

A photograph of a wetland area. In the foreground and middle ground, there are tall, green grasses and several purple flowers on thin stems. To the right, a narrow stream flows through the area, reflecting the sky and the surrounding vegetation. The background shows a line of trees under a clear sky.

BAGIENNE STREFY BUFOROWE

—
nasze wyjście bezpieczeństwa

Wnioski z projektu CLEARANCE

Redakcja: Wiktor Kotowski, Ewa Jabłońska, Mateusz Wilk, Dominik Zak



Autorzy (w kolejności alfabetycznej): Piotr Banaszuk⁸, Michael Bender⁶, Marek Giergiczny¹, Mateusz Grygoruk², Carl C. Hoffmann⁴, Ewa Jabłońska¹, Wiktor Kotowski¹, Claudia Oehmke³, Michael Trepel³, Sviataslau Valasiuk¹, Wendelin Wichtman³, Marta Wiśniewska¹, Dominik Zak^{4,5}, Rafael Ziegler³

¹ Uniwersytet Warszawski, ² Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego - SGGW, ³ Uniwersytet w Greifswaldzie (Niemcy), ⁴ Uniwersytet w Aarhus (Dania), ⁵ Leibnitz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries (Niemcy), ⁶ Grüne Liga (Niemcy), ⁷ Uniwersytet w Kilonii (Niemcy), ⁸ Politechnika Białostocka

Zdjęcia (jeśli nie zaznaczono inaczej): Ewa Jabłońska

Warszawa, 2020

Spis treści

1. Szacunek wobec przyrody i odtwarzanie zniszczonych krajobrazów – nie ma innej przyszłości!	3
2. Czym są biogeny i dlaczego nie powinno ich być za dużo?.....	6
3. Bagienne strefy buforowe – czym są i jak wyglądają?.....	9
4. Jak w praktyce wspierać powstawanie bagiennych stref buforowych?	13
5. Przechwytywanie biogenów w bagiennych strefach buforowych – jak to działa?.....	15
6. Tereny podmokłe zatrzymują wodę – w jaki sposób bagienne strefy buforowe łagodzą powodzie i susze?.....	17
7. Bagienne strefy buforowe – dobre dla klimatu!.....	21
8. Bagienne strefy buforowe ostoją dzikiej przyrody – dlaczego powinniśmy o nie dbać?	26
9. Biomasa roślin bagiennych – możliwości zastosowania w rolnictwie i innych sektorach gospodarki	28
10. Ludzie wysoko cenią nadrzeczne mokradła!	35
11. Ile kosztuje wdrożenie bagiennych stref buforowych?	37
12. Wyzwania prawne, gospodarcze i społeczne	39
Projekt CLEARANCE	43
Literatura.....	44



1. Szacunek wobec przyrody i odtwarzanie zniszczonych krajobrazów – nie ma innej przyszłości! *Wiktor Kotowski*

Pracę nad niniejszą broszurą rozpoczęliśmy wiosną 2020, kiedy cały świat (dosłownie) wstrzymał oddech z powodu szalejącej pandemii COVID-19. Niestety pandemia nie przeminęła, a my, podobnie jak wszyscy wokół nas, jesteśmy przestraszeni, zaniepokojeni o los naszych najbliższych i przytłoczeni rozmiarami kryzysu. W naszych krajach wprowadzono stan epidemii, praca naszych uniwersytetów została poważnie ograniczona, a ochrona życia i zdrowia ludzi jest najwyższym priorytetem. Zastanawiamy się więc, jak w tej sytuacji mamy pisać i mówić o ochronie środowiska oraz czy obecnie w ogóle jest na to miejsce w przestrzeni publicznej.

Z drugiej strony, współczesny świat nie szczędzi nam niestety kolejnych wyzwań. Obserwowane w ostatnich latach zmiany w rozkładach opadów, obniżające się poziomy rzek oraz niebezpieczne powodzie w całej Europie Środkowej, stanowią poważne wyzwanie dla zarządzania środowiskiem. Choć możliwe, że jest zbyt wcześnie na stawianie prognoz na nadchodzące lata, wygląda na to, że powtarzające się poważne i przedłużające się susze oraz nagłe i niszczycielskie powodzie, tak rzadko widywane w ciągu minionego wieku, stały się czymś powszechnym w dzisiejszych czasach. Te, związane z dostępnością wody, problemy środowiskowe zmuszają rządy oraz zainteresowane strony do przemyślenia możliwych rozwiązań dla przemysłu, rolnictwa czy pojedynczych gospodarstw. W tym kontekście nie ma więc bardziej dogodnego czasu do przyjrzenia się terenom bagiennym i mokradłom, oraz roli jaką mogą odegrać w zapobieganiu spływowi powierzchniowemu wód, poprawianiu jakości wód czy zapewnianiu miejsca bytowania wielkiej różnorodności organizmów.

Niniejsza broszura opisuje problemy powstałe na styku lądu i wody – problemy spowodowane łącznie przez intensywny rozwój wielkoskalowego rolnictwa, zmiany klimatu wywołane spalaniem paliw kopalnych oraz drastyczne przekształcenie krajobrazu wiejskiego. Do negatywnych konsekwencji tych problemów należy chociażby silna eutrofizacja wód, spowodowana spływem nawozów rolniczych, a wywołująca z kolei toksyczne zakwity sinicowe oraz deficyty tlenu w wodach, czy też wyraźne zmniejszenie retencji wody, co przyczynia się zarówno do druzgocących susz, jak i katastrofalnych powodzi. Nie należy również zapominać o postępującym wymieraniu gatunków zwierząt i roślin związanych z mokradłami oraz naturalnymi rzekami. Osuszanie mokradeł przyczynia się również do zwiększenia emisji gazów cieplarnianych, uwalnianych wskutek przyspieszonego rozkładu gleb organicznych, a to z kolei wzmacnia efekt cieplarniany. W trakcie ostatnich trzech lat, autorzy niniejszej broszury wspólnie pracowali w międzynarodowym projekcie "CLEARANCE-CircuLar Economy Approach to River pollution by Agricultural Nutrients with use of Carbon-storing Ecosystems", próbując podsumować najnowszą wiedzę o tym jak rozwiązać te wszystkie problemy poprzez odtwarzanie bagiennych stref buforowych wzdłuż rzek w krajobrazie rolniczym i przywrócenie ich dawno utraconych usług ekosystemowych. Usługi ekosystemowe to takie funkcje naturalnych ekosystemów, które są bezpośrednio lub pośrednio użyteczne dla społeczeństwa ludzkiego, stanowiąc często podstawę gospodarki oraz przyczyniając się po prostu do

lepszego, zdrowszego życia. Poza szczegółowym przeglądem literatury i podsumowaniem naszych badań nad usługami ekosystemowymi mokradeł nadrzecznych, badaliśmy również korzyści i koszty ich powszechniejszego odtworzenia wzdłuż rzek w Polsce, Danii i Niemczech, oraz pytaliśmy bezpośrednio mieszkańców tych krajów o wartość, jaką mają dla nich nadrzeczne krajobrazy.



Prosty kanał wykopany przez odwodnione torfowisko

Presja intensywnego rolnictwa spowodowała, że z krajobrazu zniknęły obszary uznawane za nieproduktywne – a do takich należały różnego rodzaju mokradła, uregulowano też znaczną większość rzek, zmieniając meandrujące cieki w proste kanały. Torfowiska pocięto sieciami rowów odwadniających i przekształcono w łąki kośne lub pola uprawne dochodzące bezpośrednio do uregulowanych rzek-kanałów. Zwiększanie powierzchni terenów rolniczych oraz rosnące zużycie nawozów spowodowały, że coraz więcej substancji odżywczych trafia do rzek. Te substancje to głównie azotany i fosforany, które poza wspomaganie wzrostu roślin uprawnych powodują też niestety niebezpieczne zakwity glonów w jeziorach i morzu, zasilanych szybko płynącymi przeżyźnionymi wodami uregulowanych rzek. Jest to tak zwany proces eutrofizacji wód, opisany szerzej w **rozdziale 2**. Zniszczenie mokradeł nadrzecznych i uproszczenie ekosystemów rzek poważnie zmniejszyło naturalną zdolność do samooczyszczania się wód. Równocześnie, osuszanie mokradeł zaostrzyło szereg innych wspomnianych problemów środowiskowych, co można podsumować jako pogłębiający się kryzys klimatyczno-środowiskowy. A jednak jest również i dobra wiadomość, ponieważ poprzez odtworzenie mokradeł nadrzecznych jesteśmy w stanie zredukować, a nawet rozwiązać wiele z tych problemów! Czym są bagienne strefy buforowe, jak można je stworzyć, oraz jak są w stanie oczyszczać wody z niepożądanych substancji odżywczych, opisaliśmy w **rozdziałach 3 – 5**.

W **rozdziałach 6 i 7** omawiamy z kolei, jak odtworzenie mokradeł nadrzecznych może pomóc obniżyć ryzyko susz i powodzi, oraz zmniejszyć emisje gazów cieplarnianych. **Rozdział 8** przybliży Państwu świat roślin i zwierząt zasiedlających nadrzeczne mokradła. Staramy się tam przekonać Czytelników, że odtwarzanie siedlisk dla tych wszystkich organizmów nie jest jedynie wyrazem empatii dla dzikiej natury, lecz po prostu leży w naszym własnym interesie. Zmiana terenów nadrzecznych w bagienne strefy buforowe wcale nie oznacza wycofania ich z użytkowania rolniczego. Wprost przeciwnie – innowacyjna gospodarka, polegająca na koszeniu roślin bagiennych, może nawet zwiększać efektywność oczyszczania wód przez mokradła!. **Rozdział 9** przedstawia ważniejsze pomysły na to, jak prowadzić rolnictwo bagienne (inaczej „paludikulturę”) oraz jak można wykorzystywać biomasę uprawianych roślin bagiennych – trzciny, pałki, turzyc czy olszy.

Rozdziały 10 i 11 przedstawiają wyniki naszych badań nad tym, w jakim stopniu obywatele Polski, Danii i Niemiec cenią mokradła nadrzeczne oraz w jakim stopniu świadomość usług ekosystemowych zapewnianych przez mokradła zwiększa gotowość ludzi do finansowania projektów odtwarzania mokradeł. W naszym odczuciu są to bardzo ważne badania, pokazujące naprawdę wysoki poziom akceptacji społeczeństwa dla odtwarzania ekologicznych funkcji krajobrazu wiejskiego. Przedstawiamy również argumenty ekonomiczne, tj. analizę zysków i kosztów wielkoskalowej kampanii odtworzenia krajobrazów nadrzecznych. Wynik jest jednoznaczny – odtwarzanie bagiennych stref buforowych opłaca się dużo bardziej niż utrzymywanie obecnego stanu! Przedstawiamy wreszcie krótki opis regulacji prawnych, gospodarczych i społecznych, które mogą pomóc zrealizować omawiany scenariusz działań (**rozdział 12**).

Ogólne przesłanie tej publikacji jest takie, że przywrócenie terenów podmokłych do ich funkcji społecznych, środowiskowych i gospodarczych jest nie tylko wykonalne, ale i konieczne. Coraz częściej mamy do czynienia z objawami kryzysu klimatyczno-ekologicznego, takimi jak susze, ekstremalne upały, nagłe gwałtowne powodzie, pogarszająca się jakość wody i szybki spadek różnorodności biologicznej. Renaturyzacja terenów podmokłych jest opłacalnym środkiem dostosowawczym i łagodzącym, służącym wspólnemu rozwiązywaniu wszystkich tych problemów. Nie ma bardziej skutecznego filtra dla nawozów niż tereny podmokłe, nie ma innego sposobu na zatrzymanie wody w krajobrazie niż odtworzenie rzek i mokradeł, nie ma też innego sposobu na utrzymanie zagrożonych gatunków niż odtworzenie ich siedlisk.

W świetle zaostrzającego się obecnie kryzysu klimatyczno-ekologicznego, który w coraz większym stopniu wpływa bezpośrednio na sytuację społeczną, gospodarczą i polityczną, należy odejść od działań doraźnych i krótkowzrocznych na rzecz rozwiązań długoterminowych. Renaturyzacja terenów podmokłych i tworzenie bagiennych stref buforowych nie jest procesem szybkim, ani takim który przyniesie natychmiastowe i łatwo zauważalne skutki. Zamiast tego jest inwestycją na przyszłość, która będzie zwracać się powoli, lecz przynosić z czasem coraz więcej i większych korzyści.

2. Czym są biogeny i dlaczego nie powinno ich być za dużo? *Wiktor Kotowski*

Istnieje kilka rodzajów źródeł zanieczyszczenia wód otwartych substancjami odżywczymi. Źródła punktowe, takie jak oczyszczalnie ścieków, można na ogół pominąć, ponieważ obecnie, dzięki postępowi technicznemu i zaostrzonym przepisom, zapewniają one znaczącą i skuteczną poprawę jakości wody. Natomiast nadmiar nawozów spłukiwanych z terenów rolniczych do rzek i mórz pozostaje wielkim problemem i stanowi największe rozproszone źródło obciążenia ekosystemów wodnych składnikami odżywczymi.

Czy to możliwe, żeby nawozy, dzięki którym możemy znacząco zwiększyć plony na polach, które są przecież podstawą gospodarki rolnej i źródłem dobrobytu, były poważnym zagrożeniem dla środowiska? Jak z dobroczynnej substancji odżywiającej rośliny uprawne stają się zanieczyszczeniem? Co to znaczy zbyt wysoki poziom nawożenia? Te pytania zapewne często zadaje sobie wielu rolników, słysząc postulaty ograniczenia nawożenia w celu ratowania zasobów naturalnych ważnych dla życia człowieka – jak również w imię ochrony przyrody.

Biogeny, rośliny, i rolnictwo

Rolnictwo intensywne jest dziś najważniejszym źródłem zanieczyszczenia wód w Europie, a największe problemy sprawiają właśnie substancje odżywcze zawarte w nawozach – przede wszystkim związki fosforu (fosforany) i azotu (azotany oraz związki amonu). Azot i fosfor to tzw. makroelementy, albo **biogeny** – pierwiastki niezbędne do życia roślinom (i wszystkim innym organizmom) w dużych ilościach. Do makroelementów należą też tlen, węgiel, czy wodór – ale tych w przyrodzie jest pod dostatkiem i ich dostępność nie ogranicza produkcji roślinnej. Z azotem i fosforem jest inaczej – w większości siedlisk lądowych to właśnie ilość któregoś z tych pierwiastków, lub ich obydwu, określa jak dużo biomasy roślinnej może wyrosnąć w trakcie sezonu wegetacyjnego. Jest tak tym bardziej na gruntach rolnych – zbieranie plonów lub siana powoduje ciągle zubażanie gleby w azot i fosfor, więc uzupełniamy ich ilość przez nawożenie. Fosfor występuje w glebie w postaci ponad 200 minerałów, takich jak apatyt, strengit lub wiwianit. Uwalnianie fosforu w naturalnych warunkach glebowych zachodzi w wyniku rozkładu martwej materii organicznej lub wietrzenia skał apatytowych.

Azot w formie czystej stanowi 78% powietrza atmosferycznego, ale nie jest w tej postaci dostępny dla roślin. Wyjątkiem są te, które na korzeniach mają symbiotyczne bakterie wiążące azot – są to przede wszystkim rośliny bobowate, czyli motylkowe. Wszystkie pozostałe rośliny zależą od obecnych w glebie jonów azotanowych, a w mniejszym stopniu również od jonów azotynowych i amonowych. W warunkach naturalnych związki azotu dla roślin pochodzą z rozkładu materii organicznej, pewne ich ilości są też dostarczane razem z opadami atmosferycznymi. Zawartość azotu i fosforu w glebie jest zwykle znacznie poniżej najwyższej możliwej produktywności roślin, dlatego nawożąc pola tymi związkami (oraz uzupełniając innymi pierwiastkami) możemy znacząco podnieść plony.

Oczywiście im więcej nawozimy, tym wyższe są plony, ale dzieje się tak tylko do pewnego pułapu, powyżej którego rośliny nie są w stanie przyswoić więcej makroelementów. Biogeny, których nie przyswoją rośliny na polu, przesiakają do wód podziemnych i spływają z wodą do rzek i dalej do mórz. Im większa jest różnica pomiędzy pobieraniem przez rośliny uprawne a dawką nawozów na polu, tym więcej biogenów trafia do wód powierzchniowych. W momencie, gdy azotany i fosforany przedostaną się do ekosystemów wodnych, mogą powodować poważne problemy.

Biogeny w wodach powierzchniowych – dlaczego eutrofizacja jest problemem?

W ekosystemach wodnych rośliny wyższe konkurują o światło i składniki odżywcze z różnymi grupami glonów – od jednokomórkowych organizmów planktonowych (unoszących się w toni wodnej) do wielokomórkowych organizmów przypominających rośliny. Podobnie jak na lądzie, całkowita produkcja biomasy roślin wodnych i glonów zależy od dostaw azotu i fosforu. Jedną z grup organizmów tradycyjnie klasyfikowanych jako glony, są sinice (inaczej: cyjanobakterie). Wiele z nich posiada zdolność wiązania rozpuszczonego w wodzie atmosferycznego azotu cząsteczkowego. Wrócimy do tego faktu poniżej, gdy będziemy opisywać przebieg **eutrofizacji** (przeżyźnienia) w ekosystemach wodnych.



