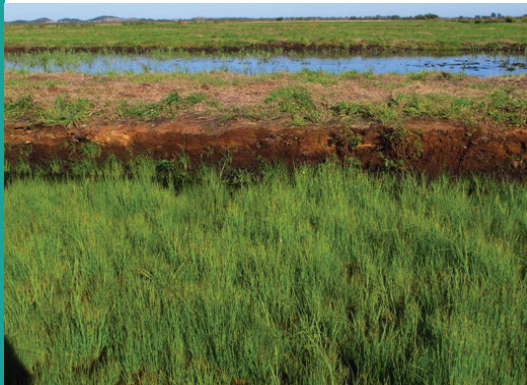




Globalne wytyczne do ponownego nawodnienia i odtwarzania torfowisk



Autor

Joosten, H., Greifswald University i Duene e.V., Partnerzy w Greifswald Mire Centre, Greifswald, Niemcy.

Cytowanie

Konwencja o obszarach wodno-błotnych. (2021). Globalne wytyczne do ponownego nawodnienia i odtwarzania torfowisk. Raport Techniczny Ramsar nr 11. Gland, Szwajcaria: Sekretariat Konwencji o obszarach wodno-błotnych.

Podziękowania

Konstruktywne komentarze na temat wersji roboczych przedstawili: Sekretariat Konwencji o obszarach wodno-błotnych, Samer Elshehawi, Stephen Grady, Ab Grootjans, TuomasHaapalehto, Jari Ilmonen, Kassim Kulindwa, Tatiana Minayeva, Richard Lindsay, Jack Rieley, Line Rochefort, Matthew Simpson oraz dwaj anonimowi recenzenci. Opracowanie Raportu Technicznego Ramsar nr 11 było możliwe dzięki wsparciu finansowemu z norweskiego Ministerstwa Klimatu i Środowiska.

Uwaga

Niniejsza wersja Raportu Technicznego Ramsar nr 11 została zmieniona w dniu 19.11.2021.

Polska wersja raportu

Opracowanie polskiej wersji językowej i opracowanie graficzne - Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska. Zadanie sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Listopad 2023 r.



Spis treści

Wprowadzenie	4
Streszczenie	5
Zasady ogólne	5
Kluczowe przesłania	8
1. Wstęp	9
Cechy torfowisk	9
2. Identyfikacja problemu	13
3. Ocena lokalizacji	14
3.1. Typy torfowisk	14
3.2. Powiązania	16
3.3. Intensywność degradacji	19
4. Ustalanie celów	23
4.1. Wstęp	23
4.2. Odtwarzanie torfowisk dla łagodzenia i adaptacji do zmian klimatu	24
4.3. Ochrona różnorodności biologicznej	25
4.4. Zabezpieczenie produktywności: paludikultura i źródła utrzymania	27
4.5. Poprawa jakości wody, zapewnienie dostępności do wody i ochrona przeciwpowodziowa	27
5. Planowanie	29
5.1. Ograniczenia prawne	29
5.2. Udział społeczeństwa i zaangażowanie interesariuszy	30
5.3. Koszty, korzyści i finansowanie	30
6. Techniki odtwarzania	32
6.1. Zasady ogólne	32
6.2. Relief torfowiska i erozja	33
6.3. Interwencje hydrologiczne	34
6.4. Rośliny i roślinność	39
6.5. Zwierzęta	43
6.6. Mikrobiota	43
6.7. Monitoring i zarządzanie adaptacyjne	43
7. Ewaluacja	44
8. Perspektywy	45
8.1. Częste pułapki przy ponownym nawodnieniu i odtwarzaniu	45
8.2. Świadomość i nabywanie umiejętności	45
8.3. Ograniczenia i przyszły rozwój badań	46
9. Wnioski	47
Aneks I: Wartości, usługi ekosystemowe i cele odtwarzania	56
Aneks II: Hydrogenetyczne typy bagien	61
Aneks III: Konflikty, kompromisy i synergie	68
Aneks IV: Udział społeczeństwa i zaangażowanie interesariuszy	70
Aneks V: Uwagi o gospodarowaniu roślinnością	73
Aneks VI: Monitoring i zarządzanie adaptacyjne	78
Aneks VII: Ewaluacja	81

Wprowadzenie

Połowę światowych mokradel stanowią torfowiska, pokrywające 3% lądowej powierzchni Ziemi. Pełnią one wiele zasadniczych funkcji ekosystemowych, regulując cykl obiegu wody, oczyszczając ją i wspierając bogactwo bioróżnorodności. Dodatkowo torfowiska magazynują więcej węgla i przez dłuższy czas niż jakikolwiek inny ekosystem na świecie. Jednak około 50 milionów hektarów torfowisk na Ziemi zostało odwodnionych, co powoduje emisje dwutlenku węgla szacowane na 4% w skali światowej i ten stan będzie się utrzymywać, jeśli torfowiska nie zostaną odtworzone. Jeżeli mamy osiągnąć cel porozumienia paryskiego, polegający na utrzymaniu światowego wzrostu temperatury na poziomie poniżej 1,5-2.0°C, połowa spośród tych odwodnionych torfowisk musi być poddana odtworzeniu przed 2030 r.

172 Strony podpisujące Konwencję o obszarach wodno-błotnych dostrzegły potrzebę odtwarzania torfowisk, np. w Rezolucji XIII.13 Odtwarzanie zdegradowanych torfowisk dla złagodzenia i adaptacji do zmian klimatu oraz zwiększenia bioróżnorodności i zmniejszenia ryzyka katastrofy, a także w Planie Strategicznym Konwencji, który obejmuje cel dotyczący odtwarzania zdegradowanych mokradel, nadając priorytet tym mokradłom, które są istotne dla ochrony bioróżnorodności, zmniejszenia ryzyka wystąpienia katastrof, źródeł utrzymania i/lub złagodzenia i adaptacji do zmian klimatu.

Niniejszy raport techniczny, przygotowany przez Naukowo-Techniczną Komisję Rewizyjną Konwencji (STRP), podsumowuje stan wiedzy i identyfikuje podstawy odtwarzania odwodnionych torfowisk. Raport jest uzupełniony o [Notatkę informacyjną \(nr 11\)](#), która przedstawia praktyczne wskazówki metodologiczne dla odtwarzania odwodnionych torfowisk, oraz o [Informator polityczny \(nr 5\)](#), w którym prezentowane są informacje i rekomendacje dla osób kształtujących politykę.

Wspólnie dokumenty te mogą pomóc Stronom Konwencji oraz szerokiej gamie innych interesariuszy zidentyfikować i wdrożyć odpowiednie działania na rzecz odtwarzania torfowisk. Mogą one wspomóc planowanie i świadome podejmowanie decyzji, umożliwiając państwom na przykład uwzględnienie odtwarzania torfowisk w krajowych wkładach (NDC) oraz innych ramach planowania, przyspieszając wdrożenie Konwencji o obszarach wodno-błotnych.

Bez ambitnych działań dla ochrony i odtwarzania torfowisk, mało prawdopodobne jest osiągnięcie naszych wspólnych celów odnośnie do zmiany klimatu, zrównoważonego rozwoju i ochrony bioróżnorodności. Jestem pełen nadziei, że w trakcie Dekady Restytucji Ekosystemów ONZ 2021-2030, niniejsze materiały zapewnią inspirację, a także dodadzą siły do działania.

Lei Guangchun
Przewodniczący STRP

Streszczenie

Konwencja o obszarach wodno-błotnych (Konwencja) oraz inne ramy polityk państwowych, regionalnych i globalnych, promują odtwarzanie zdegradowanych torfowisk. Ponowne nawodnienie torfowiska, prowadzące do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, jest ważną strategią łagodzenia zmian klimatu, a wypełnienie celów porozumienia paryskiego może wymagać ponownego nawodnienia praktycznie wszystkich odwodnionych torfowisk, co oznacza globalnie łącznie ponad 50 milionów hektarów.

Niniejszy raport techniczny Ramsar przedstawia wyczerpujące wskazówki techniczne i podstawowe informacje dla planistów regionalnych, zarządców obszarów i polityków w odniesieniu do ponownego nawodnienia i odtwarzania torfowisk.

Zasady ogólne

- Dla wielu regionów geograficznych, typów torfowisk i form degradacji nie istnieją konkretne wskazówki co do odtwarzania ekosystemów. Dlatego rozsądne jest czerpanie z doświadczeń z innych obszarów, z pominięciem bezrefleksyjnego kopiowania działań i opracowanie rozwiązań, które pasują do lokalnych uwarunkowań.
- O ile każde torfowisko jest unikalne, torfowiska na świecie mają wiele cech wspólnych. Zbyt duży nacisk kładziony na „unikalny charakter” torfowisk tropikalnych (lub innych) może grozić zignorowaniem wiedzy światowej i zdrowego rozsądku.
- Odtwarzanie torfowisk zależy nie tylko od potencjału naukowego i technicznego, lecz również instytucjonalnych, regulacyjnych, ekonomicznych, politycznych oraz społecznych możliwości i ograniczeń. Odtwarzanie wymaga publicznego wsparcia i akceptacji, w tym ze strony lokalnej społeczności i lokalnych interesariuszy. Tym samym, określanie celów zawsze powinno obejmować powtarzający się (iteracyjny) proces analizy problemu i formułowania celów z tymi, których to dotyczy.
- Istotne jest dostrzeżenie, że:
 - odtwarzanie torfowisk nie może przywrócić wszystkich wartości utraconych w wyniku degradacji torfowisk, co podkreśla podstawowe znaczenie ochrony,
 - wszystko, co nie obejmie kompleksowego ponownego nawodnienia, spowoduje dalsze emisje węgla i osiadanie torfu,
 - każde odwodnione torfowisko jest podatne na pożar, a w efekcie osiadania w końcu stanie się ofiarą niekontrolowanego zalania lub całkowitego utlenienia torfu, często pozostawiając teren zakwaszony siarczanami lub wyjąłowiony,
 - niewystarczające uwzględnienie ogólnych warunków hydrologicznych może doprowadzić do złego planowania i zarządzania terenem.



Cele odtwarzania

- Cele odtwarzania mogą być sformułowane pod kątem „usług ekosystemowych”, tj. korzyści, które ludzie i społeczeństwo uzyskują z ekosystemów. Cele odtwarzania muszą być sformułowane tak konkretnie, jak to możliwe, oraz uszeregowane względem kolejności priorytetów, aby przedstawić wytyczne na wypadek, gdy cele pozostają w konflikcie ze sobą.
- Zasadniczo, ponowne nawodnienie odwodnionych torfowisk ma bardzo pozytywny wpływ netto na klimat, nawet jeżeli zachodzą duże początkowe emisje metanu. Ponadto istnieją techniki gospodarowania pozwalające na znaczne ograniczenie emisji metanu.
- Odtwarzanie w celu ochrony przyrody powinno co do zasady odbywać się samoczynnie. Czynne działania powinny być realizowane w najmniejszym możliwym zakresie, a tym samym ograniczać „sztuczność” przyjętych rozwiązań. Zarządzanie powinno koncentrować się na zmniejszaniu ingerencji człowieka (gospodarowanie zapobiegawcze/zakazujące/zewnętrzne) oraz na interwencjach jednorazowych. Zwiększa to również efektywność kosztową i zmniejsza zagrożenia utraty efektu inwestycji, ponieważ trwałe aktywne gospodarowanie nieustannie zwiększa koszty skumulowane.
- Degradacja torfowisk jest w większości wynikiem odwadniania na cele rolnictwa i leśnictwa. Globalna potrzeba ponownego nawodnienia 50 milionów hektarów zdegradowanych torfowisk przy jednoczesnym zachowaniu pozyskiwania biomasy wskazuje, że wykorzystanie odwodnionych torfowisk musi być zastąpione przez użytkowanie terenu, które nie wymaga odwadniania (tj. „paludikulturę”, czyli rolnictwo bagienne i leśnictwo bagienne).
- Ponieważ torfowiska składają się w 90-95% z wody, sposoby użytkowania terenu wymagające różnych poziomów zwierciadła wody (np. wysoki poziom wody dla wspierania łagodzenia zmian klimatu versus niższy poziom zwierciadła wody dla rolnictwa opartego o odwadnianie) nie mogą być w sposób zrównoważony połączone w obrębie tego samego torfowiska.

Odtwarzanie hydrologii

- Głównym problemem, z jakim musi się mierzyć odtwarzanie torfowisk, są zbyt niskie i niestabilne poziomy zwierciadła wody, powstające w wyniku zmian antropogenicznych. Jednakże poszczególne torfowiska mogą różnić się znacząco pod względem ich wewnętrznego funkcjonowania hydrologicznego i ich zależności od warunków wodnych poza granicami torfowiska, jak również różnić się pod względem potrzebnych metod odtwarzania.
- Założenie, że przyrost torfu ostatecznie odrodzi się samoistnie na poważnie zdegradowanych torfowiskach, jest wątpliwe. W większości przypadków przywrócenie optymalnych warunków dla ochrony torfu i odnowionej akumulacji torfu wymagać będzie aktywnej interwencji dla przywrócenia zwierciadła wody do okolic powierzchni torfu, połączonej z przywracaniem lub odtwarzaniem roślinności torfotwórczej.
- Skuteczne blokowanie (tamowanie) urządzeń odwadniających (rowów, kanałów itp.) wiąże się ze strategicznym planowaniem lokalizacji i rozstawu przetamowań (dla zwiększenia skuteczności ponownego nawodnienia), zastosowaniem materiałów lokalnych (dla zminimalizowania kosztów), regularnymi inspekcjami, monitorowaniem i konserwacją oraz wspieraniem samoistnego ponownego napełniania rowów (aby ostatecznie zlikwidować potrzebę utrzymania przetamowań). Wciąż istnieje wielki potencjał dla zwiększania skuteczności i zmniejszania kosztów.
- Tam, gdzie stale wysokie i stabilne zwierciadło wody nie może być zabezpieczone przez blokowanie rowów, zwierciadło wody musi być podniesione ponad powierzchnię terenu. Powinno być to osiągnięte przez utworzenie lub ułatwienie powstania struktur naziemnych (nasypy, pagórki darniowe (tufury), drzewa o korzeniach skarpowych i podporowych), które ograniczają spływ powierzchniowy w sezonie opadowym.
- Miejsca o skoncentrowanym przesączaniu ku dołowi (np. rowy wkopane głęboko w podglebie mineralne) mogą zostać zatkane przez torf lub inny materiał nieprzepuszczalny (ił, bentonit). Jeżeli przesączanie ku dołowi jest rozproszone, stabilizacja wysokiego zwierciadła wody w torfowisku będzie wymagać podniesienia poziomu hydraulicznego wody pod torfowiskiem poprzez podniesienie zwierciadła wody poza torfowiskiem.



