

**prof. Maciej Zalewski**

W 1992 roku założył Katedrę UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego, którą od początku kieruje, a także od 2000 roku pełni funkcję dyrektora Europejskiego Regionalnego Centrum Ekohydrologii PAN. Jest autorem koncepcji ekohydrologii i od 1996 roku koordynatorem programu Ekohydrologii (UNESCO Intergovernmental Hydrological Programme IHP). Jest również redaktorem czasopisma „Ekohydrologii & Hydrobiologii”.

maciej.zalewski@biol.uni.lodz.pl
m.zalewski@erce.unesco.lodz.pl



ZATRZYMAĆ WODĘ,

Prognozuje się, że zasoby wody słodkiej dostępne dla ludzkości zmniejszą się o 30 proc. w ciągu najbliższych 20 lat. Jak odwrócić degradację zasobów wody i zrównoważyć zapotrzebowanie ludzi na wodę z potencjałem hydrosfery?



**dr hab.,
prof. ERCE PAN
Edyta Kiedrzyńska**

Jest profesorem Europejskiego Regionalnego Centrum Ekohydrologii PAN i zastępcą dyrektora tej placówki oraz adiunktem na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska UŁ. Jej zainteresowania badawcze koncentrują się wokół ekohydrologii rzek, biotechnologii i rozwiązań bliskich naturze procesów zachodzących w zlewniach rzek oraz możliwości ograniczania eutrofizacji zbiorników zaporowych i Morza Bałtyckiego.

e.kiedrzyńska@erce.unesco.lodz.pl
edyta.kiedrzyńska@biol.uni.lodz.pl

**prof. Maciej Zalewski
dr hab., prof. ERCE PAN
Edyta Kiedrzyńska
prof. Joanna Mankiewicz-Boczek**

Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii PAN w Łodzi
Katedra UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki

dr. hab. Katarzyna Izydorczyk

Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii PAN w Łodzi

**dr. hab. Tomasz Jurczak
mgr Paweł Jarosiewicz**

Katedra UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki

Ostatnio obserwowane (i potwierdzone badaniami naukowymi) deficyty wody i coraz mniejsze przepływy w rzekach stały się w Polsce palącym problemem. Są skutkiem głównie braku pokrywy śnieżnej w okresie zimowym i wydłużających się okresów bezdeszczowych. W przypadku Wisły stany wody w okresie wiosennym bieżącego roku na stanowisku wodowskazowym Warszawa-Bulwary kształtowały się w strefie stanów dolnych niskich. Przykładowo Wisła w tym profilu 28 maja 2020 roku osiągnęła niespotykany do tej pory bardzo niski stan wody wynoszący 64 cm, co odpowiada przepływowi 280,8 m³/s (dane na podstawie informacji z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej). Obserwowana tendencja w ciągu ostatnich 10 lat jest wyraźnie spadkowa, co prowadzi do deficytów wody, zmniejszenia przepływów i w konsekwencji budzi obawy nie tylko o dostępność wody dla zaopatrzenia w nią ludności, rolnictwa, przemysłu i gospodarki wodno-ściekowej,



OPÓŹNIĆ ODPŁYW

MICHAŁ SENIUSZ / ILLUSTRATION.COM

Rzeka Grabia



prof. Joanna Mankiewicz-Boczek

Jest kierownikiem Zakładu Ekohydrologii Molekularnej w Europejskim Regionalnym Centrum Ekohydrologii PAN i profesorem na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska UŁ. Jej aktywność badawcza i wdrożeniowa koncentruje się wokół zagadnień zastosowania biologii molekularnej i ekotoksykologii do diagnozowania stanu ekosystemów i strategii oraz wykorzystania rozwiązań z udziałem mikroorganizmów do opracowywania biotechnologii ekosystemowych.

