

JANUSZ STARMACH

Zakład Biologii Wód im. Karola Starmacha PAN
Sławkowska 17
31-016 Kraków

KIERUNKI BADAŃ EKOLOGICZNYCH EKOSYSTEMÓW WODNYCH RZEK I ZBIORNIKÓW ZAPOROWYCH

Jak powszechnie wiadomo woda jest podstawowym elementem życia na Ziemi stanowiącym w warunkach normalnych od 60–90% każdego organizmu, a jej straty powstałe na skutek parowania muszą być stale uzupełniane.

Zapotrzebowanie wody przez ludzkość stale wzrasta, a w ślad za nim zwiększa się zrzut wód zużytych, zanieczyszczonych przez gospodarkę domową, miejską, przemysłową i rolniczą. Szacuje się, że całkowita ilość wody na łądach wynosi około 500000 km^3 . Zaczyna jej więc coraz częściej brakować. Buduje się zbiorniki zaporowe przeciwdziałające szybkiemu odpływowi z łądu do mórz, tworzy obiegi zamknięte i tym podobne, a zasoby wodne, które do niedawna zdawały się być w ilościach nieograniczonych stają się coraz częściej czynnikiem limitującym rozwój. Degradacja środowisk wód płynących jest już zjawiskiem powszechnym. Przyczyniają się do tego spływy obszarowe z coraz silniej nawożonych pól uprawnych, wielkich aglomeracji miejskich i przemysłu, odwadnianie terenów zalewowych, wycinanie lasów, budowy dróg. W konsekwencji aktywności człowieka w zlewni rzek i zbiorników zaporowych zwiększa się stężenie pierwiastków biogennych powodujących nadmierny rozwój glonów osiadłych i planktonowych, wśród których pewne gatunki wydzielają niebezpieczne dla zdrowia toksyny degradujące jakość wody.

Obszar Polski należy w 99,9% do zlewiska Morza Bałtyckiego. W zlewisku tym, wynoszącym 311400 km^2 , dorzecze Wisły zajmuje 174300 km^2 , dorzecze Odry 106200 km^2 , a dorzecza rzek pomorskich 30900 km^2 . Roczny średni odpływ rzek płynących na obszarze Polski wynosi $58,6 \text{ km}^3$ wody, w tym wody dopływającej z zagranicy jest zaledwie $5,2 \text{ km}^3$

(STARMACH i współaut. 1976). Obszar Polski jest więc pod względem hydrologicznym zamknięty. Oznacza to, że nie można liczyć na inną wodę jak tylko na tę, którą otrzymuje się z opadów na powierzchnię naszego kraju. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że średnio w naszym kraju na osobę przypada prawie 2,5 razy mniej wody niż średnio w Europie. Wśród 28 państw europejskich znajdujemy się pod względem ilości wody na jednego mieszkańca na 22 miejscu, co zbliża nas bardziej do Egiptu niż do naszych sąsiadów (KAJAK 1998).

W tej sytuacji istnieje potrzeba jeszcze lepszej ochrony i zrozumienia środowiska wodnego potraktowanego jako system, nie tylko naturalny, ale również ten sztucznie utworzony i modyfikowany przez człowieka. Tymi zagadnieniami zajmuje się ekologia wód słodkich.

Współczesna ekologia wód jest nauką badającą prawidłowości i procesy, a także powiązania, mechanizmy oraz przyczyny badanych zjawisk w obrębie ekosystemu. Głównym jej zadaniem jest zrozumienie tego co się dzieje w ekosystemach wodnych w powiązaniu z ich otoczeniem. Trudno jednak oderwać te aspekty teoretyczne od potrzeb i nacisków praktycznych. Znaczenie wód śródlądowych w gospodarce ludzkiej jest ogromne. Chodzi nie tylko o zapotrzebowanie na wodę do picia, ale i dla gospodarki komunalnej, przemysłu, rolnictwa, rekreacji, jak również o działania zmierzające do jej renaturyzacji po wykorzystaniu. W związku z tym, jest więc wiele praktycznych działań hydrobiologii: kontrola jakości wód, rybactwo, badania procesów samooczyszczania, rekultywacji wód zanieczyszczonych, prognozowania stanu i funkcjonowania ekosystemów wodnych po ich planowanych hydrotechnicznych przekształceniach.

Przedstawione niniejszym opracowaniu kierunki i wyniki badań ekologii wód dotyczą rzek i zbiorników zaporowych.

W nowoczesnej ekologii ekosystem rzeki opisany jest jako zintegrowana funkcjonalnie całość, której właściwości określane są czasoprzestrzennym kontinuum, wzdłuż którego gradientowym zmianom ulegają warunki fizyczne i chemiczne, a w efekcie żyzność i produktywność biocenozy (VANNOTE i współaut. 1980). W konsekwencji znajduje to odbicie w kontinuum czynników abiotycznych i biotycznych, strukturze i dynamice zespołów roślin i zwierząt, a także w ekologicznych mechanizmach regulujących przepływ materii organicznej (ZALEWSKI i NAIMAN 1985), spiralnej cyrkulacji pierwiastków biogennych. W odróżnieniu od poprzednich podejść badawczych opisujących głównie strefowość i strukturę zespołu zwierząt i roślin w rzekach, nowa koncepcja wskazuje na konieczność funkcjonalnego powiązania poszczególnych komponentów ekosystemu, zarówno w badaniach naukowych, jak i we wszystkich przedsięwzięciach gospodarczych mających za cel ochronę systemów rzecznych. Jako układ odniesienia przyjęto w niej wielkość rzeki wyrażoną jej rzędowością charakteryzującą się odmiennymi procesami produkcyjnymi, w potokach o małej rzędowości — heterotroficznym przechodzącym w miarę powiększania się rzeki w autotroficzny.