Gospodarowanie roślinnością

- Przywrócenie roślinności tworzącej torf jest drugim głównym wyzwaniem odtwarzania torfowisk. Właściwa roślinność nie tylko umożliwi ponowną akumulację torfu, lecz może być również niezbędna dla przywrócenia samoregulacji hydrologicznej. Ponadto roślinność może wspierać istotną bioróżnorodność oraz utrzymanie lokalnych populacji.
- Głównym mechanizmem samoregulacji hydrologicznej w torfowiskach wysokich jest oparty o roślinność akrotelm. Dla torfowisk wysokich z torfowcami kluczowe są właściwe gatunki torfowców, co może wymagać zamierzonego przywracania tych gatunków. Dla tropikalnych kopuł torfowych powinna być przywrócona pokrywa leśna z gatunkami drzew, które wytwarzają kępy i struktury korzeniowe, które przechowują nadmiar wody z sezonu wilgotnego. O ile naturalne przywracanie takich struktur potrwa dekady, sztuczne kopce i grzbiety mogą wspierać funkcję hydrologiczną i przyspieszać zdomowienie właściwych gatunków drzew.
- Połowa zdegradowanych obszarów torfowiskowych na świecie przeszła drastyczne zmiany w hydrologii i szacie roślinnej w wyniku przekształcania na cele rolnicze. Znaczna część tych torfowisk rolniczych jest nadmiernie bogata w substancje odżywcze w wyniku mineralizacji torfu i nawożenia. Istnieją trzy opcje dla ponownego nawodnienia i odtwarzania tych terenów:
 - usunięcie nadmiernie żyznej w substancje odżywcze warstwy wierzchniej przed ponownym nawodnieniem („usuwanie poziomu próchnicznego”);
 - usunięcie substancji odżywczych przez długotrwałą fitoekstrakcję po ponownym nawodnieniu (por. paludikultura); lub
 - zaakceptowanie nadmiernie żyznych w substancje odżywcze torfowisk niskich o niskiej bioróżnorodności na dziesięciolecia lub dłużej.

Usuwanie poziomu próchnicznego jest bardzo skuteczne w zmniejszaniu dostępności substancji odżywczych i pestycydów, lecz kosztowne.

- Jeśli pożądane gatunki nie zdomowiają się samoistnie, można rozważyć reintrodukcję, np. przez bezpośrednie sadzenie, przenoszenie traw, przeszczepianie darni, sadzenie wstępnie wyhodowanych sadzonek itd.

Monitoring, ocena i luki w wiedzy

- Wyniki odtwarzania powinny być systematycznie monitorowane i oceniane, a doświadczenie uwzględnione w późniejszej pracy i przyszłym planowaniu.
- Istotne luki w wiedzy utrudniające odtwarzanie torfowisk obejmują:
 - znaczenie „konstruktorów ekosystemu” i gatunków torfotwórczych w odtwarzanie torfu;
 - znaczenie samoregulacji hydrologicznej i samoistnej regeneracji;
 - przywracanie funkcji i usług ekosystemowych;
 - wpływ zmian klimatu na perspektywy odtwarzania; oraz
 - brak wspólnych koncepcji i protokołów monitoringu.
- Aby osiągnąć ponowne nawodnienie i odtworzenie torfowisk na wymaganą skalę, nieodzowne jest zwiększenie świadomości problemów oraz stworzenie o wiele większych zdolności technicznych i instytucjonalnych, aby pomóc w ich rozwiązaniu.

Kluczowe przesłania

- Porozumienie paryskie zakłada ponowne nawodnienie praktycznie wszystkich odwodnionych torfowisk (50 mln ha w skali globalnej).
- Wobec braku całkowitego ponownego nawodnienia i regeneracji roślinności, osiadanie torfu i emisje węgla trwają, a cały odwodniony torf w końcu ulegnie niekontrolowanemu zalaniu lub całkowitemu utlenieniu, często pozostawiając wyjąłowane gleby.
- Odtwarzanie torfowisk nie może przywrócić wszystkich utraconych wartości, a zatem ochrona przed degradacją jest priorytetem.
- Odtwarzanie torfowisk zależy od szans i ograniczeń społecznych. Określanie celów musi obejmować powtarzalny (iteracyjny) proces analizy problemu i formułowania celów.
- Cele odtwarzania muszą być określone klarownie i i uszeregowane według priorytetów w przypadku konfliktu różnych celów.
- Doświadczenia z odtwarzania powinny być monitorowane, oceniane, a wiedza uwzględniona w przyszłej pracy i planowaniu.
- Niskie i niestabilne zwierciadła wody są główną kwestią, jaką należy uwzględnić przy odtwarzaniu, lecz typy wymaganych działań są różne zależnie od torfowiska.
- Skuteczne blokowanie odwadniania obejmuje strategiczne planowanie lokalizowania i rozstawiania przetamowań, regularne inspekcje, terminową konserwację i wspomaganie samoistnego ponownego wypetniania rowów.
- Kiedy blokowanie rowów nie jest wystarczające, do ograniczenia spływu powierzchniowego w sezonie mokrym potrzebne są nasypy, pagórki darniowe (tufury) oraz drzewa o korzeniach skarpowych lub podporowych.
- Przywrócenie szaty roślinnej tworzącej torf jest drugim głównym wyzwaniem dla odtwarzania. Może zająć potrzeba reintrodukcji.
- Kluczowym celem dla torfowisk wysokich jest przywrócenie akrotelmu, mechanizmu samoregulacji hydrologicznej opartego o roślinność. Torfowiska wysokie z torfowcami Sphagnum wymagają przywrócenia właściwych gatunków mchów torfowców; tropikalne kopuły torfowe - drzew, które tworzą tufury, korzenie skarpowe i podporowe.
- Torfowiska podlegające intensywnemu rolnictwu są zbyt żyzne w substancje odżywcze. Odtwarzanie oznacza kosztowne usuwanie poziomu próchnicznego, fitoekstrakcję substancji odżywczych (paludikultura) lub zaakceptowanie wysoko produktywnych torfowisk niskich o niskiej bioróżnorodności.
- Torfowiska mają wiele cech wspólnych; jeden obszar może korzystać z doświadczeń nabytych w innym miejscu.



1. Wstęp

Torfowiska są ekosystemami, w których - w stale nasyconych wodą, ubogich w tlen warunkach glebowych - martwe rośliny nie ulegają całkowitemu rozkładowi. Na wpół rozłożony materiał roślinny gromadzi się jako warstwy torfu, które z czasem mogą osiągać wiele metrów miąższości.

Cechy torfowisk

Typowe cechy torfowisk to:¹⁸⁶

- Wysoka zawartość materii organicznej i węgla w glebie, stałe nasycenie wodą, powolne lecz trwałe wznoszenie zwierciadła wody i powierzchni torfowiska, względne zubożenie w substancje odżywcze i kwasowość, chłodniejszy i wilgotniejszy mezoklimat w porównaniu z otoczeniem oraz obecność szkodliwych substancji organicznych, toksycznych pierwiastków zredukowanych i wody torfowej. Wszystkie te czynniki tworzą siedliska bioty typowej dla torfowisk.
- Unikalna zdolność długotrwałej sekwestracji dwutlenku węgla, retencji wody, jej oczyszczania i kontroli oraz akumulacji i zachowania informacji paleośrodowiskowej i artefaktów archeologicznych w gromadzącej się masie torfu.
- Złożone interakcje roślin, torfu i wody, które umożliwiają długotrwałą samoregulację i samoorganizację torfowisk, przekształcają je w trwałe ekosystemy, mające często fascynujące struktury powierzchniowe i unikalną bioróżnorodność ekosystemową.

Ponad 80% światowych torfowisk, głównie usytuowanych w trudnodostępnych obszarach Kanady, Alaski i Syberii, wciąż znajduje się w większości w stanie naturalnym. Jednakże, znaczny obszar (~65 mln ha,^{86, 116} głównie w strefie umiarkowanej i (sub)tropikalnej), został przekształcony i odwodniony pod uprawy, wypas i leśnictwo, do wydobycia torfu i pod obiekty infrastrukturalne. Te zdegradowane torfowiska powodują znaczne problemy środowiskowe i społeczno-ekonomiczne, w tym degradację gleby, powodzie i pożary, oraz wytwarzają globalnie istotne emisje gazów cieplarnianych. Inne usługi ekosystemowe oraz wartość bioróżnorodności torfowisk pogarszają się w wyniku ich odwadniania i degradacji.¹³ Przegląd wspomnianych usług i wartości przedstawiono w Aneksie I.

Obciążenie dla klimatu i zdrowia ze strony zdegradowanych torfowisk

O ile naturalne torfowiska ochładzają klimat od ponad 10 000 lat,⁴⁶ odwodnione i zdegradowane torfowiska są znaczącymi źródłami gazów cieplarnianych (GHG) i przyczyniają się do globalnego ocieplenia. GHG są głównie wynikiem mikrobiologicznego utleniania materii organicznej, kiedy powietrze styka się z wcześniej nasyconym wodą torfem.⁹⁶ Suchsze warunki po odwodnieniu zwiększają również ryzyko pożaru.^{69,102,170} Wraz z masywnymi emisjami GHG, tłące się pożary torfu wywołują rozległe zamglenia o skutkach szkodliwych dla zdrowia ludzi.^{54,123}

Emisje z odwadniania, degradacji i pożarów torfowisk są obecnie odpowiedzialne za około 2 Gt CO₂-eq, mniej więcej 4% globalnych antropogenicznych emisji GHG.^{45,63,96,116,161,184} Ciągłe emisje z odwodnionych torfowisk do 2100 r. mogą pochłoniąć 12-41% wielkości emisji GHG wciąż obowiązującej dla utrzymania globalnego ocieplenia na poziomie poniżej +1,5 do +2 °C.¹¹⁶ Inną prognoza wskazuje, że globalnie sektor lądowy będzie stanowić źródło węgla netto do 2100 r., chyba, że wszystkie obecnie niezaburzone torfowiska pozostaną niezaburzone i co najmniej 60% obecnie zdegradowanych torfowisk będzie ponownie nawodnionych w nadchodzących dekadach.⁷⁹ Dowodzi to, że dzięki ponownemu nawodnieniu „tylko” 60% zdegradowanych torfowisk (30 milionów ha), wszystkie lądowe pochłaniacze dwutlenku węgla (tj. biomasa leśna i gleby mineralne) będą potrzebne do kompensacji strat węgla z pozostałych zdegradowanych torfowisk (pozostałe 40%) i nie przyczyni się do wzrostu liczby „pochłaniaczy dwutlenku węgla netto” wymaganej do realizacji celów porozumienia paryskiego.⁸²

Szczególnie kwestia klimatu ilustruje skalę wyzwania: Zgodność z porozumieniem paryskim z 2015 r. i osiągnięcie neutralności pod względem emisji dwutlenku węgla i neutralności klimatycznej do połowy stulecia oznacza, że w nadchodzących dziesięcioleciach praktycznie wszystkie obecnie osuszone torfowiska (tj. około 50 milionów hektarów, z czego połowa jest użytkowana rolniczo) wymagają ponownego nawodnienia i rekultywacji, prawie dwa miliony rocznie na całym świecie.

¹ Odniesienia do bibliografii dostępne są w sekcji Literatura poniżej; w tekście oznaczono je pogrubionymi pochyłymi liczbami w indeksie górnym

Świadomość tych kwestii doprowadziła do umieszczenia odtwarzania mokradeł,² a torfowisk w szczególności, w centrum zainteresowania Konwencji o obszarach wodno-błotnych, najstarszego spośród współczesnych globalnych międzyrządowych porozumień środowiskowych.⁴ Inne ramy polityk również podkreślają odtwarzanie torfowisk w sposób wyraźny lub domyślny. Ramy te obejmują na poziomie globalnym między innymi Cele Zrównoważonego Rozwoju ONZ,⁵ rezolucję UNEA 2019 w sprawie torfowisk,⁶ porozumienie paryskie i jego wkłady ustalone na poziomie krajowym (NDC, UNFCCC),⁷ cele Aichi i Globalne ramy dla bioróżnorodności po 2020 r. (CBD),⁸ neutralność degradacji terenów (UNCCD),⁹ wyzwanie z Bonn¹⁰ oraz Dekadę restytucji ekosystemów ONZ,¹¹ wraz z wieloma inicjatywami regionalnymi, państwowymi i lokalnymi.

Niniejszy Raport Techniczny Ramsar zawiera ogólne standardy dla odtwarzania ekologicznego,⁴⁷ lecz omawia również sytuacje, w których dawny ekosystem nie może być w pełni odtworzony, lub w których zamierzone jest odtwarzanie tylko niektórych spośród dawnych usług ekosystemowych. Raport korzysta z informacji regionalnych, uzupełnia istniejące wytyczne dla odtwarzania torfowisk (*patrz* Rozdział 6) oraz ma na celu zaprezentowanie zintegrowanego podsumowania na poziomie globalnym.

Duża różnorodność torfowisk, wiele przyczyn i typów degradacji oraz mnogość celów odtwarzania nie pozwalają na szczegółowe omówienie wszystkich kwestii. Tym samym, niniejszy Raport koncentruje się na zasadach odtwarzania torfowisk oraz na zrozumieniu powiązań i problemów.

Mając to na uwadze, planiści, praktycy i politycy mogą - znając lokalne warunki i informacje zawarte w niniejszych wskazówkach, ich odniesieniach i powiązanej Notatce Informacyjnej Ramsar nr 11 na temat praktycznego odtwarzania torfowisk⁸⁸ - zidentyfikować i opracować odpowiednie rozwiązania. Tym samym, niniejszy Raport Techniczny Ramsar przedstawia:

- kluczowe zasady mające zastosowanie do prób odtwarzania torfowisk na świecie;
- informacje o odtwarzaniu typów torfowisk i aspektów nieuwjętych dotąd w Konwencji¹² i innych wytycznych; oraz
- odwołanie do wytycznych i doświadczeń praktycznych.

2 https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/key_res_vii.17e.pdf https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/res/key_res_viii_16_e.pdf
<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop11-res09-e.pdf> https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn10_restoration_climate_change_e.pdf
<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn4-en.pdf> <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-19.pdf>

3 <https://www.ramsar.org/document/resolution-viii17-guidelines-for-global-action-on-peatlands>
<https://www.ramsar.org/document/resolution-x24-climate-change-and-wetlands>
<https://www.ramsar.org/document/resolution-xiii11-peatlands-climate-change-and-wise-use-implications-for-the-ramsar>
<https://www.ramsar.org/document/resolution-xiii13-restoration-of-degraded-peatlands-to-mitigate-and-adapt-to-climate-change>
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/briefing_note_peatlands_vilm_workshop_sept_2016.pdf

4 Torfowiska są zagadnieniem przekrojowym w Konwencji i obejmują 20 typów systemu klasyfikacji Ramsar dla typów mokradeł
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/key_res_vii.11e.pdf

5 <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>

6 <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/30675>

7 <https://unfccc.int/nationally-determined-contributions-ndcs>

8 <https://www.cbd.int/sp/targets/> <https://www.cbd.int/conferences/post2020>

9 <https://www.unccd.int/actions/achieving-land-degradation-neutrality>

10 <https://www.bonnchallenge.org/content/challenge>

11 <https://www.decadeonrestoration.org/> Rezolucja Zgromadzenia Ogólnego ONZ 73/284, 1 marca 2019.

12 <https://www.ramsar.org/document/resolution-xiii13-restoration-of-degraded-peatlands-to-mitigate-and-adapt-to-climate-change>

13 Definicje te służą wyłącznie celom niniejszego dokumentu i zostały sporządzone w sposób możliwie najkrótszy i najprostszy. Rozbudowane przeglądy terminów dotyczących torfowisk dostępne są w ^{89, 99}.