j.mankiewicz@erce.unesco.lodz.pl
joanna.mankiewicz@biol.uni.lodz.pl



dr. hab. Katarzyna Izdorczyk

Jest pracownikiem naukowym w Europejskim Regionalnym Centrum Ekohydrologii PAN. Jej badania obejmują opracowanie systemowych rozwiązań ekohydrologicznych w zarządzaniu zasobami wodnymi w zlewniach dla ograniczania eutrofizacji zbiorników zaporowych, w tym opracowanie biotechnologii dla ograniczania rolniczych zanieczyszczeń obszarowych. Jest głównym wykonawcą projektu europejskiego Life+ Ekorob, wyróżnionego w 2018 roku przez Komisję Europejską nagrodą Best of Life+.

k.izdorczyk@erce.unesco.lodz.pl

lecz także negatywnie wpływa na zasilanie zasobów wód podziemnych. W Polsce obecnie zatrzymujemy w zbiornikach retencyjnych około 6–6,5 proc. średniego rocznego odpływu z obszaru kraju, podczas gdy w krajach sąsiednich o podobnych warunkach hydrologicznych współczynnik ten jest niemal dwukrotnie większy (przekracza 10 proc.). Ponieważ na terenie Polski ekosystemy lądowe w 50 proc. są odpowiedzialne za stabilizowanie krążenia wody, stąd podjęcie działań służących retencjonowaniu i spowalnianiu odpływu do Bałtyku.

Jednak stosowanie zaawansowanych technologii i realizacja dużych (i kosztochłonnych) przedsięwzięć hydroinżynierskich może tylko w pewnym stopniu przyczynić się do spowolnienia odpływu wód ze zlewni do morza. Dlatego rekomenduje się stosowanie rozwiązań ekohydrologicznych i bliskich naturze (ang. *nature-based solutions* – NBS), które sprzyjają nie tylko zwiększeniu zasobów wodnych, ale przede wszystkim poprawie ich jakości.

Ekohydrologiczne rozwiązania to rozwiązania systemowe służące zwiększeniu zasobów wodnych i poprawiające ich jakość przez regulację procesów interakcji między wodą a biocenozą od skali molekularnej do skali zlewni.

Integracja wiedzy z ekologii, hydrologii i harmonizacja z klasycznymi rozwiązaniami hydrotechnicznymi umożliwiają zwiększenie potencjału zrównoważonego rozwoju zlewni (WBSRC), na który składają się: woda (W), bioróżnorodność (B), usługi ekosystemowe

(S, ang. *ecosystem services*), odporność na stres antropogeniczny, zmiany klimatu (R, ang. *resilience*) oraz kultura i edukacja (C, ang. *culture*). Niektóre działania ekohydrologiczne mogą być łatwe do zaimplementowania, jak śródpolne nasadzenia drzew, które zmniejszają prędkość wiatru przesuszającego gleby na obszarach uprawnych i zwiększają zawartość materii organicznej, przez co poprawiają wilgotność i jakość gleby. Nasadzenia mogą być dokonywane przy niskich nakładach przez lokalnych rolników. Inne działania, odznaczające się większym stopniem skomplikowania i ingerencji w środowisko, to restytucja mokradeł, stawów, przywracanie do stanu naturalnego dolin strumieni i rzecznych, konstruowanie polderów i zbiorników zaporowych na terasach zalewowych, retencjonujących tylko czystą wodę.

Ekohydrologiczna retencja wody

Żeby zmaksymalizować skuteczność działań ekohydrologicznych, należy je dopasować do istniejącej infrastruktury hydrologicznej. Dobrym przykładem jest projekt zbiornika wodnego Łask, konstruowanego w dorzeczu Grabia na terenie miasta i gminy Łask. Koncepcja zbiornika, stworzona przez zespół z Europejskiego Regionalnego Centrum Ekohydrologii (ERCE) PAN, została opracowana w taki sposób, by wkomponować zbiornik w krajobraz, maksymalizując jego wielofunkcyjny potencjał WBSRC. Podstawową funkcją planowanego zbiornika będzie

