. Teren sąsiadujący ze zbiornikami wodnymi był powszechnie meliorowany, co doprowadzało w krańcowych przypadkach do pojawienia się zjawiska stepowienia łąk nadrzecznych. W skali całej Europy około 50% bagien oraz około 95% obszarów zalewowych rzek zostało zlikwidowane (21). Około 60% terenów zlewni rzek europejskich zostało przekształcone w tereny pastwiskowe lub zurbanizowane.



Ryc. 13. Silnie zarośnięte naturalne brzegi rzeki Pasłęki (fot. Roman Kujawa)

Następstwem regulacji rzek jest wyginięcie szeregu gatunków roślin i zwierząt.

Podstawowymi celami regulacji rzek są: zabezpieczenie przed powodzią, stworzenie warunków do intensywnej gospodarki rolnej oraz przystosowanie rzek do żeglugi. Tak zwana regulacja rzek polega na prostowaniu i wyrównywaniu głębokości dna koryta, usuwaniu kęp roślinności nadbrzeżnej, usuwaniu „rękawów rzecznych” i starorzeczy, jak również na usuwaniu drzew i krzewów rosnących nad rzekami. Rzeki są skracane (likwidacja meandrów) i pogłębiane kosztem zniszczenia strefy brzegowej. Budowane są oprócz tego wały odcinające kontakt między rzeką a środowiskiem łąk nadrzecznych. Wały przeciwpowodziowe chronią przy niewielkim podniesieniu się poziomu wody w rzece. Gdy poziom wody podniesie się bardzo wysoko i woda podcieknie pod wałami lub je przerwie, wówczas zostaje ona na zalanych terenach znacznie dłużej, niż gdyby wałów w ogóle nie było. Podczas stagnacji wody powodziowej wymiana wody powierzchniowej oraz gruntowej jest znaczna i przebiega przez dłuższy

czas powodując pogorszenie się czystości wód gruntowych.

Budowle hydrotechniczne

Wszystkie budowle hydrotechniczne można podzielić na takie, które nie powodują piętrzenia wody a mianowicie – ostrogi, tamy, opaski, wały oraz budowle piętrzące wodę takie jak jazy i zapory. Bardzo istotnym czynnikiem pogarszającym warunki życia ryb jest utrata drożności rzek wskutek budowy zapór i zbiorników zaporowych. W ostatnim czasie zbudowano w Polsce ponad 6 tys. zapór (4). Zapory te nie tylko utrudniają, ale w wielu przypadkach nawet uniemożliwiają tarło ryb należących do niektórych gatunków (ryc. 14 i 15).

Wskutek budowy zapór powstają sztuczne zbiorniki wodne, które są wykorzystywane jako zbiorniki przeciwpowodziowe, rezerwuary wód pitnych, do nawadniania pól i ogrodów, do pozyskiwania energii elektrycznej i do rekreacji. Po spływności koryta rzeki, poniżej zapory dochodzi do silnego nagrzewania się wody w lecie i przemarzanie jej w zimie. Prowadzi



Ryc. 14. Tama we Włocławku (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 15. Zapora Porąbka na rzece Sole (fot. Roman Kujawa)

to do wyginięcia wielu żyjących w rzece organizmów. Równocześnie zmniejszenie się zasobów tlenu doprowadza często do ginięcia ryb z powodu przydychy. W spiętrzonych odcinkach rzek (powyżej zapory) prędkość przepływu wody maleje, powodując opadanie cząstek stałych niesionych z prądem z górnych odcinków rzeki. W następstwie tego zbiorniki zaporowe ulegają stopniowemu zamuleniu, a głębokość ich zmniejsza się kosztem odkładającej się grubej warstwy osadów dennych. W głębi osadów mułowych normalne procesy samooczyszczania się biologicznego ustają i zaczynają dominować w nich procesy beztlenowe, których wynikiem jest tworzenie się dużych ilości toksycznych gazów i innego typu substancji toksycznych.