Zakwit glonów w wodzie w małym cieku

Źródłem biogenów w wodach, poza rozkładem martwych organizmów oraz wiązaniem azotu przez sinice, jest dopływ z lądów. Gdyby nie rolnictwo intensywne, i przy założeniu, że wszystkie punktowe źródła składników pokarmowych zostałyby wyeliminowane przez rozwiązania techniczne, ilość składników pokarmowych docierających z lądów do wód byłaby znacznie mniejsza. Zapotrzebowanie organizmów wodnych na składniki pokarmowe jest zaspokajane przez wewnętrzne procesy obiegu materii organicznej. Jednak w związku z tym, że znaczną część obszarów lądowych w Europie przekształcono w grunty orne (np. w Polsce i Niemczech jest to blisko 50% powierzchni, a w Danii ponad 60%), spływ z lądów jest istotnym dodatkowym źródłem składników pokarmowych docierających do wód.

W rzekach zwiększona ilość biogenów powoduje, że gatunki roślin typowe dla wód ubogich w biogeny zastępowane są przez szybciej rosnące rośliny charakterystyczne dla wód zasobnych w azot i fosfor. Część z nich, np. moczarka kanadyjska, to gatunki inwazyjne, wypierające rodzimą florę. Wolniej rosnące gatunki roślin są obrastane przez nitkowate glony, które uniemożliwiają im fotosyntezę. Rozwój ekspansywnych roślin i glonów powoduje więc spadek bogactwa gatunkowego – zarówno wśród roślin, jak i zwierząt, w tym ryb. W rzekach zwykle nie występują zjawiska masowych pojawów glonów (tzw. **zakwitów**, od których woda przybiera zielony kolor), ani okresowe przyduchy (deficyty tlenu), ponieważ zapobiega im turbulentny przepływ i mieszanie się wody. Zakwity glonów stają się problemem, gdy bogata w biogeny woda trafia do jeziora, zbiornika zaporowego lub strefy przybrzeżnej morza.

W jeziorze, czy w przybrzeżnej strefie morza, typowym stanem ekologicznym jest sytuacja, gdy płytsze części dna porośnięte są roślinami i glonami zanurzonymi, które konsumują większość dostępnych biogenów i w procesie fotosyntezy produkują tlen wykorzystywany m.in. przez zwierzęta żyjące w wodzie. Jednak w miarę zwiększania się dopływu biogenów do wody, masowo rozwijają się w niej glony planktonowe. Glony pobierają azotany i fosforany z wody podobnie jak rośliny zanurzone, ale dzięki temu, że unoszą się w toni wodnej, coraz bardziej odcinają światło roślinności przydennej. W pewnym momencie, gdy poziom żyzności wody przekroczy pewną krytyczną wartość, glony rozwijają się tak silnie, że światła dla roślin przydennych nie starczy, a całą produkcję pierwotną (czyli wzrost organizmów prowadzących fotosyntezę) przejmują glony unoszące się w powierzchniowej warstwie wody. Zanikają podwodne łąki, które zaopatrywały głębsze warstwy wody w tlen i były domem najróżniejszych zwierząt, w tym rozmaitych gatunków ryb. Tymczasem szybko mnożące się przy powierzchni wody glony jednokomórkowe równie szybko obumierają, opadając na dno. Dostawa dużych ilości martwej materii organicznej uruchamia intensywne procesy rozkładu. Bakterie, które je prowadzą, szybko zużywają resztę dostępnego w wodzie tlenu. Na dnie gromadzą się więc znaczne ilości osadów (mułu), w którym materia organiczna rozkłada się beztlenowo, uwalniając metan i toksyczny siarkowodór. W pozbawionej tlenu wodzie nie mogą już żyć zwierzęta. Skutkiem okresowych przyduch jest masowe śnięcie ryb, coraz częściej obserwowane w letnich miesiącach zarówno w jeziorach, jak i w zatokach morskich. Natomiast skutkiem deficytów tlenu powtarzających się przez kolejne lata jest powstawanie całych tzw. **martwych stref**, w których zwierzęta w głębszych warstwach wody są niemal nieobecne. Wraz

z rosnącymi stężeniami biogenów, wśród glonów zaczynają przeważać sinice. Wspomniana wcześniej zdolność sinic do wiązania azotu atmosferycznego daje im przewagę wtedy, gdy do wód dostaje się szczególnie dużo fosforanów, a więc azotu jest względnie mniej. Sinicom sprzyjają też wysokie temperatury co sprawia, że zakwity sinicowe stają się coraz częstsze wraz z narastającym ociepleniem klimatu. **Zakwity sinicowe** mają dodatkową właściwość w porównaniu z zakwitami powodowanymi przez inne glony – uwalniają do wód silne toksyny. To one powodują, że w letnie miesiące kąpiel w morzu czy jeziorach staje się niebezpieczna dla zdrowia, a plaże na wybrzeżu Morza Bałtyckiego są zamykane w najbardziej atrakcyjnym sezonie urlopowym.

Bałtyk – morze o największym zagęszczeniu martwych stref na świecie

Morze Bałtyckie jest płytkim akwenem otoczonym przez gęsto zaludnione kraje rolnicze. Rocznie do Bałtyku dociera rzekami ponad 580 tysięcy ton azotu i 29 tysięcy ton fosforu (HELCOM 2018). Policzone, że ze źródeł rolniczych (tzw. źródła rozproszone) pochodzi ponad 46% azotu i 36% fosforu docierającego rzekami; pozostałe kategorie to naturalne tło (dostawy z ekosystemów naturalnych) oraz źródła punktowe – zanieczyszczenia przemysłowe i komunalne. Badania HELCOM wskazują, że 97% obszaru tego morza jest dotknięte eutrofizacją, a 12% jest w najgorszej kategorii eutrofizacji. Przydenne strefy beztlenowe, choć występowały w Bałtyku naturalnie ze względu na wyraźną stratyfikację (utrzymujące się uwarstwienie) wody, powiększyły się ponad dziesięciokrotnie od 1900 roku, od 5 000 do 60 000 km², przy czym największy wzrost nastąpił w drugiej połowie XX wieku. Ich zagęszczenie jest tak duże, że Bałtyk zaczęto nazywać największą morską martwą strefą świata (Jokinen i in. 2018). Szacuje się, że w związku ze spowodowanymi eutrofizacją niedoborami tlenu w strefach przydennych łączna biomasa zwierząt w Bałtyku zmalała o 3 miliony ton, czyli o około 30%. W ciągu ostatnich trzydziestu lat dodatkowym czynnikiem przyspieszającym wyczerpywanie się tlenu w wodach Bałtyku były wysokie temperatury wody. Niestety, bez możliwie szybkiego wdrożenia zdecydowanych działań zaradczych, takich jak te o których piszemy w tej książeczce, sytuacja będzie się pogarszać wraz z kumulowaniem się zanieczyszczeń.

3. Bagienne strefy buforowe – czym są i jak wyglądają? *Ewa Jabłońska, Wiktor Kotowski, Dominik Zak*

Bagienne strefy buforowe (BSB) to podmokłe tereny położone pomiędzy obszarami rolniczymi a strumieniem, rzeką lub zbiornikiem wodnym, których głównym zadaniem jest ochrona wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniami ze źródeł obszarowych. Strefy te poprawiają jakość wód powierzchniowych dzięki przechwytywaniu pierwiastków biogenych ze spływających z pól nawozów (naturalnych i sztucznych) zanim trafią one do cieku lub zbiornika wodnego. Poza tym, podobnie jak wszystkie tereny podmokłe, bagienne strefy buforowe obniżają ryzyko powodzi i suszy, poprawiają walory estetyczne nadrzecznego krajobrazu i jego

rekreacyjną wartość, regulują klimat w skali lokalnej (poprzez zwiększanie wilgotności powietrza) i łagodzą skutki globalnych zmian klimatu (podtrzymując lokalne krążenie wody), są siedliskiem życia licznych gatunków roślin i zwierząt, a także oferują możliwość pozyskiwania biomasy roślinnej. Programy tworzenia i przywracania bagiennych stref buforowych w celu kontroli pochodzących z rolnictwa zanieczyszczeń obszarowych rozwijano już w kilku krajach w ciągu ostatnich dziesięcioleci. Bagienna strefa buforowa są rozwiązaniem wielofunkcyjnym, przynoszącym liczne korzyści gospodarcze oraz związane z bezpieczeństwem i poprawą stanu przyrody. Większość funkcji BSB wynika po prostu z ich bagiennego charakteru i jest zapewniana przez ogół występujących tam organizmów.

Rodzaje bagiennych stref buforowych

BSB definiuje się jako strefy przejściowe między łądem a wodą o różnej szerokości, od kilku do kilkuset metrów. W niedawnej pracy przeglądowej sformułowano kilka szczegółowych zaleceń (Lind i in. 2019). Tak więc już trzymetrowej szerokości strefa buforowa spełnia swą rolę jako podstawowy filtr substancji biogennych. Jednakże aby utrzymać wysoką różnorodność florystyczną, wymagana jest strefa buforowa o szerokości około 24 m, podczas gdy dla zachowania różnorodności gatunkowej ptaków potrzebna jest strefa buforowa o szerokości około 144 m. Strefy buforowe są zazwyczaj pasami łądu przylegającymi do rzek. Jednak inne formy i lokalizacje mogą czasem być bardziej funkcjonalne i skuteczne. Należą do nich obszary zasilane wodami gruntowymi, takie jak torfowiska lub tereny zalewowe rzek. Odcinek naturalnego koryta rzeki może być również uważany za BSB. Działa on jako bufor dla dolnego biegu tej rzeki lub dla rzeki, której jest ona dopływem. Ogólnie rzecz biorąc, różne typy BSB można sklasyfikować na podstawie ich rozmiarów, rodzaju gleby, hydrologii i roślinności, określających konkretne środki ich zagospodarowania.

1. **Bagienne brzegi** – Wąską strefę buforową wzdłuż brzegów cieków można uzyskać przez podniesienie poziomu wody, np. umieszczając w korycie kłody lub głazy. Wyższy poziom wody w rzece powoduje zabagnienie gruntów w jej pobliżu.



Bagienne brzegi

2. **Koryto dwudzielne** – Uregulowany wcześniej kanał można zmodyfikować w celu utworzenia dwustopniowego profilu, dodając miejsce na tereny podmokłe na górnym tarasie. W czasie niskich poziomów wody w rzece, rzeka płynie swobodnie na niższym, węższym tarasie, tworząc tam z czasem naturalne meandry, natomiast na wyższym tarasie może rozwijać się bagienna strefa buforowa związana z wypływem wód gruntowych. W czasie wysokiego stanu wody rzeka wylewa na wyższy taras i płynie całą szerokością koryta.

3. **Koryto meandrujące** – Odcinek naturalnie meandrującej rzeki lub rzeki z odtworzonymi meandrąmi może pełnić rolę BSB wobec dolnego odcinka rzeki lub rzeki wyższego rzędu.



Narewka: lewe zdjęcie – zrenaturyzowany zmeandryzowany odcinek w tle, na pierwszym planie stare uregulowane koryto, prawe zdjęcie – zrenaturyzowany zmeandryzowany odcinek; fot. J. Gornia

4. **Naturalne torfowiska niskie** – Akumulujące torf mokradła, rozwijające się w miejscach stabilnego wypływu wód podziemnych, porośnięte głównie przez turzyce, ale czasem też trzciny, krzewy i drzewa, są naturalną bagienną strefą buforową.



Naturalne torfowiska niskie (dolina Rospudy, dolina Biebrzy)

5. Ponownie nawodnione torfowiska niskie – Osuszonym torfowiskom niskim, z wierzchnią warstwą murszu powstałą w wyniku obniżenia poziomu wody gruntowej i częściowego rozkładu torfu, można przywrócić funkcje bagiennych stref buforowych poprzez ponowne nawodnienie, które przywraca warunki dla procesu denitryfikacji¹, a jednocześnie znacząco redukuje emisje dwutlenku węgla z rozkładu torfu. Można tutaj sklasyfikować tylko te miejsca, w których poziom wody jest zbliżony do powierzchni torfu (lub wyższy) przez większą część roku. Nawadnianie osuszonych torfowisk może jednak powodować uwalnianie się do wód fosforanów związanych w murszu przez jony żelaza².

6. Tereny zalewowe – Większość terenów zalewowych, z glebami madowymi i piaszczystymi o niewielkiej zawartości materii organicznej, to miejsca skutecznego usuwania fosforu w procesie sedimentacji, a także efektywnego pobierania azotu i fosforu przez roślinność.



Tereny zalewowe Narwi

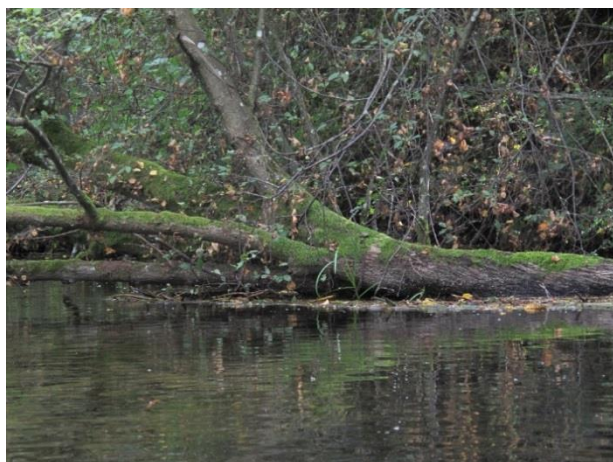
7. Tereny podmokłe na odpływie z rury drenarskiej – Gdy większość wody z terenów rolniczych odprowadzana jest do rzeki za pomocą drenów, a nie jako odpływ powierzchniowy lub podpowierzchniowy, konieczne jest stworzenie warunków dla powstania naturalnego obszaru podmokłego lub stworzenie sztucznego mokradła przy przechwytywanym odpływie. Na podstawie doświadczeń duńskich wyróżniono kilka typów takich BSB (Hoffmann i in. 2020).

¹ Denitryfikacja – proces redukcji azotanów do azotu cząsteczkowego przeprowadzany przez bakterie.

² Ryzyko uwalniania fosforanów z ponownie nawodnionego torfowiska można ocenić badając stosunek zawartości żelaza do fosforu w glebie. W przypadku gdy jest on niższy niż 10, możliwe jest uwolnienie fosforu i należy rozważyć dalsze działania. Usunięcie zdegradowanej warstwy wierzchniej torfu jest uważane za najskuteczniejszą metodę zmniejszania żyzności ponownie nawodnionych torfowisk. Z drugiej strony, zbiór biomasy roślinnej na torfowiskach nawadnianych jest dodatkową skuteczną metodą trwałego usuwania azotu i fosforu z obiegu składników pokarmowych w glebie i wodzie.

4. Jak w praktyce wspierać powstawanie bagiennych stref buforowych? *Marta Wiśniewska, Ewa Jabłońska*

Zakres prac niezbędnych do utworzenia BSB zależy przede wszystkim od warunków geomorfologicznych oraz od aktualnego stanu degradacji krajobrazu rzecznej i nadrzecznej. Żeby odtworzyć **bagienne brzegi** wzdłuż niezbyt silnie zmienionej rzeki, wystarczy umieścić w korycie jakieś przeszkody, np. większe głazy czy pnie drzew. Jeśli jednak rzeka jest już silnie uregulowana, a jej koryto silnie pogłębione, konieczna jest budowa zastawek z przepływem, tak aby spiętrzyć wodę i stworzyć na brzegach warunki na tyle mokre, aby mogło tam powstać stałe zabagnienie.



Rumosz drzewny w rzece

Najlepszym sprzymierzeńcem w tworzeniu bagiennych brzegów i terenów zalewowych są bobry, budujące często niewielkie tamy na rzekach, kanałach czy rowach melioracyjnych.



Efekte działalności bobrów: zdjęcie lewe – tama bobrowa i powstałe rozlewiska nad niewielką rzeką; zdjęcie prawe – tama bobrowa i powstałe bagienne brzegi wzdłuż rowu, fot. Ł. Kozub

Odtworzenie **terenów zalewowych** jest z kolei możliwe wzdłuż dużych rzek, z dostatecznie szerokimi dolinami, i wymaga również spiętrzenia wody poprzez umieszczenie naturalnych przeszkód bądź budowę zamykanych jazów czy progów, co umożliwi zalewanie terenów nadrzecznych. W tym przypadku może być również konieczne odsunięcie wałów przeciwpowodziowych od rzeki.

Stworzenie **koryta dwudzielnego** wymaga już bardziej zaawansowanych prac ziemnych – przekopania terenu zalewowego i wyrównania wydobytej ziemi, wzmocnienia brzegów oraz prac budowlanych w celu spiętrzenia wód (umieszczenia pni czy kłód drzew, głazów czy budowy progów). Oprócz tego konieczna jest przebudowa istniejącej infrastruktury, głównie przepustów drogowych. Co więcej, można założyć, że wdrożenie tego typu BSB wymaga wykupu wąskiego pasa gruntów po obu stronach koryta rzeki.