**dr. hab.****Tomasz Jurczak**

Jest pracownikiem Katedry UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej UŁ. Realizuje badania z dziedziny eutrofizacji wód, analizy sinic i ich toksyn, rekultywacji ekosystemów wodnych i wdrażania innowacyjnych rozwiązań systemowych do poprawy jakości wód powierzchniowych. Był głównym wykonawcą projektu europejskiego Life + Ekorob, nagrodzony w 2018 roku tytułem Best of the Best Komisji Europejskiej.

tomasz.jurczak@biol.uni.lodz.pl

rekreacja, dlatego przy opracowaniu projektu minimalizowano prawdopodobieństwo występowania toksycznych zakwitów sinic i zachowano fragment cennej przyrodniczo rzeki. W zaproponowanym rozwiązaniu ekohydrologicznym utrzymano naturalny charakter rzeki przy jednoczesnym zagwarantowaniu dobrej jakości wody w zbiorniku przez zaprojektowanie systemu monitorującego jakość wody i przepływ nienaruszalny w rzece. Uruchamia on automatyczną blokadę uniemożliwiającą zasilanie zbiornika w okresach występowania wyższych stężeń zanieczyszczeń.

Działania ekohydrologiczne sprzyjające redukcji zanieczyszczeń

Jednym z celów stosowania działań ekohydrologicznych w Polsce jest redukcja przeżyźnienia i postępującego procesu eutrofizacji oraz zanieczyszczenia wód nie tylko śródlądowych, lecz także Morza Bałtyckiego. Nasze morze jest zasilane wodami ze zlewni sumarycznie czterokrotnie większej niż jego powierzchnia, do tego wody te spływają z krajów wysoko uprzemysłowionych, przez co jest jednym z najbardziej zanieczyszczonych akwenów morskich na świecie. Przykładowo, w 2014 roku trafiło do niego łącznie 825,8 tys. ton azotu całkowitego i 30,9 tys. ton fosforu całkowitego, w tym z obszaru Polski (głównie Wisłą i Odrą) dopłynęło 169,9 tys. ton azotu i 12,8 tys. ton fosforu, co stanowiło odpowiednio 21 proc. i 41 proc. całkowitego ładunku, który trafił do Bałtyku.

Ładunki biogenów odpływające z obszaru Polski pochodzą głównie ze źródeł obszarowych – rolnictwa – i źródeł punktowych, takich jak punkty

zrzutu ścieków. W przypadku azotu udział źródeł punktowych wynosi 31 proc., a z działalności rolniczej 45 proc. W przypadku fosforu sytuacja wygląda odwrotnie: udział źródeł punktowych (42 proc.) jest większy niż z rolnictwa (34 proc.). Długookresowe analizy zanieczyszczenia Bałtyku przez rzeki z obszaru Polski pokazują, że w 2014 roku uległy obniżeniu w stosunku do 1995 roku ładunki azotu i fosforu całkowitego, odpowiednio o 92,2 tys. ton azotu całkowitego i 2,1 tys. ton fosforu całkowitego (dane z raportu HELCOM, 2018).

Żeby ograniczyć ilość zanieczyszczeń obszarowych trafiających do rzek i w konsekwencji do Bałtyku, wynikającą głównie z intensywnego i niewłaściwego nawożenia, dla zlewni Pilicy opracowano pilotażowe rozwiązania oparte na wykorzystaniu naturalnych procesów – wysokoefektywne strefy ekotonowe. Zastosowano tutaj modelowanie matematyczne zlewni Pilicy do określenia przestrzennego rozkładu obszarów generujących zanieczyszczenia obszarowe. Wykorzystano w tym celu model Soil and Water Assessment Tool (SWAT), który umożliwił identyfikację tych obszarów, stanowiących około 6,6 proc. powierzchni dorzecza Pilicy. Na wskazanych obszarach jest zalecane skonstruowanie wysokoefektywnych stref buforowych, które są przykładem rozwiązań bliskich naturze. Efektywność usuwania związków biogenych przez zespoły roślin znajdujące się w takich strefach została zwiększona przez złoża denitryfikacyjne lub bariery biogeochemiczne. Prototypy dwóch wysokoefektywnych stref buforowych zbudowano i przetestowano na linii brzegowej zbiornika Sulejów w ramach projektu Life+ Ekorob.