Szkodliwe działanie na środowisko wodne oraz żyjące tam organizmy wywiera niedostatecznie schłodzona woda użyta do chłodzenia urządzeń przemysłowych, na przykład agregatów elektrowni. Podwyższenie temperatury wody uśmierca organizmy zimnolubne, a w rejonie jej zrzutu powoduje spadek koncentracji fizycznie rozpuszczonego w niej tlenu, jak również wzrost biologicznego zapotrzebowania na tlen (BOD). Spadek i nagłe ochłodzenie wody spiętrzonej przez zaporę powoduje jej przegazowanie, głównie azotem,

a w następstwie tego występowanie u ryb choroby gazowej.

Restytucja rzek i jezior

Restytucja jeziora jest niemożliwa bez równoczesnej restytucji wpływających do niego rzek i strumieni. Pierwszym krokiem w kierunku odzyskania równowagi biologicznej środowisk wodnych jest ograniczenie dopływu substancji nawozowych do rzek i jezior ze zlewni wodnej. Należy również zapobiegać przed napływem nieoczyszczonych lub niedostatecznie oczyszczonych ścieków przemysłowych i komunalnych. Do wód powierzchniowych, a pośrednio do wód głębinowych dostaje się wciąż wiele typów substancji pochodzących z produkcji rolniczej, hodowli zwierząt gospodarskich, ścieków komunalnych i przemysłowych. Panuje pogląd, że największym dostarczycielem substancji nawozowych i toksycznych (pestycydy, herbicydy) do rzek i jezior jest rolnictwo. Jedną z ważnych metod ograniczenia tego zjawiska jest ograniczenie używania nawozów i środków ochrony roślin do niezbędnego minimum bez zmniejszenia produkcji rolnej. Wiąże się z tym między innymi odpowiednie rekultywacja gruntów powodująca poprawę ich struktury, która pozwalałaby na większe niż dotychczas zatrzymywanie

środków nawozowych przez glebę i systemy korzeniowe roślin.

Wody w jeziorach i rzekach powinny być systematycznie monitorowane w zakresie parametrów fizykochemicznych i wskaźników biologicznych przez wyspecjalizowane służby zajmujące się ochroną środowiska. Jest to niezbędne, aby uniknąć nagromadzenia zanieczyszczeń w zbiornikach wodnych grożących katastrofami biologicznymi i śnięciem ryb. Szeroka praktyka autorów wskazuje na duże zaniedbania w tym zakresie.

Restytucja jeziora polega przede wszystkim na poprawie warunków ekologicznych, które uległy zmianom wskutek czynników, takich jak: eutrofizacja, wzrost zanieczyszczeń różnego typu, napływu substancji toksycznych, niszczyielskiej regulacji, zakwaszenia wody przez kwaśne deszcze i wprowadzania nowych obcych dla danego jeziora gatunków roślin, bezkręgowców wodnych i ryb (19). Metody doraźne odtruwania jezior polegają na: natlenianiu wody, usuwaniu nadmiaru osadów dennych wypływających jeziora i systematyczne oczyszczanie jezior z różnego typu odpadków i śmieci.

Prowadzenie restytucji środowiska rzek obejmuje równocześnie kilka kierunków. Pierwszym jest udrożnienie rzek (często wielokrotnie przegrodzonych) i stworzenie



Ryc. 16. Przepławka na rzece Pasłęce w Braniewie (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 17. Jezioro Kortowskie (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 18. Odpływ wody z osadami z Jeziora Kortowskiego (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 19. Eksperyment kortowski (fot. Roman Kujawa)

przez to możliwości migracji ryb zarówno związanych z sezonowym poszukiwaniem pokarmu, jak i wędrówek tarłowych. Zgodnie z obowiązującym w Polsce prawem wszystkie urządzenia piętrzące muszą być wyposażone w urządzenia umożliwiające swobodną migrację ryb przez przeszkody, czyli tak zwane przepławki, ewentualnie windy (ryc. 16).

Rzeki całkowicie uregulowane, ale również takie, których koryto zachowało cechy naturalne, mogą być rewitalizowane. Celem rewitalizacji jest przywrócenie w pełni pierwotnego życia biologicznego w rzece. Można to osiągnąć np. przez połączenie koryta rzeki ze starorzeczami lub bocznymi odnogami. Pomocna do osiągnięcia tego celu jest budowa ostróg częściowo przegradzających rzekę i tworzących enklawy o zwolnionym przepływie wody. Podobną rolę pełnią pnie drzew i korzenie umieszczone w korycie rzeki. Renaturyzacja polega oprócz tego na kształtowaniu naturalnych koryt rzek oraz stref przybrzeżnych na wzór pierwotny (posługując się ewentualnie przy tym, jako wzorcem, starymi mapami) a następnie na działaniach przywracających całą naturalną biocenozę – florę i faunę.