Z rzekami ściśle związane są zbiorniki zaporowe. Ponieważ często, nawet w literaturze hydrobiologicznej, spotyka się wypowiedzi traktujące zbiornik zaporowy jak naturalne jezioro, należy wyraźnie określić różnice pomiędzy jeziorem a zbiornikiem zaporowym. Z punktu widzenia hydrobiologii zbiornik zaporowy jest to sztuczny rezerwuuar wodny w zasadzie typu jeziora przepływowego, jednak ze względu na specyficzne ukształtowanie czaszy oraz silny wpływ wód rzecznych ma on cechy pośrednie pomiędzy rzeką i jeziorem. Od jeziora różni się przede wszystkim asymetrią dna, które jest najgłębsze przy tamie, a płytkie przy dopływie oraz zmiennym poziomie wody dopływającej i odpływającej, szczególnie kiedy zbiornik służy do celów energetycznych. Od rzeki różni się między innymi tym, że prąd wody nie obejmuje w nim całej masy wody. Wskutek połączenia się w zbiorniku cech rzecznych i jeziornych oraz zwykle swoistej gospodarki wodą, ujawniają się tam nie spotykane gdzie indziej zjawiska hydrologiczne. Gdy, przykładowo, z rzeki dopływa woda cieplejsza niż woda w zbiorniku, to prąd jej płynie po powierzchni zbiornika, nad zimniejszymi wodami przydennymi. Powierzchnia

zbiornika ma wtedy charakter rzeki, a głębia jeziora.

Na cechy fizyko-chemiczne zbiornika szczególnie silnie wpływa głębokość i asymetria dna zbiornika, wzajemny stosunek wód głębinowych, pelagicznych i przybrzeżnych. Warunki fizyko-chemiczne, obok wykształcenia misy zbiornika, uzależnione są jeszcze od akumulacji substancji odżywczych dopływających z wodą rzeki. Czynnikiem ten działa przez całe życie zbiornika i określa jego rozwój i dalszy los. Asymetria zbiornika powoduje nierównomierny rozkład warunków fizyko-chemicznych, a w ślad za tym biologicznych. Występują regularne spłylenia wody od tamy do dopływu i w związku z tym zmienne obszary głębin i pływizn. Mamy więc, z natury rzeczy, szereg biotopów zmieniających się w miarę pogłębiania zbiornika w kierunku tamy oraz w miarę rozlewania się na boki. W płytkich obszarach górnej części występują warunki podobne do rzecznych, w głębokich do jeziornych. Zbiornik zaporowy ma więc wyraźnie dwoisty charakter, rzeczny i jeziorny. Przewaga którejś z tych cech uzależniona jest od rozmiarów zbiornika i od szybkości wymiany wody. Z typem zbiornika związany jest obieg materii w zbiorniku. Zasadnicza różnica pomiędzy obiegiem materii w rzekach i zbiornikach zaporowych polega na wzmószonym osadzaniu substancji mineralnych i organicznych nanieśionych z wodą. Doprowadzane stale, choćby nawet w minimalnych ilościach, substancje pokarmowe kumulują się w zbiorniku przez cały okres jego życia i są przyczyną postępującego procesu eutrofizacji.

Eutrofizacja jest zjawiskiem normalnym tak jak dla wszystkich organizmów jest proces dojrzenia, starzenia się i śmierci. W sposób naturalny proces ten przebiega bardzo powoli, może on być jednak znacznie przyspieszony (dziesiątki i setki razy) w wyniku działalności człowieka, tak zwanej eutrofizacji antropogenicznej. Dlatego więc jesteśmy zmuszeni do podejmowania prób sterowania systemami ekologicznymi. Do tej pory przeważało wśród przyrodników konserwatorskie podejście w ochronie środowiska: „przyroda sama się obroni”, obecnie jest ono jednak nie wystarczające gdyż nie uwzględnia dynamicznego wzrostu liczebności populacji ludzkiej. Koniecznością jest więc nie tylko bardzo racjonalne korzystanie z zasobów przyrody i ich ochrona, ale również modyfikowanie struktury ekosystemów oraz kontrola i regulacja procesów biologicznych w taki sposób, aby pomimo intensywnego użytkowania środowiska uchronić je od degradacji. Środowiska wodne są zbiornikami rozpuszczo-

nej i stałej materii organicznej przenoszonych wraz z wodą do roślin i zwierząt.

Ochrona wód wymaga: korzystnego dla środowiska zagospodarowania zlewni, buforowych stref ekotonowych na granicy woda — ląd działających na zasadzie biofiltra, redukcji zanieczyszczeń punktowych i obszarowych oraz celowych działań dla poprawienia biologicznej różnorodności i produktywności (biomanipulacja w zbiornikach zaporowych).