Kluczowe terminy i definicje użyte w raporcie¹³

Akrotelm: górna warstwa żyjącego torfowiska wysokiego, składająca się z roślinności i górnych pokładów torfu, która stabilizuje poziom wody dzięki swojemu wyraźnemu gradientowi pionowej przewodności hydraulicznej i dużym możliwościom magazynowania wody.

Beztlenowe: pozbawione tlenu.

Torfowisko wysokie: torfowisko, którego górne warstwy torfu pochodzą z roślinności zasilanej wodą i substancjami odżywczymi wyłącznie przez opady. Powierzchnia i poziom wody są wyraźnie podniesione w porównaniu do otaczającego je torfowiska niskiego lub gleby mineralnej.

Ochrona: wszystkie zamierzone działania, które chronią środowisko i zasoby naturalne (w tym bioróżnorodność).

Zdegradowane: mające obniżoną/zmienioną jakość w porównaniu ze stanem pierwotnym.

Konstruktorzy ekosystemu: gatunki, które modyfikują swoje środowisko w takim stopniu, że determinują strategiczne funkcjonowanie ekosystemu.

Usługi ekosystemowe: korzyści, które ludzie odnoszą z ekosystemów.

Torfowisko niskie: torfowisko, którego najwyższe warstwy torfu pochodzą z roślinności przyjmującej również wodę pochodzącą z kontaktu z glebą mineralną lub podłożem skalnym (por. torfowisko wysokie).

Gatunki flagowe: gatunki, które funkcjonują jako ambasadorzy, ikony lub symbole siedliska.

GHG: gaz cieplarniany.

Bagno poziome: torfowisko, w którym zwierciadło wody tworzy płaszczyznę poziomą, prowadząc głównie do pionowego ruchu wody (wahań poziomu wody).

Bagno pochyłe: torfowisko, w którym zwierciadło wody tworzy płaszczyznę pochyłą, prowadząc głównie do poziomego ruchu wody (przepływu wody).

Bagno: torfowisko, w którym powstaje torf.

Materia organiczna: materiał pochodzenia roślinnego, zwierzęcego, grzybowego i mikrobiologicznego oparty o węgiel i wodór.

Gleba organiczna: gleba ze znaczną warstwą materii organicznej na lub blisko powierzchni.

Paludikultura: system rolnictwa i leśnictwa nakierowany na produkcję towarów pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego na (mokrym) torfowisku, z zachowaniem zasobów węgla w torfie i zminimalizowaniem emisji gazów cieplarnianych z gleby torfowej.

Torf: substancja składająca się głównie z martwej materii organicznej, z makroskopijnymi szczątkami roślin, która po jej utworzeniu nie została przemieszczona przez wodę, lód ani wiatr (por. osad).

Torfowisko: obszar z samoistnie nagromadzoną warstwą torfu na powierzchni.

Przywracanie: polepszenie stanu zdegradowanego ekosystemu w stosunku do poprzedniego, lepszego stanu lub warunków. Kiedy ten stan lub warunki zostały osiągnięte, ekosystem jest (samoistnie) „zregenerowany”, (aktywnie) „odtworzony” lub (ogólnie) „przywrócony”.

Regeneracja: samoistne odtwarzanie zdegradowanego ekosystemu.

Rekultywacja: wszystkie zamierzone działania, które kierują zdegradowany ekosystem ku stanowi, który jest bardziej korzystny (np. pod względem dostarczania usług ekosystemowych), lecz inny, niż przed degradacją.

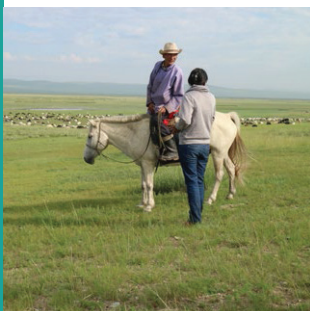
Odtwarzanie: wszystkie zamierzone działania, które przyczyniają się do przywrócenia zdegradowanego ekosystemu. Kiedy ten cel został osiągnięty, ekosystem jest „odtworzony”.

Ponowne nawodnienie: wszystkie zamierzone działania, których celem jest przywrócenie zwierciadła wody odwodnionego torfowiska (tj. pozycji względem powierzchni) do stanu z oryginalnego, tworzącego torf torfowiska. Kiedy cel ten zostanie osiągnięty, torfowisko jest „ponownie nawodnione”.

Bagno przejściowe: torfowisko niskie, które przyjmuje zakwaszoną i ubogą w substancje odżywcze wodę podziemną i funkcjonuje jak torfowisko niskie, lecz z roślinnością i hydrochemią podobnymi do torfowiska wysokiego.



2. Identyfikacja problemu

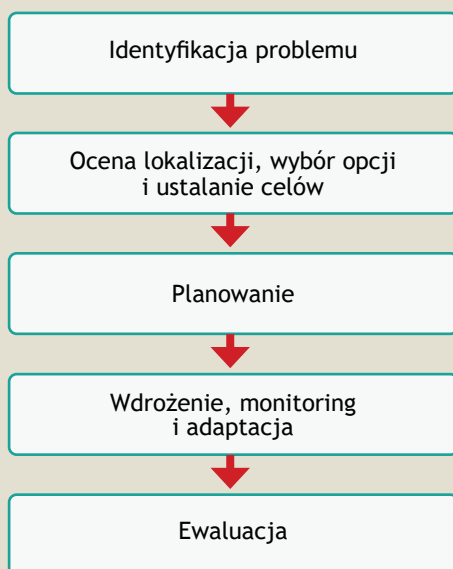


Każdy projekt odtwarzania ekosystemu zaczyna się od świadomości, że coś jest nie tak. Czasami sprawa jest ewidentna: zanik lub utrata gatunku, widok krajobrazu, który uległ zmianie, korzystna funkcja, która została utracona. W innych przypadkach problem jest mniej oczywisty. Na przykład, większość ludzi nie interpretuje zielonej łąki jako pochodnej silnie zdegradowanego torfowiska.

Pozytywne skojarzenia z dochodami na obszarach wiejskich, mlekiem, serem i znajomą scenerią ukrywają obciążenie dla klimatu spowodowane wykorzystywaniem odwodnionych torfowisk. Ten częsty brak świadomości jest zrozumiały, ponieważ torf znajduje się poniżej powierzchni ziemi i jest niewidoczny. Ponadto, polityczna świadomość na temat relacji torfowisko-klimat jest dość nowa¹⁴ - a pilność rozwiązania tego problemu pojawiła się dopiero przy okazji porozumienia paryskiego (2015).

Po ustaleniu, co utraciliśmy i co chcemy odzyskać, następnymi zadaniami są:

- przeanalizowanie, czy możliwe jest odzyskanie tych wartości;
- uściślenie, czy potrzebna jest aktywna interwencja (niektóre problemy rozwiązują się samoistnie...); oraz
- (mając tę wiedzę) wybranie i wyraźne sformułowanie celów działania.



Każdy projekt zaczyna się od świadomości, że istnieje problem. Problem ten musi być zrozumiany przez zbadanie stanu na miejscu (jaka bioróżnorodność lub usługi ekosystemowe zostały utracone?). To, czy wszystkie straty mogą być odzyskane, zależy będzie od typu strat i stanu lokalizacji (które usługi mogą być poddane odtworzeniu?). Z wykorzystaniem tej wiedzy, można następnie ustanowić cele w spójnym i logicznym kontekście. Po szczegółowym zaplanowaniu niezbędnych działań, wdrażane są środki, ich wyniki monitorowane i, w miarę konieczności, dostosowywane są działania zarządcze. Po zakończeniu projektu powinna nastąpić ewaluacja celem określenia dotychczasowych osiągnięć, prognozowania przyszłych postępów i planowania dalszego działania.

Rysunek 1.
Identyfikacja problemu
(źródło: Hans Joosten).

¹⁴ Np. pierwsze wzmianki: Konwencja o obszarach wodno-błotnych 2002: <https://www.ramsar.org/document/resolution-viii3-climate-change-and-wetlands-impacts-adaptation-and-mitigation>
Konwencja o różnorodności biologicznej 2004: <https://www.cbd.int/decisions/cop/7/15/1>
Konwencja klimatyczna 2008: http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/pdf/iceland.pdf

3. Ocena lokalizacji

Dla ustalenia jasnych celów trzeba wiedzieć, co jest możliwe i czego chcemy. Niniejszy rozdział omawia: i) główne typy funkcjonalne torfowisk, ii) stosunki ekologiczne w ramach torfowiska oraz między torfowiskiem i jego otoczeniem, oraz iii) zróżnicowanie intensywności degradacji. Wszystkie te aspekty mogą ograniczać perspektywy odtwarzania, tj. co może być ostatecznie i realnie osiągnięte.

3.1. Typy torfowisk

Podobnie jak zarówno konie, samochody i samoloty są środkami transportu, lecz - gdy nie pracują prawidłowo - różnią się sposobem, w który muszą być leczone lub naprawiane, tak samo między torfowiskami istnieją duże różnice. Nieudana identyfikacja tego, jak dane torfowisko funkcjonowało w stanie naturalnym, może nie tylko uniemożliwić skuteczne odtwarzanie, lecz także spowodować ryzyko zaburzenia istniejących wartości ochrony przez próby odtwarzania (Rysunek 2.). Różnorodność torfowisk i sposoby ich wykorzystania dały podstawę do kilkudziesięciu typologii torfowisk.⁹⁸ Zasady ich klasyfikacji często odnoszą się do tego, jak torfowisko może być użyte, jak wygląda, lub gdzie jest usytuowane. Takie typologie, pomimo częstego stosowania, dostarczają niewiele informacji o tym, jak torfowisko funkcjonuje lub funkcjonowało, a tym samym są mniej przydatne z punktu widzenia odtwarzania.

Kategoryzacją, która ma znaczenie dla odtwarzania, jest klasyczny podział na torfowiska wysokie (torfowiska, które przyjmują wodę i substancje odżywcze wyłącznie z opadów atmosferycznych) i torfowiska niskie (torfowiska, które przyjmują także wodę, która była w kontakcie z glebą mineralną lub podłożem skalnym). Z uwagi na źródło wody, torfowiska wysokie są silnie kwaśne i ubogie w substancje odżywcze, natomiast źródło wody torfowisk niskich jest bogatsze w substancje odżywcze i może być zróżnicowane od lekko kwaśnego po zasadowe. Niektóre torfowiska niskie przyjmują wodę gruntową, która jest słabo zakwaszona i uboga w substancje odżywcze. W oparciu o ich położenie w krajobrazie i źródło wody, takie torfowiska przejściowe funkcjonują jak torfowiska niskie, lecz ich roślinność i hydrochemia są podobne jak w przypadku torfowisk wysokich.

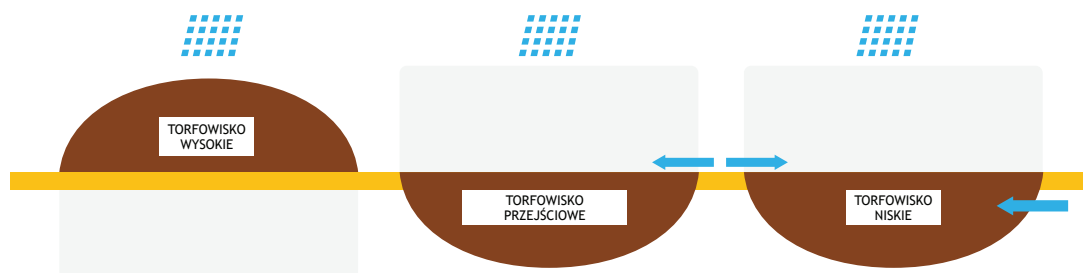
Rysunek 2.

Plany restytucji w mokradle Sandaohaizi (Xinjiang UAR, Chiny) zatrzymano po rozpoznaniu, że miejsce to nie było jak zakładano poważnie zdegradowanym torfowiskiem z pozostałościami zerodowanych wierzchnich warstw bagien, lecz w rzeczywistości jedynym znanym w Chinach kompleksem torfowiskowym wieloletniej zmarzliny z palsami i pagórami mrozowymi o naturalnym cyklu budowy i degradacji. Wyrównanie i zalanie tego obszaru, które pierwotnie planowano, zniszczyłyby to unikalne zjawisko.

© Marc Foggin.



Rysunek 3.
Torfowiska wysokie,
torfowiska niskie
i torfowiska przejściowe
(źródło: Hans Joosten).



Wiele problemów napotkanych podczas odtwarzania torfowisk odnosi się do hydrologii, co oznacza, że zrozumienie hydrologicznego funkcjonowania torfowiska¹⁵ ma specjalne znaczenie.¹⁵⁵ Hydrogenetyczna typologia bagien (dalsze objaśnienia i diagramy przedstawiono w Aneksie II) dotyczy konkretnie tego funkcjonowania i zasadniczo rozróżnia „bagna poziome” i „bagna pochyłe”.

W bagnach poziomych zwierciadło wody torfowiska tworzy płaszczyznę poziomą, a tworzenie się torfu zachodzi przez wypełnianie martwym materiałem roślinnym już istniejącej przestrzeni beztlenowej (pozbawionej tlenu) pod wodą. Ruch wody jest głównie pionowy (wahania zwierciadła wody) i zwierciadło wody w bagnie zasadniczo dopasowuje się do zwierciadła wody otaczającej zlewni.

W bagnach pochyłych zwierciadło wody torfowiska tworzy płaszczyznę pochyloną (często tylko lekko pochyloną), prowadząc do głównie poziomego ruchu wody. Ten boczny przepływ wody utrudniany jest przez rosnącą roślinność i torf, tym samym powodując wolny, lecz stały wznios zwierciadła wody w bagnie, tworząc nowe przestrzenie beztlenowe dla dalszej akumulacji torfu. Przez ograniczanie odprowadzania wody gruntowej, akumulujący się torf również podnosi zwierciadło wody w zlewni, umożliwiając dalszą dostawę wody gruntowej do bagna na wyższym poziomie.

Bagna poziome są powszechne na świecie i mogą występować we wszystkich miejscach, gdzie długotrwała lokalna nadwyżka wody tworzy „stałą” przestrzeń beztlenową. Jednakże, gdy tylko przestrzeń ta zostaje wypełniona torfem, bagna te przestają akumulować torf, chyba że powstanie nowa przestrzeń beztlenowa przez zewnętrznie wywołane podnoszenie poziomów wody, lub zmienia się w bagna pochyłe.

Bagna pochyłe są bardziej wymagające pod względem regularności dostawy wody, lecz nieodłącznie utrzymują się dłużej, ponieważ podnoszą swój własny poziom wody.²⁵ Ze względu na silne powiązania między wodą, roślinnością i torfem oraz dłuższy związek z tym czas, bagna pochyłe mogą rozwinąć mechanizmy samoregulacji (często objawiające się jako struktury powierzchniowe, prostopadłe do zbocza), które stabilizują je i pomagają im utrzymać się, nawet w warunkach, gdzie nie mogłyby już powstawać. Czyni to je również bardziej wrażliwymi, kiedy mechanizmy te są uszkodzone. Tym samym, różne hydrogenetyczne typy bagien (podtypy przedstawiono w Aneksie II) stawiają odmienne wyzwania dla odtwarzania (Tabela 1).