Mimo znacznych inwestycji w poprawę jakości wody i uruchomienia wielu nowych oczyszczalni ścieków

Sinice na plaży w Gdyni



KAPAL19/66/SHUTTERSTOCK.COM

zanieczyszczenie punktowe, które stanowią głównie małe oczyszczalnie ścieków (<2000 równoważnej liczby mieszkańców), wymagają nadal poprawy efektywności, ponieważ często odprowadzają ścieki o stężeniach dwu-, trzykrotnie przekraczających dopuszczalne normy stężeń fosforu i azotu, a także znaczące ilości dioksyn i związków dioksynopodobnych, patogenów, bakterii lekoopornych i genów lekooporności na antybiotyki.

Dla poprawy efektywności takich oczyszczalni opracowano hybrydowy sekwencyjny system sedymentacyjno-biofiltracyjny. W przypadku wysokiego stężenia fosforu w płytkich wodach podziemnych niezbędne jest zastosowanie bariery biogeochemicznej. Prototypowa konstrukcja takiej bariery w pierwszym roku funkcjonowania zredukowała stężenie fosforu o 58 proc. Wysoko efektywne strefy buforowe, podobnie jak sekwencyjne systemy sedymentacyjno-biofiltracyjne, są bardzo pomocne przy redukcji substancji pestycydowych z rolnictwa. Obecnie badania realizowane w ERCE PAN przy współpracy z Instytutem Ogrodnictwa w Skierniewicach wykazały, że w dorzeczu dolnej Pilicy, w dopływach położonych na terenach użytkowanych rolniczo, stężenia popularnego herbicydu MCPA (kwasu (4-chloro-2-metylofenoksy)-octowego) przekraczają 6 µg/l (przy maksymalnej wartości normy wynoszącej w krajach europejskich 1,6 µg/l), a jego obecność potwierdzono w 65 proc. analizowanych próbek wody. Podczas badań prowadzonych w latach 2018–2019 łącznie zidentyfikowano 30 różnych substancji pestycydowych w czterech dopływach Pilicy. Państwowy Monitoring Środowiska, który realizuje założenia ramowej dyrektywy wodnej 2000/60/WE, jest skupiony na substancjach w większości wycofanych z produkcji lub stosowania w Europie, dlatego raporty na temat stanu środowiska w krajach UE często nie obejmują rzeczywistej skali oddziaływania ksenobiotyków w systemach wodnych.

Biotechnologia w służbie ekohydrologii

W każdej strefie klimatycznej produktywność biologiczna ekosystemów, a w konsekwencji bioróżnorodność i korzyści dla społeczeństw są zdeterminowane dostępnością do wody. Na przykład cykl hydrologiczny jest mechanizmem napędzającym obieg węgla, fosforu, azotu i innych pierwiastków w biosferze i dlatego za układ odniesienia dla działań zrównoważonej gospodarki wodnej powinien być uważany mezocykl hydrologiczny w skali zlewni czy dorzecza. Podejście w skali mezocyklu hydrologicznego umożliwia dokładną analizę, zrozumienie i kwantyfikację procesów hydrologicznych i przyrodniczych, a w konsekwencji wdrażanie rozwiązań hydrotechnicznych z ekohydrologicznymi bliskimi naturze.