Współczesna ochrona środowiska powinna integrować metody techniczne i biologiczne. Jej podstawą musi być nowoczesny monitoring uwzględniający nie tylko strukturę środowiska, ale również dynamikę procesów zachodzących w ekosystemach, takich jak tempo i mechanizmy eutrofizacji oraz czynników regulujących samooczyszczanie rzek stanowiące podstawę określenia problemów występujących w danym ekosystemie.

Poprawa stanu środowiska naturalnego jest warunkiem zrównoważonego rozwoju.

W każdym układzie biotycznym (ekosystemie) działają dwa równoległe systemy: przepływ materii i energii, od najniższego do najwyższego poziomu troficznego, oraz przepływ informacji (sprzężenie zwrotne) w przeciwnym kierunku. Ten dwukierunkowy przepływ odbywa się w obrębie określonej struktury ekosystemu podlegającej procesom samoregulacji i adaptacji do warunków środowiskowych. Coraz częściej jednak równowaga pomiędzy produkcją i biomasa, będąca podstawą normalnego funkcjonowania ekosystemów wodnych, zostaje zachwiana bez troską działalnością człowieka wprowadzającego odpady produktów przemiany materii do wody w postaci ścieków, pyłów przemysłowych oraz spływających z pól uprawnych źle stosowanych nawozów sztucznych. W wyniku tego następuje nadmierny wzrost produkcji prowadzący do degradacji środowiska. Aktualnie jest to już problem o zakresie światowym. Z postępującą eutrofizacją, głównie powodowaną przez fosfor, wiąże się wiele niekorzystnych, z punktu

widzenia gospodarki ludzkiej zmian w ekosystemach wodnych. Ich zwalczanie staje się koniecznością. Bogata w sole pokarmowe woda nie nadaje się bowiem do celów wodociagowych z powodu masowego rozwoju glonów tworzących w zbiorniku tak zwane zakwity zdecydowanie pogarszających jej smak i zapach, a nawet w przypadku zakwitu sinicowego — stwarzających możliwość zatrucia toksynami, wydzielanymi przez niektóre gatunki tych glonów. Poza tym, rozkładające się obumarłe komórki glonów wywołują znaczne dobowe wahania koncentracji tlenu oraz jego okresowe zaniki. W skrajnych przypadkach obejmujące całą masę wody. Wydzielany w tych sytuacjach siarkowodor może stanowić ogromne niebezpieczeństwo dla środowiska. Wszystko to zmniejsza wartości użytkowe wody i to nie tylko do picia. Zmusza do wprowadzenia specjalnych kosztownych technik i urządzeń umożliwiających użytkowanie takich wód.

W tej sytuacji główne kierunki interdyscyplinarnych badań współczesnej ekologii rzek są zarówno badaniami przyczyn limitujących rozmieszczenie i zagęszczenie organizmów wodnych, jak i przewidywanie ich reakcji na zmiany w obrębie tego ekosystemu. Do oceny aktualnego stanu oraz potencjalnych możliwości ekosystemów rzecznych jako siedlisk dla organizmów wodnych wykorzystywane są między innymi: inwentaryzacja, klasyfikacja i monitoring rzek, a przede wszystkim badania struktury siedlisk oraz wielkości przepływu. Ponadto śledzi się negatywne efekty użytkowania i przekształcania ekosystemów wodnych, zagrożenia wynikające ze wzrostu populacji ludzkiej oraz wpływu lokalnych modyfikacji zlewni i ich wpływu na procesy ekologiczne. Są nimi: zmniejszenie powierzchni siedlisk na skutek redukcji meandrów rzeki, spadek stabilności substratu dennego i brzegów kanału rzeczno, ujednoczenie głębokości, redukcja struktur urozmaicających dno i redukcja roślinności przybrzeżnej.

HYDROCHEMIA

Badania hydrochemiczne rzek i zbiorników zaporowych prowadzone są w dwóch kierunkach: zawartości pierwiastków biogenicznych stanowiących podstawę produkcji pierwotnej oraz wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń (polutantów) niekorzystnych z biologicznego punktu widzenia dla organizmów wodnych takich jak: metale ciężkie, substancje ropopochodne i inne pochodzące ze ścieków przemysłowych. Niezależnie prowadzone są również intensywne ba-

dania wpływu kwaśnych deszczy na odczyn wody.

Badania zawartości pierwiastków pokarmowych, fosforu i azotu, mają przeważnie charakter monitoringowy. Stanowią jednak podstawę naszej wiedzy o możliwościach produkcyjnych poszczególnych rzek i zbiorników zaporowych. Ich nadmiar, szczególnie fosforu (głównego czynnika eutrofizacji wód), może być przyczyną wyłączenia z użytkowania do celów konsum-

pcyjnych danej wody. Aby temu zapobiec, prowadzi się szereg eksperymentów eliminowania z wód fosforu i azotu. Nie ma, jak dotąd, idealnej technologii usuwania fosforu z wody. Coraz częściej stosowana w oczyszczalniach ścieków technologia redukcji związków fosforu w oparciu o proces chemicznego strącania, a nie na drodze biodefosfatacji, jest przeprowadzana w drodze koagulacji fosforu związkami żelaza — tak zwany „Pixem”. Usuwa on fosfor w 90%, ale równocześnie powoduje chemizację środowiska przez wprowadzanie jonów siarczanowych i żelaza. Istnieje wprawdzie proces samoistnego biologicznego usuwania fosforu, lecz stosowany tylko w nowoczesnych oczyszczalniach biologicznych. Istotą tego procesu jest cykliczne przebywanie biomasy osadu czynnego w warunkach beztlenowych i tlenowych. Eliminacja fosforu odbywa się poprzez usuwanie nadmiaru osadu czynnego nasyconego fosforem.

