

Ekohydrologiczne
podstawy
poprawy
żeglowności
i zwiększenia
potencjału
środowiskowego
Odrzańskiej
Drogi Wodnej

Maciej Zalewski
Paweł Jarosiewicz

Opracowano na podstawie *Wytycznych środowiskowych dotyczących zastosowania ekohydrologii dla planowania i projektowania inwestycji mających na celu poprawę żeglowności rzeki Odry*, zgodnie z realizacją projektu *Wsparcie merytoryczne w procesie przygotowania wstępnej koncepcji przestrzenno-technicznej na potrzeby Programu Rozwoju Odrzańskiej Drogi Wodnej* na zamówienie Zarządu Morskich Portów Szczecin i Świnoujście SA.

Maciej Zalewski Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk
Paweł Jarosiewicz Katedra UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej, Wydział Biologii
i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki

Opracowanie redakcyjne: Dorota Dybkowska-Stefek, Justyna Relisko-Rybak
Redakcja językowa, korekta: Izabela Krupa
Zdjęcia: Justyna Relisko-Rybak

ISBN 978-83-953039-9-9

© Zarząd Morskich Portów Szczecin i Świnoujście SA, 2019

Wydanie pierwsze. Nakład 1000 egz.
Druk: Zapol Sobczyk Sp.j.
al. Piastów 42, 71-062 Szczecin



SPIS TREŚCI

Wstęp 7

Odrzańska Droga Wodna a funkcjonowanie ekosystemu
rzeki 11

Ekohydrologia 15

Ekohydrologiczne Rozwiązania Bliskie Naturze dla
zwiększenia potencjału środowiskowego Odrzańskiej Drogi
Wodnej 21

Regulacja procesów związanych z transportem zawiesiny
organicznej i mineralnej 25

Retencja w dolinie rzecznej 29

Restytucja siedlisk i utrzymanie korytarzy migracyjnych 33

Zastosowanie metod z zakresu biotechnologii
ekohydrologicznych w ograniczaniu zanieczyszczeń
w dorzeczu Odry 41

Zastosowanie stref buforowych oraz wysokoefektywnych
stref ekotonowych w celu ograniczenia transferu
zanieczyszczeń obszarowych 43

Zastosowanie organicznych płyt obornikowych w celu
redukcji zanieczyszczeń skoncentrowanych 47

Kompensacja poprzez redukcję zanieczyszczeń
pochodzących z instalacji burzowych – zastosowanie
sekwencyjnych systemów sedimentacyjno-
-biofiltracyjnych 49

Hybrydowy sekwencyjny system biofiltracji przeznaczony dla
małych oczyszczalni ścieków 53

Zakończenie 57

Literatura 59

WSTĘP

Rozwój portów morskich w dużym stopniu zależy od tego, jaka jest jakość dostępu do nich od strony morza i lądu. Kiedy Odrzańska Droga Wodna spełni – na całej długości – wymagania szlaku żeglownego o znaczeniu międzynarodowym, stanie się jednym z najważniejszych czynników decydujących o konkurencyjności portów w Szczecinie i Świnoujściu. Stworzy to także warunki dla zrównoważonego rozwoju ekonomicznego obszarów położonych wzdłuż jej osi. Zgodnie z Załoženiami do planów rozwoju śródlądowych dróg wodnych w Polsce na lata 2016–2020 z perspektywą do roku 2030, przyjętymi Uchwałą nr 79 Rady Ministrów z dnia 14 czerwca 2016 roku, Odrzańska Droga Wodna ma być przystosowana do klasy żeglowności Va. Opracowanie i realizacja Programu Rozwoju Odrzańskiej Drogi Wodnej pozwoli ten cel osiągnąć. Będzie to zarazem wypełnienie uzgodnień zawartych w Europejskim Porozumieniu w sprawie Głównych Śródlądowych Dróg Wodnych o Znaczeniu Międzynarodowym (Konwencja AGN), ratyfikowanym przez Polskę w 2017 roku. Kluczowym zadaniem inwestycyjnym planowanym dla rozwoju Odrzańskiej Drogi Wodnej jest budowa stopni wodnych na Odrze swobodnie płynącej, zapewniających poprzez piętrzenie wody w korycie rzeki wymaganą głębokość

kość tranzytową na szlaku żeglownym w okresach niskich przepływów. Prace koncepcyjne w tym zakresie prowadzone są w Biurze ds. Odrzańskiej Drogi Wodnej, utworzonym w Zarządzie Morskich Portów Szczecin i Świnoujście SA. Przyjęto dla nich podstawową zasadę – dbałość o środowisko naturalne. Ideą jest bowiem, by Program Rozwoju Odrzańskiej Drogi Wodnej nie tylko tworzył infrastrukturę śródlądowego transportu wodnego przyjaznego środowisku i wpisującego się w koncepcję zrównoważonego rozwoju transportu Unii Europejskiej, lecz także zawierał rozwiązania i działania sprzyjające środowisku, pozwalające na zachowanie bioróżnorodności oraz przyczyniające się do zmniejszenia zanieczyszczenia wód i skutków zmian klimatycznych. Realizacja Programu o takich założeniach przyczyni się do osiągnięcia ustalonych w 2015 roku na Zgromadzeniu Ogólnym Organizacji Narodów Zjednoczonych globalnych celów zrównoważonego rozwoju zarówno w zakresie wzrostu gospodarczego, jak i dbałości o środowisko naturalne.

dr inż. Jacek Cichocki –
Wiceprezes ds. Rozwoju
Zarządu Morskich Portów
Szczecin i Świnoujście SA