Zaawansowane prace ziemne są wymagane również przy ponownej **meandryzacji koryta** uprzednio uregulowanej rzeki. Konieczne jest przekopanie meandrów w istniejącym kanale lub też budowa zapór kierujących wodę do wykopanych od nowa meandrujących odcinków kanału. Po zmianie biegu koryta konieczna jest budowa nowych przepustów drogowych. Niezbędny jest również wykup gruntów na terenie przeznaczonym pod realizację takiego projektu.

Aby **ponownie nawodnić osuszone torfowisko niskie** należy przede wszystkim zatamować istniejącą sieć rowów odwadniających. Rowy można zatamować poprzez budowę niewielkich zastawek czy progów, nawet poprzez stawianie przeszkód zbudowanych z worków wypełnionych piaskiem, czy żwirem.



Zastawka, fot. Ł. Kozub

Utrzymanie **naturalnych torfowisk niskich** wydaje się z jednej strony najprostsze – wystarczy zaprzestać jakiegokolwiek działalności na nich i w ich pobliżu, ale z drugiej strony jest to właśnie najtrudniejsze – trzeba zadbać o to, żeby ewentualne zmiany w całej zlewni nie były na tyle intensywne, aby mogły ograniczyć zasoby wód podziemnych i ich dopływ do torfowiska. Utrzymanie naturalnego torfowiska niskiego może też być zagrożone przez ocieplanie się klimatu i związany z nim spadek poziomu wód gruntowych, a zatem ochrona naturalnych torfowisk niskich obejmuje też walkę ze zmianami klimatu.

Więcej praktycznych informacji o metodach renaturyzacji rzek i terenów nadrzecznych mogą Państwo znaleźć w publikacji pt. „Podręcznik dobrych praktyk renaturyzacja wód powierzchniowych” (Pawlaczyk i in. 2020), dostępnej na stronie internetowej pod adresem:

https://www.wody.gov.pl/images/Aktualnosci/foto/renaturyzacjaKPRWP/Podrecznik_renaturyzacji.pdf

5. Przechwytywanie biogenów w bagiennych strefach buforowych – jak to działa? *Dominik Zak*

Oczyszczanie wody przez BSB polega na usuwaniu i wychwytywaniu biogenów obecnych w wodach przemieszczających się z ładu do strumienia lub z górnego biegu rzeki do jej dolnego biegu. Usuwanie określonych biogenów z wód następuje często poprzez ich chemiczne przemiany zachodzące w BSB, prowadzące ostatecznie do ich uwolnienia do atmosfery (w przypadku azotu). Z kolei wychwytywanie i retencja biogenów zachodzi wskutek ich zatrzymywania i magazynowania w glebie lub biomase roślinnej na terenie BSB. Co więcej, BSB mogą również pomóc w usuwaniu innych rodzajów zanieczyszczeń, jak np. metali ciężkich, herbicydów, pestycydów czy innych substancji biologicznie czynnych. Aby BSB mogły działać jako pochłaniacz substancji biogenych, muszą mieć hydrologiczne połączenie z wodami płynącymi tak, aby prawidłowo zachodzące procesy biologiczne, chemiczne i fizyczne mogły obniżyć poziom zawartości biogenów w wodach opuszczających nadrzeczne mokradło.

Można wyróżnić kilka mechanizmów przechwytywania i usuwania biogenów w bagiennych strefach buforowych:

1. Usuwanie azotu wskutek procesów przeprowadzanych przez bakterie, głównie poprzez nityfikację i denityfikację, zależy ściśle od poziomu wody gruntowej oraz dostępności tlenu. W warunkach tlenowych proces nityfikacji przekształca jony amonowe do azotynów i azotanów, natomiast w warunkach beztlenowych proces denityfikacji odpowiedzialny jest za redukcję azotanów do azotynów i dalej do gazowych form azotu: tlenu azotu oraz azotu cząsteczkowego. Współwystępujące w glebach BSB strefy tlenowe i beztlenowe umożliwiają

jednoczesne zachodzenie obu tych procesów, pozwalając tym samym na efektywne równoczesne usuwanie jonów amonowych, azotanów i azotynów.

2. Przechwytywanie biogenów przez roślinność. Ten proces jest ważny dla zatrzymywania azotu i fosforu oraz innych biogenów, szczególnie potasu. Rośliny pobierają biogeny z przepływającej wody i wbudowują je w tkanki swoich nadziemnych i podziemnych organów. Biogeny z tej biomasy mogą być następnie przeniesione na wyższy poziom łańcucha pokarmowego poprzez roślinożerców (patrz punkt 6) lub uwolnione do środowiska podczas częściowego rozkładu biomasy (patrz punkt 7). Część biomasy może być wyłączona z cyklu obiegu materii na dłuższy czas poprzez przekształcenie w osady organiczne, szczególnie w torf. W mokradłach nadrzecznych torf powstaje głównie z korzeni roślin. Biomasa nadziemna może być też po prostu ręcznie zbierana i w ten sposób biogeny usuwane będą z lokalnego obiegu (patrz punkt 3).

3. Usuwanie biogenów poprzez zbiór biomasy roślinnej. Biomasa roślin z terenów nadrzecznych mokradeł była od dawna zbierana na siano i ściółkę dla zwierząt gospodarskich. Jednakże z powodu braku opłacalności ten typ użytkowania zarzucono już w drugiej połowie XX wieku. W ciągu ostatnich dziesięcioleci rozwinęła się jednak koncepcja paludikultury, przyswajająca pozytywne strony tradycyjnego użytkowania biomasy roślinności bagiennej oraz proponująca nowe sposoby jej wykorzystania. W ten właśnie sposób paludikultura zyskuje na znaczeniu jako sposób komercyjnego wykorzystania torfowisk w warunkach „mokrych” (zwykle dotyczy to ponownie nawodnionych torfowisk). Rolnictwo bagienne może usprawnić funkcję samooczyszczania wód dzięki całkowitemu usuwaniu biogenów z lokalnego obiegu, równocześnie oferując możliwość włączenia się w gospodarkę o obiegu zamkniętym poprzez wytwarzanie paszy, energii, materiałów budowlanych czy podłoży uprawowych z biomasy roślin bagiennych.

4. Wytrącanie się fosforu w glebie. Fosforany mogą tworzyć nierozpuszczalne sole z jonami wapnia oraz kompleksy z wodorotlenkami żelaza, co może prowadzić do unieruchomienia fosforu w glebach terenów nadrzecznych. Te procesy zależą jednak silnie od potencjału redoks³ w glebie, co sprawia że w warunkach beztlenowych wskutek zalania gleby może dochodzić do uwalniania fosforu. Gleby BSB o stosunku całkowitych zawartości żelaza do fosforu wynoszącym powyżej 10 są uważane za gleby o niskim ryzyku dla ponownego nawadniania, ponieważ fosforany uwolnione z gleby zostaną w większości wychwycone przez wodorotlenki żelaza w warunkach tlenowych na powierzchni gleby (tzw. ang. *redox interface*, Zak i in., 2010). Z kolei odpornym na zmiany potencjału redoks i przez to trwałym związkiem żelaza i fosforu są wytrącenia w postaci wiwianitu, niebieskiego minerału tworzącego się w warunkach

³ Potencjał redoks – potencjał oksydacyjno – redukujący - w odniesieniu do pierwiastków czy związków chemicznych to miara ich zdolności do oddawania elektronów (a więc utleniania się) lub przyjmowania elektronów (a więc redukowania się). W odniesieniu do gleby, w warunkach tlenowych potencjał redoks jest zazwyczaj wysoki (a więc panują tam warunki utleniające), natomiast w warunkach beztlenowych (np. w glebach zalanych wodą) przyjmuje wartości niższe, a więc panują tam warunki redukujące.

beztlenowych przy dużych stężeniach jonów żelazawych i fosforanów, najlepiej przy neutralnym pH (Zak i in., 2010, Rothe i in. 2016).

5. Fizyczna adsorpcja fosforu na cząsteczkach mineralnych. Fosforany adsorbują się na cząsteczkach mineralnych występujących w glebie bądź zawieszonych w wodzie, co ma istotny udział w usuwaniu fosforu z wód. Taki zawieszony w wodzie zaadsorbowany na cząsteczkach mineralnych fosfor może być osadzany na równinach zalewowych podczas wylewów rzek, osiadać w nowych warstwach osadów w miejscach o słabym przepływie wody lub w wodzie stojącej, lub też wchodzić w lokalne cykle biologicznego obiegu materii i być następnie częściowo usuwany ze zbieraną biomasa roślinną.

6. Osadzanie biogenów z wodami zalewowymi. Krótkotrwałe zalanie przez wody rzeczne może nanosić fosfor zaadsorbowany na cząsteczkach mineralnych (patrz punkt 5), niesioną przez rzekę materię organiczną, która następnie rozkłada się po ustąpieniu wód, oraz rozpuszczone w wodach rzecznych biogeny, które są wychwytywane przez roślinność nadrzeczną/terenów zalewowych

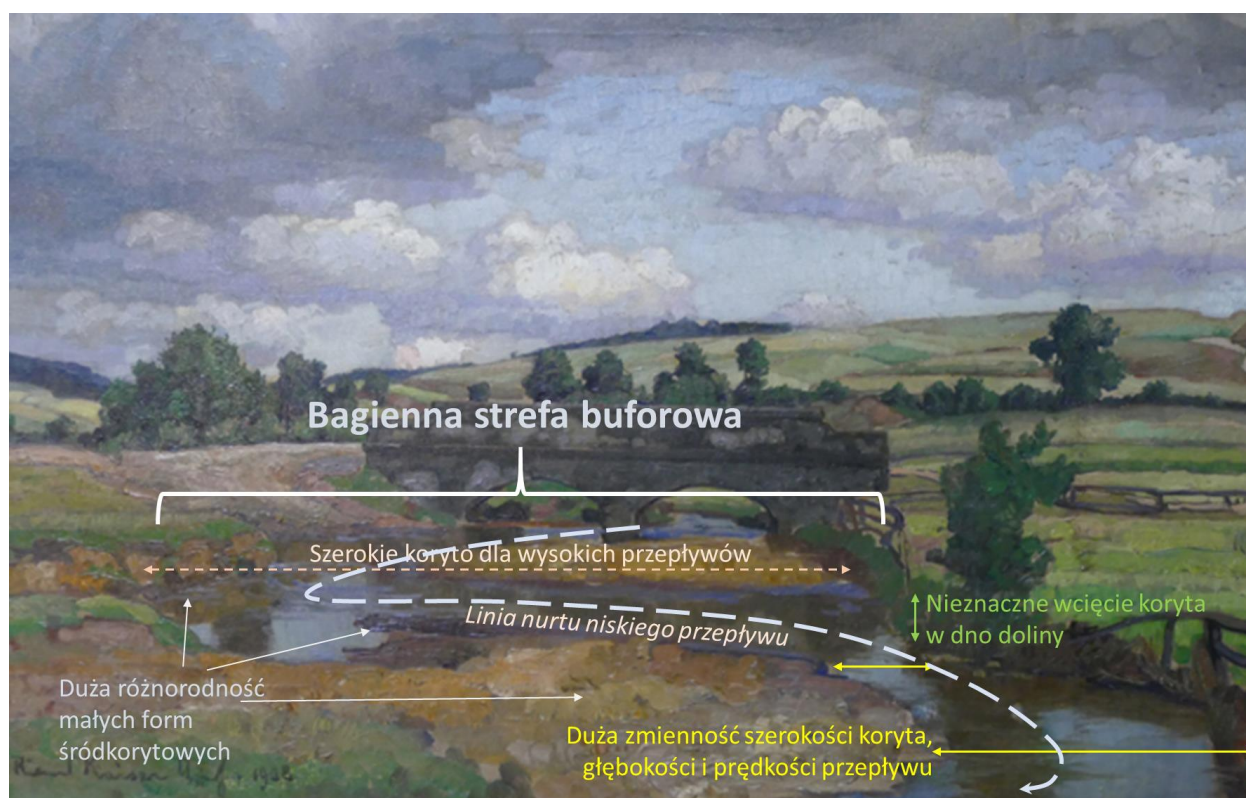
7. Osadzanie biogenów w mule w warunkach stałego podtopienia. Jeśli zalanie terenów nadrzecznych (lub osuszonych torfowisk) będzie miało charakter stały, wytworzą się na nich nowe ekosystemy typu „płytkich jezior”, gdzie drobnocząsteczkowy muł z dodatkiem pyłów, gliny i rozłożonych szczątków organicznych będzie się osadzał nową warstwą na powierzchni zdegradowanego torfu. Choć w ten sposób warstwa mułu usuwa na jakiś czas biogeny z obiegu, jednocześnie może też stanowić potencjalne ich źródło dla wewnętrznych procesów obiegu materii (Cabezas i in. 2014).

6. Tereny podmokłe zatrzymują wodę – w jaki sposób bagienne strefy buforowe łagodzą powódzie i susze? *Mateusz Grygoruk, Wiktor Kotowski*

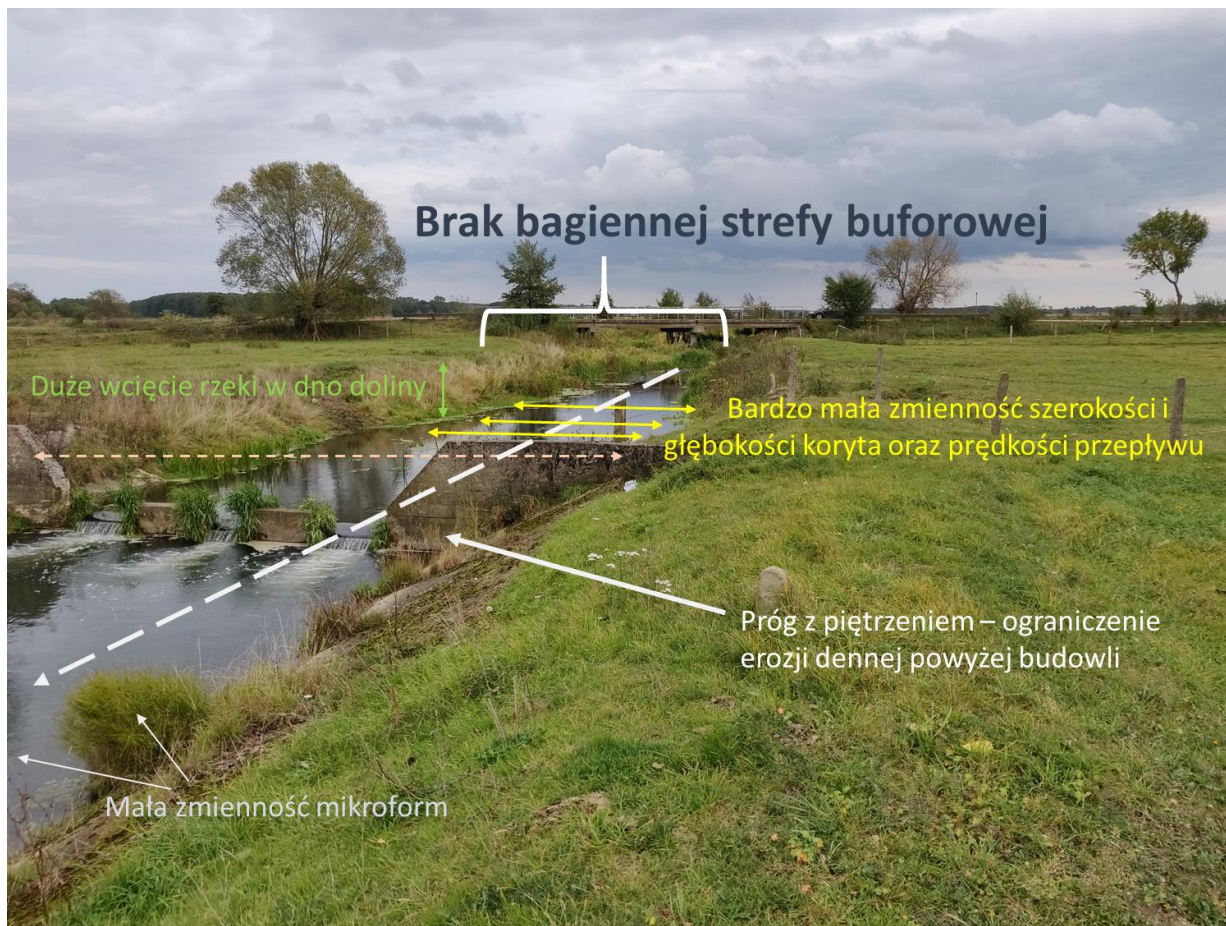
Naturalne mokradła, rzeki i nadrzeczne BSB zachowują swoje funkcje głównie dzięki wodzie, którą są w stanie zmagazynować. Ogromne ilości wody w tym siedlisku wynikają z sezonowej nadwyżki, powstającej albo w wyniku dużych dostaw wody, lub też jej zmniejszonego (lub spowolnionego) odpływu. Retencja wody w korycie rzeczonym wynika z równowagi pomiędzy złożoną hydromorfologią i dostawami osadów, a procesami erozyjnymi. Utrzymywanie się tak znakomicie zrównoważonych systemów pozwala na buforowanie zmian hydrologicznych w krajobrazie poprzez magazynowanie nadmiaru wody podczas powodzi. Tak zmagazynowane objętości wody mogą być następnie stopniowo uwalniane gdy tylko fala powodziowa przesunie się niżej z biegiem rzeki. Z tego względu BSB odgrywają nieproporcjonalnie dużą rolę w wygaszaniu fali powodziowej w porównaniu z innymi typami mokradeł. Z kolei kształtowanie przepływu wody w rzece podczas suszy poprzez zasilanie głównego nurtu wodami

zmagazynowanymi w mokradłach pozostaje bardziej zjawiskiem na poziomie całej zlewni (Ameli i Creed, 2019).