Niestety możliwości utylizacji i eliminacji azotu są o wiele mniejsze. Jest to jeden z ważniejszych problemów ekologicznych, tak w naszym kraju, jak i na świecie. Trzeci stopień oczyszczania, a więc eliminacja azotanów doczekała się licznych rozwiązań technologicznych, lecz nie dostatecznie skutecznych. Te, które funkcjonują, nadają się do małych oczyszczalni i pracować mogą tylko w lecie (np. oczyszczalnie z rzęsa wodną, sitowiem itp.). Jakkolwiek mikrobiologiczny proces redukcji azotanów znany jest (denitryfikacja), jednakże bakterie które go przeprowadzają wymagają dużych ilości węgla organicznego i środowiska beztlenowego. Koniecznym więc staje się pożywkowanie ścieków uprzednio oczyszczonych w komorze osadu czynnego. Równocześnie wydzielający się powierzchni kłaczek azot gazowy na powoduje złą sedymentację i zmętnienie

odpływu. Jak więc widać biotechnologia zapobiegania nadmiernej koncentracji w środowisku wodnym pierwiastków biogenicznych jest kosztowna i nie łatwa.

Drugim ważnym problemem środowiskowym są kwaśne deszcze. Wpływają one na wody powierzchniowe i gruntowe w zależności od ich odporności na zakwaszenie, której miernikiem jest suma zawartości kwaśnych i obojętnych węglanów. W Polsce znane są nieliczne tylko badania nad składem chemicznym opadów atmosferycznych i ich wpływem na chemizm wód. Najsilniejsze zakwaszenie potoków i jezior stwierdza się głównie w terenach górskich (Karkonosze, Tatry Wysokie, Łysogóry, południowe stoki Baraniej Góry).

W związku z postępującym wzrostem motoryzacji i uprzemysłowienia coraz większe niebezpieczeństwo dla ekosystemów wodnych stwarzają metale ciężkie. Ich toksyczność na ryby i inne organizmy wodne jest duża. Przykładowo kadm powoduje anemię, zakłócenie gospodarki jonów dwuwartościowych, zaburzenia metabolizmu węglowodanów, zmiany w respiracji, osłabienie transportu tlenu, deformację kręgosłupa. Ołów powoduje efekt hematologiczny i rozwój krzywizny kręgosłupa. Wysokie stężenia miedzi są przyczyną nadmiernego wydzielania śluzu, wytrącanie go na skrzelach i śmierć ryby. Toksyczne stężenia żelaza występują już przy $1-2 \text{ mg dm}^{-3}$.

Metale ciężkie, poza niekorzystnym wpływem na organizmy, zmniejszają skuteczność samooczyszczania się wód poprzez hamowanie rozkładu związków tlenowych. Wyniki badań laboratoryjnych wskazują, że kadm, miedź i cynk hamują biochemiczny rozkład związków organicznych, nawet przy najmniejszych stężeniach w wodzie.

BADANIA ALGOLOGICZNE

Głony, jako producenci materii organicznej stanowią pierwsze ogniwo pokarmowe ekosystemów wodnych. W sprzyjających warunkach produkcja pierwotna glonów może być ogromna i stanowić niebezpieczeństwo zachwiania równowagi w środowisku wodnym, prowadzącej do jego całkowitej degradacji. Stale postępująca eutrofizacja wód dopinguje do coraz wnikliwszych badań ekologii glonów. Daje bowiem podstawę do kontroli ich nadmiernego rozwoju.

Zróznicowane występowanie poszczególnych zbiorowisk glonów w zdecydowanie różniących się między sobą ekosystemach podzieliły algologów na badających glony potoków i rzek górskich, podgórskich i nizinnych oraz zbiorników zaporowych.

POTOKI I RZEKI

Badania algologiczne potoków tatrzańskich dotyczą oddziaływania środowiska górskiego na wody płynące, zaznaczającego się występowaniem gradientu czynników fizycznych wzdłuż ich biegu, a mianowicie temperatury powietrza, światła oraz ilości opadów. Wiążą się z nimi zróznicowanie temperatury, prędkość prądu i natężenia przepływu wody, czasu zalegania pokrywy śnieżnej, która wyznacza długość czasu wegetacyjnego. Ekstremalne wahania poziomu

wody, z jednej strony odwodnienie potoku (wysychanie, wymarzenie), z drugiej nadmierny spływ w czasie wezbrań, mają szczególnie duże znaczenie ekologiczne. Ważną rolę w życiu glonów odgrywa również skład chemiczny wody związany z typem skały, gleby i roślinności występującej w zlewni powodując wzbogacenie środowiska wodnego w składniki pokarmowe w miarę zmniejszania się wysokości. Dotychczasowe badania algologiczne na podstawie składu gatunkowego zbiorowisk glonów wykazały wyraźną korelację pomiędzy zasobnością soli pokarmowych a poszczególnymi zbiorowiskami glonów (KAWECKA 1977). Badano również wpływ hydrotechnicznej zabudowy potoków tatrzańskich na zbiorowiska glonów osiadłych szczególnie wrażliwych na wszelkie zmiany. Badania wykazały, że w obszarach wyraźnie spowolnionego prądu na skutek istnienia niewielkich zapor, obserwuje się bardzo wyraźne zmniejszenie ilości gatunków glonów charakterystycznych dla tych wód. Poniżej stopni wodnych zbiorowiska wracają do stanu pierwotnego po kilkumiesięcznym okresie (SANECKI 1997).