Ważnym elementem rozwoju i implementacji ekohydrologii w gospodarce wodnej jest zrozumienie interakcji między organizmami. Badania dotyczące genów i białek dostarczają wiedzy niezbędnej do zrozumienia procesów kluczowych dla aktywności organizmów, ich zachowania, w tym wrażliwości na czynniki środowiskowe i zależności od środowiska. Wielostronne podejście do tego zagadnienia, od skali molekularnej (indywidualnej) do skali makro (ekosystemu), zapewnia pełną wiedzę potrzebną do poprawy jakości wody i zwiększenia potencjału zrównoważonego rozwoju (WBSRC) na poziomie zlewni.

Możliwość obserwowania bakterii towarzyszących toksycznym sinicom i poznanie ich charakterystyki są pierwszym etapem opracowywania przyszłych rozwiązań biotechnologicznych mających na celu regulację występowania cyjanobakterii i ich toksyn w zbiornikach i jeziorach. Dodatkowo takie podejście umożliwia ocenę wczesnego zagrożenia ze strony toksycznych sinicowych zakwitów wody związanych z procesem eutrofizacji, tj. przeżyźnieniem wody. Zakwity sinic mogą doprowadzić do powstawania mikrocytyn (hepatotoksyn), powodujących zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego i zwiększenie u ludzi ryzyka zapadalności na nowotwory wątroby. Ilościowe dane na temat genów sinicowych są niezbędne, by zrozumieć, jak warunki środowiskowe mogą przyczyniać się do powstawania zakwitu wody oraz jaka jest rola i częstotliwość występowania genotypów toksynogenicznych sinic (genów *mcy*) odpowiedzialnych za produkcję m.in. mikrocytyn.

Badania prowadzone w zbiorniku Jezioro do-prowadziły do wykrycia bakterii z rodzaju *Sphingosinicella* zdolnych do degradacji mikrocytyn. Oceniono, że pozyskany ze środowiska szczep bakterii JEZ8L w ciągu siedmiu dni może zredukować stężenie mikrocytyn aż o 90 proc.

Znajomość mikroorganizmów odpowiedzialnych za transformację i redukcję związków azotu i fosforu w wodach gruntowych i powierzchniowych jest niezbędna do opracowywania i optymalizacji rozwiązań biotechnologicznych stosowanych w skali zlewni. Analizy genetyczne i enzymatyczne umożliwiają śledzenie obecności i aktywności mikroorganizmów w środowisku, a także pozyskanie najskuteczniejszych szczepów bakterii do zwiększenia wydajności i zdolności reagowania na zmienne warunki środowiskowe złożeń denitryfikacyjnych i systemów sedymentacyjno-biofiltracyjnych i hybrydowych, takich jak zbiornik w Rosprzy.

Już ten krótki przegląd zagrożeń zarówno dla ilości, jak i jakości wody w Polsce obliguje nas do zmiany obecnego paradygmatu korzystania z zasobów wodnych. Stosując rozwiązania techniczne i oparte na interdyscyplinarnej wiedzy rozwiązania ekohydrologiczne, każdy z nas może pozytywnie oddziaływać na stan środowiska, a suma tych oddziaływań decyduje o naszej przyszłości.



mgr Paweł Jarosiewicz

Jest doktorantem w Katedrze UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej UŁ i redaktorem pomocniczym czasopisma „Ecohydrology & Hydrobiology”. W 2018 roku opracował preparat do usuwania zanieczyszczeń fosforanowych i pestycydowych z wód powierzchniowych (BioKer), który został nagrodzony złotym medalem na międzynarodowych targach innowacyjności Concours Lépine w Paryżu.
pawel.jarosiewicz@biol.uni.lodz.pl
p.jarosiewicz@erce.unesco.lodz.pl

Chcesz wiedzieć więcej?

Zalewski M., *Ekohydrologia*, Warszawa 2020.

Kiedrzyńska E., Kiedrzyński M., Urbaniak M., Magnuszewski A., Skłodowski M., Wyrwicka A., Zalewski M., *Point sources of nutrient pollution in the lowland river catchment in the context of the Baltic Sea eutrophication*, „Ecological Engineering” 2014, 70: 337–348.