Ekosystem Odry w nowoczesnej nomenklaturze ekologicznej może być określany mianem *novel ecosystem*, tzn. ekosystemu, który został silnie zmieniony przez człowieka. Pomimo bezsprzecznie ogromnej roli w adaptacji do zmian klimatu oraz podnoszeniu bioróżnorodności, jaką odgrywają naturalne, meandrujące koryta rzeczne połączone z bogatymi przyrodniczo dolinami, z przyczyn m.in. społeczno-gospodarczych powrót do stanu sprzed pierwszych prób regulacji Odry jest niemożliwy. Z drugiej strony narastający kryzys klimatyczny, który będzie w przyszłości skutkował dłuższymi okresami suszy oraz nieznacznie zwiększonymi opadami w okresie zimowo-wiosennym, zmusza nas do poszukiwania nowych form retencjonowania wód w skali całego kraju, począwszy od zwiększania retencyjności glebowej w obszarach rolnych, przez wzrost kompleksowości krajobrazu, renaturyzację rzek, włączanie błękitno-zielonej infrastruktury w tkanę miast, skończywszy na retencji zbiornikowej i korytowej. W obliczu skali zmian o charakterze globalnym „konserwatorskie” podejście do ochrony środowiska coraz częściej prowadzi do konfliktu z oczekiwaniami społecznymi, jednocześnie nie gwarantując zachowania bogactwa przyrody. Zrównoważony rozwój ekonomiczny powinien być realizowany z zachowaniem bioróżnorodności, adaptacją zlewni do zmian klimatycznych oraz dbałością o zachowanie dziedzictwa kulturowego dolin rzecznych. Ekohydrologia to nauka transdyscyplinarna, która integruje wiedzę o procesach

hydrologicznych i ekologicznych dla opracowywania metod i rozwiązań systemowych w celu zrównoważonego zarządzania zasobami wodnymi. Tworzy nie tylko innowacyjne rozwiązania, lecz także strategię dla ich wdrażania i integracji w ramach holistycznego ujęcia zlewniowego. Rozwój Odrzańskiej Drogi Wodnej wpłynie na kontinuum rzeczne, procesy samooczyszczania, migrację ichtiofauny oraz wiele innych procesów ekologicznych. Dlatego niezwykle ważne jest, aby równolegle do rozwoju żeglugi śródlądowej wprowadzić takie ekohydrologiczne rozwiązania bliskie naturze, które będą łagodziły negatywne skutki oraz podnosiły potencjał środowiskowy rzeki i jej doliny. W ekohydrologii potencjał ten jest wyrażony jako strategia WBRSC, w której woda, bioróżnorodność, odporność ekosystemu, korzyści ekosystemowe oraz dziedzictwo kulturowe i edukacja stanowią główne punkty dla osiągnięcia trwałego, zrównoważonego rozwoju. Należy ponadto wspomnieć, że inwestycja w Odrzańską Drogę Wodną to także inwestycja w spowolnienie odpływu w okresie niżówek, co jest niezwykle istotne dla funkcjonowania ekosystemów zależnych od wody i okolicznych terenów rolniczych. Spowolnienie odpływu wody przyczynia się bowiem do restytucji siedlisk i podnoszenia bioróżnorodności, szczególnie w dolinie rzecznej.

prof. dr hab. Maciej Zalewski –
Dyrektor Europejskiego Regionalnego
Centrum Ekohydrologii



ODRZAŃSKA DROGA WODNA A FUNKCJONOWANIE EKOSYSTEMU RZEKI

Tempo zmian zachodzących w systemach rzecznych jest wyznaczane nie tylko przez warunki klimatyczne i geomorfologiczne, lecz także przez ewolucję biologiczną i sukcesję ekologiczną. Człowiek praktycznie od początku istnienia cywilizacji modyfikował procesy hydrologiczne oraz ekologiczne, wpływając na przepływ energii w ekosystemach lądowych i wodnych. Niestety, zazwyczaj odbywało się to bez zrozumienia zależności, które wpływają na funkcjonowanie ekosystemów, co coraz częściej prowadziło do poważnych konsekwencji, np. w postaci katastrofalnych susz, powodzi, masowego rozwoju niepożądanych organizmów lub inwazji gatunków obcych. W wielu rejonach globu, w tym także w Polsce, doprowadziło to do degradacji systemów przyrodniczych, upośledzenia funkcjonowania wielu ekosystemów oraz utraty bioróżnorodności. Mimo tego do niedawna decyzje w zakresie gospodarowania zasobami wodnymi były w większości podejmowane bez naukowego i przyrodniczego kontekstu, koncentrując się na pojedynczych problemach i krótkoterminowych rozwiązaniach. W dolinie Odry zabiegi techniczne polegające na regulacji jej koryta były podejmo-

wane od średniowiecza, a historia dobrze udokumentowanych działań człowieka rozpoczyna się już od XVIII wieku. Obecnie jest to rzeka silnie zmodyfikowana, szczególnie w środkowym i dolnym biegu. Odzwierciedleniem tej sytuacji są raporty o stanie środowiska, w których wody dorzecza Odry w wielu przypadkach klasyfikowane są poniżej stanu dobrego.

Ekosystemy rzeczne stanowią skomplikowane układy wzajemnych zależności, w których nawet najmniejsze zaburzenia mogą prowadzić do nieprzewidywalnych konsekwencji. Stąd ingerencja w system rzeczny powinna jako układ odniesienia przyjąć wiedzę o fundamentalnych procesach opisujących kontinuum rzeczne, uwzględniając wpływ całej zlewni na dynamikę zasobów wodnych i obieg pierwiastków. Podstawowym założeniem jest uznanie rzeki za ekosystem otwarty, o którego cechach jakościowych i ilościowych decydują struktura, formy użytkowania i procesy ekohydrologiczne w skali całej zlewni. Toteż przy inwestycjach typu rozbudowy lub tworzenia drogi wodnej niezwykle ważne jest uwzględnienie zarówno kwestii dotyczących otoczenia rzeki (zlewni), jak i samego jej koryta.