Kontrolowano także wpływ zakwaszenia wód jezior tatrzańskich na zbiorowiska glonów. Badania wykazały drastyczne zmiany w zbiorowiskach glonów w kierunku gatunków kwasolubnych lub o dużej odporności na skrajne warunki środowiska śinice.

Liczebność glonów osiadłych w potokach i rzekach górskich różnicuje się wzdłuż ich biegu w zależności od wahań poziomu wody, szczególnie wzrastając w rejonach gęściej zaludnionych. W niższych partiach rzek pod wpływem dużej masy prowadzonej wody zbiorowiska glonów stają się coraz bardziej różnorodne. Obok glonów osiadłych pojawiają się organizmy planktonowe (potamoplankton) rozwijające się w toni wodnej.

ZBIORNIKI ZAPOROWE

Badania algologiczne zbiorników zaporowych są zdominowane przez tematy dotyczące ekologii rozwoju fitoplanktonu stanowiącego poważne zagrożenie jakości wody w razie nadmiernego wzrostu. Dotyczy to nie tylko wody pobieranej do celów wodociagowych, ale nawet w przypadku rozwoju sinic — dla rekreacji. Dlatego działania zmierzające do ograniczenia zawartości fosforu limitującego wzrost zbiorowisk fitoplanktonu stanowią podstawę ochrony i rekultywacji wód zgromadzonych w zbiornikach zaporowych i nie tylko. Wprowadzony do środowiska wodnego fosfor jest praktycznie nieusuwalny. Zmagazynowany w komórkach glonów i w osadach dennych stale wraca do obiegu

dzięki enzymowi — fosfatazie, która w chwili braku fosforu w produkcyjnej części wody jest wydzielana do środowiska wodnego przez organizmy żywe. Aktywność fosfataz stanowi sumę dwóch rodzajów enzymów, to jest enzymu ekstracelularnego (molekuły enzymu rozpuszczonej w wodzie) oraz fosfatazy żywych komórek, to jest enzymu trwale związanego z plazmalemą lub ścianami komórkowymi w taki sposób, że ich domena aktywna ma kontakt ze środowiskiem (ROMANOWSKA-DUDA i współaut. 1999). Tego rodzaju enzymy hydrolizują zewnętrzne estry fosforanowe, a dopiero uwolniony ortofosforan jest przyswajany przez komórki. Ma to duże znaczenie dla roślin znajdujących się w warunkach deficytu fosforu, ponieważ umożliwia wykorzystanie tego pierwiastka ze związków nieprzyswajalnych, na przykład z nierozpuszczalnych soli wapniowych, sedymentów, minerałów.

Poszczególne gatunki, grupy taksonomiczne i funkcjonalne glonów charakteryzują się zróżnicowanymi parametrami opisującymi ich zdolność produkcji pierwotnej w określonych warunkach środowiska oraz wykorzystywania w tym celu różnych form i źródeł pierwiastków biogenicznych. Istotną cechą charakteryzującą glonów jest ich zdolność do wprowadzania pierwiastków zawartych w ich biomacie do obiegu w łańcuchach troficznych lub do wyprowadzania ich z obiegu przez sedymentację oraz kumulację — wbudowywanie w trwałe niejadalne komórki i plechy. Występujące grupy i gatunki glonów mogą więc stanowić wskaźniki kierunków i intensywności procesów, na których opiera się funkcjonowanie zasiedlonego przez nie ekosystemu. Ta wiedza umożliwia z kolei, prowadzenie właściwych zabiegów gospodarczych, ochronnych lub rekultywacyjnych w zbiorniku wodnym i jego zlewni.

Drugi aspekt roli glonów w ocenie funkcjonowania ekosystemów opiera się na fitosocjologicznej koncepcji rzeczywistości zespołów. Glony tworzą określone zespoły z trudniejszymi do identyfikacji bakteriami, charakteryzującymi się różnymi właściwościami metabolicznymi.

Trzeci aspekt znaczenia wskaźnikowego glonów pozwala na określenie stref makro- lub mikrosiedlisk, w których określone procesy biogeochemiczne zachodzą z dużą lub małą intensywnością (PUCHALSKI 1998).

Stale potęgujący się wysoki stopień zeutrofizowania wód zbiorników zaporowych prowadzi do wzrostu populacji różnych gatunków sinic, w tym bardzo niebezpiecznych gatunków uznanych za toksyczne lub potencjalnie toksyczne, a mianowicie *Gomphospheria compacta*, *G. lacustris*, *Microcystis aeruginosa*, *Aphani-*

zomenon flos-aquae. Ekologia dwóch pierwszych gatunków jest jeszcze słabo poznana. Interesującym jest ich masowy zakwit w różnego typu i wieku zbiornikach o różnej morfometrii, okresowej stratyfikacji, głębokości i czasu retencji wody.