Większość naturalnych bagiennych stref buforowych, które istniały wzdłuż cieków wodnych na pograniczu (w tzw. ekotonie) ekosystemów wodnych i lądowych, zostało poważnie zaburzonych wskutek coraz intensywniejszego spływu powierzchniowego spowodowanego działalnością człowieka. Główną konsekwencją silnego przekształcenia krajobrazów nadrzecznych była redukcja powierzchni ekotonów oraz ujednoczenie hydromorfologii rzek, co znacznie przyspieszyło krążenie wody w mikro-skali. Duży popyt na grunty przeznaczone do rolniczego wykorzystania nie pozostawił miejsca dla rzek i mokradeł, które charakteryzowały się dużą i sezonową zmiennością procesów hydrologicznych. W większości zanikły nieodłączne elementy prawidłowo funkcjonujących BSB, takie jak niewielkie wcięcie koryta nawet podczas niskich stanów wód, bogactwo małych form terenowych (głęboczki, płycizny, niewielkie progi, meandry), duże zróżnicowanie szybkości nurtu, szerokości i głębokości koryta, czy obecność dobrze rozwiniętej roślinności wodnej i nadrzecznej. Zamiast tego pozostały wyprostowane i uproszczone rzeki-kanaly, będące ledwie cieniem naturalnych cieków wodnych.



Rzeka przepływająca przez tereny rolnicze w Niemczech z początku XX wieku (Richard Kaiser – „Krajobraz z rzeką i kamiennym mostem”; 1908) oraz analiza poszczególnych cech morfologicznych koryta z bagienną strefą buforową.



Rzeka przepływająca przez tereny rolnicze w Polsce w XXI wieku oraz analiza poszczególnych cech morfologicznych koryta pozbawionego bagiennych stref buforowych (Rzeka Ślina, płn.-wsch. Polska, fot: M. Grygoruk)

Wspomniane wyżej zmiany w hydromorfologii rzek wpłynęły na lokalne i regionalne warunki hydrologiczne na kilka sposobów.

Po pierwsze, wyprostowane rzeki, choć wyposażone w elementy infrastruktury mające na celu ograniczenie erozji, zaczęły wypłukiwać swoje osady, co skutkowało stopniowym podcinaniem brzegów i zwiększonym drenażem wód podziemnych z przyległych poziomów wodonośnych. Eliminacja wiosennych zalewów przyczyniła się również do większego odwodnienia siedlisk dolinowych. Regulacji rzek towarzyszyło zwykle odwadnianie przyległych terenów podmokłych sieciami rowów, co zwykle prowadziło do spadku poziomu wód gruntowych w ich sąsiedztwie. Przedłużające się odwadnianie powodowało degradację materii organicznej gleby, co dodatkowo zmniejszało zdolność gleb do wsiąkania w nie wody i do zatrzymywania wody. Szczególnym przypadkiem są gleby torfowe, które na skutek odwodnienia uległy przyspieszonemu rozkładowi, w drastycznych przypadkach przekształcając się w niewchłaniający wody mursz.

Drugi efekt związany jest ze zmniejszeniem się obiegu wody. Jest to szczególnie ważne w regionach położonych z dala od morza, gdzie to właśnie lokalna ewapotranspiracja⁴ przyczynia się do utrzymania znacznej części wilgotności powietrza i powstawania opadów. Tereny podmokłe są ważnym źródłem lokalnej wilgotności powietrza, szczególnie w gorących miesiącach letnich. Woda wyparowująca z terenów podmokłych i innych obszarów nadbrzeżnych nie jest tracona, ale wraca do systemu w postaci konwekcyjnych deszczy, mgieł lub rosy, choć niekoniecznie w tym samym miejscu. Co więcej, ewapotranspiracja z terenów podmokłych, zasilająca powietrze parą wodną, zmniejsza parowanie z sąsiednich obszarów. Wreszcie, ewapotranspiracja absorbuje energię cieplną z powietrza, przyczyniając się do znacznego ochłodzenia krajobrazu. Ta pochłonięta energia jest uwalniana z powrotem w wyższych partiach atmosfery, gdy para wodna skrapla się tworząc chmury. Wszystkie te mechanizmy są osłabiane przez odwadnianie terenów podmokłych, co może nasilać zagrożenie suszą spowodowaną zwiększonym drenażem wód gruntowych i globalnymi zmianami klimatycznymi.

Trzecim efektem hydrologicznym regulacji rzek i osuszania terenów podmokłych jest zwiększone ryzyko powodzi w dolnym biegu rzek. Można to łatwo wytłumaczyć przyspieszonym spływem wód opadowych z krajobrazu i zmniejszoną zdolnością retencyjną regulowanych rzek, odciętych od ich obszarów zalewowych. W związku z tym coraz więcej miast i miejscowości położonych wzdłuż rzek jest zagrożonych powodziami – zwłaszcza w warunkach coraz bardziej niestabilnych warunków pogodowych spowodowanych globalnym ociepleniem. Również grunty rolne na zagospodarowanych podmokłych terenach nadrzecznych stają się coraz bardziej podatne na podtopienia, którym w obecnym modelu gospodarki wodnej usiłuje się często zapobiegać poprzez dalsze pogłębianie rzek (pogłębianie, wycinanie roślinności lub odnawianie regulacji koryta). Efektem takich krótkowzrocznych działań jest jednak jeszcze szybszy odpływ i drenaż regionalny w "normalnych" warunkach hydrologicznych, zamykający błędne koło degradacji.

Przywrócenie BSB może, przynajmniej częściowo, zrekompensować te utracone usługi ekosystemowe terenów podmokłych. „Ekologiczne nieużytki” (jak można by określić osuszone tereny podmokłe i wyprostowane rzeki) mogą ponownie zacząć odgrywać swoją rolę. Ich właściwie odtworzona morfologia pozwala na zalewanie BSB, nie powodując większych szkód w zarządzanym środowisku. W obliczu przewidywanego nasilenia się susz w Europie twierdzi się, że ani rozwiązania techniczne, ani przyrodnicze nie pozwolą społeczeństwom na zapobieganie niedoborom wody. Jednakże odbudowa BSB pozwoli przynajmniej na złagodzenie negatywnych skutków ekstremalnych zjawisk hydrologicznych. (Lehner i in. 2006).

⁴ Ewapotranspiracja - parowanie polowe, obejmujące bezpośrednio odparowanie wody z łąd i transport wody do atmosfery przez roślinność.

7. Bagienne strefy buforowe – dobre dla klimatu! *Wendelin Wichtman, Wiktor Kotowski*

Wszystko, co obecnie robimy w środowisku należy postrzegać w kontekście kryzysu klimatycznego. Nie ma wątpliwości, że zmiana klimatu jest najważniejszym globalnym wyzwaniem środowiskowym z jakim ludzkość miała się kiedykolwiek zmierzyć. Najważniejszymi metodami ograniczenia zmiany klimatu jest bez wątpienia zastąpienie paliw kopalnych bezemisyjnymi źródłami energii. Ale obok reformy sektora energetycznego, przemysłu i transportu, to właśnie zmiany w zagospodarowaniu ekosystemów lądowych – w tym obszarów rolniczych i mokradeł – należą do najpilniejszych działań mitygacyjnych i adaptacyjnych. BSB mają dla klimatu duże znaczenie w kontekście szeregu różnych procesów. Tymczasem właściwie funkcjonujące tereny podmokłe, a zwłaszcza torfowiska, są wciąż powszechnie niedoceniane (Leifeld i Menichetti 2018, Geurts i in. 2019), mimo ich ogromnej roli w globalnym obiegu węgla. O ile odwadnianie torfowisk przekształciło je z pochłaniaczy węgla w znaczące źródła atmosferycznego dwutlenku węgla, o tyle ponowne nawadnianie może ograniczyć te emisje, stanowiąc tym samym niezwykle ważną strategię łagodzącą – **mitygację** zmian klimatu⁵. Z drugiej strony, BSB są także środkiem dostosowawczym – **adaptacją** do zmian klimatu⁶, jako że ograniczają negatywny wpływ ocieplenia klimatu na ekosystemy wodne i lądowe.

Wpływ BSB na krążenie węgla

BSB na glebach mineralnych

Bagienne strefy buforowe wykształcone na glebach mineralnych są mniej więcej neutralne w kontekście obiegu węgla. Jeśli proces nagromadzania osadów zachodzi na aktywnych glebach aluwialnych⁷, osady te mogą zawierać pewne ilości węgla organicznego, który może być w nich gromadzony i przechowywany dłużej. Generalnie jednak produkcja roślinna oraz rozkład materii organicznej pozostają ze sobą w równowadze. Jeśli stworzenie BSB spowoduje jednocześnie ograniczenie zmienności poziomów wód gruntowych, przy wyższych stanach wód może to doprowadzić do gromadzenia się nierozłożonych szczątków roślinnych na powierzchni gleby i w dłuższej perspektywie być może nawet do powstawania torfu, co miałoby pozytywny wpływ na klimat z powodu długotrwałej akumulacji dużych ilości węgla.

⁵ Mitygacja zmian klimatu – środki łagodzące, które zmniejszają przyczyny zmian klimatu, zwłaszcza te, które zmniejszają emisję gazów cieplarnianych lub zapobiegają jej.

⁶ Adaptacja do zmian klimatu – środki dostosowawcze, mające na celu zmniejszenie negatywnych skutków zmian klimatycznych.

⁷ Gleby aluwialne – bardzo żyzne gleby powstające w procesach akumulacji materiału nanoszonego przez ciekły wodne.

BSB na glebach organicznych

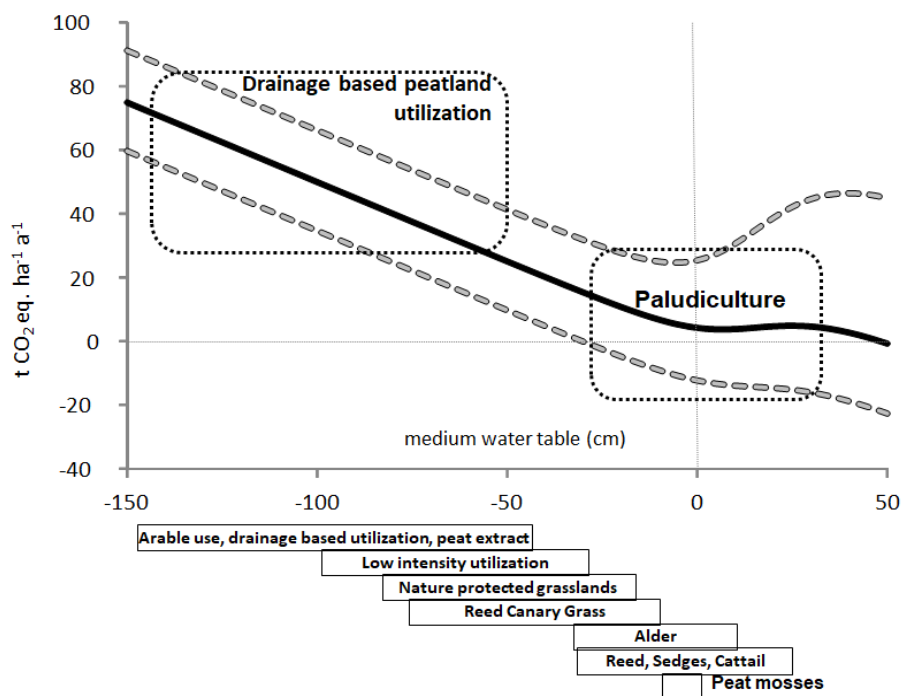
Sytuacja jest zupełnie inna w przypadku BSB na glebach organicznych. Gleby takie wytworzyły się na torfowiskach poprzez akumulację nierozłożonych szczątków roślinnych w warunkach stałego podtopienia. W warunkach naturalnych i w długiej perspektywie czasowej, ekosystemy te bardzo efektywnie ochładzają klimat z powodu ciągłej akumulacji węgla (Augustin i in. 2011). Jest to jednak proces stosunkowo powolny i ma wpływ na regulację klimatu głównie w skali setek lat. Obecnie ten ochładzający wpływ torfowisk jest całkowicie zamaskowany przez uwalnianie dużych ilości gazów cieplarnianych z torfowisk osuszonych przez człowieka na potrzeby rolnictwa i leśnictwa.

Co to jest torfowisko?

Torfowiska to mokradła, w których na skutek przewagi produkcji biomasy roślinnej nad jej rozkładem, doszło do akumulacji pokładów torfu. Rozkład obumarłej materii roślinnej jest spowolniony w warunkach trwałego podtopienia, a procesy humifikacji stabilizują materię organiczną, jeszcze bardziej ograniczając jej ewentualny dalszy rozkład. Torfowiska niskie, tj. zasilane wodami podziemnymi torfowiska zlokalizowane w dolinach rzecznych, są typowym elementem środkowo-europejskiego krajobrazu. Zaczęły się tworzyć tuż po ustąpieniu ostatniego zlodowacenia. W ciągu tysięcy lat uformowały się w nich pokłady torfu sięgające miąższości nawet 10 metrów, zawierające gigantyczne ilości zakumulowanego węgla organicznego. Mimo że powierzchnia torfowisk stanowi zaledwie około 3% całkowitej powierzchni lądów na Ziemi, gromadzą one około 30% całkowitych glebowych zasobów węgla organicznego. Niestety gleby torfowe zostały silnie zmodyfikowane przez prace melioracyjne na potrzeby rolnictwa w ciągu ostatnich 300 lat. Po osuszeniu, zwiększony dostęp tlenu powoduje intensywny rozkład w wierzchnich warstwach gleby. To powoduje, że węgiel zawarty nawet w trudno rozkładalnej materii organicznej zostaje przekształcony do dwutlenku węgla i zamienia osuszone torfowisko z pochłaniaczem węgla atmosferycznego w poważne jego źródło. Powierzchnia gruntu osuszonego torfowiska ciągle się obniża z powodu osiadania gleby, a to z kolei wymusza konieczność pogłębiania sieci melioracyjnej aby utrzymać suche warunki niezbędne do rolniczego wykorzystania takiego terenu, co znów napędza cykl przyspieszonego rozkładu i emisji gazów cieplarnianych. Aby zapobiec dalszej degradacji takich torfowisk i obniżyć emisje gazów cieplarnianych, jedynym rozwiązaniem jest ponowne ich nawodnienie.

Emisje dwutlenku węgla z osuszonych torfowisk stanowią około 6% całkowitych emisji tego gazu ze źródeł antropogenicznych, pomimo że tereny te zajmują obecnie zaledwie około 0.3% całkowitej powierzchni lądów (Joosten i in 2012). Z tego względu ponowne nawadnianie

osuszonych torfowisk uważa się za ważną strategię mitygacyjną pomagającą w obniżeniu emisji gazów cieplarnianych.



Meta-Analysis for CO₂ (n=236) and CH₄ Meta-
for CO₂ (n=236) and CH₄ (n=339)
(Couwenberg et al. unpub.)

Poziomy wody gruntowej [cm] na torfowisku oraz odpowiadające im poziomy emisji gazów cieplarnianych [t CO₂ eq]. Wg Couwenberg i in., w przygotowaniu.

Z osuszonych torfowisk uwalniają się trzy dobrze znane gazy cieplarniane: dwutlenek węgla (CO₂), tlenek azotu (N₂O) oraz metan (CH₄). Metan jest uwalniany głównie w warunkach trwałego podtopienia, natomiast jego uwalnianie jest hamowane przez osuszanie, które jednak z kolei powoduje uwalnianie się dużych ilości dwutlenku węgla i tlenu azotu. Gazy te różnią się wpływem na efekt cieplarniany, konieczne jest ponadto uwzględnienie skali czasowej w jakiej na ten efekt oddziałują. Dla przykładu, połowa danej ilości metanu ulega utlenieniu i rozkładowi w atmosferze w ciągu 9 lat. Te właściwości należy uwzględnić przy próbach oceny wpływu osuszania i ponownego nawadniania torfowisk na klimat. Aby umożliwić sensowne porównania, gazy cieplarniane są wyrażane w tzw. równoważnikach dwutlenku węgla (CO₂ eq). Po zbilansowaniu pochłaniania i emisji różnych gazów cieplarnianych, obliczenia pokazują, że naturalne torfowiska mają neutralny wpływ na klimat w krótkiej skali czasowej (dziesiątki lat), natomiast ochładzający wpływ w skali długiej (setek i tysięcy lat). Osuszone torfowiska są z kolei znaczącym źródłem emisji dwutlenku węgla i tlenu azotu, spowodowanych przez rozkład materii organicznej w warunkach zwiększonej dostępności tlenu. Również metan jest wciąż emitowany z osuszonych torfowisk, głównie wskutek beztlenowego rozkładu materii organicznej z głębszych pokładów torfu oraz z rowów melioracyjnych. Poziom wody gruntowej jest

uznawany za główny czynnik kontrolujący emisje gazów cieplarnianych z torfowisk i z tego względu jest używany do szacowania możliwych poziomów emisji. Obliczono, że już obniżenie poziomu wody gruntowej w osuszonych torfowiskach o zaledwie parę decymetrów powoduje ogromne emisje rzędu co najmniej 25-60 ton równoważników CO₂ na hektar rocznie! (Couwenberg i in. 2011). Jednak poprzez właściwie przeprowadzone ponowne nawodnienie takich torfowisk tak, aby utrzymywać stały poziom wody gruntowej tuż przy powierzchni gruntu, można emisję dwutlenku węgla i tlenu azotu istotnie obniżyć.