Największe znaczenie dla zachowania i ochrony walorów środowiska ma ciągłość procesów odpowiedzialnych za funkcjonowanie rzeki i jej doliny jako siedliska dla fauny i flory. Dla prawidłowego funkcjonowania tych komponentów w rzece musi odbywać się transport materii mineralnej i organicznej (rumowisko rzeczne), koniecznych m.in. do budowania optymalnej struktury troficznej ekosystemu rzeczno-ekologicznego. Proces ten odzwierciedla segregacja cząsteczek transportowanych w nurcie rzeki, począwszy od żwirowych ławic przeważających w górnych odcinkach, skończywszy na depozycjach osadów drobnoziarnistych dominujących w dolnych odcinkach rzek. Oprócz struktury troficznej rzek transport ten wpływa na zróżnicowanie strefy przybrzeżnej i ma olbrzymie znaczenie dla funkcjonowania ekosystemów wód słonych. Rzeka to również liczne siedliska, których zróżnicowanie wpływa na kształtowanie się bioróżnorodności i produktywności, także ekosystemów przylegających do wód płynących. Znaczącą funkcję w utrzymywaniu bioróżnorodności, retencjonowaniu wody oraz jej oczyszczaniu pełnią mokradła, starorzecza, zastoiska oraz strefy przybrzeżnej roślinności ekotonowej.

W naturalnym charakterze rzek leży zmienna czasowo dynamika przepływu z występującymi okresami stanów powodziowych, jak również niżówkami zagrażającymi funkcjonowaniu organizmów wodnych (hydrobiontów). Mówiąc o wodach wezbraniowych, należy podkreślić znaczenie dostępności teras zalewowych dla ich okresowego wylewania. Zjawisko to przyczynia się do oczyszczania wód i jednocześnie użytkowania doliny, ponadto stymuluje przepływ materii, a nawet genów pomiędzy systemem rzeczno-ekologicznym i ekosystemami funkcjonującymi w dolinie, co jest bardzo istotne dla dobrej kondycji populacji wielu hydrobiontów. W rzeczywistości utrzymanie różnorodności genetycznej wszystkich populacji jest możliwe tylko przy zachowanej możliwości migracji wzdłuż i w poprzek kontinuum rzeczno-ekologicznego.

Program Rozwoju Odrzańskiej Drogi Wodnej to plan poprawy żeglowności drugiej największej rzeki w Polsce. Warto podkreślić, że przygotowu-

jąc ten dokument, skupiono się nie tylko na wypełnieniu podstawowego założenia technicznego – przystosowania Odrzańskiej Drogi Wodnej do parametrów klasy Va, lecz także na licznych elementach związanych z polityką zrównoważonego rozwoju, m.in. ochroną środowiska i adaptacją do zmian klimatu. Projekt Programu będzie opracowywany zgodnie z wymaganiami ustawowymi dotyczącymi ochrony środowiska, z poszanowaniem ekosystemów chronionych i cennych przyrodniczo, jak również z uwzględnieniem możliwości zwiększenia potencjału środowiska Odry i jej doliny w celu kompensacji przewidywanych skutków negatywnych. Zostanie on poddany strategicznej ocenie oddziaływania na środowisko.

Określono, że przebudowa koryta rzeczno-ekologicznego w celu uzyskania drogi wodnej o klasie żeglowności Va wykonana w sposób tradycyjny zaburzy funkcjonowanie biocenozy Odry przede wszystkim poprzez modyfikację hydromorfologii cieku, w tym:

- ograniczenie podłużnej i poprzecznej ciągłości koryta i doliny Odry;
- zmianę transferu materii mineralnej i organicznej wzdłuż kontinuum rzeczno-ekologicznego i jej okresową akumulację;
- zmianę charakterystyki, rozkładu przestrzennego procesów hydraulicznych w korycie i obszarach zalewowych;
- zmniejszenie długości rzeki poprzez jej prostowanie w miejscach, w których promień łuku nie pozwala na manewrowanie jednostek pływających, co spowoduje przyspieszenie odpływu i redukcję powierzchni i różnorodności siedlisk;
- w dalszym etapie użytkowania ingerencję jednostek pływających w linię brzegową poprzez niestabilność warunków siedliskowych na skutek falowania oraz pracę napędu, jak również bezpośrednie oddziaływanie na organizmy wodne;
- zwiększenie tempa nagrzewania wód na skutek okresowych podpiętrzeń i związane- go z tym nadmiernego rozwoju organizmów planktonowych w obszarach stagnacji.

Zjawiska te będą miały wpływ na zróżnicowanie biocenotyczne poprzez:

- zmiany w składzie zespołów ryb i bezkręgowców na skutek ograniczenia możliwości migracji gatunków diadromicznych (migrujące pomiędzy wodami morskimi i słodkimi) oraz potamodromicznych (migrujących w obrębie wód słodkich);
- zmniejszenia liczebności gatunków wrażliwych na oddziaływania antropogeniczne;
- zwiększenie śmiertelności hydrobiontów powodowanej okresowym odwodnieniem na skutek nienaturalnego falowania oraz bezpośredniego oddziaływania napędu (dotyczy głównie organizmów osiadłych i słabo pływających, np. wczesnych stadiów rozwojowych ryb);
- zwiększenie zagrożenia ze strony gatunków inwazyjnych.

Przy tak wyraźnie określonych zagrożeniach, które stanowią obecnie istotny element debaty ekologicznej oraz społecznej, niezbędne jest podjęcie odpowiednich działań mogących łagodzić negatywne skutki inwestycji.