Hydrogenetyczna typologia bagien opisuje funkcjonowanie naturalnych torfowisk (bagien) pod względem tego, jak dostawa wody i wahania zwierciadła wody wpływają na akumulację torfu. Ponieważ zdegradowane torfowiska w większym lub mniejszym stopniu utraciły istotne cechy (takie, jak oryginalna roślinność, źródło wody i hydrauliczne właściwości torfu), może nie być od razu oczywiste, jak oryginalnie funkcjonowało zdegradowane torfowisko. Zrozumienie to może być uzyskane z dowodów historycznych (opisy, historia ustna, zbiory taksonomiczne, mapy, obrazki), z porównania z dziewiczymi torfowiskami w regionach klimatycznie, geologicznie i biogeograficznie podobnych („obszary referencyjne”) oraz z informacji paleoekologicznych („archiwalnych”) zawartych w mikro- i makroskamieniałościach w torfie, jaki pozostaje na miejscu.

¹⁵ Sensowne jest rozróżnienie między „obszarem, gdzie akumuluje się torf” (bagnem) i „obszarem, gdzie torf jest obecny” (torfowiskiem). Ta druga kategoria jest o wiele szersza niż pierwsza i obejmuje, obok „bagien”, obszary od tych, gdzie roślinność nie akumuluje już torfu, do obszarów, które utraciły wszystkie cechy torfowisk naturalnych poza obecnością torfu (np. ogołocone miejsca eksploatacji torfów, pola rolne z kukurydzą lub trzciną cukrową oraz plantacje palm olejowych). Są to „niebagienne torfowiska”, które są przedmiotem restytucji.

3.2. Powiązania

Woda jest nie tylko kluczowa dla utworzenia niezbędnych warunków beztlenowych dla uformowania i ochrony torfu: większość tego, co nazywamy „torfowiskiem”, to w rzeczywistości woda.

Fakt, iż 90-95% obiektu torfowiskowego składa się z wody, przesłonięty jest przez fakt, iż możliwe jest przejście po torfowisku. I w taki sam sposób, w jaki niemożliwe jest pobranie potowy wody z jeziora bez zmiany całego jeziora, nie można oczekiwać, że reszta torfowiska pozostanie taka sama, kiedy część torfowiska będzie znacząco zmieniona. Każdy poszczególny komponent w obrębie torfowiska musi być uznawany za część całego torfowiska.

W Indonezji rozporządzenie w sprawie ochrony i gospodarowania ekosystemem torfowiskowym (PP71/2014, zmienione na PP57/2016) wymaga gospodarowania torfowiskami jako hydrologicznymi jednostkami torfowiskowymi (PHU), tj. jako spójnymi obiektami torfowymi między graniczącymi wodami zlewniowymi (rzeki, morze).

Nie tylko samo torfowisko musi być rozważone jako całość; powinno być ono także postrzegane w szerszym kontekście. Większość torfowisk potrzebuje zewnętrznego źródła wody i wsparcia, przynajmniej na ich początkowym etapie. Podczas ich rozwoju torfowiska mogą wykształcić mechanizmy samoregulacji i stać się mniej zależne od czynników zewnętrznych^{23, 202}, lecz w większości przypadków ta zależność utrzymuje się.

Grupy główne	Główne hydrogenetyczne typy bagien	Typowe hydrologiczne wyzwania dla odtwarzania
<p>Bagno o poziomym zwierciadle wody i bez bocznego przepływu wody lub z wodą poruszającą się naprzemiennie w obu kierunkach wzdłuż jego pochyłości</p> <p>▶ bagno poziome</p>	<p>Bagno rozwijające się w lub ponad otwartym zbiornikiem wodnym</p> <p>▶ bagno poziome</p>	<p>Odtworzyć siedliska z otwartą wodą dla wczesnych etapów sukcesji wtórnej, kiedy torf wypełnił cały zbiornik wodny</p>
	<p>Bagno rozwijające się w wyniku podnoszenia się zwierciadła wody</p> <p>▶ bagno ze wzniosu wody</p>	<p>Ponownie podnieść zwierciadło wody powyżej powierzchni torfu, aby przywrócić nowe przestrzenie beztlenowe (i wciąż utrzymywać podniesione zwierciadło wody)</p>
	<p>Bagno rozwijające się poprzez regularne zalewanie przez rzeki (sezonowe), jeziora (wiatr) lub morza (pływy księżycowe)</p> <p>▶ bagno perkolacyjne</p>	<p>Usunąć zdegradowane (nisko przepuszczalne) warstwy torfu lub przywrócić wysoce regularne i bogate źródło wody ponad zdegradowanym torfem, aby ułatwić długookresowe tworzenie się nowego, wysoce przepuszczalnego torfu</p>
<p>Bagno z pochyłym zwierciadłem wody i wodą przepływającą w jednym kierunku wzdłuż jego zbocza(y)</p> <p>▶ bagno pochyłe</p>	<p>Najwyższy torf jest zwarty, z wodą płynącą głównie ponad obiektem torfowym. Może mieć dość strome zbocza</p> <p>▶ bagno z przepływu powierzchniowego</p>	<p>Zatrzymać erozję torfu przez przywrócenie ochronnej pokrywy roślinnej i rozproszenie przepływu wody</p>
	<p>Najwyższy torf/roślinność z wyraźnym i skutecznym pionowym gradientem porowatości. Woda przepływająca głównie między wyraźnymi strukturami powierzchniowymi torfowiska wciętymi w kształcie litery V lub poprzez najwyższą część spójnej roślinności torfowcowej/obektu torfowego</p> <p>▶ bagno akrotelmowe</p>	<p>Wspomóc rozwój nowej struktury wciętej w kształcie V, tj. warstwy/strefy powierzchniowej o znacznym gradiencie pionowym przewodności hydraulicznej połączonym z dużymi zdolnościami przechowywania wody, oba w ramach długoterminowego zakresu średnich amplitud wahań zwierciadła wody</p>

Tabela 1
Główne grupy
hydrogenetycznych
typów bagien
(źródło: Hans Joosten).
Szczegółowy opis
i dodatkowy podział
przedstawiono
w Aneksie II.

Torfowiska mogą się degradować również z powodu zmian w użytkowaniu terenu i gospodarce wodnej poza samym torfowiskiem, jeżeli zmieniają one zaopatrzenie w wodę do lub odprowadzanie wody z torfowiska. Tym samym podczas planowania odtwarzania kluczowe jest, by pamiętać, że czynniki powodujące problemy wewnątrz torfowiska mogą znajdować się na zewnątrz... (patrz sekcja 6.3.4 poniżej).

Relacja torfowiska z jego otoczeniem jest istotna nie tylko dla **poziomu wody**, lecz również dla **jakości wody**. Woda opadowa jest zasadniczo uboga w minerały i poniekąd w kwasy humusowe. Jej właściwości chemiczne i fizyczne zmieniają się, kiedy wchodzi w kontakt z glebą mineralną/podłożem skalnym. Zmiany zachodzą w stężeniu i typie rozpuszczonych minerałów i gazów, w kwasowości i w temperaturze.

To, jak bardzo zmienia się jakość wody, zależy od właściwości zlewni determinowanych przez klimat, podłoże skalne, glebę (uzależnionej od klimatu, skały macierzystej, gleby, roślinności i użytkowania terenu) oraz czasu pozostawiania wody w zlewni (determinowany przez jej zasięg, przepuszczalność i rzeźbę terenu). W efekcie różne torfowiska mogą przyjmować wodę o bardzo różnym składzie chemicznym, a w obrębie różnych części tego samego torfowiska można znaleźć wodę o różnym pochodzeniu i jakości.^{113, 164, 204} Może też mieć miejsce odwrotna sytuacja, kiedy woda o podobnej jakości może być wytwarzana przez różne sytuacje hydrogeologiczne.⁶⁰

Spójność i łączność są istotne nie tylko w odniesieniu do wody. Torfowiska mogą się degradować z uwagi na inne problemy, które pochodzą „z zewnątrz”, w tym skażenie, wzbogacenie w substancje odżywcze (np. spływ nawozów z rolnictwa), zakwaszenie przez osady atmosferyczne (np. jony amonowe NH_4 oraz tlenki azotu i siarki, NO_x , SO_x), brak wymiany genetycznej, utratę pożywienia, obszary migracji i hibernacji, hałas, światło i zanieczyszczenie wizualne. Większość z tych problemów nie może być złagodzona tylko na terenie torfowiska, lecz odniesienie się do nich musi nastąpić przez działanie w szerszym otoczeniu.

Zależność lokalnych warunków bagiennych od jakości napływającej wody gruntowej i powierzchniowej wymusza dogłębną ocenę stosunków hydrologicznych torfowiska z jego otoczeniem przed ustaleniem działań dla ochrony i odtworzenia torfowiska.¹⁸

Powiązania i zakwaszenie

W torfowiskach niskich źródło wody gruntowej bogate w wodorowęglany i minerały może wytworzyć warunki subneutralne (pH 4,8 - 6,4) i zasadowe (pH 6,4 - 8). Odwadnianie torfowisk zawsze prowadzi do wytwarzania H^+ (jonów wodoru) z uwagi na utlenianie aerobowe.¹¹³ Kwestia, czy doprowadzi to do zakwaszenia czy nie, zależy od zdolności torfu i napływającej wody do neutralizowania kwasów humusowych.

Zmiana w jakości wody - również niezależna od poziomu wody - może mieć istotne konsekwencje dla różnorodności gatunków. W szczególności gatunki torfowiskowe warunków zasadowych do subneutralnych, ubogich i umiarkowanie bogatych w substancje odżywcze, stały się rzadkie na świecie, ponieważ zagraża im zarówno zakwaszenie jak i wzbogacenie w substancje odżywcze.^{105,110,113}

Czy torfowiska tropikalne są inne?

Często mówi się, że torfowiska tropikalne różnią się tak znacznie od tych w strefach umiarkowanych i borealnych, że doświadczenia z „północy” nie mają znaczenia na „południu”.

W istocie istnieje wiele różnic między północnymi mszarami torfowcowymi i lasami bagiennymi południowo-wschodniej Azji z torfami kopolowymi. Jednakże, te typy torfowisk są zaledwie dwoma przykładami szerokiej gamy torfowisk, jakie istnieją zarówno w tropikach, jak i poza nimi.

Torfowiska torfowcowe mogą funkcjonować co najmniej na pięć różnych sposobów hydrogenetycznych (por. tabela 1).¹⁸⁵ Ponadto, mogą być zasilane wyłącznie wodą deszczową, lub - o ile jakość jest odpowiednia - również przez przypowierzchniową wodę glebową (przeptyw łączący), lub nawet przez głęboką wodę gruntową.

Czy torfowiska tropikalne są inne?

Podobnie torfowiska tropikalne mogą funkcjonować na różne sposoby. Na przykład, wspomniane już zalesione kopuły torfowe południowo-wschodniej Azji mają większą zgodność hydrofunkcjonalną z niezalesionymi, zasilanymi przez umiarkowane wody deszczowe torfowcowymi torfowiskami wysokimi (oba są bagnami „akrotelmowymi”, patrz sekcja 3.1), niż z umiarkowanymi olchowymi torfowymi lasami bagiennymi (które są zasilanymi przez wodę gruntową bagnami o „przeptywie powierzchniowym”), chociaż te tropikalne torfowe lasy bagienne i umiarkowane bagna olchowe mają podobną roślinność i mikrostrukturę powierzchni torfu.¹⁵² Z punktu widzenia odtwarzania, istotniejsze jest patrzyenie na podobieństwa i różnice funkcjonalne, zamiast klasyfikacji wedle prostych podstaw geograficznych, taksonomicznych lub fizjonomicznych. O ile każde torfowisko jest unikalne i powinno być rozpatrywane w sposób indywidualny, zbyt duży nacisk na unikalność torfowisk tropikalnych tworzy niebezpieczeństwo izolacji od globalnej wiedzy i zdrowego rozsądku. Istotne dla odtwarzania różnice między torfowiskami niotropikalnymi i tropikalnymi nizinnymi odnoszą się do stale cieplejszych warunków w tych drugich, wzmagających wszystkie procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne. W klimacie tropikalnym, roślinność akumulująca torf musi być wytrzymalsza strukturalnie (np. składająca się z wysokich trzcin, jak cibora papirusowa oraz drzew) i biochemicznie bardziej niestabilna (np. wytwarzająca więcej ligniny o niższej zawartości węglowodanów i wyższej związków aromatycznych^{43,75}). Ciepły, wilgotny klimat tropikalny powoduje również szybsze niszczenie tam i jazów. Istotną społecznie różnicą jest to, że - w porównaniu z większością torfowisk północnych - tropikalne krajobrazy torfowe mogą wspomagać większą liczbę ludności; tym samym, odtwarzanie torfowisk tropikalnych często wiąże się z silniejszym wymiarem społecznym przez angażowanie kluczowego wsparcia społeczności i opracowanie opcji zrównoważonego utrzymania.^{83,156}

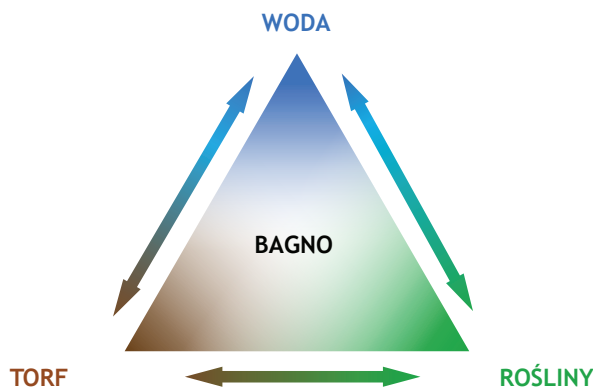
Dlatego też, poszczególne torfowiska mogą znacznie różnić się pod względem:

- ich wewnętrznego funkcjonowania hydrologicznego; oraz
- ich zależności od warunków wodnych poza samym torfowiskiem.

Zdegradowane torfowisko, gdzie otoczenie hydrologiczne jest wciąż nienaruszone, ma duże szanse na odtworzenie, jeżeli wyeliminowane zostaną czynniki degradacji wewnętrznej.

Dla odmiany torfowisko, gdzie otoczenie hydrologiczne zostało głęboko naruszone, choć może wciąż wyglądać „od środka” na będące w dobrym stanie, ulegnie dalszej degradacji, jeżeli otaczająca hydrologia nie będzie równolegle poddana odtworzeniu.

3.3. Intensywność degradacji



Rysunek 4.
Powiązania między roślinami, wodą i torfem w bagnie (źródło: Hans Joosten).

W żyjącym torfowisku (bagnie) istnieją silne powiązania funkcjonalne między roślinami, torfem i wodą (Rysunek 4.). Jeżeli jeden z tych komponentów ulegnie zmianie, ostatecznie inne również się zmienia, powodując zmiany w tworzeniu torfu, bioróżnorodności, strumieniach GHG i innych usługach ekosystemowych. Jednakże komponenty te nie reagują z podobną prędkością. Ogólnie rzecz biorąc, organizmy są bardziej podatne niż hydrologia, a hydrologia jest łatwiej zmienialna niż torf. Jeżeli torfowisko jest odwodnione, organizmy mokradłowe mogą gwałtownie umrzeć, lecz nieodwracalna zmiana lub nawet całkowite zniknięcie odwodnionego torfu zajmuje dużo więcej czasu. Różna „bezwładność” (powolność reakcji) poszczególnych komponentów umożliwia rozróżnienie funkcjonalnie różnej intensywności degradacji (Rysunek 4.).