Niezwykle istotne dla przywrócenia ichtiofauny w rzece jest tworzenie polderów zalewowych, które nie tylko stają się miejscami tarła ryb na wiosnę i miejscami rozwoju bezkręgowców wodnych stanowiących pokarm młodych ryb, ale również skutecznie zatrzymują wody powodziowe oraz zapewniają żyzność i różnorodność biologiczną łąk.

Podstawową zasadą przywracania w jeziorach stanu pierwotnego jest redukcja koncentracji substancji nawozowych (biogenów) krążących w toni wodnej. Można to osiągnąć albo przez usuwanie nagromadzonych w zbiorniku wodnym organicznych osadów (Jezioro Kortowskie), albo przez stworzenie warunków wiązania biogenów w osadach dennych, zapobiegając w ten sposób ich czynnemu włączaniu się w cykl troficznych przemian (ryc. 17, 18, 19). Wzrost potencjału oksydoredukcyjnego osadów, który następuje w dobrych warunkach tlenowych, przyczynia się do wiązania w osadach dennych szeregu substancji, zapobiegając wzrostowi żyzności zbiornika wodnego.

Jedną z najlepszych metod poprawy warunków ekologicznych w jeziorach jest natlenianie wody, które stosuje się zwykle w ciągu 2–3 lat. Metodę tę zastosowano między innymi przy restytucji Jeziora Długiego w Olsztynie. Jezioro to było zanieczyszczane przez 20 lat bogatymi w substancje organiczne miejskimi ściekami komunalnymi. W wyniku tego całe życie biologiczne uległo zniszczeniu, a środowisko wodne całkowitej degradacji.

Przez 10 lat stosowano sztuczną cyrkulację wody w tym jeziorze. Wymuszony przepływ zimnej, niedotlenionej wody z głębszych rejonów jeziora ku powierzchni uzyskiwano przez wprowadzanie sprężonego powietrza w rejon dna. Równocześnie dobrze natleniona woda z warstw powierzchniowych przemieszczała się w głąb zbiornika wodnego. Działanie to spowodowało wzrost koncentracji tlenu na całej głębokości jeziora i skracало okresy występowania deficytów tego gazu w strefie przydennej (22). Zmniejszenie się w tych warunkach wyługowywania się fosforu i związków azotu z osadów dennych do toni wodnej zredukowały koncentrację tych pierwiastków w wodzie. Dzięki obecności tlenu zwiększała się również amonifikacja, czyli rozkład substancji organicznej do amoniaku. W wyniku bakteryjnej nityfikacji, czyli utleniania się amoniaku do azotynów i azotanów w obecności węgla mineralnego, powstawał wolny azot. Zawartość azotu w wodzie zmniejszała się następnie podczas sedimentacji cząstek organicznych i ich odkładania w osadach dennych. Ilość związków fosforowych i azotowych była przy tym wystarczająca, by utrzymać produkcję pierwotną (rozwój glonów) niezbędną dla rozwoju różnych łańcuchów pokarmowych dla zwierząt wodnych, na właściwym poziomie.

Nie udało się jednak całkowicie odwrócić procesu eutrofizacji tego jeziora. Biologiczne zapotrzebowanie w wodzie jeziora na tlen było wciąż znaczne, duża również była koncentracja chlorofilu, a jej przejrzystość mała. Dalsze polepszanie ekologii jeziora mogło być kontynuowane jedynie przy zastosowaniu metody koagulacji fosforu. Po 10 latach stosowania aeracji warunki ekologiczne w Jeziorze Długim jednak znacznie się polepszyły.