EKOHYDROLOGIA

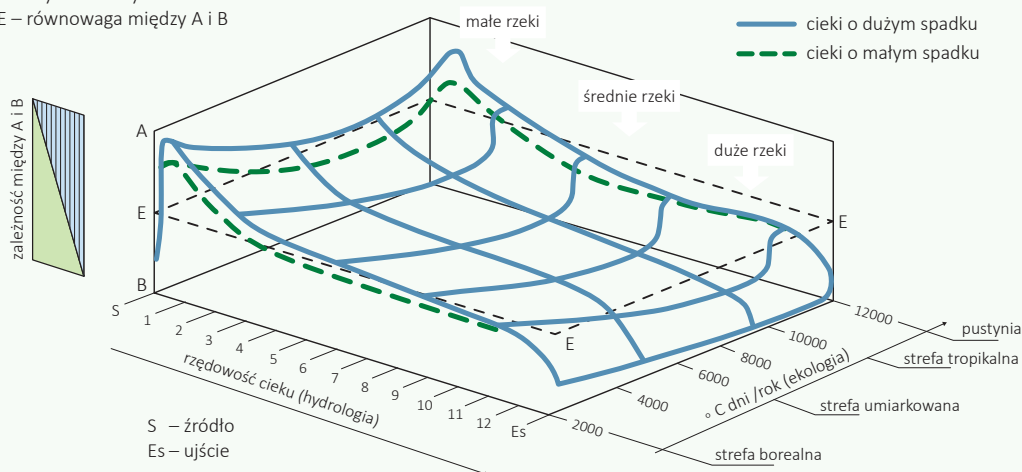
Ekohydrologia to subdyscyplina hydrologii, której podstawą jest integracja wiedzy z różnych dyscyplin (zwłaszcza ekologii i hydrologii) w celu wyjaśniania i hierarchizowania procesów zachodzących w ekosystemach wodnych i od wody zależnych. Zrozumienie interakcji pomiędzy tymi procesami zarówno na poziomie molekularnym, jak i krajobrazowym tworzy podstawy dla innowacyjnych, niskokosztowych metod i rozwiązań systemowych, których wdrożenie poprawia potencjał środowiska, szczególnie w zakresie zasobów wodnych.

Potencjał ekohydrologii dla rozwiązywania współczesnych problemów w gospodarowaniu zasobami wodnymi został doceniony przez Organizację Narodów Zjednoczonych. W 1996 roku uruchomiono Międzynarodowy Program Hydrologiczny (ang. International Hydrological Programme) UNESCO, który dał pole do współpracy między specjalistami zajmującymi się ekologią, geomorfologią, hydrologią i inżynierią wodną, tworząc podwaliny pod nowe podejście do zarządzania wodami (Zalewski 1997). Ekohydrologia stanowi obecnie jeden z sześciu filarów UNESCO IHP i dysponuje siecią centrów badawczych i ob-

szarów demonstracyjnych na całym świecie, gdzie zostały zastosowane różne innowacyjne rozwiązania (więcej na stronie: <http://ecohydrology-ihp.org/demosites>).

Fundamenty naukowe ekohydrologii wywodzą się bezpośrednio z koncepcji regulacji czynników abiotycznych i biotycznych (ang. *abiotic-biotic regulatory concept*—ABRC) (Zalewski i Naiman 1985; Zalewski 1986). Model ABRC powstał, ponieważ koncepcja kontinuum rzeczno (Vannote i in. 1980) nie może służyć jako model do ekstrapolacji na inne ekosystemy, gdyż każda rzeka jest inna pod względem abiotycznym i biotycznym oraz ma inne znaczenie dla człowieka. Kwantyfikację procesów ekologicznych i dedukcję na ich podstawie należy rozpocząć na najbardziej podstawowym poziomie praw fizyki i hydrauliki, gdyż to właśnie podstawowe przemiany na poziomie fizycznym warunkują życie w środowisku wodnym. Czynniki abiotyczne są w tym układzie nadrzędne w stosunku do biotycznych, ponieważ determinują procesy fizjologiczne, tylko do pewnego stopnia podlegające adaptacjom kompensacyjnym. Dopiero gdy czynniki abiotyczne (np. dostępność wody, temperatura, dynamika

A – czynniki abiotyczne
B – czynniki biotyczne
E – równowaga między A i B



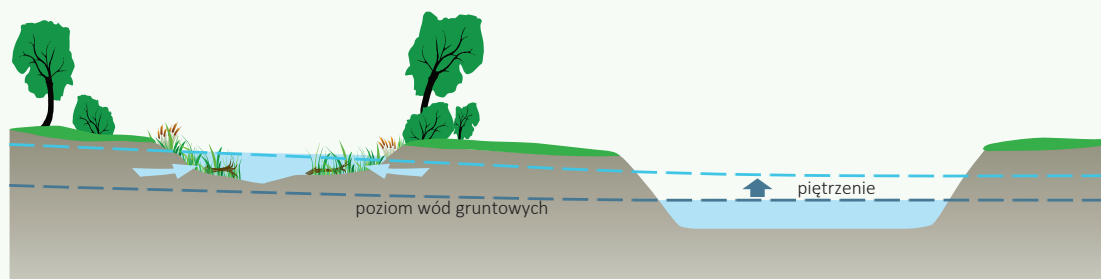
Rzędowość strumienia determinuje hydrodynamikę i wydatki energetyczne organizmów. Temperatura determinuje tempo metabolizmu, tempo wzrostu i bioproduktywność w warunkach nielimitowanej trofii. Bioproduktywność i bioróżnorodność zależą od relacji pozyskania energii z pokarmu i wydatku energetycznego opisanego powyższymi parametrami (mod. Zalewski i Naiman 1985).

Rycina 1. Model zmian hierarchii czynników abiotycznych i biotycznych wzdłuż rzeczniczego kontinuum i gradientu temperatur

przepływu) stają się stabilne i przewidywalne, uwiadcniają się czynniki biotyczne, ujawniając interakcje między organizmami nawzajem oraz ich środowiskiem, decydując o strukturze gatunkowej środowiska (ryc. 1).