Degradacja minimalna i drobna

Najmniej dotkniętymi i najłatwiejszymi do odtworzenia (minimalna i drobna intensywność degradacji) torfowiskami są miejsca i masywy,¹⁶ gdzie populacje pojedynczych gatunków torfowiskowych zostały znacznie zredukowane lub wyeliminowane (np. przez zbyt nagromadzenie, kłusownictwo, otrucie lub skażenie), lub gdzie roślinność została uszkodzona lub usunięta, lecz nie została całkowicie wyeliminowana (np. przez powierzchniowy pożar, nadmierny wypas lub budowę placów i dróg oraz profilowanie sejsmiczne.¹⁶) Jeżeli żadne inne warunki na miejscu nie zostały uszkodzone, a szczególnie jeżeli hydrologia jest wciąż nienaruszona, samoistny rozwój („regeneracja”, np. z nasion/zarodników lub diaspor wegetatywnych) może prowadzić do niemal całkowitego przywrócenia torfowiska, o ile zanieczyszczenia i ewentualny zaburzający element pokrywający (np. materiał budulcowy tymczasowej nawierzchni drogi) są usunięte, i zapobiega się dalszym zaburzeniom.

Tam, gdzie samoistna rekolonizacja stała się niemożliwa lub jest uznawana za zbyt wolną, odtwarzanie może polegać na ułatwieniu przywrócenia istotnych gatunków (np. przez wytworzenie odpowiednich warunków na miejscu) lub ich zamierzonej reintrodukcji.

Wybór, czy dokonać reintrodukcji gatunku czy nie, może zależeć od celów projektu odtwarzania i od tego, czy dany gatunek jest uznawany za będący gatunkiem funkcjonalnym (konstruktorem ekosystemu) lub gatunkiem flagowym (o wysokiej wartości bioróżnorodności) (patrz sekcja 4.3, Aneks VII).

¹⁶ Istnieje rozróżnienie między „obszarem bagiennym”, który jest jednolitym obszarem w obrębie bagna, takim jak zasięg bagna, brzeg bagna i otaczająca woda w klasycznych torfowiskach wysokich⁹⁸ lub „społeczności fazowe” w tropikalnych kopalach torfowych^{4,151}, a „masywem bagiennym”, który obejmuje cały spójny obiekt torfowy, takie jak torfowisko wysokie, torfowisko niskie typu aapa lub bagno poligonalne. Masyw bagienny zawiera głównie różne obszary bagienne.⁹⁸

Intensywność degradacji		wzrost bezwładności 					
		rośliny		woda		torf	
		Fauna/flora	Roślinność	Hydrologia	Hydraulika	Forma/rzeźba	Złoże torfu
zwiększone wymagania dla działań odwadniających 	Minimalna	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green
	Drobna	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green
	Niewielka	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green
	Umiarkowana	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
	Znacząca	Orange	Orange	Orange	Orange	Yellow	Green
	Przeważająca	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Yellow
	Maksymalna	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
		niedotknięte		umiarkowanie dotknięte		silnie dotknięte	

Rysunek 5. Intensywność degradacji torfowisk i perspektywy odtwarzania w funkcji osłabiania coraz bardziej nieruchomych komponentów torfowiska (źródło: Hans Joosten).

Degradacja niewielka

Jeżeli torfowisko zostało dopiero niedawno odwodnione lub w inny sposób hydrologicznie osłabione, np. przez wylesianie (niewielka intensywność degradacji) i właściwości hydrauliczne nie zmieniły się nieodwracalnie^{128, 150}, środki odtwarzające mogą być ograniczone do spowodowania niewydolności infrastruktury odwadniającej, np. przez blokowanie kanatów, wypełnianie rowów lub niszczenie podpowierzchniowych rur odwadniających¹¹, lub – tam, gdzie straty wody są wywołane przez czynności poza bagnem (np. pobór wody gruntowej) – przez zatrzymanie lub zmniejszenie tych działań,¹⁰⁴ patrz sekcja 6.3).

Większość torfowisk na świecie opartych jest nie tylko o wodę deszczową, lecz również wodę powierzchniową lub gruntową. Tym samym, na poziom, dynamikę lub jakość wody w samym torfowisku mogą mieć również wpływ interwencje w hydrologię poza torfowiskiem. To ostatnie jest oczywiste w przypadku skażenia lub wzbogacenia w substancje odżywcze przez napływającą wodę powierzchniową. Mniej oczywiste, lecz często równo istotne, jest zmniejszone rozprówdzenie wody gruntowej w bagnie lub zwiększone pobieranie wody gruntowej z bagna w wyniku odwadniania czy poboru wody, zmniejszone ponowne doprowadzanie wody gruntowej (np. przez uszczelnienie powierzchni) lub zwiększona ewapotranspiracja (np. przez zalesianie lub zwiększoną produkcję rolniczą) w hydrologicznej zlewni bagna, nawet wiele kilometrów od danego torfowiska.

Domniemane negatywne zmiany w hydrologicznych warunkach krajobrazu muszą być rozpoznane przez badania ekohydrologiczne. Jeżeli będą potwierdzone, powinny być uwzględnione przez hydrologiczne interwencje naprawcze poza bagnem lub – alternatywnie – przez inżynierię hydrologiczną i hydrochemiczną na miejscu.

Zmniejszone rozprówdzanie wody gruntowej w bagnie może prowadzić do zwiększonego wpływu wody deszczowej i wynikających z tego zakwaszenia, wzbogacenia w substancje odżywcze (ponieważ przy niższym pH uwalniane są fosforany), zmiany szaty roślinnej i utraty rzadkich gatunków, mimo tego, że poziom wody w bagnie mogły się prawie nie zmienić.¹⁹⁷

Degradacja umiarkowana

Umiarkowana intensywność degradacji dotyczy umiarkowanych zmian w hydraulice torfu, podczas gdy hydrologia i roślinność torfowiskowa wciąż umożliwiają akumulację torfu. Zmiany w hydraulice wywołane są przez nawarstwiający się obciążenia (np. długotrwałe koszenie i wypas o niskiej intensywności)^{164, 204} lub zwiększony rozkład pod wpływem atmosferycznego rozkładu utleniającego (NO_x , SO_x).³⁶ Może to prowadzić do zmiany typu bagna z bagna perkolacyjnego lub akrotelmowego w bagno o przepływie powierzchniowym.⁹¹

Naprawa reżimu wodnego pierwotnego typu bagna wymaga długotrwałego zarządzania (zbudowania nowej porowatej warstwy torfu) lub usunięcia najwyższych zbitych warstw torfu („usuwanie poziomu próchnicznego”) na dużych obszarach.

Degradacja znacząca

„Znacząca” intensywność degradacji odnosi się do torfowisk, gdzie zaszły zasadnicze zmiany w hydraulice, głównie pod wpływem długotrwałego odwadniania, i gdzie powiązany z nimi rozkład torfu doprowadził do spadku porowatości torfu, przewodności hydraulicznej i współczynnika magazynowania¹⁷ oraz wzrostu gęstości objętościowej¹⁸ i retencji wody w glebie.^{153, 163} Szczególnie w torfowiskach niskich w ciepłym klimacie, stałe kurczenie się i pęcznienie odwodnionego torfu może prowadzić do powstawania pionowych i poziomych szczelin, które utrudniają (kapilarny) przepływ wody ku górze i prowadzą do częstszego i głębszego wysychania poziomu próchnicznego. Przez zwiększoną aktywność organizmów glebowych odwodnione gleby torfowe stają się luźne i drobnoziarniste, a ostatecznie mogą stać się wodoodporne.^{144, 217} Powiązane z tym zmiany właściwości hydraulicznych torfu są w dużej mierze nieodwracalne. Podobna sytuacja występuje, kiedy lekko zawilgocony torf zostaje usunięty przez eksploatację i tylko silnie rozłożony torf o niskiej porowatości i współczynniku magazynowania wody pozostaje na powierzchni.

Zniszczenie hydrologicznie skutecznych struktur powierzchniowych jest często przeoczanym osłabieniem hydrauliki torfowisk. Szczególnie w bagnach akrotelmowych, tj. w torfowcowych torfowiskach wysokich i tropikalnych bagiennych kopułach torfowych, potężne właściwości hydrauliczne („akrotelm”) roślinności, torfu i rzeźby terenu są kluczowe dla regulacji hydrologii torfowiska, zwłaszcza malejącego poziomego odprowadzania wody i zapewniania retencji dla magazynowania wody w okresach suchszych, bez której bagna te nie mogłyby się utrzymać (Rysunek 6. poniżej).^{33, 34} Struktury te, odnoszące się głównie do przestrzennie zróżnicowanej odporności na przepływ wody, której towarzyszy wysoki współczynnik magazynowania,²³ są niszczone przez zróżnicowane presje, takie jak eksploatacja torfów, ubicie (np. przez długotrwały wypas), pożar, długotrwałe odwadnianie i rozkład, lub wylesianie w przypadku zalesionych torfowisk.

Rysunek 6.

Wstępny szkic (1891)⁸⁷ tropikalnego torfowiska (na półwyspie Kampar, Sumatra) ilustruje skarpowe podstawy pni drzewnych i korzenie podporowe, które powodują wzrost odporności na przepływ wody z opadających poziomów wody. Nałożone zdjęcie z Parku Narodowego Sebangau, Centralny Kalimantan, przedstawia, jak przy mokrym monsunie korzenie podporowe i pagórki darniowe zmniejszają przepływ powierzchniowy i powodują powstawanie zastoisk wody jako magazynu naziemnego dla sezonu suchego (źródło: Hans Joosten).³³



Odtworzenie warunków hydraulicznych zdegradowanego torfu jest praktycznie niemożliwe.¹⁵⁵ W przypadku zdegradowanych perkolacyjnych torfowisk niskich (patrz Aneks II), w dużej mierze nieodwracalnie rozłożony i sprasowany torf zakłóca dopływ wody gruntowej, która uprzednio zasilala warstwę powierzchniową, tym samym zapewniając typowe stabilne zwierciadło wody i niską produktywność.¹¹⁰ Obniżony współczynnik magazynowania wody przez zdegradowany torf prowadzi do większych wahań zwierciadła wody, które z kolei zwiększają rozkład torfu.¹

Torfowiska, gdzie istotne własności hydrauliczne torfu zostały nieodwracalnie zdegradowane, nie mogą być poddane odtworzeniu do ich dawnej funkcji hydrologicznej, chyba, że usunie się silnie zdegradowany torf. Jeżeli to ostatnie jest niemożliwe lub niepożądane, może powstać potrzeba sformułowania alternatywnych celów odtwarzania (dotyczących „prostszych” typów bagien, np. bagna ze wzniosu wody), przy czym nowa akumulacja torfu może z czasem ponownie doprowadzić do lepszych warunków hydraulicznych.¹

17 Współczynnik magazynowania jest miarą przestrzeni porowej i opisuje to, ile wody zostanie utraconej, jeżeli zwierciadło wody opadnie w granicach pewnej odległości, lub ile wody jest potrzebne, aby się podniosło. Współczynnik magazynowania ma elastyczną składową. W szczególności, w niezaburzonych glebach torfowych, przestrzeń porowa rośnie wraz z zawartością wody. Współczynnik magazynowania jest bezwymiarowy.

18 Gęstość objętościowa to sucha masa gleby podzielona przez jej objętość. Gęstość objętościowa typowo wyrażana jest w g/cm³

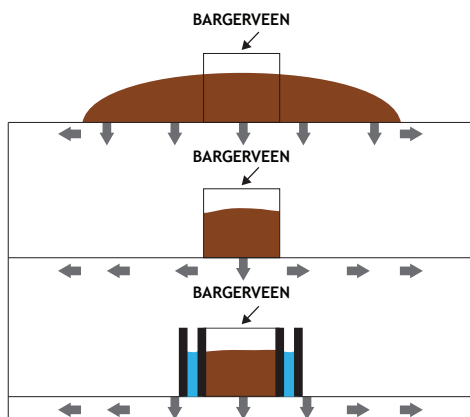
Istotne jest, by zrozumieć, że odtwarzanie lub regeneracja opartych o roślinność i mikrorzeźbę struktur akrotelmowych, które są skuteczne pod względem regulacji hydrologicznej, są procesami długotrwałymi, obejmującymi co najmniej kilka dekad^{90, 125, 178}, o ile w ogóle możliwymi.⁹¹

Degradacja przeważająca

Ponieważ torfowisko naturalne składa się w dużej mierze z wody, istnieje ścisłe i subtelne powiązanie hydrologiczne między kształtem obiektu torfowego, przewodnością hydrauliczną torfu i ilością wody, która jest transportowana przez obiekt. Intensywność degradacji jest szczególnie istotna w torfowiskach, w których obiekt torfowy został całkowicie pozbawiony równowagi hydrologicznej (np. przez osiadanie, eksploatację torfów, erozję, pożar lub utlenienie). W niektórych przypadkach naturalne procesy samoregulacji (w tym osiadanie) lub antropogenicznej modyfikacji rzeźby torfowiska mogą przywrócić równowagę, lecz pozostająca nierównowaga powoduje w większości dalsze zmiany hydrologiczne i ciągłą, postępującą degradację.^{22, 206}

Rysunek 7.

Po lewej: Odtwarzanie części Bargerveen (Holandia), kompensujące utratę dużych części pierwotnej kopuły torfowiska wysokiego przez konstrukcję dużych wałów i zbiorników magazynujących wodę.⁶¹ Po prawej: Jeden ze zbiorników magazynujących wraz z otaczającymi wałami (źródło: Hans Joosten).



Degradacja maksymalna

Ostateczna i maksymalna intensywność degradacji torfowisk dotyczy sytuacji, w której torfowisko praktycznie przestało być torfowiskiem, tj. kiedy większość lub cały torf zanikł przez wydobycie lub utlenienie, kiedy pozostające warstwy torfu zostały obrócone do góry dnem, a ich stratygrafia zaburzona przez głęboką orkę i kopanie, lub kiedy cały obszar zlewni został wywrócony do góry dnem przez górnictwo odkrywkowe. Jakikolwiek odtwarzanie torfowisk musi tu zacząć się od zera, z odtworzeniem warunków stałej dostawy i nasycenia wodą, aby umożliwić akumulację nowego torfu („odtworzenie torfowiska”).^{101, 107, 154}

Granica, poza którą nie jest możliwe przywrócenie – za życia człowieka – zdegradowanego masywu bagna pochylego do jego funkcji hydrogenetycznej sprzed degradacji, znajduje się na „umiarkowanym” etapie degradacji, tj. kiedy istotne właściwości hydrauliczne torfu stają się poważnie naruszone.

Za tą granicą wartościowe zbiorowiska biotyczne mogą wciąż utrzymywać się czasowo, a w obszarze torfowiska czasem wciąż może być lokalnie odtworzona ich dawna strategia tworzenia torfu i roślinność, lecz masyw wciąż będzie ulegać degradacji, chyba, że torf zostanie usunięty lub przekształcony na dużą skalę, lub stale zachowane będą obiekty infrastrukturalne (wały, nasypy, pompy) (patrz Rysunek 7.

i sekcja 6.2). Za tą granicą wskazane może być porzucenie celu odtwarzania pierwotnego typu bagna i zamiast tego skupienie się na rekultywacji „łatwiejszych” (np. „poziomych”) typów bagien z użyciem innych, często mniej wyszukanych, usług ekosystemowych.