Ponowne nawadnianie uprzednio osuszonych gleb organicznych celem stworzenia bagiennych stref buforowych nie tylko obniża emisję gazów cieplarnianych, ale stwarza również dogodne warunki do odtworzenia się procesów powstawania torfu i związanej z nimi funkcji pochłaniacza węgla, charakterystycznych dla prawidłowo funkcjonujących naturalnych torfowisk. Ponowne nawadnianie może rzeczywiście podwyższyć emisje metanu, szczególnie w okresie początkowym, z powodu dużej dostępności łatwo rozkładalnej materii organicznej. Zwykle jednak emisje te wkrótce stabilizują się na poziomie typowym dla torfowisk naturalnych, a który jest w przeliczeniu na równoważniki CO₂ aż o rząd wielkości niższy niż emisje gazów cieplarnianych z torfowisk osuszonych (Couwenberg i in., w przygotowaniu; Hiraishi i in. 2014, Günther i in. 2020).

Lokalny wpływ ochładzający BSB

Lokalny wpływ ochładzający wskutek zwiększonej ewapotranspiracji jest jedną bardziej niedocenianych funkcji bagiennych stref buforowych położonych zarówno na glebach mineralnych, jak i organicznych. Na obszarach z dostatecznymi zasobami wodnymi, większość dostępnej energii promieniowania słonecznego jest zużywana właśnie na ewapotranspirację. W efekcie powietrze ponad obszarami wilgotnymi nagrzewa się w mniejszym stopniu niż nad obszarami suchymi - stąd właśnie wspomniany efekt ochładzający mokradeł oraz dodatkowa właściwość minimalizowania silnych wahań temperatury (Wahren i in. 2016, patrz również Rozdział 6).

Wpływ pozyskiwania biomasy z BSB na klimat

Potencjalne wiązanie węgla w BSB na glebach organicznych nie jest, przynajmniej w krótkiej skali, zakłócanie przez pozyskiwanie biomasy, ponieważ tworzenie torfu na torfowiskach niskich zachodzi w zasadzie w głębszych warstwach gleby wskutek nagromadzenia martwych korzeni (Succow i Joosten 2001). Zbiór biomasy polepsza jednak warunki świetlne dla mchów i innej nisko rosnącej roślinność, a to z kolei może mieć wpływ na równowagę cyklu obiegu węgla w takim siedlisku. Jeśli nie prowadzi się zbioru biomasy, mogą się rozwinąć np. lasy olchowe (tzw. olsy), które wiążą dodatkowo duże ilości węgla w biomasie swoich pni. Z kolei na mokradłach gdzie praktykuje się pozyskiwanie biomasy, coroczna produkcja ściółki jest silnie zredukowana, a sama ściółka częściowo usuwana wraz ze zbiorami, dzięki czemu zarówno mniej trwałe związki węgla, jak i biogeny są z systemu trwale usuwane (patrz Rozdział 8). W zależności od sposobu wykorzystania biomasy pozyskanej z BSB różny jest wpływ takich praktyk na klimat

(Tabela 3). Jeśli biomasę wykorzystuje się jako paszę dla bydła czy do produkcji biogazu, rozkłada się ona raczej szybko i uwalnia węgiel do atmosfery w dość krótkim czasie. Z kolei wykorzystanie biomasy do produkcji materiałów konstrukcyjnych czy ociepleniowych pozwala na związanie i unieruchomienie węgla na kilka dziesięcioleci poza jakimkolwiek naturalnym ekosystemem, co jest niezwykle pożądane w czasach, gdy redukcja emisji gazów cieplarnianych jest sprawą priorytetową.

Wykorzystanie biomasy roślinnej pozyskiwanej z BSB i ocena ich wpływu na klimat (1 – krótkoterminowy: zastąpienie paliw kopalnych, 2 – średnio/długoterminowe związanie/unieruchomienie węgla):

Rodzaj roślinności	Produkt	Wpływ na klimat
Turzyce	Paliwo stałe	1
Turzyce, mozga trzcinowata	Pasza dla bydła/owiec	1 (+ 2)
Turzyce, mozga trzcinowata	Paliwo do wytworzenia biogazu	1
Trzcina	Strzecha	2
Pałka wodna	Materiał ociepleniowy	1 + 2
Trzcina i pałka wodna	Płyty konstrukcyjne	2

Podsumowując, stabilizacja równowagi wodnej poprzez ponowne nawadnianie osuszonych torfowisk i tworzenie bagiennych stref buforowych ma pozytywny wpływ na środowisko z punktu widzenia ochrony klimatu. Oczywiście należy przestrzegać pewnych reguł, aby nie dopuścić do zniwelowania tego pozytywnego wpływu przez negatywne skutki innych aspektów tych działań. Ponowne nawadnianie zawsze należy przeprowadzać w odpowiedni sposób, stopniowo podnosząc poziom wody, tak żeby uniknąć gwałtownych emisji metanu (Gottschalk i in. 2019) i żeby roślinność mogła przystosować się do zmieniających się warunków siedliskowych. Różnego rodzaju praktyki gospodarowania, np. odpowiednia częstotliwość pozyskiwania biomasy czy jej długotrwałe wykorzystanie (zamiast przeznaczania na paliwo czy paszę), mogą dodatkowo zwiększyć skalę oddziaływania pozytywnych efektów.

8. Bagienne strefy buforowe ostoją dzikiej przyrody – dlaczego powinniśmy o nie dbać? *Wiktor Kotowski*

Przekształcanie rzek i nadrzecznych krajobrazów przyczyniło się do masowego wyginięcia zamieszkujących je gatunków. Przywrócenie bagiennych stref buforowych, tak potrzebnych do oczyszczania i retencji wody, jest szansą również na odtworzenie ostoi dzikiej przyrody w silnie przekształconych krajobrazach rolniczych, co może uratować tysiące gatunków związanych z terenami podmokłymi. Ich przetrwanie leży również w naszym interesie!

Rzeki, jeziora i słodkowodne mokradła należą do najbardziej zagrożonych ekosystemów na świecie. Tak zwany Wskaźnik Żyjącej Planety (ang. *The Living Planet Index*, w skrócie LPI) dla ekosystemów słodkowodnych spadł od roku 1970 aż o 84%, w porównaniu z przeciętnym spadkiem o 60% dla wszystkich innych ekosystemów (WWF 2018). Na terenie Unii Europejskiej, torfowiska są najszybciej zanikającym ekosystemem, ich całkowita powierzchnia zmniejsza się aż o 4% w ciągu każdym kolejnych 10 lat (Hicks i in. 2010). Najważniejsze przesłanie jest takie, że szóste masowe wymieranie nie rozgrywa się gdzieś w odległych zakątkach świata i nie dotyczy jakichś egzotycznych, rzadkich gatunków. Niestety nie – ten proces rozgrywa się tuż obok nas i dotyczy wielu gatunków organizmów do niedawna uważanych za pospolite!

Kto potrzebuje ważek, jętek i komarów?

W ostatnim czasie społeczność naukowców przekazywała alarmujące wieści dotyczące drastycznie szybkiego tempa wymierania owadów – najpierw pojawiły się doniesienia o 75% spadku całkowitej biomasy owadów latających w ciągu niecałych 30 ostatnich lat w rezerwach w Niemczech (Hallmann i in. 2017), a następnie katastrofalne wymieranie owadów zostało potwierdzone na całym świecie (Sánchez-Bayo i Wyckhuys 2019). Wyniki tej drugiej pracy pokazały również, że to właśnie owady związane z ekosystemami słodkowodnymi zanikają najszybciej, a główną tego przyczyną jest oczywiście zniszczenie ich siedlisk. W przypadku mokradeł oznacza to głównie osuszanie oraz zajęcie pod tereny rolnicze. Co bardzo ważne, drugą najważniejszą przyczyną wymierania owadów okazało się zanieczyszczenie ze źródeł rolniczych. Nie trzeba wiele wyobraźni, aby uzmysłowić sobie, że nasz świat nie może istnieć bez owadów, które pełnią chociażby rolę zapylaczy roślin czy stanowią podstawę pożywienia wielu innych zwierząt.

Pogranicze lądu i wody to miejsce, gdzie spotykają się zarówno mieszkańcy obu tych światów, jak i obecna jest niezwykła różnorodność zwierząt występujących jedynie tutaj. To właśnie w płytkich przybrzeżnych wodach rzeki, pomiędzy sitowiem i trzcinami, larwy ważek, jętek, chrzączek i wielu innych owadów spędzają pierwszą, często najdłuższą część swojego życia. W tym okresie wszystkie one stanowią pożywienie różnych gatunków ryb, płazów czy większych bezkręgowców, a wielka różnorodność owadów i innych bezkręgowców zajmujących najbardziej różnorodne mikro-siedliska rzeczne pozwala na współwystępowanie wielu gatunków

ryb o często skrajnie różnych preferencjach pokarmowych. Ale larwy owadów nie są jedynie pożywieniem dla innych zwierząt – odgrywają one ogromną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu ekosystemów mokradeł jako drapieżcy, roślinożercy, „zgryzacze” odżywiający się obumarłymi szczątkami roślin i zwierząt, czy wreszcie jako „inżynierowie środowiska” – ryjący w podłożu i budujący różnorodne misterne konstrukcje. Biorą przez to udział w procesach obiegu materii i krążenia pierwiastków, a z powodu osiągniętej często dużej liczebności i biomasy, oddziałują na te procesy w istotnej skali! (Adler i Courtney 2019). Równie ważne są dorosłe latające owady zamieszkujące rejony nadrzeczne. Gatunek, którego larwy żywiły różne gatunki ryb, w stadium dorosłym staje się pożywieniem całych grup ptaków gniazdujących wzdłuż rzek lub też przylatujących na swoje żerowiska. A nocami nad ciekami wodnymi zalatują nietoperze, aby bezgłośnie polować z wykorzystaniem swoich niezwykłych zdolności.



Żaba zielona/ Świtezianka



Pisząc o owadach występujących nad wodami w ogromnych ilościach, nie możemy zapominać o komarach – niewiele jest owadów równie ważnych dla funkcjonowania tych siedlisk! I to zarówno pod wodą, gdzie larwy komarów przetwarzają ogromne ilości zawiesiny organicznej, a same stanowią pożywienie dla bezkręgowców, ryb i płazów, jak i nad wodą, gdzie dorosłymi osobnikami żywią się np. dorosłe ważki, różne gatunki pająków, oraz ptaków i nietoperzy. Właściwie odtworzone bagienne strefy buforowe zapewniają siedliska dla wszystkich tych potencjalnych drapieżników, które z kolei regulują rozmiary populacji owadów latających, w tym i komarów.

Tam, gdzie żyją szczupaki

Bagniste i porośnięte sitowiem brzegi rzek to jedne z najważniejszych żerowisk dla ryb, ale są również kluczowymi miejscami rozrodu wielu gatunków – tarliskami. Zniszczenie mokradeł nadrzecznych spowodowało znaczne spadki liczebności populacji ryb, do tego stopnia, że wiele gatunków wymaga dodatkowego zarybiania aby utrzymać się w danych siedliskach. Szczupak, jedna z naszych największych i najpiękniejszych ryb drapieżnych, odbywał tarło właśnie wśród nadrzecznych mokradeł podczas wiosennych wylewów. Gdy woda zaczynała opadać, narybek

szczupaka przemieszczał się do odciętych od głównego nurtu starorzeczy, gdzie bezpiecznie przeżywał aż do następnych wiosennych zalewów, kiedy to mógł dostać się do głównego koryta rzeki. Dlatego też odtworzenie bagiennych stref buforowych oznacza również chociażby odtwarzanie terenów tarliskowych szczupaka i, niejako przy okazji, może wspierać wędkarstwo rekreacyjne!

Ptasie królestwo

Nie ma w Europie terenów bogatszych w gatunki ptaków niż mokradła nadrzeczne – rozległe tereny zalewowe, wilgotne łąki czy nadrzeczne lasy. Można tam długo liczyć kolejne pojawiające się gatunki: różne kaczki żerujące na roślinach i drobnych wodnych zwierzętach, czaple, bąki, rybitwy czy zimorodki polujące na ryby, jaskółki łapiące komary, ptaki brodzące, poszukujące ukrytych w mule bezkręgowców, czy też ogromne bogactwo ptaków śpiewających. Ochrona zagrożonych gatunków ptaków i ich siedlisk jest obecnie jednym z głównych bodźców do odtwarzania terenów mokradłowych. Absolutna zgodność tego celu z tworzeniem BSB dla ochrony retencji i jakości wody jest oczywista. Co więcej, lokalna gospodarka również może bardzo wiele na tym zyskać – społeczność ornitologów i tzw. „ptasiarzy”, czyli amatorów obserwowania ptaków, należy do najliczniejszych i najaktywniejszych grup turystów odwiedzających tereny wiejskie.

Korytarz migracyjny

Okolice rzek to ważna trasa przemieszczania się różnych zwierząt – ptaków podczas sezonowych migracji, dużych i małych ssaków, ale również różnych owadów i innych bezkręgowców. Ale korytarz ekologiczny to nie jakiś abstrakcyjny prosty brzeg rzeki – to raczej mozaika różnorodnych naturalnych i półnaturalnych ekosystemów nadrzecznych. Ich regularne występowanie pozwala na rozprzestrzenianie wielu różnych, również rzadkich i zagrożonych gatunków roślin, które niestety często stopniowo zanikają.

9. Biomasa roślin bagiennych – możliwości zastosowania w rolnictwie i innych sektorach gospodarki *Claudia Oehmke, Wendelin Wichtman, Piotr Banaszuk*

W poprzednich rozdziałach wyjaśniliśmy, w jaki sposób przywrócenie terenów podmokłych wzdłuż rzek może pomóc w ograniczeniu spływu biogenów z lądu do wody, przeciwdziałając w ten sposób eutrofizacji jezior i morza, poprawić retencję i cyrkulację wody, zmniejszając w ten sposób ryzyko suszy i powodzi, złagodzić zmiany klimatyczne i pomóc w dostosowaniu się do nich, a wreszcie – przywrócić i chronić różnorodność biologiczną. Dlaczego więc nie przywrócimy ich teraz wszędzie? Na drodze do powszechnego stosowania BSB w krajobrazie nadrzecznych znajduje się jedna poważna przeszkoda, którą można jednak przekształcić w

ogromną szansę. Przeszkodą tą jest sposób obecnego rolniczego wykorzystania niegdyś osuszonych obszarów nadrzecznych. Wzdłuż regulowanych rzek rosną kukurydza, zboża lub – w najlepszym razie – pomiędzy rowami odwadniającymi lub drenami znajdują się wilgotne łąki użytkowane często intensywnie. Takie użytkowanie gruntów wyklucza postulowane ponowne nawadnianie terenów nadrzecznych. A jednak jest rozwiązanie: odtworzenie BSB nie wymaga wcale całkowitego wycofania tych terenów z użytkowania rolniczego, a jedynie prowadzenie go zgodnie z zasadami rolnictwa bagiennego lub tzw. Paludikultury (Wichtmann i in. 2016). Rośliny terenów podmokłych mogą być z powodzeniem wykorzystywane z ekonomicznego punktu widzenia. Z każdą toną biomasy zebraną z terenów podmokłych usuwane są z nich składniki odżywcze, takie jak azot i fosfor. O różnych sposobach wykorzystania biomasy roślinnej z terenów podmokłych przeczytaj Państwo w tym rozdziale.

Wiele gatunków roślin mokradowych, jak np. pałka wodna, trzcina pospolita czy mozga trzcinowata, rośnie równie dobrze na torfie, jak i na glebach mineralnych. Rolnictwo bagienne pozwala rolnikom na zachowanie wartości dodanej⁸ tych roślin po przeprowadzonym odtworzeniu odpowiednich warunków wodnych danego terenu. Biomasa roślin mokradowych ma bardzo szerokie zastosowanie, od energetycznego (jako biogaz czy biopaliwo stałe) aż po produkty z wyższą wartością dodaną, jak materiały izolacyjne, papier czy włókna, którymi można zastąpić wiele opartych na paliwach kopalnych produktów plastikowych, chociażby różnego rodzaju opakowania.