Dynamiczny rozwój ekohydrologii pozwolił na sformułowanie zasad zrównoważonego zarządzania zasobami wodnymi, które powinno odbywać się z poszanowaniem wszystkich odbiorców, jak również powinno cechować się myśleniem strategicznym. W ekohydrologii potencjał środowiska określany jest pięcioma parametrami, pod ogólną nazwą WBRS+C (z ang. woda – *Water*, bioróżnorodność – *Biodiversity*, odporność ekosystemów – *Resilience*, usługi ekosystemowe

– *ecosystem Services*, dziedzictwo kulturowe – *Cultural heritage*) (Zalewski 2014). Dostępność wody determinuje zdolność ekosystemów lądowych w zlewni do akumulacji węgla, co przekłada się na wzrost produkcji biologicznej i bioróżnorodności, a także redukcję śladu węglowego (<https://www.carbonfootprint.com>). Woda i bioróżnorodność stanowią podstawę dla usług ekosystemowych takich jak np. produkcja żywności, rekreacja, turystyka. Z tego powodu jednym z wyzwań stojących przed nauką, obok wypracowania mechanizmów przystosowania się do zmian klimatycznych, jest zwiększenie zdolności do elastycznego reagowania na różne formy oddziaływań antropogenicznych. Działania dążące do tego celu muszą być



Rycina 2. Restytucja mokradeł

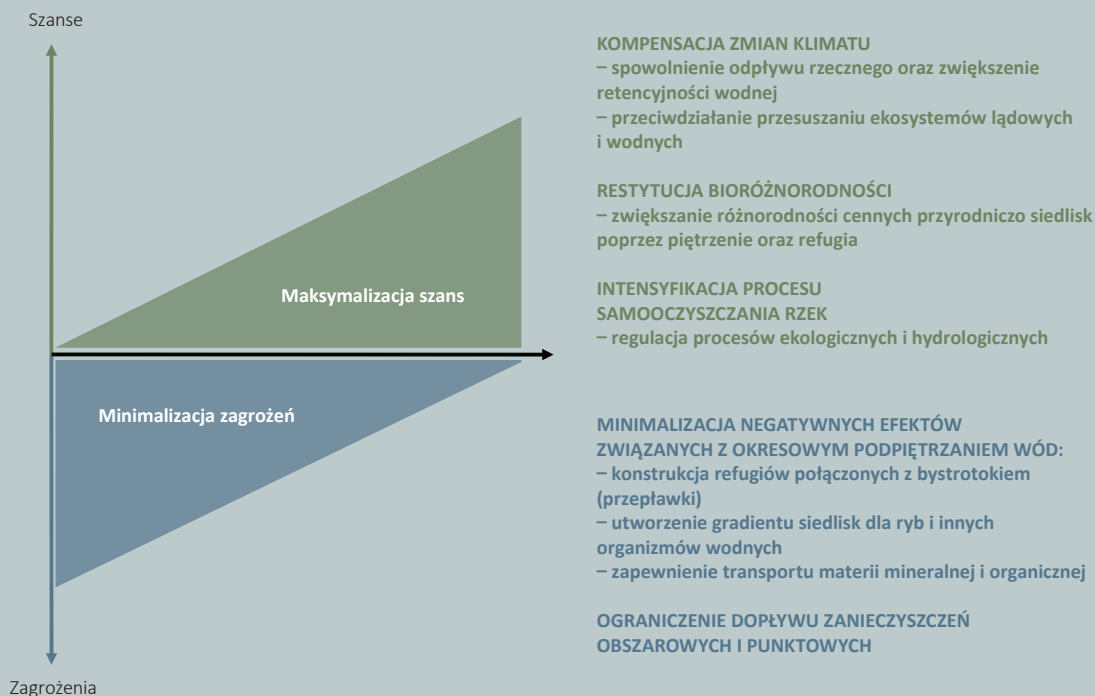
prowadzone zgodnie z potrzebami społeczeństwa i zachowaniem dziedzictwa kulturowego w danym regionie.

Kompleksowa adaptacja do zmian klimatycznych wymaga tego, aby w pierwszej kolejności retencjonować wodę na terenie zlewni m.in. poprzez zwiększanie retencyjności glebowej, podnoszenie kompleksowości krajobrazu rolniczego, a także powierzchni błękitno-zielonych terenów w miastach. Jednak w obliczu zmian klimatycznych spowolnienie odpływu wody z krajobrazu, które jest kluczowe dla produktywności ekosystemów i odbudowy zasobów wód podziemnych, powinno się równocześnie realizować poprzez zwiększanie powierzchni ekosystemów wodnych i od wody zależnych. Zestopniowanie drogi wodnej za pomocą jazów, pomimo często negatywnego wpływu na strukturę i procesy ekologiczne rzek, przyczynia się jednak do zwiększenia retencji korytowej, podnoszenia poziomu wód gruntowych, jak również zasilania wód podziemnych. Okresowe podpiętrzenie rzek w sposób przemyślany, z uwzględnieniem procesów ekologicznych oraz zapewnieniem usług ekosystemowych dla społeczeństwa może stanowić jeden z istotniejszych elementów kompleksowej adaptacji do zmian klimatu (ryc. 2).

Podniesienie poziomu wód wpływa na zwiększenie retencji wody w korycie oraz odbudowę zasobów wód gruntowych i wspieranie funkcjonowania ekosystemów lądowych i mokradeł w dolinie rzecznej. Jest to przykład działania na rzecz adaptacji do zmian klimatu, które umożliwia utrzymanie rezerwarów bioróżnorodności na terenie doliny rzecznej i obszarów sąsiednich.