4. Ustalenie celów

Po przeanalizowaniu problemów osiągalne cele identyfikuje się pod względem korzyści, które mogą zapewnić torfowiska poddane odtworzeniu. Ten krok obejmuje rozpoznanie, że konkretne korzyści mogą być ograniczone do degradacji o konkretnej intensywności, oraz że różne cele mogą pozostawać ze sobą w konflikcie lub w synergii. Główny wniosek jest taki, że cele odtwarzania muszą być sformułowane tak *konkretnie, jak to możliwe*, oraz w kolejności *priorytetów*.

UŻYTKOWANIE TERENU	UŻYTKOWANIE PRODUKTYWNE	ZAGOSPODAROWANIE DLA BIORÓŻNORODNOŚCI	BEZ UŻYTKOWANIA
Status odwodnienia			
Odwodnione	Użycie konwencjonalne	Krajobraz obszarów odwodnionych i rezerwy bioróżnorodności	Teren porzucony
Ponownie nawodnione/ poddane odtworzeniu	Paludikultura	Krajobraz mokradłowy i rezerwy bioróżnorodności	Podmokły obszar dziki

Rysunek 8.

Alternatywy użytkowania terenu dla obecnie odwodnionych torfowisk (źródło: Hans Joosten).

4.1. Wstęp

W celu ustanowienia realistycznych celów kluczowe jest wybranie celów opartych o rzeczywisty potencjał odtwarzania.¹¹³ Ogólne alternatywy użytkowania terenu pod względem wykorzystania odwodnionego torfowiska obejmują (Rysunek 8.):

- kontynuację obecnego użytkowania lub zagospodarowanie terenu opartego o odwadnianie (w tym terenu porzuconego);
- porzucenie odwodnionych torfowisk bez zamiaru ponownego nawodnienia;
- ponowne nawodnienie (zarówno zamierzone, jak i samoistne) bez użytkowania terenu; oraz
- ponowne nawodnienie z zarządzaniem bioróżnorodnością lub produktywnie użytkowanie terenu (paludikultura).

Bardziej konkretne cele odtwarzania mogą być sformułowane pod względem „usług ekosystemowych”, tj. korzyści (w tym bioróżnorodność), które ludzie i społeczeństwo pozyskują z ekosystemów. Aneks I przedstawia wyczerpujący przegląd tych usług i stosuje rozróżnienie między usługami z torfowisk z sekwestracją torfu (naturalnych lub ponownie nawodnionych) i z degradacją torfu (odwodnionych). O ile niektóre usługi ekosystemowe mogą być zapewniane przez obie kategorie (np. scenaria dla turystyki i aktywności na wolnym powietrzu), lub niektóre usługi ekosystemowe z obu kategorii mogą być połączone (np. odtworzenie sekwestracji dwutlenku węgla przy zachowaniu widocznych, choć niefunkcjonalnych historycznych śladów eksploatacji), w większości przypadków usługi ekosystemowe z obu kategorii wzajemnie się wykluczają. Schumann i Joosten¹⁶⁶ przedstawiają przegląd usług i celów, które są trudne do pogodzenia. Aneks III przedstawia główne konflikty, kompromisy i synergie, które mogą zaistnieć.

To, czy możliwe jest przywrócenie pożądaných usług ekosystemowych, zależy od tego, czy:

- w samym torfowisku (np. utrata gatunków, zmieniona hydraulika gleby) lub w jego szerszym otoczeniu (np. hydrologia krajobrazu, klimat) zaszły nieodwracalne zmiany, które uniemożliwiają odtwarzanie; oraz
- czy możliwe jest połączenie zidentyfikowanych celów.

To, co jest możliwe do przywrócenia, zależy nie tylko od możliwości naukowych i technicznych, lecz również od szans i ograniczeń instytucjonalnych, regulacyjnych, ekonomicznych, politycznych i społecznych.³² Oznacza to, że proces ustalania celów - wraz z wiedzą naukową i techniczną - również wymaga dobrego rozeznania interesów i planów innych interesariuszy. Tym samym, ustalanie celów zawsze powinno obejmować iteracyjny proces formułowania celów i analizy problemów.

Kompromisy i niekompatybilność celów: przykład z Indonezji

„Aby promować długookresowy zrównoważony rozwój, wymagane i promowane są ponowne nawodnienie i odnowa szaty roślinnej. Jednak, żeby spełnić wymóg „rewitalizacji”, agencje rządowe (dalej: agencje) często sięgają po kompromisy, które prowadzą do mniej zrównoważonych rozwiązań. Agencje podejmują się programów, które promują sadzenie na ponownie nawodnionym torfie upraw, takich jak kawa (*Liberica*), kakao, areka, kokos, banany, chempedak, jengkol, kukurydza, stodliwka, durian, pomarańcze, pieprz, ananas, alpinia purpurowa, kauczuk i pitaja. Jednakże wszystkie one stanowią uprawy terenów suchych, które wymagają co najmniej 30 do 40 cm odwodnienia, tak więc stopień ponownego nawodnienia dla tych upraw jest ograniczony. Jednocześnie, kanały są otwarte, a bloki kanałów wyposażone są w przelewy do ułatwienia przejścia małych łodzi. Wynikiem tego są różne problemy i w dłuższej perspektywie brak zrównoważonego rozwoju.”⁵⁰

Kiedy wszystkie możliwe cele zostały zidentyfikowane, należy wybrać końcowe cele i sformułować je tak konkretnie, jak to możliwe i w kolejności priorytetów, żeby:

- zidentyfikować odpowiednie i skuteczne metody odtwarzania (różne cele mogą wymagać różnych metod);
- ustalić priorytety między ewentualnie spornymi celami (zbyt często formułowane są cele niemożliwe do pogodzenia); oraz
- umożliwić skuteczny monitoring i ocenę (osiągnięcie nieokreślonych celów nie może być oceniane).

„Odtwarzanie ekologiczne to skomplikowana, wieloaspektowa dyscyplina, w której muszą być rozważone wszystkie czynniki ekologiczne, społeczne, ekonomiczne i polityczne. Przez samo sadzenie sadzonek lub zatrzymywanie pożarów nie odnosimy się do kwestii, które pierwotnie doprowadziły do degradacji. Jeżeli nie dążymy do zrozumienia „barier” i wypracowania dla nich rozwiązań, odtworzenie będzie krótkotrwałe i powierzchowne.”¹⁴⁵

W kolejnych rozdziałach omawiamy niektóre dominujące cele ponownego nawodnienia/odtworzenia torfowisk, tj.: odpowiednie łagodzenie i adaptację do zmian klimatu; ochronę bioróżnorodności; zachowanie produktywności i źródeł utrzymania (paludikultura); a także poprawę jakości wody, dostawy wody i ochronę przeciwpowodziową.

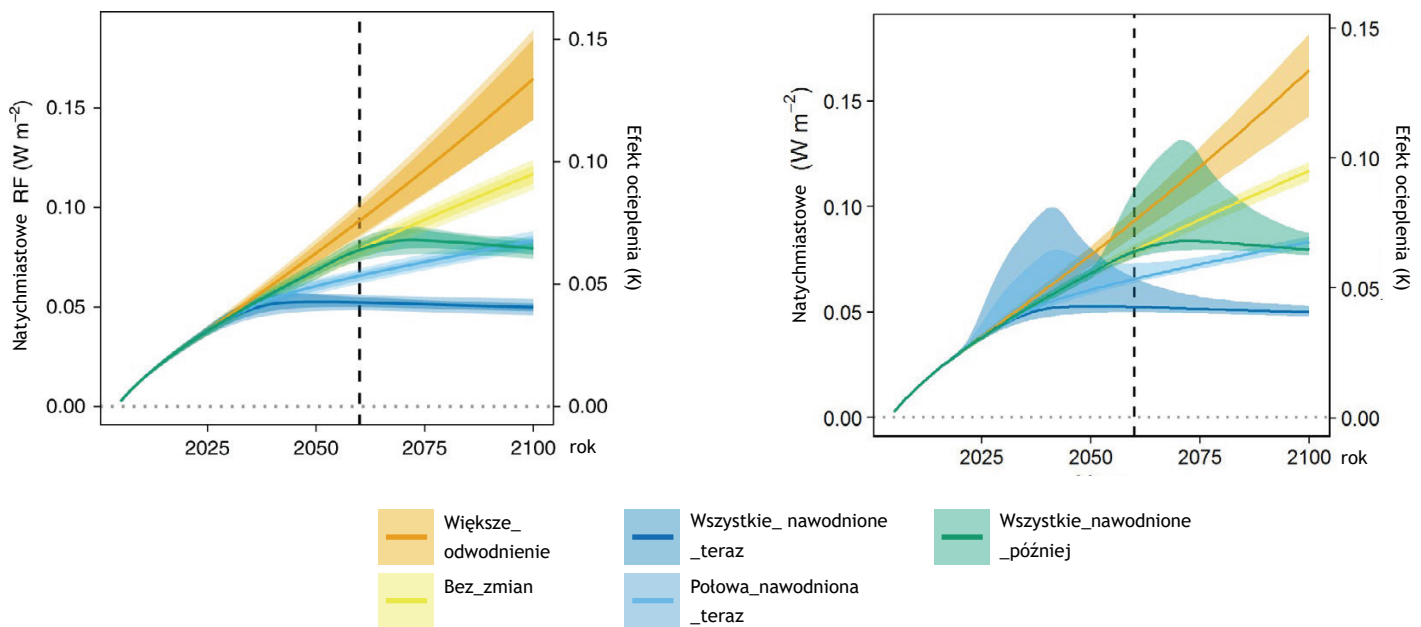
4.2. Odtwarzanie torfowisk dla łagodzenia i adaptacji do zmian klimatu

Jednym z najważniejszych powodów ponownego nawodnienia i odtwarzania torfowisk jest łagodzenie zmian klimatu.⁵⁹ Duże emisje z odwodnionych i w inny sposób zdegradowanych torfowisk mogą być znacznie zmniejszone przez długookresowe podniesienie średniego zwierciadła wody blisko powierzchni i przez odtworzenie nieodwodnionych obszarów zdegradowanych.

Dopóki zwierciadło wody znajduje się poniżej powierzchni gruntu, relacja między średnim zwierciadłem wody a emisją gazów cieplarnianych z mikrobiologicznego utleniania torfów jest w dużej mierze liniowa: im głębsze zwierciadło wody, tym większe emisje.^{26, 27, 73, 74, 214} Oznacza to, że około połowa emisji może być zmniejszona przez podniesienie zwierciadła wody do połowy dawnej głębokości poniżej powierzchni.

Gdy tylko zwierciadło wody ustabilizuje się w okolicy powierzchni gruntu i powyżej, część martwego materiału roślinnego ulegnie rozkładowi beztlenowemu, powodując emisję metanu (CH_4), który jest gazem cieplarnianym 28 razy silniejszym niż CO_2 .⁸¹ Zasadniczo jednak, ponowne nawodnienie odwodnionych torfowisk daje szybkie korzyści, ponieważ całościowy efekt gazów cieplarnianych (wyrażony jako połączone strumienie CO_2 , CH_4 , N_2O i DOC) jest bardzo pozytywny dla klimatu w porównaniu z wcześniejszą sytuacją odwodnienia.^{96, 214}

Ponowne nawodnienie zawsze doprowadzi do wzmożonej emisji metanu. Jednakże, nawet w przypadkach, gdzie ponowne nawodnienie prowadzi do nieproporcjonalnie dużego początkowego piku metanowego (np. przez beztlenowy rozkład obumierającej roślinności obszaru), długoterminowe efekty klimatyczne ponownego nawodnienia są o wiele lepsze niż utrzymywanie odwodnionego status quo. Jest tak, ponieważ CH_4 ma o wiele krótszy czas pozostawania w atmosferze w porównaniu z CO_2 i N_2O , które akumulują się w sposób jednostajny, natomiast stężenia atmosferyczne CH_4 szybko osiągają stan stabilny (Rysunek 9.).



Rysunek 9.

Wymuszanie radiacyjne (RF) i efekty ocieplenia klimatycznego (względem 2005 r.) globalnego gospodarowania torfowiskami bez (po lewej) i z (po prawej) początkowym 10-krotnie większym pikiem metanowym dla 5 lat po ponownym nawodnieniu. **Większe_odwodnienie:** Obszar odwodnionego torfowiska zwiększa się dalej od 2020 do 2100 r. w tym samym tempie, co między 1990 i 2017 r.; **Bez_zmian:** Obszar odwodnionego torfowiska pozostaje na poziomie z 2018 r.; **Wszystkie_nawodnione_teraz:** Wszystkie odwodnione torfowiska są ponownie nawodnione w okresie 2020-2040 r.; **Połowa_nawodniona_teraz:** Połowa wszystkich odwodnionych torfowisk jest ponownie nawodniona w okresie 2020-2040 r.; **Wszystkie_nawodnione_później:** Wszystkie odwodnione torfowiska są ponownie nawodnione w okresie 2050-2070 r.⁶³

Z uwagi na efekt działania metanu, wskazane jest: i) ponowne nawodnienie tak szybko, jak to możliwe (tj. między 2020 i 2040 r.), aby zapobiec wzmocnieniu przez emisje szczytu globalnego ocieplenia,⁶³ oraz ii) ograniczenie emisji metanu na tyle, na ile to możliwe. Tego ostatniego można dokonać przez:

- uniknięcie przedłużonego letniego zalewania (bez narażania długookresowego poziomu zwierciadła wody w pobliżu powierzchni);^{35, 41}
- usunięcie świeżej biomasy przed nawodnieniem;
- unikanie zanurzonych roślin wodnych;
- regularne zalewanie wodą zawierającą siarczany (np. lekko słonawą);¹⁹⁹
- usuwanie darni i poziomu próchnicznego (warstwy grubości 5-10 cm);^{66, 80, 199} oraz
- wprowadzenie odpornych na rozkład gatunków torfotwórczych w celu zmniejszenia materiału podatnego na metanogenezę, lecz bez wprowadzania „gatunków kolizyjnych”.^{19, 24}

Ponowne nawodnienie torfowisk tropikalnych i torfowisk rolniczych poza tropikami zawsze ma duży i gwałtowny wpływ na łagodzenie zmian klimatu. Dla torfowisk borealnych odwodnionych przez leśnictwo, efekt klimatyczny ponownego nawodnienia może być o wiele mniejszy i wolniejszy,¹⁴² i nie tak bezpośredni z uwagi na efekty klimatyczne zmieniającego się albedo z jednej strony¹¹⁷, a z drugiej znaczne emisje CO₂ następujące po karczowaniu.^{78, 106}

4.3. Ochrona bioróżnorodności

Jednym z głównych celów odtwarzania torfowisk jest przywrócenie jakości siedlisk i biotopów torfowiskowych, a tym samym spowolnienie lub zatrzymanie utraty bioróżnorodności.¹⁶⁹ Jest to zdecydowany główny cel dla torfowisk w obszarach chronionych np. obszarach Ramsar.