To prawda, że wdrożenie rolnictwa bagiennego w BSB niesie ze sobą nowe wyzwania w zakresie praktyk rolniczych (np. techniki zbioru dostosowane do warunków podmokłych), w zakresie polityki (uznanie rolnictwa bagiennego za normalną praktykę rolniczą w systemach dopłat), a także w zakresie gospodarki rynkowej (opracowanie kompletnych nowych szlaków wykorzystania biomasy z roślin bagiennych). Ale te wyzwania są jednocześnie ogromną szansą! Oprócz oferowania obszarów do przywracania terenów podmokłych wraz z ich funkcjami ekosystemowymi, rolnictwo bagienne może doprowadzić do wejścia na drogę nowej, przyjaznej środowisku **gospodarki obiegu zamkniętego**, pozwalającej na zastąpienie energii i paliw kopalnych biopaliwami i produktami naturalnymi.

Które rośliny mogą znaleźć zastosowanie w rolnictwie bagiennym?

Dla potrzeb rolnictwa bagiennego w BSB zastosowanie znajdują wysokowydajne gatunki roślin mokradowych, takie jak trzcina pospolita (*Phragmites australis*), pałka wodna (*Typha* spp.), turzyce (*Carex* spp.), mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*), a także olcha czarna (*Alnus glutinosa*). Mogą one być uprawiane lub będą rozprzestrzeniać się sukcesywnie po ponownym nawodnieniu osuszonych torfowisk i terenów nadrzecznych. To, czy i jakie rośliny będą się osiedlać i rozprzestrzeniać samorzutnie, zależy od obecności glebowego banku nasion⁹, składu

⁸ Wartość dodana – przyrost wartości danego dobra w wyniku zastosowania określonego sposobu produkcji.

⁹ Bank nasion – żywe nasiona roślin przechowywane naturalnie w glebie.

gatunkowego roślinności w okolicy, intensywności ponownego nawodnienia, dostępności składników pokarmowych, sposobu użytkowania, i wielu innych czynników. Dla przykładu, w odpowiednich warunkach siedliskowych częste letnie koszenie może pomóc w wykształceniu się bogatych w gatunki podmokłych łąk. Uprawa gatunków roślin siedlisk podmokłych poprzez sadzenie lub siew jest bardziej kosztowna, ale w ten sposób można szybciej uzyskać wysokoproduktywne zbiorowiska. Wysokie plony biomasy mogą być zbierane już po dwóch do trzech lat od wdrożenia.



Trzcina pospolita, pałka wodna, turzyce, mozga trzcinowata mogą utworzyć trwałe, niemal jednorodne zbiorowiska mogące zapewnić duże zbiory w warunkach podtopienia

Gatunki roślin mokradłowych i ich potencjał usuwania substancji biogenych

Największe ilości biogenów z BSB można usunąć poprzez zbiory nadziemnej biomasy roślinnej w okresie letnim lub wczesnojesiennym – ten okres jest optymalny dla wszystkich gatunków roślin. Trzcina pospolita osiąga maksymalny pobór biogenów we wrześniu, gromadząc około 300 kg azotu (N) na ha rocznie, 30 kg fosforu (P) na ha rocznie i 100 kg potasu (K) na ha rocznie. Pałka może osiągnąć wydajność do 500 kg N/ha/rok, 50 kg P/ha/rok i 200 kg K/ha/rok, przy maksymalnym poborze również w sierpniu i wrześniu. Zdolność do usuwania składników pokarmowych w zbiorach zimowych jest zmniejszona o 50% w przypadku trzciny i 70% w

przypadku pałki. Jednak stopień pobierania może być różny w zależności od lokalizacji i zasobności gleby w składniki pokarmowe. W przypadku BSB, zalecane są zatem zbiory biomasy od lata do jesieni.

Zrównoważone i przydatne możliwości wykorzystania biomasy

Biomasa roślinna z terenów podmokłych może być wykorzystywana na kilka sposobów i w licznych łańcuchach produkcyjnych. Niektóre z nich są już wprowadzone na rynek, ale w przyszłości można przetestować więcej możliwości transferu wiedzy z istniejących już łańcuchów produkcyjnych dla porównywalnych rodzajów biomasy, takich jak słoma, trawa i drewno.



Próbki ususzonych i pociętej biomasy z różnych typów roślinności bagiennej

1. **Pasza w hodowli bydła** – jakość pasz produkowanych na terenach podmokłych zależy w dużej mierze od ich żyzności. Na niskoprodukcyjnych torfowiskach biomasa roślinna ma niską wartość pokarmową. Inaczej jest w przypadku bardziej bogatych w składniki odżywcze terenów podmokłych. Wartość odżywcza koszonej wiosną pałki wodnej z terenów eutroficznych jest stosunkowo wysoka (Geurts i Fritz 2018, Geurts i in. 2019). Późno zbieraną biomasa pałki wodnej można stosować jako bogaty w błonnik okazjonalny dodatek do pasz objętościowych,

natomiast biomasę zbieraną wcześniej, jeszcze przed kwitnieniem pałki, można z powodzeniem stosować jako częstszy dodatek do pasz opartych na zielonce (Pijlman i in. 2019). Inne gatunki roślin, które nadają się do produkcji paszy dla zwierząt to mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*) i manna wodna (*Glyceria maxima*) (Sundblad i Wittgren 1989).

2. Materiały budowlane – w ostatnich latach stale rośnie zapotrzebowanie na zrównoważone, przyjazne dla zdrowia i środowiska materiały budowlane. Materiał budowlany z biomasy z terenów podmokłych spełnia te wymagania. Trzcina pospolita i pałka wodna wykazują bardzo dobre właściwości izolacyjne. Trzcina jest od wieków stosowana do budowy strzech, które są tradycyjnym typem dachu, powszechnym na całym świecie i zdobywającym rosnącą popularność w budownictwie obiektów hotelarskich i luksusowych nieruchomości mieszkaniowych. Strzecharstwo (ang. *thatcher's craft*) zostało uznane przez UNESCO za niematerialne dziedzictwo kulturowe w 2014 roku. Obecnie np. Holandia, Niemcy, Wielka Brytania i Dania polegają na imporcie strzechy trzcinowej w 85% z Europy Wschodniej i Południowo-Wschodniej, a także w znacznych ilościach z Chin (Wichmann i Köbbing 2015). Wykorzystanie BSB do produkcji strzechy z trzciny mogłoby zaspokoić popyt w regionie.



Izolacja z pałki wodnej, fot. M. Wiśniewska

Liście pałki wodnej są zbudowane z komórek wypełnionych powietrzem, które pozostają nienaruszone po zimowym obumarciu i nadają pałce dobre właściwości izolacyjne. Zbierana zimą pałka może być cięta i prasowana w płytach izolacyjnych z dodatkiem wapna mineralnego. Płyty te mają nie tylko dobry potencjał izolacyjny, ale również mogą być stosowane jako element nośny ze względu na swoją wytrzymałość. W ramach pierwszego projektu testowego w 2011 roku w Bawarii (południowe Niemcy) zrekonstruowano chroniony zabytkowy budynek za

pomocą płyt z pałki. Płyty z pałki mogą być również stosowane jako izolacja wdmuchiwana. Testowo została ona zastosowana w ten sposób w małym domu w północno-wschodnich Niemczech w 2017 roku.

3. Energia – biopaliwa stałe – wykorzystanie biomasy z terenów podmokłych jako biopaliwa stałego jest uznaną technologią. W Europie Północnej mozga trzcinowata jest z powodzeniem uprawiana na dawnych terenach wyrobisk torfowych i wykorzystywana do spalania (Heinsoo i in. 2011). Przydatność peletów z trzciny pospolitej, mozgi i turzyc z nawodnionych torfowisk została potwierdzona analizami chemicznymi i badaniami spalania w ramach projektu Paludi-Pellets (Dahms i in. 2017) – wszystkie rodzaje biomasy wykazały wartość opałową 17.4-18.8 MJ/kg.

Biomasa praktycznie każdego gatunku rośliny może być również wykorzystana na biopaliwo stałe w odpowiednio przystosowanych kotłach. Najlepszym czasem na zbieranie biomasy do spalania jest późna jesień lub zima. Biomasa z terenów podmokłych przyczynia się do lepszego bilansu CO₂ jako "zrównoważone biopaliwa", podobnie jak wióry drzewne czy pelety drzewne. Ponieważ drzewa wiążą bardzo dużą ilość węgla w dłuższej perspektywie czasowej, wytwarzanie produktów typu "C-sink", np. mebli, jest bardziej przyjazne dla klimatu niż spalanie drewna. Dlatego też należy preferować stopniowe zastępowanie paliw ropopochodnych biomasą z terenów podmokłych (Wichtmann i in. 2019). Co więcej, rolnictwo na terenach podmokłych oznacza znaczną redukcję konkurencji o przestrzeń pomiędzy sektorem biopaliw a rolnictwem zorientowanym na żywność – co jest częstym argumentem przeciwko uprawom na biopaliwa.

Ciepłownia w Malchin (północno-wschodnie Niemcy, 800 kW) pracuje od 2014 roku zasilana biomasą z roślin bagiennych, pochodzącą z pielęgnacji krajobrazu i koszenia bogatych gatunkowo mozgowisk i turzycowisk. Około 300 ha podmokłych łąk produkuje 800-1200 t biopaliwa stałego, co odpowiada około 350 000 l konwencjonalnego oleju opałowego. Zastosowany tam kocioł parowy ma moc 800 kW i jest specjalnie przystosowany do spalania biomasy roślin bagiennych (firma LIN-KA). Dostarcza ogrzewanie do około 540 gospodarstw domowych, przeszkolą, dwóch szkół oraz budynków biurowych. Kocioł parowy jest dodatkowo wspomagany przez kocioł gazowy, wyrównujący przeciążenia w sieci i zapewniający ciągłość działania w trakcie prac konserwacyjnych. Ekonomicznie opłacalne wdrożenie ciepłowni wymaga spełnienia kilku warunków – przede wszystkim istniejącej lokalnej sieci ciepłowniczej oraz bliskiej odległości od potencjalnych miejsc produkcji biomasy (krótkie drogi transportu). (Dahms i in. 2017).

4. Energia – biogaz – wykorzystanie roślin bagiennych do produkcji biogazu wydaje się być rozwiązaniem przyszłościowym i zrównoważonym, dostarczającym energię, ale także odpad pofermentacyjny, który może być stosowany jako cenny nawóz bogaty w węgiel, azot i fosfor. Fermentacja beztlenowa przetwarza świeży lub zakiszony materiał o wyższej wilgotności na biogaz, który następnie jest przetwarzany przez elektrociepłownię na energię elektryczną i ciepłą lub wprowadzany bezpośrednio do sieci gazowej. Wydajność biogazu z elektrowni

używających biomasy roślinnej waha się w dość szerokim zakresie od 80 do 550 Nm³/t suchej masy organicznej (ang. *volatile solids*, skrót VS), a maksymalnie może osiągać nawet 750 Nm³/t VS (Prochnow i in. 2005, Roj-Rojewski i in. 2019, Dragoni i in. 2017). Produkcja biogazu może być rozsądną ścieżką wykorzystania biomasy, jeśli została ona zebrana od wczesnego do późnego lata. Późniejszy wzrost zawartości włókna surowego w biomacie pogarsza jej jakość i drastycznie zmniejsza plon biogazu i metanu. Niezbędnym warunkiem ekonomicznej eksploatacji biogazowni jest szerokie wykorzystanie wytwarzanej energii cieplnej. Energia cieplna może być wykorzystywana w osadach ludzkich oraz zakładach produkcyjnych, np. w przetwórstwie rolno-spożywczym, ogrodnictwie, gospodarstwach rolnych itp.

5. Meble z olchy czarnej – alder can be cultivated for energy as well as for wood production na eutroficznych mokrych glebach bagiennych. Z jednego hektara 60-letniej uprawy olchy można otrzymać około 420 m³ drewna (Wichtmann i in. 2016). Punktem krytycznym jest pozyskiwanie drzew z podmokłego terenu, ale dostępne są odpowiednio przystosowane maszyny, które mogą znaleźć tu zastosowanie (Röhe i Schröder 2010).

6. Kompost – kompostowanie jest procesem tlenowym, w którym biorą udział mikroorganizmy przekształcające materiał organiczny w stosunkowo stabilny i przyjazny dla środowiska nawóz. Biomasa reszkowa z zagospodarowania krajobrazu jest odpowiednim surowcem do recyklingu węgla i składników odżywczych poprzez kompostowanie, zarówno jako jedyny składnik, jak i w połączeniu z innymi odpadami organicznymi, odpadami pofermentacyjnym lub osadami ściekowymi. Udowodniono, że komposty z pałki i trzciny mają korzystne właściwości, w tym wysoką retencję wody, zawartość azotu organicznego i neutralne pH. Ponieważ kompost ma pozytywny wpływ na właściwości gleby i poprawę wzrostu roślin, może być on stosowany w rolnictwie oraz jako alternatywne podłoże uprawowe dla ogrodnictwa, przemysłu grzybowego, w ogródkach przydomowych czy w architekturze krajobrazu, które częściowo zastąpi nieodnawialny torf, powszechnie stosowany obecnie w tych dziedzinach.

Gospodarka o obiegu zamkniętym

Ulepszone gospodarowanie zasobami wodnymi powinno umożliwić pełne przestrzeganie zasady "braku marnowania" lub tzw. „zero-odpadowej” (ang. zero-waste) – leżącej u podstaw gospodarki o obiegu zamkniętym. Zasada ta opiera się na trzech głównych założeniach: (1) produkty trwałe (ang. durables), o długim czasie przydatności do użytkowania, powinny mieć wartość trwałą i być używane ponownie, (2) produkty zużywalne (ang. consumables), o krótkim czasie użytkowania, powinny być używane tak długo jak to możliwe przed zwróceniem ich do biosfery, i wreszcie (3) zasoby naturalne powinny być używane jedynie w takim stopniu, w jakim mogą się same odnowić. Naturalne lub odtworzone mokradła mogą być wykorzystane do zatrzymywania biogenów i produkcji biomasy roślinnej, stanowiąc tym samym realny sposób na wprowadzenie gospodarowania wodą w obieg zamknięty.

Nie wolno nam jednak zapominać, że podczas kompostowania duży procent węgla organicznego jest zawsze uwalniany do atmosfery, dlatego też kompostowanie biomasy w celu zastąpienia nawozów w rolnictwie może prowadzić do emisji gazów cieplarnianych netto (Czubaszek i in. 2019). Bilans emisji gazów cieplarnianych jest korzystny, gdy biomasa jest bezpośrednio wykorzystywana do produkcji podłoża uprawowych.

10. Ludzie wysoko cenią nadrzeczne mokradła! *Sviataslau Valasiuk, Marek Giergiczny*

Czy ludzie wolą widzieć w pobliżu swoich domów proste, uregulowane rzeki czy też dzikie, meandrujące? Jak bardzo cenią sobie czystą wodę w lokalnej rzece? Czy chcieliby uczynić Bałtyk czystszy w ciągu najbliższych trzydziestu lat? Czy cenią sobie regularny i uporządkowany krajobraz pól uprawnych nad brzegiem rzeki bardziej niż naturalną i spontaniczną roślinność? A może chcieliby, aby te małe rzeki zostały przywrócone gdzie indziej, ale nie na ich "podwórku"? Gdyby ludzie musieli płacić za gospodarowanie ekosystemami wodnymi i zarządzanie nimi, jak rozdzieliliby wkład finansowy pomiędzy szczebel lokalny, krajowy i międzynarodowy? Czy sam aspekt estetyczny małej rzeki w ich bezpośrednim sąsiedztwie rzeczywiście ma dla nich jakiegokolwiek znaczenie?

Aby odpowiedzieć na takie pytania, ekonomiści prowadzą badania, w których sprawdzane są preferencje ludzi. Niektóre z tych preferencji mogą być ujawnione na podstawie rzeczywistych zachowań i decyzji ludzi, podczas gdy inne są ujawniane poprzez zadawanie statystycznej grupie ludzi hipotetycznych pytań lub proszenie ich o wybór preferowanego wariantu spośród kilku alternatyw. Ta ostatnia metoda nazywana jest eksperymentem dyskretnego wyboru, wbudowanym w badanie, który jest w stanie wychwycić gotowość ludzi do zapłaty (WTP – z ang. „*willingness to pay*”) za złożone dobra naturalne – takie jak gospodarowanie rzekami – oraz za ich różne elementy istotne dla podejmowania decyzji. Szacunkowe WTP odzwierciedlają określone korzyści pieniężne, które ludzie czerpią z, powiedzmy, meandrującej małej rzeki w pobliżu ich miejscowości. Korzyści te można następnie porównać z kosztami, aby ustalić, czy ludzie rzeczywiście uważają wdrożenie zaplanowanego odtworzenia rzeki za wartościowe.