Wiele doniesień literaturowych z zakresu wzajemnych zależności między koncentracją związków azotu i fosforu a liczebnością populacji *A. flos-aquae* nie wyczerpuje zagadnień związanych z masowym pojawem tego taksonu. Zjawisko to uznane za fenomen, często wiązane jest z warunkami świetlnymi lub presją *Cladocera* na jej gatunki towarzyszące. Mechanizmem stymulującym obecność licznych populacji tego taksonu w epilimnionie jest procesem uwalniania akinet z osadów dennych, nagomadzonych w zbiornikach mezo- i eutroficznych. Istnieje kilka hipotez wyjaśniających ten proces. Dalsze poszukiwania odpowiedzi na pytanie: co

jest bezpośrednią przyczyną rozmnażania się trychomów bez akinet, powstawania heterocyst, uruchamiania nitrogenazy, dzięki której *A. flos-Aquae* wiąże azot atmosferyczny, aż w końcu co jest przyczyną masowego obumierania zakwitu są nadal w toku (BURCHARDT 1997).

Warte kontynuacji są badania ładunku energii przepływającej przez ogniwo glonowe i bakteryjne w osadach dennych rzeki i zbiornika zaporowego z uwzględnieniem energii akumulowanej w ich biomacie i produkcji oraz energii uwalnianej ze środowiska w wyniku aktywności metabolicznej glonów i bakterii. Wykazano, że największy ładunek energii przepływa w sezonie wegetacyjnym przez glonowe i bakteryjne ogniwo w osadach dennych rzeki poniżej zbiornika, a najmniejszy w cofce zbiornika, w tym 90% energii akumulowanej przypadają na ogniwo glonowe, a 85% uwalnianej na ogniwo bakteryjne (STARZECKA i BEDNARZ 1998).

BADANIA FAUNISTYCZNE

POTOKI I RZĘKI

Ekologiczne badania fauny bezkręgowej rzek dotyczą przede wszystkim zmian różnorodności ugrupowań makrobezkręgowców z uwzględnieniem liczby taksonów i funkcjonalnych grup pokarmowych oraz ich względnie liczebności wzdłuż spadku rzeki.

Wartości względnej biomasy funkcjonalnych grup pokarmowych zmieniają się w miarę wzrostu rzędowości. Zmniejsza się rola rozdrabniaczy, wzrasta zbieraczy drobnego detritusu i filtratorów sestonu. Zmianom tym, spowodowanym przez określone parametry morfometryczne koryta rzeki oraz zmienne fizyczne wody, towarzyszy przesunięcie metabolizmu biocenoz dennych z procesów hetero- do autotroficznych (STARMACH i współaut. 1991).

Obecnie prowadzone są dalsze badania zmierzające do rozszerzenia liniowej koncepcji „river continuum” na czterowymiarową, uwzględniającą aspekt liniowy, pionowy (strefa hyporeiczna), poprzeczny (efekt brzegowy) oraz

zmienną czasu. Jest to próbą stworzenia spójnego modelu funkcjonowania ekosystemów wód płynących. Nowa perspektywa szeroko pojętych czasowo-przestrzennie badań może pomóc w lepszym zrozumieniu dynamiki naturalnych ekosystemów rzek i umożliwić skuteczne zapobieganie zakłóceń w tych systemach spowodowane działalnością człowieka.

ZBIORNIK ZAPOROWE

Głównym zainteresowaniem badaczy fauny w zbiornikach zaporowych jest rozmieszczenie i strategia żerowania zooplanktonu, drugiego piętra troficznego spełniającego ważną funkcję czynnika regulującego nadmierną liczebność fitoplanktonu. Prowadzone są również badania makrobezkręgowców dennych. Obydwie wymienione grupy zwierząt, zooplankton i makrofauna denna, poza funkcją jako spełniają w spowolnieniu procesu eutrofizacji zbiorników zaporowych, stanowią podstawową bazę pokarmową ryb.

ICHTIOFAUNA

Zadaniem ichtiobiologii jest między innymi dążenie do odkrycia dlaczego poszczególne gatunki ryb występują lub nie występują w danym obszarze, rzece, zbiorniku, jeziorze.

Nowoczesne badania ichtiofauny rzecznej dotyczą przede wszystkim występowania po-

szczególnych gatunków zgodnie z ich wymaganiami względem struktury siedliska rzeczno-ego charakteryzującego się: głębokością wody, prędkością prądu, zacienieniem, dostępem do światła, charakterem dna (kamienie, otoczaki, żwir, piasek, muł, makrofity), o poza tym cha-

rakterem brzegów (naturalny płaski, stromy, podmyty, pokryty roślinnością niską, zadrzewiony, regulowany z kryjówkami lub bez kryjówek w brzegu) (STARMACH i współaut. 1988).

Rybackie badania rzek prowadzone są również pod kątem utrzymania wysokiej biomasy i różnorodności zespołu ryb. Jest ona zależna w znacznej mierze od heterogenności struktury fizycznej ekosystemów rzecznych, układu pionowych meandrów, plos i bystrzy, jak również charakteru ekotonu strefy przejściowej pomiędzy sąsiadującymi systemami ekologicznymi i wzajemnych interakcji pomiędzy nimi (ŁAPIŃSKA 1996).

Badania warunków życia ryb i ich funkcji w ekosystemie zbiornika zaporowego idą w dwu kierunkach: produkcji rybackiej i funkcji ryb w przepływie energii przez poszczególne poziomy troficzne.