Odrzańska Droga Wodna (ODW) w oczywisty sposób przyczyni się do zwiększenia dostępności usług ekosystemowych takich jak turystyka i rekreacja, jak również poprawi udział niskoemisyjnego transportu. Wzrastająca świadomość społeczeństwa w zakresie zdrowia i prowadzenia aktywnego trybu życia w połączeniu z oczywistymi walorami dużej rzeki oraz jej doliny w znaczny sposób mogą przyczynić się do polepszenia proekologicznej percepcji społeczeństwa oraz utrzymania efektów projektu. Rozwój ODW to również szansa dla rozwoju ekonomicznego regionów sąsiadujących bezpośrednio z rzeką.

Należy pamiętać także o tym, że doliny rzeczne wraz z generowanymi przez nie usługami ekologicznymi stanowią istotny element dziedzictwa kulturowego. Przez całą historię ludzkości doliny rzeczne stanowiły warunek naszego funkcjonowania, zapewniając spełnienie podstawowych po-



Rycina 3. Eliminacja zagrożeń i maksymalizacja szans jako priorytety rozwiązań ekosystemowych z zakresu zarządzania dolinami rzecznyymi (mod. Zalewski 1997)

trzeb, a także umożliwiając rozwój cywilizacyjny. Uwzględnienie długoterminowych strat i korzyści powinno być zawsze priorytetem w rozpatrywaniu skutków inwestycji, które wpływają na systemy wodne.

Wprowadzenie zasad ekohydrologii do Programu Rozwoju Odrzańskiej Drogi Wodnej oznacza:

1. Opracowanie innowacyjnych rozwiązań ekohydrologicznych kompensujących oddziaływanie żeglugi na ekosystem rzeki.
2. Zwiększenie retencji wody w obszarze dorzecza jako adaptacja do zmian klimatu.
3. Poprawę jakości wody poprzez ograniczenie dopływu zanieczyszczeń obszarowych i punktowych w obszarach dorzecza sąsiadujących z drogą wodną jako element wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej Komisji Europejskiej.

Powyższe punkty można wyrazić jako strategię zawierającą dwa elementy: maksymalizację szans i minimalizację zagrożeń (ryc. 3).



EKOHYDROLOGICZNE
ROZWIĄZANIA
BLISKIE NATURZE
DLA ZWIĘKSZENIA
POTENCJAŁU
ŚRODOWISKOWEGO
ODRZAŃSKIEJ
DROGI WODNEJ

Negatywny wpływ inwestycji planowanych w ramach Programu Rozwoju Odrzańskiej Drogi Wodnej powinien być ograniczany lub w przypadku niemożności zapobiegnięcia istotnemu oddziaływaniu kompensowany Rozwiązaniami Bliskimi Naturze (RBN, ang. *Nature Based Solutions* – NBS, World Water Development Report 2018). RBN to rozwiązania opracowane na podstawie zrozumienia ewolucyjnie ukształtowanych procesów występujących w ekosystemach wodnych i od wody zależnych. Aby zapewnić ich długotrwałość i efektywne działanie w obszarze zlewni, należy wdrażać je w ramach podejścia systemowego, uwzględniającego wiele czynników zmiennych (na ryc. 4 przedstawiono podejście systemowe ekohydrologii dla rozwoju ODW).

Ekohydrologia stwarza odpowiednie ramy dla implementacji rozwiązań tego typu dzięki trzem fundamentalnym założeniom:

1. Woda jest najważniejszym czynnikiem napędzającym ewolucję biogeosfery, ponieważ wszystkie procesy ekologiczne, a w konsekwencji cała struktura ekosystemu (np. zawartość węgla, stosunek biomasy do materii organicznej) zależy od wody.
2. Cykl hydrologiczny stanowi ramy do analizy ilościowej (kwantyfikacji) zarówno procesów hydrologicznych, jak i biologicznych w skali zlewni.
3. Zrozumienie zależności między czynnikami abiotycznymi (warunki hydrologiczne, fizykochemiczne) a czynnikami biotycznymi (organizmy żywe) w skali zlewni pozwala na regulację całego spektrum procesów ekologicznych od poziomu molekularnego do poziomu krajobrazu, a docelowo na podwyższenie ekologicznego potencjału środowiska i jego odporności na stres.

Restytucja mokradeł

Podniesienie poziomu wody w wyniku okresowego podpiętrzania sprzyja funkcjonowaniu mokradeł i ekosystemów od wody zależnych w dolinie rzecznej i na terenach przyległych.

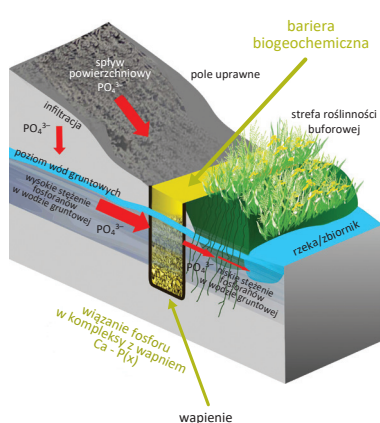
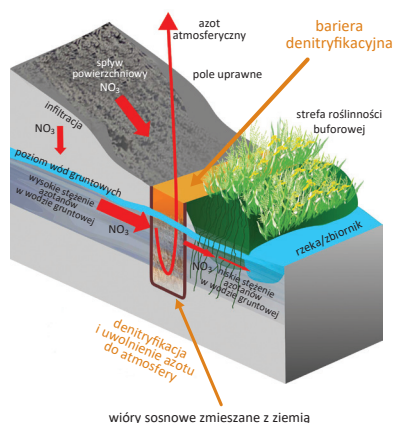


Tworzenie stabilnych siedlisk dla organizmów wodnych

a) adaptacja istniejących ostróg tak, aby stanowiły obszary przyjazne organizmom wodnym
b) tworzenie nowych obszarów w oparciu na zrozumieniu procesów ekohydrologicznych
c) zachowanie systemów ukształtowanych w wyniku procesu naturalnej sukcesji ekologicznej.