W wielu krajach zachodniej Europy podejmuje się coraz częściej szerokie programy odbudowy funkcji ekologicznych rzek i terenów zalewowych (23). W grudniu 2003 r. rząd Polski przyjął Narodowy Program – „Oczyszczanie ścieków miejskich”. Określa on poziom wymagań w zakresie stopnia oczyszczenia ścieków przed wypuszczeniem ich do zbiorników wodnych. Warunkiem dopuszczenia do zrzutu wody z oczyszczalni do rzek i jezior jest między innymi redukcja zawartości 75% azotu i fosforu obecnych w ściekach miejskich celem przeciwdziałania eutrofizacji wód powierzchniowych. Poprawa warunków ekologicznych rzek i jezior ma doprowadzić do wzrostu atrakcyjności Polski dla inwestorów i przyczynić się do poprawy zdrowia ludzi. W latach 1995–2008 liczba oczyszczalni ścieków w Polsce wzrosła z 433 do 2213; równocześnie dzięki modernizacji poprawiła się wydajność wielu oczyszczalni. Pomimo poprawy jakości wody przeznaczonej do picia przez ludzi stan czystości wody w rzekach i jeziorach jest wciąż niedostateczny i wymaga dalszych działań na terenie całego kraju.

Zarybianie

Jeżeli przywrócenie naturalnych warunków w rzece do odbycia tarła i naturalnego odchowu wylęgu przez ryby niektórych gatunków nie jest możliwe lub gdy ryby niektórych gatunków całkowicie wyginęły w danym zbiorniku wodnym – wówczas jedyną metodą odbudowy ichtiofauny jest zarybianie (ryc. 20).

Do tego celu wykorzystuje się narybek uzyskany z rozrodu kontrolowanego, a następnie podchowany w wyspecjalizowanych obiektach w obiegach RAS oraz w sadzach. W obiektach tych utrzymuje się stałe, optymalne dla tarła i odchowu



Ryc. 20. Podchowany narybek węgorza w celach zarybieniowych (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 21. Nowoczesne systemy RAS do podchovu ryb (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 22. Baza sadzowa w Swaderkach (fot. Roman Kujawa)



Ryc. 23. Nowoczesna baza sadzowa na jeziorze Kośno (fot. Roman Kujawa)

wyłęgu danego gatunku ryby, parametry wody, a mianowicie odpowiednią temperaturę, pH, zawartość tlenu, brak zawiesin i odpowiednią prędkość przepływu (ryc. 21, 22, 23).

W niektórych przypadkach do rozrodu kontrolowanego używa się przechowywany materiał genetyczny. W bankach genomów przechowuje się zwykle gamety, najczęściej plemniki, rzadziej komórki jajowe. Ich celem jest zachowanie i ochrona rodzimych populacji ryb.

Do tarła używa się ograniczonej ilości ryb dzikich pozyskanych bezpośrednio ze środowiska naturalnego albo ryb, które od wielu lat przetrzymywane były w ośrodkach hodowlanych. Sprawia to niebezpieczeństwo spłynięcia puli genetycznej następnymi pokoleniami tych ryb w zbiornikach naturalnych. Może to wpływać na przystosowywanie się ryb w skali populacji do niekorzystnych czynników środowiskowych, a więc na procent przeżywalności osobników w poszczególnych populacjach. Aby zachować szeroką pulę genetyczną, należałoby do rozrodu ryb przeznaczonych do zarybiania używać tylko odpowiednio dużej

liczby samców o autochtonicznym genotypie, co wymagałoby dodatkowych nakładów. Bez uprzedniej restytucji środowiska wodnego do stanu przynajmniej zbliżonego do pierwotnego zarybianie może nie przynieść oczekiwanych rezultatów. Ośrodkiem kształcącym przyszłych ichtiologów jest Centrum Akwakultury i Inżynierii Ekologicznej w Olsztynie, gdzie na Wydziale Nauk o Środowisku Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego kształcą się przyszli fachowcy od rozrodu i hodowli ryb.