Chociaż liczba gatunków znajdujących się w torfowisku może w pewnych przypadkach być względnie mała, torfowiska mają wyższy udział specjalistycznych, charakterystycznych gatunków niż ekosystemy terenów suchych w tej samej strefie biogeograficznej. W efekcie izolacji i niejednorodności siedlisk, torfowiska odgrywają specjalną rolę w zachowaniu bioróżnorodności na poziomie genetycznym.^{131, 132, 133} Jakiegokolwiek wprowadzenie gatunków (patrz sekcja 6.4.) musi uwzględnić tę różnorodność genetyczną. Tam, gdzie jest to możliwe, do reintrodukcji gatunków należy stosować lokalne odmiany w celu ochrony przed zaburzeniem regionalnych różnic w różnorodności genetycznej.

¹⁹ Rośliny naczyniowe stymulują emisje CH₄ umożliwiając gazowi obejście utlenionej górnej warstwy gleby dzięki przejściu przez tkanki roślinne. Rośliny, które zapewniają taki skrót między strefą korzeniową i atmosferą, określane są jako gatunki „skracające drogę”.

Wynikiem ponownego nawodnienia torfowisk jest nie tylko ochłodzenie globalne, lecz również bezpośrednio lokalne obniżenie temperatury.²¹⁵ Dzieje się tak dzięki wyższemu zwierciadłu wody gruntowej (w tym tworzeniu się zbiorników wodnych), zmianom w roślinności i wzrostowi przewodności cieplnej gleby/torfu z uwagi na wyższą wilgotność gleby. W efekcie, więcej promieniującej energii słonecznej zużytej jest do parowania, a mniej do ocieplenia.¹⁰⁰ Skala powstałego ochłodzenia klimatu zależeć będzie od tego, jak torfowisko jest wkomponowane w krajobraz (najbardziej w środowisku suchym), dlatego jest ono najbardziej skuteczne w klimacie kontynentalnym.^{71,93}

Ponadto, torfowiska mogą mieć wysoką różnorodność ekosystemową²⁰, odzwierciedloną przez widoczne wzory powierzchniowe w różnych skalach hierarchicznych i przestrzennych, które są wyrazem setek lub tysięcy lat złożonej samoorganizacji i samoregulacji.²³

Torfowiska wspierają również bioróżnorodność daleko poza ich granicami przez regulację hydrologii i mezoklimatu obszarów przyległych. Torfowiska są często ostatnimi pozostającymi bardziej lub mniej naturalnymi obszarami w zdegradowanych krajobrazach. Tym samym, zapewniają one zarówno ostoje dla zagrożonych gatunków o pierwotnie dużo większym rozprzestrzenieniu (np. małpy człekokształtne w tropikalnej Azji i Afryce) oraz chłodne schronienia dla gatunków przemieszczonych na skutek zmian klimatu.^{131, 132, 133}

Skoncentrowanie odtwarzania na najbardziej zagrożonych, wrażliwych i najrzadszych siedliskach i gatunkach bagiennych (z jednoczesną ochroną częściej występujących, lecz reprezentatywnych siedlisk i gatunków) może zwiększyć oszczędność działań odtwarzających dla ochrony globalnej bioróżnorodności bagien.¹⁰⁸

Naturalność

Ochrona przyrody jest prawdopodobnie najtrudniejszym celem odtwarzania torfowisk, z uwagi na nierozłączną nieporównywalność obu koncepcji: w odtwarzaniu chodzi o działanie zamierzone, w przyrodzie o rozwój samoistny. Ochronę przyrody interesują nie tylko wyniki (np. zachowanie gatunków), lecz również to, jak są one osiągnięte (tj. w najbardziej samoistny sposób).³⁸ W ochronie przyrody „środki” są dorozumianą częścią „celów”. Każdy akt odtwarzania zmniejsza samoistność i naturalność wyniku.

Co do zasady, istnieją trzy podstawowe poziomy zwiększania sztuczności (zmniejszania naturalności) powiązane z zamierzonym działaniem ochronnym:

1. nie robić nic: działania prewencyjne dla zapobiegania szkodom (zwane również „regulacją przez veto” lub „gospodarowaniem zewnętrznym”), np. ustanowienie hydrologicznych stref buforowych wokół torfowiska;¹⁹⁶
2. zrobić raz: jednorazowe działania dla poprawy warunków, np. blokowanie rowów i budowa nasypów; oraz
3. robić ciągle: regularne działania (regulacja nakazowa) dla utrzymania korzystnych warunków („zagospodarowanie wewnętrzne”), np. coroczne koszenie lub stały wypas.

Wielkim pytaniem przy odtwarzaniu w celu ochrony przyrody jest: Które środki są uzasadnione dla osiągnięcia jakich celów? Jeżeli uzasadnione są wszystkie środki, różnica między obszarem ochrony a ogrodem botanicznym lub zoo jest utracona. Dla odmiany, odtwarzanie w celu ochrony przyrody powinno ograniczyć intensywność i częstotliwość zastosowanych technik do niezbędnego minimum. Do odtwarzania w celu ochrony przyrody zastosowanie mogą mieć następujące wytyczne⁸⁵:

- Rozróżnienie między celami a środkami. Introdukcja gatunków jest zawsze środkiem (podobnie jak zastosowanie urządzenia takiego jak kosiarka), nigdy celem ochrony przyrody. Wynikiem introdukcji może być większa bioróżnorodność, lecz zawsze kosztem naturalności.
- Ograniczenie swoich działań do „nie robienia nic” (środki ochronne eliminujące pewne praktyki) oraz do „zrobienia raz”.
- „Robienie ciągle” jest uzasadnione tylko, kiedy długotrwałe gospodarowanie kontynuowane jest z tą samą lub mniejszą intensywnością (np. częstotliwość koszenia, intensywność wypasu) i sztucznością (np. zastąpienie koszenia przez wypas lub gospodarowanie wodą przez gospodarowanie roślinnością).
- Wyjątki są dopuszczalne, kiedy w innym przypadku oraz w wyniku działań człowieka, zjawiska naturalne przestałyby istnieć globalnie.



20 W znaczeniu art. 2 Konwencji o Różnorodności Biologicznej, <https://www.cbd.int/doc/handbook/cbd-hb-01-en.pdf>

Wraz z przyczynami konceptualnymi istnieją również powody praktyczne dla ograniczania sztuczności. Trzy poziomy zwiększania sztuczności cechują się również spadającą oszczędnością i rosnącym ryzykiem utraty efektu inwestycji. Podczas gdy w środku jednorazowe inwestuje się tylko raz, koszty skumulowane ciągłego gospodarowania (tj. opierania się naturalnemu, samoistnemu rozwojowi) są praktycznie nieskończone, a jakkolwiek wcześniejsza inwestycja jest utracona, gdy gospodarowanie zostanie wstrzymane.

4.4. Zabezpieczenie produktywności: paludikultura i źródła utrzymania

Zabezpieczenie produktywności odnosi się do głównej koncepcji Konwencji, czyli „mądrego użytkowania”. Większość degradacji torfowisk jest wynikiem opartego o odwadnianie rolnictwa i leśnictwa, tj. torfowiska zostały odwodnione dla zapewnienia pożywienia, paszy, materiałów i paliwa. Konieczność ponownego nawodnienia 50 milionów hektarów zdegradowanych torfowisk na świecie do lat 2050/2070 oraz rosnące na świecie zapotrzebowanie na biomasę (dla zapewnienia dobrobytu rosnącej populacji światowej i dla zastąpienia wszystkich opartych o węgiel zasobów kopalnych) wskazują, że wszystkie te obszary nie mogą być porzucone po ponownym nawodnieniu (Rysunek 8.). Kiedy odtworzenie do półnaturalnego siedliska torfowiskowego nie jest wykonalne i produktywność, użytkowanie musi być kontynuowane, istniejące użytkowanie terenu oparte o odwadnianie musi być zastąpione przez użytkowanie terenu, które nie potrzebuje odwadniania^{92, 97}, tj. przez „paludikulturę”.^{21, 147, 210}

Paludikultura nie koncentruje się na ochronie przyrody, lecz jej praktyki mogą przyczynić się do ochrony przyrody przez tworzenie nowych mokradel oraz jako etap pośredni między opartym o odwadnianie użytkowaniem rolniczym i ochroną przyrody. Paludikultura może na przykład przyczynić się do usunięcia substancji odżywczych i gospodarowania roślinnością^{175, 176} oraz działać jako bufor lub korytarz pomiędzy mokradłowymi obszarami chronionymi.²²

Czym jest paludikultura?

Paludikultura jest systemem rolnictwa i leśnictwa nakierowanym na produkcję towarów pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego na torfowisku z zachowaniem zasobów węgla w torfie i zminimalizowaniem emisji gazów cieplarnianych z gleby torfowej. Fakt, czy cele te są osiągnięte, jest determinowany nie tylko przez rośliny, które są uprawiane, lecz w większości przez warunki, w których są one uprawiane, stale podmokłe i bez uszkodzenia gleby torfowej.²²

4.5. Poprawa jakości wody, odpowiedniej ilości wody i ochrona przeciwpowodziowa

Zapewnienie dobrej jakości wody pitnej ze zdominowanych przez torf zlewni jest ogólnie ograniczone do torfowisk z niewielkim odwadnianiem i użytkowaniem przez człowieka.

Miejsca bardziej zaburzone uwalniają znaczne ilości kwasów humusowych, azotu, siarki, metali ciężkich i zawieszonych cząstek stałych,^{138, 155} natomiast blokowanie odpływu ogólnie prowadzi do zasadniczej redukcji odpływu takich substancji.^{21, 127, 180, 203} Ponadto, zwykle przywrócenie roślinności na nagim torfie może dramatycznie zmniejszyć utratę cząstek węgla.¹⁸²



21 <https://www.ramsar.org/document/resolution-xiii13-restoration-of-degraded-peatlands-to-mitigate-and-adapt-to-climate-change>

22 Wniosek podsumowujący konferencji RRR2017: http://www.imcg.net/modules/download_gallery/dlc.php?file=287&id=1552073692

Denitryfikacja jako proces usuwania azotanów zachodzi, kiedy wzbogacona w azotany woda wchodzi w kontakt z nasyconym wodą, beztlenowym torfem.^{28, 70} Usuwanie materii organicznej, cząstek stałych, fosforu i azotu z napływającej wody jest rolą roślinności nawodnionego torfowiska, ograniczoną do obszarów niezaburzonych i nieznacznie zaburzonych (w tym paludikultury).^{93, 201}

W niektórych przypadkach odtwarzanie może spowodować tymczasowo zwiększone wypłukiwanie substancji odżywczych do cieków, lecz w dłuższej perspektywie uwalnianie substancji odżywczych ulega zmniejszeniu.^{126, 127}

Ochrona przeciwpowodziowa

Ponieważ akumulacja torfu wymaga wysokiego zwierciadła wody, pojemność magazynowania dostępna w nieznacznie zaburzonych bagnach jest gwałtownie wypełniona, a nadwyżka wody odpływa szybko podczas obfitej dostawy wody.^{155, 182} Tym samym, torfowiska zaburzone minimalnie do umiarkowanych zasadniczo wykazują się spłaszczeniem fali powodziowej, bezpośrednio powiązanej z opadami. Jednakże, przepływy powierzchniowe w bagnach zdominowanych przez torfowce *Sphagnum* są niższe niż w bagnach zdominowanych przez inne typy roślinności lub bagnach zdegradowanych, ponieważ naturalna „szorstkość” powierzchni spowalnia przepływ wody.^{53, 76} Utrata pokrywy z torfowców *Sphagnum* i przyrost nagiego torfu mogą zwiększyć przepływ szczytowy, zmniejszyć czas opóźnienia spływu, oraz mogą uczynić spływ z torfowisk koldrowych bardziej nieregularnym po odwadnianiu torfu.^{168, 182}

Tylko te typy bagien, gdzie warstwa torfu może skurczyć się i napęcznieć wraz ze zmieniającą się dostawą wody („wahania powierzchni bagna”), lub które mogą przechowywać dużą ilość wody na lub ponad powierzchnią (np. w zagłębieniach i sadzawkach), mają „buforujący” wpływ na hydrologię zlewni.

Po odwodnieniu, szczytowe odprowadzanie wody jest silnie zredukowane, ponieważ warstwa torfu nie jest już całkowicie nasycona. Z drugiej strony, intensywnie odwodnione torfowiska i poważnie zdegradowane gleby torfowe ponownie zwiększają maksymalne prędkości doprowadzania wody, z uwagi na rozwinięcie się wodoodporności torfu i stagnujących horyzontów glebowych.²¹⁷

Tym samym, odtworzenie funkcji ochrony przeciwpowodziowej wymaga znacznej świadomości warunków hydrologicznych.

Zasadniczo, naturalne torfowiska mogą wytrzymać zalanie przez dłuższe okresy, a tym samym torfowiska mogą w sprzyjających warunkach funkcjonować jako obszary retencyjne, również po ponownym nawodnieniu. Łagodzenie skutków powodzi jest szczególnie korzystne na torfowiskach, które są niewykorzystane, lub wykorzystane są do paludikultury, a tym samym mniej wrażliwe na zalanie.⁹³



5. Planowanie

Metody odtwarzania torfowisk muszą być dokładnie planowane. Ponieważ projekty często wiążą się z kompleksowymi działaniami technicznymi, operacyjnymi i administracyjnymi, zalecane jest sporządzenie:

- **studium wykonalności** w celu zapewnienia podstaw do wyboru konkretnych celów i oceny ogólnej wykonalności wymaganych prac odtwarzających; a wówczas, kiedy wykonalność jest potwierdzona,
- bardziej konkretnego **planu strategicznego**, który szczegółowo opisuje warunki, cele i środki.^{30, 67, 68, 114, 158, 167, 194, 195, 206}

Plan strategiczny może dotyczyć między innymi:

- lokalizacji i granic obszaru, jego ogólnej topografii, warunków krajobrazowych, geologii i hydrologii (w ramach obszaru i w powiązaniu z otoczeniem), gleby (w tym typów torfów i głębokości), flory, fauny, archeologii i historii;
- aktualnego użytkowania terenu, użytkowników, własności i dzierżaw, dostępności terenu i infrastruktury;
- problemu (czemu odtwarzanie jest potrzebne?), w tym warunków i procesów (w obszarze i poza nim), które doprowadziły do problemu, oraz skutków braku działania;
- istniejącej bioróżnorodności, wartości archeologicznych, historycznych i innych, które powinny być zabezpieczone;
- celów i zamiarów, dróg postępowania, procesów sterowania i celów tymczasowych;
- ogólnych planów, harmonogramów i budżetów (w tym dostępnych funduszy), a także strategii dla dokonywania poprawek w trakcie (adaptacja);
- odpowiednich materiałów, wykonawców, którzy muszą mieć doświadczenie w pracy z torfowiskami i torfem, standardów wykonania, przepisów bezpieczeństwa oraz najlepszego czasu na dostęp i wykonanie pracy;
- środków i wskaźników do monitoringu, regularnej informacji zwrotnej oraz oceny postępu,
- długotrwałej ochrony oraz ochrony bieżącej i zarządzania; oraz
- radzenia sobie z nieprzewidywanymi okolicznościami (pogoda, ograniczenia praktyczne) i nieprzewidywalnymi sytuacjami.

W niniejszym rozdziale poruszamy niektóre aspekty istotne dla planowania odtwarzania.