Zarządzanie jakością wody

Wysokoefektywne strefy ekotonowe jako narzędzie ekohydrologii dla ograniczania dopływu azotu, fosforu i substancji pestycydowych z obszarów rolniczych.



Zarządzanie transportem materii organicznej i mineralnej

a) deponowanie osadów w celu przetransportowania ich poniżej stopnia wodnego
b) urządzenie z zasadą działania syfonu, usuwające osady do śluzy w określonych warunkach
c) regulacja otwarcia stopnia wodnego w celu wymuszenia transportu rumowiska wleczanego.



Zarządzanie jakością wody

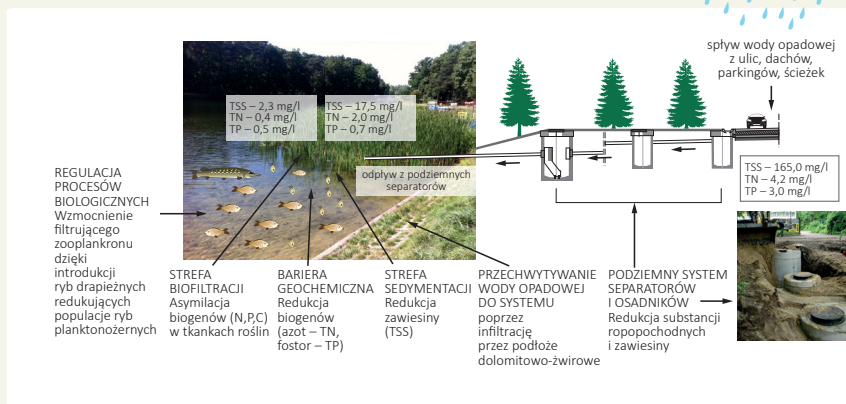
Ekohydrologiczny system hybrydowy dla podczyszczania wód opadowych powstały na skutek integracji sekwencyjnego systemu sedymentacyjno-biofiltracyjnego z urządzeniami do podczyszczania wód opadowych, pochodzących z terenów nieprzepuszczalnych.

Zachowanie ciągłości rzeki

Stopnie wodne wyposażone w ekologiczne obejścia, z siedliskami dla ryb reofilnych, połączone z refugiami.

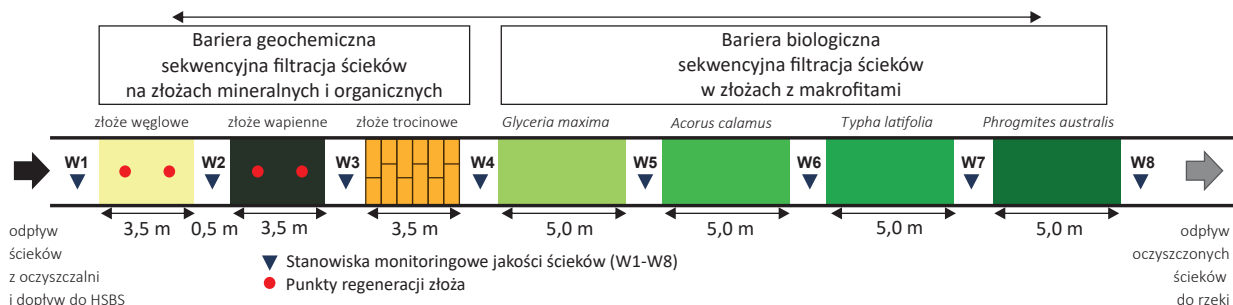
System refugium

W celu podniesienia odporności na eutrofizację oraz zapewnienia odpowiednich warunków siedliskowych dla hydrobiontów utworzone zostaną zbiorniki naśladujące naturalne starorzecza, w których będzie następowała ciągła wymiana wody.



Zarządzanie jakością wody

Hybrydowy sekwencyjny system biofiltracji (ang. Hybrid Sequential Biofiltration System – HSBS) przeznaczony dla małych oczyszczalni do doczyszczania ścieków komunalnych.



Rycina 4. Podejście systemowe ekohydrologii dla rozwoju Odrzańskiej Drogi Wodnej

REGULACJA PROCESÓW ZWIĄZANYCH Z TRANSPORTEM ZAWIESINY ORGANICZNEJ I MINERALNEJ

W przypadku stopni wodnych główną zmianą w morfologii cieku jest zwiększenie pola powierzchni przekroju poprzecznego, co skutkuje szczególnie w okresach niskich przepływów zmniejszeniem prędkości średniej. W konsekwencji drobnocząsteczkowa materia organiczna akumuluje się w pobliżu budowli piętrzącej, natomiast grubocząsteczkowa frakcja gromadzi się w początkowym odcinku powstałej cofki. W przypadku planowanej dla potrzeb żeglujących zabudowy poprzecznej na Odrze problem ten może uwidocznić się w okresach przepływów niskich. Akumulacja materii organicznej w pobliżu budowli piętrzącej po pewnym czasie może skutkować wytworzeniem się warunków beztlenowych, uwalnianiem dodatkowej ilości zanieczyszczeń oraz tworzeniem się toksycznych zakwitów sinicowych. Z kolei w odcinkach rzeki poniżej budowli piętrzących obserwowany jest ubytek materii organicznej i mineralnej, który może powodować zaburzenia funkcjonowania ekosystemu rzecznego, najczęściej przejawiający się zubożeniem biocenozy.