W projekcie CLEARANCE badano stosunek ludzi do naturalnie wyglądających małych rzek oraz rzek przekształconych przez człowieka w nizinnych częściach Danii, Niemiec i Polski. Szczególny nacisk położono na działania związane z odtworzeniem małych rzek, a mianowicie na przywrócenie im naturalnego kształtu koryta i bagiennych stref buforowych. Co zaskakujące, pomimo faktu, że polski PKB na mieszkańca skorygowany o czynnik parytetu siły nabywczej (PPP)¹⁰ wynosi tylko około 55% tego w Danii i 58% tego w Niemczech, szacunki WTP polskich respondentów dotyczące planowanej poprawy funkcji ekosystemów mają porównywalny rząd

¹⁰ Parytet siły nabywczej – wskaźnik poziomu różnic w cenach pomiędzy krajami – jego uwzględnienie umożliwia np. porównywanie poziomu życia w różnych krajach.

wielkości w stosunku do WTP respondentów z bogatszych krajów. W związku z tym, po skorygowaniu o czynnik PPP, roczna wartość WTP Duńczyków dla najambitniejszego programu odtworzenia rzek i nadrzecznych mokradeł wynosi 336 EUR, Niemcy są skłonni zapłacić 406 EUR, podczas gdy Polacy są skłonni zapłacić średnio 372 EUR.

Respondenci we wszystkich trzech krajach są skłonni płacić za poprawę jakości wody zarówno w rzekach, jak i w Morzu Bałtyckim. We wszystkich badanych krajach szacunki WTP dotyczące poprawy jakości wody w Morzu Bałtyckim są znacznie większe niż w przypadku rzek w tych krajach. Dla przykładu, w przypadku niemieckich respondentów gotowość do zapłaty (WTP) za poprawę czystości wody w Bałtyku wynosi 164 EUR, co jest kwotą 2.82 razy wyższą niż ich WTP za poprawę jakości wody w rzekach. W Polsce te same wyniki wynoszą, odpowiednio, 135 EUR i 2.2 razy, podczas gdy w Danii 105 EUR i 1.4 razy. Znaczne pozytywne preferencje w stosunku do czystości wód Morza Bałtyckiego dają podstawy do wielostronnych działań w tym zakresie.

W trzech krajach zaobserwowano bardzo podobny wzorzec dotyczący preferencji odnośnie kształtu koryta i rodzaju roślinności w bliskim sąsiedztwie miejsca zamieszkania respondentów. Preferują oni koryta silnie meandrujące względem krętych, a zwłaszcza względem prostych. Najmniej preferowanym typem roślinności w okolicy zamieszkania jest rolnictwo intensywne. Z kolei dzikie bagna i rolnictwo bagienne – warianty zakładające najwyższy i podobny poziom usług ekosystemów (tj. czystość wody, bioróżnorodność i ochrona przeciwpowodziowa) uzyskały najwyższe wartości WTP.

Dla przykładu, WTP dla rzek meandrujących w odniesieniu do uregulowanych rzek wyprostowanych waha się od 87 EUR w Niemczech do 52 EUR w Danii, wskazując na to, że renaturyzacja rzek jest polityką pożądaną społecznie. Co więcej, respondenci z trzech krajów umieścili odbudowę naturalnie meandrujących koryt rzek i dzikich bagien (lub rolnictwa bagiennego) na poziomie lokalnym przed poprawą jakości wody w rzekach na poziomie krajowym: odpowiedni wskaźnik WTP na korzyść lokalnych atrybutów programowych waha się od 3,14 razy w przypadku Niemiec do 2,04 w przypadku Danii. Dla przeważającej większości małych rzek oznacza to odtworzenie naturalnego koryta, terenów zalewowych i dzikich bagien lub rozwój rolnictwa bagiennego. Wydaje się więc, że renaturyzacja rzek w bezpośrednim sąsiedztwie respondentów mogłaby uzyskać wysokie poparcie społeczne. Tendencję tę można wytłumaczyć szeregiem usług ekosystemów wynikających z lokalnych działań związanych z odbudową i/lub ochroną małych rzek, wśród których niepoślednią rolę odgrywają trudne zazwyczaj do oszacowania wartości estetyczne.

Z przeprowadzonego badania wynika, że dziko wyglądające rzeki są po prostu atrakcyjne dla ludzi. Okazało się również, że respondenci w trzech krajach nadbałtyckich posiadają dobrą wiedzę o małych rzekach, ich obecnym stanie i perspektywach renaturyzacji oraz o usługach ekosystemów rzecznych, a bardziej ogólnie – o pilnej potrzebie złagodzenia przyspieszającego kryzysu ekologicznego.



Miejsca nadrzecznej rekreacji

11. Ile kosztuje wdrożenie bagiennych stref buforowych? *Marta Wiśniewska, Carl C. Hoffmann, Wendelin Wichtman*

Ekonomiści obliczyli, że mokradła śródlądowe dostarczają globalnie usług ekosystemowych o wartości rocznej 1.549 bilionów dolarów amerykańskich (Costanza i in. 2014). Renaturyzacja terenów podmokłych jest efektywnym kosztowo środkiem przeciwdziałania zanieczyszczeniu biogenami w porównaniu z działaniami podejmowanymi przez rolnictwo lub z oczyszczalniami ścieków (Trepel 2010). Jednak odtwarzanie mokradeł, w tym (ponowne) tworzenie bagiennych stref buforowych, może oznaczać różne działania, pociągające za sobą różne kategorie kosztów i korzyści, w zależności od sytuacji lokalnej. Z powodu wprowadzonych przez człowieka poważnych zmian w krajobrazie, odtwarzanie BSB wymaga najczęściej dodatkowych rozwiązań inżynierskich oraz środków społeczno-ekonomicznych. W rozdziale 3 opisaliśmy różne rodzaje bagiennych stref buforowych, które można wprowadzić w zależności od lokalnych warunków. Utworzenie konkretnego typu BSB jest związane z konkretnymi działaniami i kosztami. Przyjrzyjmy się zatem trzem przykładom z trzech różnych krajów.

Dania: krajowy program odtwarzania BSB

Dania jest niewątpliwym liderem jeśli chodzi o wykorzystanie BSB do walki z problemem eutrofizacji. Konsekwentnie wdraża się tam tworzenie BSB, co przynosi znaczne korzyści w postaci zmniejszenia spływu azotu do wód. Spójrzmy na projekty wdrożone w samym tylko roku 2013 – miały wpływ na całkowity obszar około 4300 hektarów i umożliwiły wychwycenie aż 514 ton azotu przez utworzone BSB! Średni koszt inwestycji na hektar utrzymywał się na poziomie 135.3 tysięcy koron duńskich (około 18 tysięcy euro).

Ponowne nawadnianie torfowisk w północno-wschodnich Niemczech

Choć głównym celem projektów odtwarzania torfowisk w Brandenburgii i Meklemburgii-Pomorzu Przednim nie jest zatrzymywanie biogenów, a raczej ochrona różnorodności biologicznej, mitygacja zmian klimatu czy rozwój paludikultury, można na ich przykładzie oszacować różne kategorie kosztów wprowadzania BSB. Dla przykładu, ponowne nawodnienie torfowisk osuszonych w latach 80. pociągnęło za sobą koszty infrastruktury niezbędnej do zapewnienia stałego poziomu wody gruntowej, koszty zaprojektowania, wykupu gruntów oraz, w niektórych przypadkach, odszkodowań dla rolników za niższe dochody z powodu zmniejszenia intensywności rolnictwa, czy też wreszcie koszty maszyneryi przystosowanej do gospodarowania na mokradłach i przetwarzania biomasy roślinnej. Dla 21 projektów przeprowadzonych prawie dwadzieścia lat temu w Meklemburgii-Pomorzu Przednim na całkowitym obszarze ponad 7000 hektarów, całkowite koszty wyniosły około 1200-1800 euro/hektar. Przeciętny koszt projektów przeprowadzonych na tym samym obszarze dziesięć lat temu wynosił około 2800 euro/hektar. Podobny był koszt (w przeliczeniu na hektar) projektów realizowanych w Brandenburgii, gdzie odtworzono wybrane tereny mokradłowe w dolinie rzeki Uecker.

Polska: analiza w skali całej zlewni pokazuje wysoką opłacalność BSB

Niewielka liczba i skala projektów odtwarzania mokradł i rzek w Polsce uniemożliwia bezpośrednie oszacowanie opłacalności tworzenia BSB. Z tego powodu w projekcie CLEARANCE przeprowadziliśmy dokładną analizę zysków i kosztów hipotetycznego wprowadzenia bagiennych stref buforowych w zlewni dolnej Narwi (płn.-wsch. Polska) (Jabłońska i in. 2020). Przeanalizowaliśmy dwa alternatywne scenariusze: jeden zakładał wielkoskalowe odtworzenie torfowisk i terenów zalewowych wzdłuż Narwi i jej dopływów, a drugi zakładał jedynie ponowne nawodnienie terenów w najbliższym sąsiedztwie wszystkich rzek i strumieni w zlewni – oczywiście tam, gdzie byłoby to technicznie możliwe.

Pełna realizacja scenariusza pierwszego pozwoliłaby na odtworzenie 88.5 tysiąca hektarów torfowisk i 2.4 tysiąca terenów zalewowych, co z kolei umożliwiłoby przechwytywanie i zatrzymywanie 11%-30% spływu azotu i 14%-42% spływu fosforu z terenu zlewni. Podczas oszacowania kosztów realizacji tego scenariusza wzięto pod uwagę gęstość istniejącej sieci odwadniającej oraz czynności niezbędne do spiętrzenia wody. Ponadto uwzględniono koszt odszkodowań dla rolników za utracone dochody, przyjmując że byłby on na poziomie dotacji funkcjonujących obecnie w kraju w ramach działań rolnośrodowiskowych i klimatycznych z dofinansowanego przez UE Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich 2014-2020, czyli wynosiłby ok. 1200 zł/ha rocznie (około 290 euro/ha rocznie). Oszacowano, że realizacja tego scenariusza kosztowałaby 38 milionów złotych (ok. 8.9 milionów euro).

Realizacja drugiego scenariusza pozwoliłaby na stworzenie na obszarze całej zlewni dolnej Narwi prawie 4.2 tysiąca kilometrów bagiennych stref buforowych typu bagienne brzegi, przebudowę prawie 600 kilometrów przekształconych cieków wodnych w koryta dwudzielne

oraz ponowną meandryzację prawie 440 kilometrów rzek. Choć pełna realizacja tego scenariusza kosztowałaby około 728 milionów złotych (około 171 milionów euro), możliwe byłoby usunięcie większej ilości biogenów niż w przypadku scenariusza pierwszego: 33%–82% spływu azotu i 41%–87% spływu fosforu. Co więcej, wszędzie gdzie wprowadzono by bagienne brzegi czy dwudzielne koryta, można byłoby uniknąć kosztów prac utrzymaniowych na rzekach, kształtujących się na poziomie 9.5 tysiąca złotych na każdy kilometr cieków wodnych (ok. 2.2. tysiąca euro/kilometr). W skali całej zlewni Narwi, jednorazowa rezygnacja z czyszczenia koryta rzecznoego z mułu to oszczędność rzędu 45 milionów złotych (10.6 miliona euro) – czyli już aż 6% całkowitych kosztów omawianej inwestycji!

Jednak bez względu na możliwość uniknięcia niektórych obecnie ponoszonych kosztów prac utrzymaniowych na rzekach, kwoty które należałoby przeznaczyć na realizację zaproponowanych scenariuszy odtwarzania BSB w zlewni Narwi mogą sprawiać wrażenie bardzo wysokich. W rzeczywistości łączna kwota kosztów wdrożenia obu proponowanych projektów to zaledwie 5% całkowitych środków przeznaczonych na projekty gospodarowania wodą i ściekami w aglomeracjach miejskich w Polsce! Koszty odtworzenia bagiennych stref buforowych w zlewni Narwi są takie same, jak koszt budowy zaledwie 20 km odcinka drogi ekspresowej.

12. Wyzwania prawne, gospodarcze i społeczne *Michael Trepel, Michael Bender, Rafael Ziegler*

Około dwóch-trzecich mokradeł istniejących w Europie jeszcze sto lat temu, zostało zniszczonych. Poza zniszczeniem siedlisk życia wielu organizmów oraz utratą zdolności zatrzymywania biogenów, osuszanie torfowisk stało się przyczyną poważnych emisji gazów cieplarnianych. Globalnie to właśnie obszar Unii Europejskiej jest największym źródłem emisji gazów cieplarnianych zaraz za Indonezją. Aż 99% tych emisji jest generowanych przez 16 z 28 krajów członkowskich, szczególnie tych z Europy Północnej i Środkowej. Kraje członkowskie muszą opracować odpowiednie zasady oraz zachęty, w tym możliwość pozyskiwania funduszy, do wdrażania projektów polepszających prowadzenie rolnictwa, odtwarzania mokradeł oraz prowadzenia rolnictwa bagiennego, mając na uwadze również cele klimatyczne 2050 roku zawarte w Porozumieniu Paryskim i związane z nimi planowane redukcje emisji gazów cieplarnianych.

Unia Europejska: w kierunku wzajemnej zgodności pomiędzy polityką wodną i rolą

Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW) jest uznanym na świecie aktem prawnym, który umożliwił już pomyślne zakończenie wielu inicjatyw ochrony wód w Europie. Mimo to jej powszechne wdrożenie jest wciąż trudne i opóźnione, i właśnie dlatego nowe odkrycia naukowe i powiązane z nimi innowacyjne metody realizacji RDW są bardzo potrzebne. Jednym z zadań jest stworzenie nowych rynków i odpowiednich strategii marketingowych dla rolnictwa bagiennego i biogospodarki. RDW oferuje w tym zakresie duże możliwości, pozwalając na uwzględnianie,

promowanie i finansowanie odtwarzania terenów podmokłych i rolnictwa bagiennego w ramach zintegrowanych planów gospodarki wodnej oraz powiązanych polityk.

Rozumienie kwestii wody jako międzysektorowego wyzwania dla gospodarki wodnej, rolnictwa, ochrony środowiska, energetyki, przemysłu i transport stanowi podstawę do prawidłowego wdrożenia Ramowej Dyrektywy Wodnej. W szczególności instrumenty unijnej **Wspólnej Polityki Rolnej** (WPR) mają zasadnicze znaczenie dla osiągnięcia celów RDW. Dla przykładu, docelowy maksymalny poziom zawartości azotanów w wodach wynoszący 50 mg/L jest bardzo trudny do osiągnięcia w sytuacji, gdy instrumenty WPR silnie subsydują intensywne rolnictwo i używanie nawozów sztucznych, a nie wspomagają rolnictwa bagiennego na ponownie nawodnionych mokradłach. Należy zachęcać kraje członkowskie, by korzystały z najnowszych osiągnięć naukowo-technicznych dla zapewnienia szerokiej rozpoznawalności przydatności roślin bagiennej oraz rolnictwa bagiennego i dostępnych dla niego opcji łańcucha wartości¹¹. Zgodność z celami RDW jest absolutnie niezbędna i z tego względu projekt włączenia poziomów docelowych azotu i fosforu oraz bagiennej strefy buforowej jako składników warunkowości WPR jest szczególnie cenny. Poniższe postulaty są wynikiem warsztatów zorganizowanych dla unijnych interesariuszy i decydentów w Brukseli w ramach projektu CLEARANCE:

- Bagienne strefy buforowe powinny być definiowane funkcjonalnie, w odniesieniu do ich zdolności do usuwania biogenów.
- Należy wstrzymać wykorzystanie funduszy rozwoju regionalnego na "utrzymywanie rzek" oraz ich pogłębianie, oraz subsydia WPR na prowadzenie rolnictwa na terenach osuszonych mokradeł.
- Należy promować odtwarzanie mokradeł oraz rolnictwo bagienne i paludikulturę jako alternatywy dla lokalnych przedsiębiorców.
- Należy promować ochronę klimatu oraz dodatkowe korzyści z odtwarzania mokradeł dla zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych oraz poprawienia retencji wody w krajobrazie, co z kolei poprawi obieg wody na lądzie i umożliwi przystosowanie się do zmian klimatycznych w dobie zwiększonej częstotliwości powodzi i susz. Takie działania adaptacyjne i mitygacyjne do zmian klimatu muszą być koniecznie uwzględnione w zasadach warunkowości WPR.

Struktura Wspólnej Polityki Rolnej generalnie pozwala na przekształcenie i dostosowanie polityki utrzymywania torfowisk w skali całej Unii Europejskiej oraz na (współ)finansowanie osiągnięcia postawionych celów. Dodatkowe wsparcie może pochodzić ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

¹¹ Łańcuch wartości (ang. *value chain*) – sekwencja działań podejmowanych przez przedsiębiorstwo, dotyczących opracowania, wytworzenia, sprzedaży i dostarczenia produktu oraz usług posprzedażowych, która łącznie powinna wygenerować wartość dodaną dla klienta, a tym samym również dla przedsiębiorstwa. Jest elementem zarządzania strategicznego oraz zarządzania wartością.

System handlu emisjami biogenów

Kilku autorów zasugerowało wprowadzenie systemu handlu emisjami biogenów na zasadzie dobrowolności. Pomysł ten zakłada, że społeczeństwo płaci za niezbędne usługi ekosystemowe, np. za denitryfikację azotanów w odtworzonych mokradłach. Jednakże określenie ilości dobra rynkowego w postaci wymywania azotanów względem denitryfikacji jest wysoce niepewne dla obu stron takiej transakcji. Nie wprowadzono żadnych ujednoczonych wartości tempa wymywania biogenów w przeliczeniu na pojedyncze gospodarstwo. Z kolei tempo retencji biogenów w odtworzonych mokradłach również jest bardzo zmienne. Złożone zależności pomiędzy źródłem a rozwiązaniem problemu oraz niejasne kwestie prawne utrudniają wprowadzenie systemu handlu emisjami biogenów. Z tego względu pomysł ten nie jest jeszcze gotowy do zastosowania w praktyce.