Ryby stanowią szczytowe ogniwo łańcuchów troficznych ekosystemów wodnych i pełnią funkcję istotnego czynnika kształtującego strukturę zespołów planktonowych i dennych, a tym samym biorą udział w krążeniu pierwiastków biogenicznych: fosforu, azotu i węgla. Wobec faktu, że kontrolowane przez ryby składniki biocenozy zbiornika, zooplankton i bentos odgrywają kluczową rolę w obiegu pierwiastków pokarmowych, szereg biotycznych i abiotycznych parametrów ekosystemu jak na przykład koncentracja dostępnych dla glonów form fosforu, a w ślad za tym biomasa fitoplanktonu podlega pośredniemu wpływowi ichtiofauny. Efektywnie filtrujące duże formy zooplanktonu dominujące w zbiornikach przy małej presji ryb, mogą utrzymywać biomasę glonów na poziomie znacznie niższym od przewidywanego na modelach wiążących wiosenną koncentrację fosforu w wodzie z letnią biomasą fitoplanktonu. Duże wioślarki, selektywnie usuwane przez ryby, zjadają większe cząstki fitoplanktonu i w większych ilościach. Poddany presji ryb zooplankton zdominowany przez małe wioślarki, wrotki i pierwotniaki, eksploatuje tylko część obecnego w środowisku fitoplanktonu o dostatecznie małych komórkach lub koloniach, a zarazem szybko uwalnia zawarty w pokarmie fosfor i azot.

Badania zmierzające do określenia optymalnego składu gatunkowego ryb pod kątem widzenia ochrony jakości wody zgromadzonej w zbiornikach zaporowych, dotyczą przede wszystkim strategii żerowania poszczególnych gatunków ryb oraz ich możliwości przystosowawczych do poziomu eutrofizacji wody. Zmiany trofii wody mają bowiem ogromny wpływ na ryby. W zbiornikach oligotroficznych gatunkami dominującymi są ryby łososiowate. W miarę

postępu eutrofizacji powodującej zmiany w środowisku wodnym zostają wyparte przez ryby karpiołate. W początkowym okresie zespół tych ryb obfituje w liczne wyspecjalizowane gatunki, zajmujące różne nisze ekologiczne współbytuje z silnymi populacjami drapieżników, najpierw ze szczupakiem, a następnie z sandaczem. Dalsza eutrofizacja powoduje stopniowe zanikanie ryb drapieżnych, a zespół ryb karpiołatych ubożeje gatunkowo. Zmiany prowadzą do powstawania silnych dominacji jednego lub dwóch gatunków karpiołatych (płoc lub leszcz i krab), co sprzyja jednostronnej eksploatacji bazy pokarmowej i powoduje chroniczne niedożywienie zbyt licznych populacji. Prowadzi to do spowolnienia tempa wzrostu i do karłowacenia ryb. Do tarła przystępują coraz mniejsze osobniki, a silna i jednokierunkowa presja pokarmowa na zooplankton, wyjątkowo licznych stadiów młodocianych dominujących ryb karpiołatych, powoduje przyspieszenie degradacji wody zbiornika. Wraz ze zmianami składu ichtiofauny zmienia się też produkcja rybacka. Początkowo wzrost trofii zbiornika sprzyja zwiększeniu produkcji rybackiej, następnie zahamowaniu, aby wreszcie w miarę dalszego postępu eutrofizacji spowodować jej całkowite załamanie (STARMACH 1994).

Postęp eutrofizacji może być znacznie spowolniony dzięki odpowiedniej strukturze gatunkowej ryb zgodnie z koncepcją biomanipulacji, polegającą na odpowiednim stosunku ryb drapieżnych do karpiołatych (SHAPIRO i współaut. 1984). Wyniki badań odżywiania się ryb wskazują jednoznacznie na szkodliwą dla jakości wody rolę ryb karpiołatych w zbiorniku. Są one bowiem czynnikiem zwiększającym pulę pierwiastków biogenicznych w wodzie poprzez intensyfikację tempa ich regeneracji z osadów oraz wywieranie silnej presji na zooplankton. Natomiast odpowiednia liczebna ryb drapieżnych szybko przechodzących na pokarm rybi (szczupak, sandacz, sum, boleń), ograniczających liczebność populacji ryb planktono i detritosożernych oraz małe zagęszczenie wylęgu karpiołatych i okonia, pozwala na powstanie równowagi pomiędzy fitoplanktonem, zooplanktonem, zoobentosem i rybami, gwarantującej przepływ energii na poziomie oligotroficznym. Znaczne zmniejszenie liczebności ryb karpiołatych i okoni jest więc zabiegiem bardzo pożądanym w celu powstrzymania eutrofizacji zbiornika i powinno być traktowane jako skuteczny i stosunkowo tani zabieg rekultywacji.

Przedstawione powyżej znaczenie ryb w utrzymaniu równowagi biologicznej w środowisku wskazuje na niebagatelną rolę racjonalnej,

celowej gospodarki rybackiej, zarówno w popie-
raniu rozwoju ryb drapieżnych, jak i kształto-
waniu składu gatunkowego i struktury wieko-

wej ryb niedrapieżnych, czy wreszcie w elimina-
cji gatunków niepożądanych.

PODSUMOWANIE

Głównymi kierunkami aktualnie prowadzo-
nych w Polsce badań hydrobiologicznych jest
poznanie zależności ekologicznych w obrębie
ekosystemu rzek, zbiorników zaporowych i ich
zlewni oraz powiązań pomiędzy środowiskiem
ładowym a ekosystemami wodnymi.