Ponadto zmiana lotycznego środowiska na lenityczne prowadzi do podwyższenia ryzyka

przyśpieszonej eutrofizacji poprzez zmianę tempa krążenia związków biogenicznych. W przypadku rzek mówimy nawet nie tyle o cyklu krążenia związków biogenicznych, ile o ich spiralnym przemieszczaniu się, gdyż równocześnie z ich przekazywaniem między poszczególnymi poziomami energetycznymi są one również transportowane z biegiem rzeki, dlatego ich ruch należy interpretować jako spiralę. W ekosystemach, w których spirala jest długa, np. z powodu słabego dostępu światła do strumienia, występuje niska produkcja pierwotna i słaba asymilacja związków biogenicznych przez organizmy, tempo samooczyszczania jest niższe, a zanieczyszczenia są szybciej transportowane w dół cieku. Z kolei w ekosystemach naturalnie zróżnicowanych o wysokiej bioróżnorodności cyrkulacja związków biogenicznych jest wydajniejsza, co powoduje intensyfikację procesu samooczyszczania.

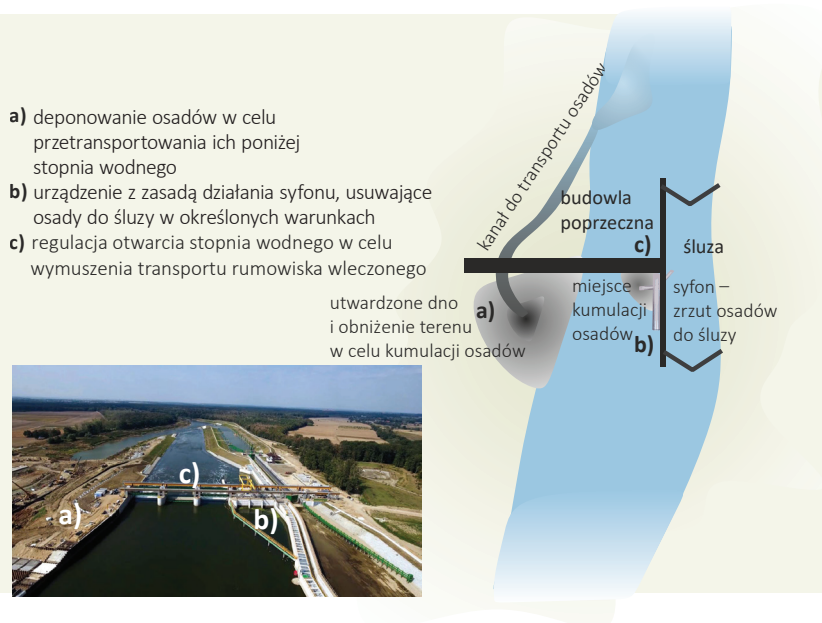
Konstrukcja stopnia wodnego powinna umożliwiać transport unoszonego rumowiska rzeczno- oraz okresowo umożliwiać transport rumowiska wleczono-ego. Otwarcie jazu w okresie przepływów wezbraniowych przyczyni się do transportu rumowiska wleczono-ego. Doświadcze-

nia wskazują, że w przypadku usytuowania budowli poprzecznej na cieku, posadowionej w dnie rzeki, zawsze dochodzi do zaburzenia transportu materii mineralnej i organicznej. Dlatego należy podjąć działania mające na celu ograniczenie ingerencji tego typu budowli hydrotechnicznych w ekosystem rzeki, jak również przewidzieć działania kompensacyjne. W tym zakresie niezbędnym narzędziem jest modelowanie numeryczne transportowanego rumowiska, które powinno zostać wykonane dla każdej z udoli poprzecznych. Pozwoli to na precyzyjne określenie obszarów, w których akumulacja materii organicznej może być najintensywniejsza, a następnie umożliwi precyzyjne zastosowanie działań minimalizujących negatywny wpływ. Nie należy zapominać o fakcie, że budowa sekwencji stopni piętrzących rzekę umożliwi zapobiegnięcie negatywnym skutkom nadmiernej erozji poniżej konstrukcji hydrotechnicznej, co skutkuje obniżaniem się lustra wody i drenażem terenów sąsiadujących.

Warto podkreślić, że minimalizacja negatywnych skutków budowli piętrzących powinna obejmować

więcej funkcji niż tylko transport rumowiska. Zrównoważone zarządzanie środowiskiem oznacza kompensację kosztów energetycznych każdej z inwestycji. Dla budowli poprzecznych powszechnie stosowanym rozwiązaniem jest generowanie energii elektrycznej z wykorzystaniem energii potencjalnej wody. Wyposażenie każdego stopnia wodnego na Odrze w małą elektrownię wodną, zlokalizowaną np. w przyczółku jazu, mogłoby przyczynić się do zrównoważenia kosztów energetycznych inwestycji realizowanych w ramach Programu Rozwoju Odrzańskiej Drogi Wodnej. Niezbędna jest jednak analiza także innych kosztów ekologicznych, w tym kumulacji różnych oddziaływań, i ekonomicznej opłacalności oraz potencjalnej efektywności, jak również zastosowanie działań minimalizujących negatywny wpływ elektrowni wodnej wodnych na gatunki ryb migrujących.

Regulacja transportu materii mineralnej i organicznej w korycie rzeki powinna odbywać się przede wszystkim na podstawie sterowania zamknięciami budowli piętrzącej. Jeśli jednak



Rycina 5. Zarządzanie transportem materii organicznej i mineralnej

w wyniku przeprowadzonego modelowania numerycznego okaże się, że takie rozwiązanie nie wystarczy i osady będą akumulować się w zastóiskach powyżej budowli, zwiększając ryzyko wystąpienia warunków beztlenowych lub znacznego uwalniania substancji biogenicznych, należy rozważyć wprowadzenie systemów aktywnego lub pasywnego transportu zakumulowanej zawiesiny w formie syfonu, którego wylot będzie znajdował się poniżej budowli stopnia wodnego. Nakłady energetyczne na transport osadów powinny być kompensowane przez pracę elektrowni wodnej lub elektrowni solarnej.