Piśmiennictwo

1. WHO Report 2004. World Health Organisation: Nutrients in drinking water; potential health consequences of long term consumption of demineralised, remineralised and altered mineral content. *Drinking Water Expert Consensus Meeting Group Report*. WHO Office for the European Region. 2004.
2. Meyerhoff S.B., Maxwell R.M., Revil A., Martin J.B., Karaulis M., Graham W.D.: Characterization of groundwater and Surface water mixing in semiconfined karst aquifer using time-lapse electrical resistivity tomography. *Water Resour. Res.* 2014, **3**, 2566–2885.
3. Winter T.C., Harvey J.W., Franke O.L., Alley W.M.: Ground water and surface water a single resource. *U.S. Geological Survey Circular* 1139, 1998.
4. Mamcarz A., Kujawa R., Kucharczyk D., Skrzypczak A., Furgala-Selezniow G., Targońska K., Kupren K., Turkowski

K.: *Larwikultura reofilnych ryb karpiowatych*. Merkuriusz Kaczmarek Andrzej. Olsztyn 2008.

5. Janauer G., Dokulil M.: Macrophytes and algae in running waters. W: Ziglio G., Siligardi M., Flaim G. (edit.): *Biological monitoring of river*. John Wileys and Sons., Chichester, 89–109.
6. Aroviita J., Koskenniemi J., Klotanen J., Hämäläinen H.: A priori typology based prediction of benthic macroinvertebrate fauna for ecological classification of rivers. *Environ. Manage.* 2008, **41**, 894–906.
7. Radwan S., Mieczan T., Kukuryk-Tarkowska M.: Biodiversity of water and peat-bogs ecosystems in Poland – research methods, organization levels, enrichment and protection. *Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr.* 2004, **1**, 5–20.
8. Strayer D.L.: Challenges for freshwater invertebrate conservation. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 2006, **25**, 271–287.
9. Revenga C., Campbell I., Abell R., de Villiers P., Bryer M.: Prospects for monitoring freshwater ecosystems towards the 2010 targets. *Philos. Trans. R Soc. Lond. B Biol. Sci.* 2005, **360**, 397–413.
10. Covich A.P., Palmer M.A.: The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems: zoobenthic species influence Energy flows and nutrient cycling. *BioScience*, 1999, **49**, 119–127.
11. Bayley P.B.: The flood pulse advantage and the restoration of river-foodplain systems. *Regul. River* 1991, **6**, 245–258.
12. Thorp J.H., Thomas J.C., Delong M.C.: The riverine ecosystem synthesis: biocomplexity of river networks across space and time. *River Res. Appl.* 2006, **22**, 123–147.
13. Nunn A.D., Harvey J.P., Cowx I.G.: Benefits to 0+ fishes of connecting man-made waterbodies to the lower River Trent, England. *River Res. Appl.* 2007, **23**, 361–376.
14. Sobolewski W.: *Database of Polish Lakes*. Faculty of Earth Sciences and Spatial Management Maria Curie-Skłodowska University, Lublin 2014.
15. EU Water Framework Directive 2000.
16. Smol J.P.: *Pollution of lakes and rivers. A paleoenvironmental perspective*. Wiley-Blackwell, Malden, 2008.
17. Luoto T.P., Salonen V.P.: Fossil midge larvae (*Diptera: Chironomidae*) as quantitative indicators of late winter hypolimnetic oxygen in southern Finland: calibration model, case studies and potentialities. *Boreal Environ. Res.* 2010, **15**, 1–18.
18. Nevalainen L., Luoto T.P.: Limnological deterioration forces community and phenotypic changes in Cladocera: Tracking eutrophication of Mällusjärvi, a lake in southern Finland. *Boreal Environ. Res.* 2013, **18**, 209–222.
19. Lehtonen H.: Rehabilitation of lakes for fish and fisheries in Europe – a review. *Boreal Environ. Res.* 1999, **4**, 137–143.
20. Antychowicz J.: Patologiczne zmiany w skrzelach karpia – przyczyny i skutki. *Zycie Wet.* 2013, **88**, 380–385.
21. Tockner K.: Diversity of riverine landscapes and guidelines for restoration. *II International Symposium on River Restoration*. Madrid, Spain, 2007, 1–11.
22. Grochowska J., Gawrońska H.: Restoration effectiveness of degraded lake using multi-year artificial aeration. *Pol. J. Environ. Stud.* 2004, **6**, 671–681.
23. Dyrektywa Wodna Unii Europejskiej 2000/60 EC.

Prof. dr hab. Jerzy Antychowicz,
e-mail: jerzy.antychowicz@gmail.com