Z jednej strony celem ich jest zbadanie me-
chanizmu funkcjonowania ekosystemów wod-
nych nie zmienionych, lub nieznacznie zmienio-
nych, działalnością człowieka jakimi są potoki i
jeziora na terenie parków narodowych, z drugiej
strony ich zadaniem jest uchwycenie zmian w
strukturze i funkcjonowaniu ekosystemów
wodnych pozostających pod wpływem różno-
rodnej działalności ludzkiej.

W badaniach ekosystemów wodnych,
oprócz czynników środowiska abiotycznego,
szczególna uwaga zwrócona jest na określenie

rodzajów i liczby grup troficznych czyli gildii (w
obrębie: bakterii, glonów osiadłych, planktonu
roślinnego i zwierzęcego, makrobezkręgowców
dennych oraz ryb) regulujących procesy ekosy-
stematne, takie jak produktywność, krążenie
materii, odporność na zmiany środowiskowe.

Wyniki tych badań mają nie tylko wartość
poznawczą, ale również zastosowanie praktycz-
ne w ochronie zasobów wodnych. Aktualny stan
jakości naszych rzek i zbiorników zaporowych
intensywnie eksploatowanych przez coraz licz-
niejszą populację ludzką, wymaga już szczegól-
nej troski. Dlatego ekologiczne badania różno-
rodności gatunkowej i jej funkcji w ekosystemie
są obecnie priorytetowym problemem ekologii
wód. Woda jest bowiem podstawą bytu na Zie-
mi.

LITERATURA

- BURCHARDT L., 1997. XVI Sympozjum Sekcji Fykologicznej PTB, Przyczyny i skutki zakwitów glonów. Kaszuby Wdzydze Kiszewskie 9–11.05.
- KAJAK Z., 1998. *Hydrobiologia — Limnologia*. Ekosystemy wód Śródlądowych PWN Warszawa.
- KAWECKA B., 1977. *Biocenosis of high mountain stream under the influence of tourism. 3. Attached algae communities in the stream Rybi Potok (the High Tatra MTS) polluted with domestic sewage*. Acta Hydrobiol. 10, 274–292.
- ŁAPIŃSKA M., 1996. *Przestrzeń jako czynnik limitujący zespoły ryb w rzece nizinnej i wyżynnej*. Praca doktorska, Zakład Ekologii Stosowanej UŁ.
- PUCHALSKI W., 1998. XVII Sympozjum Sekcji Fykologicznej PTB, Glony jako uniwersalne bioindykatory degradacji środowiska przyrodniczego ze szczególnym uwzględnieniem estuarium Odry, Pomorze Zachodnie, Szczecin-Lękecin 7–11.05.
- ROMANOWSKA-DUDA Z., TARCZYŃSKA M., IZYDORCZUK K., ZALEWSKI M., 1999. XVIII Sympozjum Sekcji Fykologicznej PTB, Bioróżnorodność flory glonów i sinic jako metoda oceny środowiska wodnego. Kielce-Wólka Milanowska 6–9.05.
- SHAPIRO J., WRIGHT D. J., 1984. *Lake restoration by biomanipulation: Round lake Minnesota, the first two years*. Freshwat. Biol., 14, 371–384.
- SANECKI J., 1997. *Wpływ hydrotechnicznej zabudowy potoków tatrzańskich na zbiorowiska glonów osiadłych*. Materiały Zakładu Biologii Wód im. K. Starmacha PAN w Krakowie.
- STARMACH J., JELONEK M., MAZURKIEWICZ G., FLEJTUCH T., AMIROWICZ A., 1988. *Ocena aktualnego stanu ichtiofauny i możliwości produkcyjnych dorzecza rzeki Raby*. Roczn. nauk. PZW 1, 75–96.
- STARMACH J., FLEJTUCH T., AMIROWICZ A., MAZURKIEWICZ G., JELONEK M., 1991. *Longitudinal patterns in fish communities in a Polish mountain river: their relations to abiotic and biotic factors*. Acta Hydrobiol. 33, 353–366.
- STARMACH J., 1994. *Struktura zespołów ryb w zbiornikach zaporowych o różnym stopniu eutrofizacji*. [W:] *Zintegrowana strategia ochrony i zagospodarowania ekosystemów wodnych*. ZALEWSKI M. (red.), Biblioteka Monitoringu Środowiska Woj. Insp. Ochr. Środ. w Łodzi.
- STARMACH K., WRÓBEL S., PASTERNAK K., 1976. *Hydrobiologia*. PWN, Warszawa.
- STARZECKA A., BEDNARZ T., 1998. *Comparison of microbiological activity in bottom sediments of litoral and profundal zones of a submountane dam reservoir*. Acta Hydrobiol. 14, 239–300.
- VANNOTE R. L., MISHALL W., CUMMINS K. W., SEDELL J. R., CISHING C. E., 1980. *The river continuum concept*. Can. J. Fish. aqat. Sci. 37, 130–137.
- ZALEWSKI M., NAIMAN R.J., 1985. *The regulation fish community by a continuum of abiotic-biotic factors* [W:] *Habitat modification and freshwater fisheries*. ALAN-STER J. S. (red.), London, Butteraoths Scientific Ltd, str. 3–9.