Inne dodatkowe rozwiązania na szczeblach państwowych lub regionalnych

Rozpowszechnianie tworzenia bagiennych stref buforowych można prowadzić niezależnie od lub też nawet bez pomocy, dedykowanych państwowych i międzynarodowych instrumentów prawnych. Istnieją co najmniej trzy obiecujące podejścia umożliwiające wsparcie odtwarzania mokradeł w skali całego krajobrazu:

1. Rolnicy samodzielnie odtwarzają mokradła na swoich gruntach oraz oczyszczają wody spływu powierzchniowego ze swoich pól na zasadzie dobrowolności. Wprowadzenie certyfikatów może udowodnić, że konkretne odtworzone mokradło jest zdolne do oczyszczania spływu powierzchniowego z pól konkretnego gospodarstwa. Ta opcja byłaby bardzo skuteczna na dużą skalę jedynie wtedy, gdy standardy środowiskowe będą się mieścić bardzo wysoko w rankingu wartości społecznych.
2. Agencje środowiskowe ustalają wartości progowe dla powierzchni mokradeł w poszczególnych zlewniach, zależące od poziomu przekształcenia krajobrazu. Ta opcja jest możliwa jedynie na terenach silnie zagospodarowanych rolniczo, natomiast bardzo trudna do zastosowania na obszarach mało zmienionych, z dużym udziałem krajobrazu naturalnego. Rolnicy lub związki rolnicze mogą uzyskać dofinansowanie jeśli będą przekazywać grunty pod odtworzenie mokradeł.
3. Ponieważ ogromna większość mokradeł występuje na glebach organicznych, a ograniczenie emisji gazów cieplarnianych z osuszonych gleb organicznych jest absolutnie niezbędne, można zachęcać rolników do zaprzestania użytkowania rolniczego takich obszarów lub też do przestawienia się z rolnictwa intensywnego na rolnictwo bagiennie lub paludikulturę, jeśli tylko jest to ekonomicznie wykonalne.

Bariery i możliwości

W ramach projektu CLEARANCE ocenialiśmy bariery i możliwości dotyczące BSB i bagiennego rolnictwa na podstawie trzech regionalnych warsztatów, do udziału w których zaproszeni byli praktycy, urzędnicy, naukowcy: w Aarhus (Dania), Greifswaldzie (Niemcy) i Warszawie (Polska). Ogólne wnioski z warsztatów były następujące:

1. Rolnictwo bagienne, pomimo korzyści dla klimatu i ochrony wód, jest opcją marginalną w obecnym użytkowaniu rolniczym, a tym bardziej na terenie BSB.
2. Główne bariery są instytucjonalne: W ramach WPR UE i związanych z nią polityk krajowych nadal priorytetowo traktuje się warianty intensywne rolnictwa na glebach suchych i osuszonych. Opcje finansowania poprzez plany gospodarki wodnej w ramach RDW również nie są obecnie wykorzystywane, między innymi ze względu na niewystarczającą wiedzę o korzyściach z tworzenia BSB.
3. Potencjalnemu wdrożeniu BSB i rolnictwa bagiennego sprzyjają:
 - wzięcie na siebie przez samorząd/rząd centralny długoterminowej odpowiedzialności za tworzenie systemowych rozwiązań w zakresie całej zlewni, która zapewnia użytkownikom bezpieczeństwo do eksperymentowania z nowymi opcjami użytkowania oraz która sprzyja tworzeniu relacji partnerstwa między podmiotami publicznymi i prywatnymi;
 - uznanie ochrony obszarów wodno-błotnych bez wykorzystania rolnicze za opcję alternatywną dla rolnictwa bagiennego (niekiedy wykorzystanie rolnicze może stać w konflikcie z celami ochrony przyrody danego obszaru lub może być ekonomicznie nieopłacalne np. z powodu niewielkiej powierzchni gruntów);
 - szeroko przeprowadzona edukacja dotycząca korzyści środowiskowych z wprowadzenia BSB oraz ze zmiany dotychczasowych metod gospodarowania na osuszonych mokradłach na rolnictwo bagienne;
 - udział merytorycznie przygotowanych specjalistów (naukowcy zajmujący się badaniami stosowanymi lub wyspecjalizowani konsultanci) w tworzeniu BSB i wdrażaniu rolnictwa bagiennego;
 - promowanie bagiennego rolnictwa jako innowacyjnego rozwiązania wpisującego się w zasadę gospodarki obiegu zamkniętego i kreowanie rynków zbytu dla produktów powstałych z biomasy pozyskiwanej w ramach rolnictwa bagiennego.

Projekt CLEARANCE

CLEARANCE – CircuLar Economy Approach to River pollution by Agricultural Nutrients with use of Carbon-storing Ecosystems

Projekt CLEARANCE ma na celu opracowanie zintegrowanych ram krajobrazowo-ekologicznych, społeczno-gospodarczych i politycznych dla wykorzystania BSB w gospodarce obiegu zamkniętego, obejmującej oczyszczanie wody i ponowne wykorzystanie składników pokarmowych w zlewniach użytkowanych rolniczo. Autorzy składają podziękowania UE i Funduszowi Innowacyjnemu Danii (Dania), Federalnemu Ministerstwu Żywności i Rolnictwa (Niemcy) oraz Narodowemu Centrum Badań i Rozwoju (Polska) za sfinansowanie, w ramach wspólnego międzynarodowego konsorcjum CLEARANCE, projektu finansowanego w ramach konkursu ERA-NET Cofund WaterWorks2015. Niniejszy ERA-NET jest integralną częścią Wspólnych Działań w 2016 r. opracowanych w ramach inicjatywy Water Challenges for a Changing World Joint Programme Initiative (Water JPI).



Partnerzy projektu:

Uniwersytet Warszawski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego - SGGW, Uniwersytet w Greifswaldzie (Niemcy), Leibnitz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries (Niemcy), Uniwersytet w Aarhus (Dania), Uniwersytet w Nijmegen (Holandia), Uniwersytet w Kilonii (Niemcy), Grüne Liga (Niemcy)



Więcej na temat projektu CLEARANCE:

<https://www.moorwissen.de/en/paludikultur/projekte/clearance/Index.php>

<http://opendata.waterjpi.eu/dataset/clearance-circular-economy-approach-to-river-pollution-by-agricultural-nutrients>



Literatura

Adler PH & Courtney GW (2019) Ecological and Societal Services of Aquatic Diptera. *Insects* 10(3), 70, (Online: <https://doi.org/10.3390/insects10030070>)

Ameli AA, Creed IF (2019) Does Wetland Location Matter When Managing Wetlands for Watershed-Scale Flood and Drought Resilience? *Journal of the American Water Resources Association* 55(3): 529-542, <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12737>

Augustin J, Couwenberg J & Minke M (2011) Peatlands and greenhouse gases. In: Tanneberger T & Wichtmann W (2011) *Carbon Credits from peatland rewetting*. pp. 13 – 19, Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, ss. 224

Cabezas A, Pallasch M, Schoenfelder I, Gelbrecht J, Zak D (2014) Carbon, nitrogen, and phosphorus accumulation in novel ecosystems: Shallow lakes in degraded fen areas. *Ecological Engineering* 66: 63–71, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.037>

- Costanza R, Groot R, Sutton P, der Ploeg S, Anderson SJ, Kubiszewski I, Farber S, Turner RK (2014) Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26: 152-158, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378014000685>
- Couwenberg J, Thiele A, Tanneberger F, Augustin J, Bärtsch S, Dubovik D, Liashchynskaya N, Michaelis D, Minke M, Skuratovich A, Joosten H (2011) Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia* 674, 67–89, <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0729-x>
- Couwenberg J, Reichelt F & Jurasinski G (in prep.). Title: Vegetation as a proxy for greenhouse gas emissions from peatlands: an update of the GEST list.
- Czubaszek R, Wysocka-Czubaszek A, Roj-Rojewski S & Banaszuk P (2019) Greenhouse gas fluxes from soils fertilised with anaerobically digested biomass from wetlands. *Mires and Peat*, 25(05), 1–11, doi: 10.19189/MaP.2017.DW/SE.320, <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map25/map2505.php>
- Dahms T, Oehmke C, Kowatsch A, Abel S, Wichmann S, Wichtmann W & Schröder C (2017) Paludi-Pellets-Broschüre: Halmgutartige Festbrennstoffe aus nassen Mooren. Universität Greifswald, Greifswald. ss. 68
- Dragoni F, Giannini V, Ragolini G, Bonari E, Silvestri N (2017) Effect of Harvest Time and Frequency on Biomass Quality and Biomethane Potential of Common Reed (*Phragmites australis*) Under Paludiculture Conditions. *BioEnergy Research*, 10: 1066-1078, <https://doi.org/10.1007/s12155-017-9866-z>
- Geurts JJM, Duinen G-JA van, Belle J van, Wichmann S, Wichtmann W, Fritz C (2019) Recognize the high potential of paludiculture on rewetted peat soils to mitigate climate change. *Landbauforschung - Journal of Sustainable Organic Agricultural Systems* 69(1): 5-8., <https://doi.org/10.3220/LBF1576769203000>
- Geurts JJM & Fritz C (eds) (2018) Paludiculture pilots and experiments with focus on cattail and reed in the Netherlands. Technical report of the CINDERELLA project FACCE-JPI ERA-NET Plus on Climate Smart Agriculture, Radboud University Nijmegen, ss. 72, <https://mobile.repository.ubn.ru.nl/handle/2066/192628>
- Gottschalk P, Wille C, Koebisch F & Sachs T (2019) Atmospheric carbon fluxes of a formerly drained fen up to 14 years after rewetting. WETSCAPES conference abstract book, University of Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6, D-18051 Rostock, s. 123
- Günther A, Barthelmes A, Huth V, Joosten H, Jurasinski G, Koebisch F, & Couwenberg J (2020) Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications* 11:1644, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15499-z>

- Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H, Stenmans W, Müller A, Sumser H, Hörren T, Goulson D & Kroon de H (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, 12(10), e0185809, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Heinsoo K, Hein K, Melts I, Holm B, Ivask M (2011) Reed canary grass yield and fuel quality in Estonian farmers' fields. *Biomass and Bioenergy* 35(1):617–625, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.022>
- HELCOM (2018): State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. Baltic Sea Environment Proceedings 155, <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/>
- Hicks K, Ash N, Aishton R, Broekhoven G, i in. (2010). Assessing Biodiversity in Europe – the 2010 report. European Environment Agency. EEA report: 5:2010, <https://www.eea.europa.eu/publications/assessing-biodiversity-in-europe-84>
- Hiraishi T, Krug T, Tanabe K, Srivastava N, Jamsranjav B, Fukuda M, Troxler T (2014) 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, IPCC: Geneva, Switzerland; ss. 354, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/index.html>
- Hoffmann CC, Zak D, Kronvang B, Kjaergaard C, Carstensen MV, Audet J (2020) An overview of nutrient transport mitigation measures for improvement of water quality in Denmark. *Ecological Engineering* 155: 105863, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857420301518?via%3Dihub>
- Jabłońska E, Wiśniewska M, Marcinkowski P, Grygoruk M, Walton CR, Zak D, Hoffmann CC, Larsen SE, Trepel M & Kotowski W (2020) Catchment-Scale Analysis Reveals High Cost-Effectiveness of Wetland Buffer Zones as a Remedy to Non-Point Nutrient Pollution in North-Eastern Poland. *Water* 12(3): 629, <https://doi.org/10.3390/w12030629>
- Jokinen SA, Virtasalo JJ, Jilbert T, Kaiser J, Dellwig O, Arz HW, Hänninen J, Arppe L, Collander M, Saarinen T (2018) A 1500-year multiproxy record of coastal hypoxia from the northern Baltic Sea indicates unprecedented deoxygenation over the 20th century, *Biogeosciences*, 15, 3975-4001, <https://bg.copernicus.org/articles/15/3975/2018/bg-15-3975-2018.html>
- Joosten H, Tapio-Biström M-L, Tol S (2012) Peatlands - guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. Second edition. (Mitigation of climate change in agriculture series, 5), Food and Agriculture Organization of the United Nations and Wetlands International; s. 1-100, <http://www.fao.org/3/an762e/an762e00.htm>

- Lehner B, Döll P, Alcamo J, Henrichs T, Kaspar F (2006) Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis. *Climatic Change* 75: 273-299, <https://doi.org/10.1007/s10584-006-6338-4>
- Leifeld J & Menichetti L (2018) The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications* 9: 1071, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03406-6>
- Lind L, Hasselquist EM, Laudon H (2019) Towards ecologically functional riparian zones: a meta-analysis to develop guidelines for protecting ecosystem functions and biodiversity in agricultural landscapes. *Journal of Environmental Management* 249(1): 109391, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109391>
- Pawlaczyk P (red.), Biedroń I, Brzóska P, Dondajewska-Pielka R, Furdyna A, Gołdyn R, Grygoruk M, Grześkowiak A, Horska-Schwarz S, Jusik Sz, Kłósek K, Krzymiński W, Ligęza J, Łapuszek M, Okrański K, Przesmycki M, Popek Z, Szałkiewicz E, Suska K, Żak J (2020) Podręcznik dobrych praktyk renaturyzacji wód powierzchniowych. Oprac. w ramach przedsięwzięcia „Opracowanie krajowego programu renaturyzacji wód powierzchniowych”. Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa, https://www.wody.gov.pl/images/Aktualnosci/foto/renaturyzacjaKPRWP/Podrecznik_renaturyzacji.pdf
- Pijlman J, Geurts J, Vroom R, Bestman M, Fritz C, van Eekeren N (2019) The effects of harvest date and frequency on the yield, nutritional value and mineral content of the paludiculture crop cattail (*Typha latifolia* L.) in the first year after planting. *Mires and Peat* 25(04): 1–19, (Online: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map25/map2504.php>)
- Prochnow A, Heiermann M, Drenckhan A & Schelle H (2005) Seasonal Pattern of Biomethanisation of Grass from Landscape Management. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript EE 05 011. Vol. VII. December, 2005, <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/606>
- Roj-Rojewski S, Wysocka-Czubaszek A, Czubaszek R, Kamocki A, Banaszuk P (2019) Anaerobic digestion of wetland biomass from conservation management for biogas production. *Biomass and Bioenergy* 122: 126–132, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.038>
- Röhe P & Schröder J (2010) Grundlagen und Empfehlungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Roterle in Mecklenburg-Vorpommern. *Waldbesitzerverbund MV (red.), Schwerin (Germany), ss. 58*, <https://www.wald-mv.de/Naturnahe-Forstwirtschaft/?id=11206&processor=veroeff>

- Rothe M, Kleeberg A, Hupfer M (2016) The occurrence, identification and environmental relevance of vivianite in waterlogged soils and aquatic sediments. *Earth-Science Reviews* 158: 51-64, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.04.008>
- Sánchez-Bayo F & Wyckhuys KAG (2019) Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232:8-27, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Succow M & Joosten H (2001) *Landschaftsökologische Moorkunde*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, ss. 622
- Sundblad K. & Wittgren H-B (1989) *Glyceria maxima* for wastewater nutrient removal and forage production. *Biological Wastes* 27(1): 29–42, [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(89\)90028-1](https://doi.org/10.1016/0269-7483(89)90028-1)
- Trepel M (2010) Assessing the cost-effectiveness of the water purification function of wetlands for environmental planning. *Ecological Complexity* 7(3): 320-326, <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.02.006>
- Wahren A, Brust K, Dittrich I & Edom F (2016) Local climate and hydrology. W: Wichtmann et. al. (2016): *Paludiculture – productive use of wet peatlands*. Climate protection, biodiversity, regional economic benefits, Schweizerbart Science Publishers, s. 102 – 105
- Wichmann S & Köbbing JF (2015) Common reed for thatching — A first review of the European market. *Industrial Crops and Products* 77: 1063–1073, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.027>
- Wichtmann W, Bork L, Dahms T, Körner N, Kabengele G-R, Oehmke C, Wenzel M, Barz M (2019) Das Projekt Bonamoor. Biomasseproduktion und Optimierung auf nassen Moorstandorten und deren thermische Verwertung. 13. Rostocker Bioenergieforum. Conference Proceedings, Rostock. s.135-145
- Wichtmann W, Joosten H & Schröder C (red.) (2016) *Paludiculture, productive use of wet peatlands*. Climate protection, biodiversity, regional economic benefits. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers. ss. 272
- WWF (2018) *Living Planet Report - 2018: Aiming Higher*. Grooten M and Almond REA (Eds). WWF, Gland, Switzerland, https://wwf.panda.org/knowledge_hub/all_publications/living_planet_report_2018/
- Zak D, Wagner C, Payer B, Augustin J, Gelbrecht J (2010) Phosphorus mobilization in rewetted fens: the effect of altered peat properties and implications for their restoration. *Ecological Applications*, 20(5): 1336–1349, <https://doi.org/10.1890/08-2053.1>