5.1. Ograniczenia prawne

Na wczesnym etapie należy szukać koordynacji z odpowiedzialnymi władzami w kwestii tego, czy wymagane i możliwe są zezwolenia lub czy zastosowanie mają ograniczenia. Odpowiednia legislacja i licencjonowanie zależą w dużej mierze od okoliczności krajowych i typu planowanych czynności. Legislacja może dotyczyć między innymi fizycznego planowania, ochrony przyrody, gospodarki wodnej dla zmiennych wzorców odwadniania i poziomów wody, poboru lub odprowadzania wody, magazynowania wody, wydobycia torfu w przypadku budowy tam i wypełniania odpływów, konstrukcji urządzeń do regulacji wód oraz utylizacji odpadów dla dowożenia na miejsce materiałów wypełniających lub budowlanych.²¹⁰ W wielu państwach projekty odtwarzania mogą podlegać ocenie oddziaływania na środowisko.

Istotne jest również uwzględnienie praw, w tym wspólnoty gruntowej, dostępu do drogi publicznej, pozyskiwania torfu (prawo do wydobycia torfu na opał dla wspólnoty gruntowej), prawa do korzystania z nabrzeża, prawa wydobycia surowców mineralnych, praw do strzelectwa i wypasu, prawo dzierżawy oraz lokalizacji rzeczywistych lub planowanych obiektów publicznych, takich jak rurociągi, stupy, linie elektryczne i drogi.

Trzeba być świadomym, że wymagania hydrologiczne i efekty ponownego nawodnienia mogą sięgać daleko poza sam obszar projektu!

5.2. Udział społeczeństwa i zaangażowanie interesariuszy

Udane wdrożenie projektu odtwarzania będzie często zależać od publicznego wsparcia i akceptacji, szczególnie ze strony społeczności lokalnej i lokalnych interesariuszy.

Udział społeczeństwa jest kluczowy, szczególnie gdy prawdopodobne są obawy odnośnie do planowanego projektu. Istotne wskazówki można znaleźć w Konwencji Ramsarskiej w Programie komunikacji, budowy potencjału, edukacji, udziału i świadomości (CEPA)²³, Konwencji o różnorodności biologicznej CEPA Toolkit²⁴, Frogleaps²⁵ i Aneksie IV.



5.3. Koszty, korzyści i finansowanie

W celu ilościowego określenia wpływu ponownego nawodnienia i odtwarzania torfowisk na dobro publiczne należy rozważyć wszystkie koszty i korzyści. Analiza ta musi zawierać:

- Bezpośrednie koszty technicznego ponownego nawodnienia i odtwarzania, na które znaczny wpływ ma lokalizacja, wielkość, projekt techniczny, dostępność i odległość materiałów od źródeł dostawy. Średnie koszty planowania i budowy w Niemczech wynoszą 2363 €/ha,¹⁶² natomiast koszty indonezyjskiego programu ponownego nawodnienia 2 milionów hektarów szacowane są na 2300 USD/ha.⁶⁵ Podobne rzędy wielkości (o szerokim zakresie wartości) przedstawiono dla Zjednoczonego Królestwa,^{9, 136} Finlandii,^{108, 169} projektów odtwarzania EU-LIFE,³ Kanady,¹⁵⁷ rosyjsko-niemieckiego projektu TorfRus i Indonezji.^{34, 50, 211}
- Korzyści rynkowe i nierynkowe (towary i usługi), które zapewni obszar poddany odtworzeniu (np. efekt klimatyczny lub przychód z paludikultury).
- „Koszty utraconych możliwości”, tj. utrata towarów i usług, które nie mogą już być zapewniane (np. olej palmowy lub ser Gouda), spadek wartości ziemi i utrata wpłat ze wsparcia publicznego.
- Efekty zewnętrzne, tj. pozytywne i negatywne wpływy odtwarzania na dobrobyt strony trzeciej.
- Koszty braku działania.^{9, 52, 162}
- O ile społeczne korzyści odtwarzania torfowisk mogą znacznie przeważać koszty społeczne, tylko prywatne koszty i korzyści determinują wykonalność odtwarzania z perspektywy indywidualnego zarządcy gruntu (właściciela lub dzierżawcy).¹³⁵

Wiele usług ekosystemowych jest trudnych do oceny, a jeszcze mniejsza liczba ma swój istniejący „rynek”. Ponadto, niektóre wartości (np. ludzkie życie oraz uczciwość wobec przyszłych pokoleń) nie mogą i nie powinny być mierzone w kategoriach pieniężnych. Tym samym, wycena pieniężna może objąć tylko część wartości całkowitej.^{14,209} Jednakże wycena pieniężna pozostaje przydatna w celu:

- zapewnienia świadomości społecznych kosztów degradacji torfowisk;
- poprawy podejmowania decyzji przez okazywanie usług nierynkowych;
- optymalizacji skutecznej alokacji zasobów finansowych; oraz
- uzasadnienia płatności dla dostawców usług (płatności za usługi ekosystemowe - PES).

²³ <https://www.ramsar.org/activity/the-cepa-programme>

²⁴ <https://www.cbd.int/cepa/toolkit/2008/cepa/index.htm>

²⁵ www.frogleaps.org

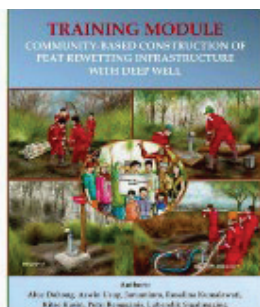
Dla odtwarzania torfowisk dostępna jest szeroka gama mechanizmów finansowania, natomiast przewidywane nowe mechanizmy powstaną w kontekście ram polityk wspomnianych w rozdziale 1.^{194, 95, 208} Opcje finansowania mogą objąć:

- dotacje rządowe/projekty/dwu- i wielostronne międzynarodowe układy darczyńców;
- dzielony sponsoring publiczno-prywatny;
- post-eksploatacyjne (i eksploracyjne) finansowanie odtwarzania/rekultywacji przez firmy eksploatujące zasoby, dobrowolnie lub w celu spełnienia wymagań prawnych;
- czynności kompensacyjne/offset (banki siedliskowe)/wkłady;
- projekty oczyszczania wody przez firmy dostarczające i oczyszczające wodę;
- płatności za usługi ekosystemowe (PES), w tym kredyty dla redukcji węgla,^{12, 175, 200} oraz finanse oparte o wyniki (results-based finance); a także
- paludikulturę: „zarób pieniądze dzięki patce wodnej i zyskaj ponowne nawodnienie gratis”.²¹⁶

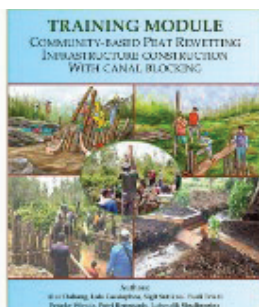


6. Techniki odtwarzania

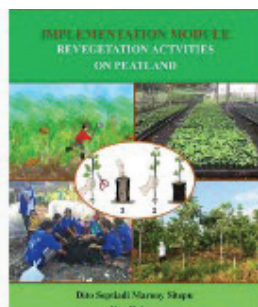
Dla wielu regionów i sytuacji nie istnieją wskazówki do odtwarzania. Tym samym, wskazane jest skonsultowanie istniejących informacji z innych źródeł, w tym różnych instrukcji regionalnych ^{30,44, 50, 62, 112, 114, 120, 147, 157, 169, 171, 173, 195, 206,183}; nie bezrefleksyjne imitowanie przedstawionych środków, lecz uzyskanie inspiracji do znalezienia rozwiązań pasujących do lokalnych okoliczności.



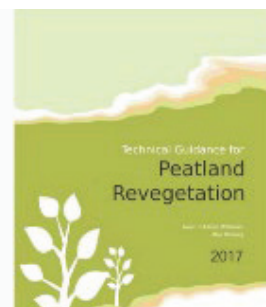
Moduł treningowy: Głębokie studnie



Moduł treningowy: Blokowanie kanałów



Moduł wdrożeniowy: Przywracanie roślinności



Wskazówki techniczne dla przywracania roślinności w torfowiskach

Duża liczba podręczników praktycznych przygotowanych przez Indonezyjską Agencję Odtwarzania Torfowisk BRG dostępna jest na <http://brg.go.id/panduan/>

6.1. Zasady ogólne

W ten sam sposób, w jaki wszystkie torfowiska mają istotne wspólne właściwości (rozdział 1), niektóre zasady dotyczą odtwarzania wszystkich torfowisk. ^{7, 40, 169}

- Bieżące tworzenie się torfów wymaga powolnego, lecz stałego podnoszenia się poziomu wody, tym samym odtwarzanie torfowisk musi umożliwić i pozwolić na wystąpienie takiego wzniosu poziomu wody. W przypadku bagien poziomych (sekcja 3.1, Aneks II), np. bagien namorzynowych i na równinach zalewowych, za ten (względny) wznios poziomu wody odpowiedzialne są procesy niezależne od samego torfowiska (np. zmiany klimatu, tektonika, podnoszenie się poziomu morza, wylesianie zlewni). W przypadku bagien pochyłych, np. torfowisk wysokich i perkolacyjnych torfowisk niskich, szata roślinna i torf „podnoszą” poziom wody przez utrudnianie odpływu zarówno napływającej wody deszczowej, jak też wody gruntowej.
- Powstawanie torfu wymaga wąskiego zakresu poziomów wody. Powstawanie torfu jest utrudnione zarówno przez poziomy wody, które są zbyt niskie, a tym samym wzmagają utlenianie torfu, lub przez zbyt wysokie poziomy wody, które zmniejszają produkcję roślin i zwiększają erozję wodną.
- Wilgotność gleby torfowej musi być niemal stała, ponieważ torf rozkłada się 10 razy szybciej, kiedy torfowisko jest odwodnione w porównaniu z jego narastaniem, kiedy torfowisko jest wystarczająco mokre.
- Torf jest niemal tak lekki jak woda, a tym samym jest łatwo erodowany przez wodę, mróz i działanie wiatru, jeżeli nie chroni go roślinność. Dlatego też odtwarzanie musi rozproszyć przepływ wody na dużym obszarze, a nie koncentrować go, oraz przywrócić szatę roślinną na nagich powierzchniach torfowych.
- Torf jest materiałem miękkim, wymagającym zastosowania maszynierii o małym nacisku na grunt, przystosowanej do tego trybu działania i obsługiwanej przez doświadczonych pracowników.
- Torfy kwaśne, ubogie w substancje odżywcze, degradowa się wolniej niż torfy alkaliczne i bogate w substancje odżywcze, a tym samym kwaśne torfowiska ubogie w substancje odżywcze są często łatwiejsze do przywrócenia. Podobnie, kwaśny torf ubogi w substancje odżywcze jest często bardziej odpowiedni do przygotowywania procesu odtwarzania.
- W ciepłym klimacie tropikalnym wszystkie procesy zachodzą szybciej niż w klimacie chłodniejszym, np. borealnym: degradacja torfowisk, degradacja tam, lecz również przyrost roślin.
- Praktyczne odtwarzanie musi zacząć się od komponentów ekosystemu o najsilniejszym wpływie funkcjonalnym (tj. najbardziej nieruchomych, Rysunek 4.).
- Woda płynie od góry do dołu. Aby zachować dostęp do obszaru, ponowne nawodnienie (blokowanie) musi zacząć się w najwyższym punkcie torfowiska i sukcesywnie postępować ku dołowi. Odległość między przegrodami powinna być zminimalizowana, aby umożliwić bardziej skuteczną retencję wody oraz aby zmniejszyć prędkość i różnicę poziomów wody w każdej tamie/przegrodzie.

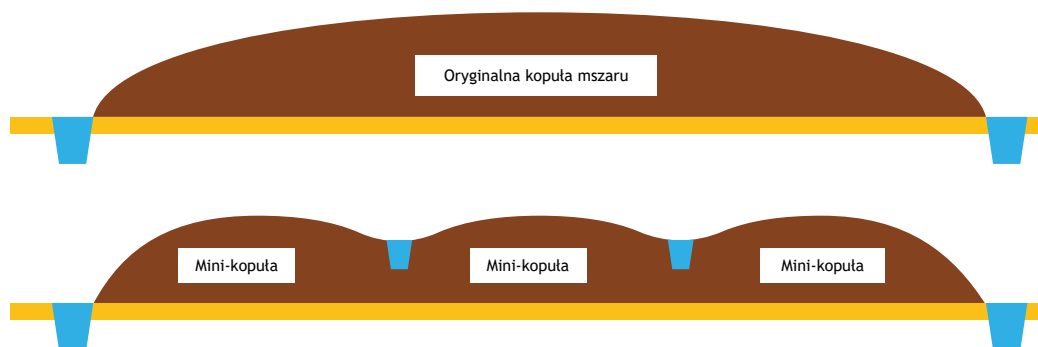


- Dla zmniejszenia kosztów preferowane są materiały lokalne (torf, drewno, darni, piasek). Jednakże zastosowanie materiałów obcych (drewno roślin dwuliściennych, tworzywa sztuczne, metal) może być niezbędne do skonstruowania wytrzymałych i optymalnie działających urządzeń.
- Skażenie atmosferyczne może ograniczyć odtwarzanie torfowisk, szczególnie w przypadku siarki pochodzącej z przemysłu i azotu pochodzącego z ruchu drogowego, przemysłu i hodowli zwierząt. Problemy emisji atmosferycznych mogą być tylko częściowo zredukowane przez usunięcie źródeł w bliskiej lokalizacji (bliżej niż 1 km) i zasadniczo wymagają zmniejszenia emisji na większym obszarze (30 km i więcej) wokół obszaru chronionego.
- Każde przetamowanie z czasem ulegnie zużyciu, zniszczeniu (kiedy tamy utrudniają lokalny dostęp), lub materiały ją budujące mogą być skradzione. Ciągła intensywna konserwacja nie jest realna. Tym samym, systemy blokujące powinny być skonstruowane tak, by były zawsze wytrzymałe i wraz z upływem czasu pozostawały skuteczne przy minimalnej konserwacji. Może być to osiągnięte przez:
 - zmniejszenie presji i ryzyka erozji dla każdej tamy przez wybudowanie kaskady tam z różnicami poziomów wody mniejszymi niż 0,10-0,25 m;
 - uniemożliwienie przepływu wody ponad przetamowaniem; oraz
 - zasypanie kanałów (również częściowe) dla umożliwienia zarośnięcia kanałów, podniesienia poziomu wody i zmniejszenia stopni wodnych nad i nacisku na przetamowania.
- Niech zadziała przyroda: Ostatecznie przyroda musi sama się przywrócić - ludzie mogą tylko pomóc, lecz nie w pełni sprawować kontrolę.

W kolejnych sekcjach przedstawiono środki naprawcze, które należy podjąć, zaczynając w kolejności od najpoważniejszych do najlżejszych dotyczących intensywności degradacji (zob. sekcja 3.3).

6.2. Rzeźba terenu i erozja

Kiedy obiekt torfowy jest pozbawione równowagi hydrologicznej, odtwarzanie może wymagać wielkoskalowych prac budowlanych i często stałej konserwacji. Jest tak na przykład wówczas, gdy obrzeża mszaru stały się bardziej strome w wyniku osiadania, utlenienia, erozji lub usunięcia torfu, powodujących gwałtowny odpływ wody.¹²⁰ W obszarach o regularnym rozstawie rowów lub kanałów osiadanie może spowodować tworzenie się mini-kopuł (Rysunek 10.), a efekt przetamowań poza ich bezpośrednią okolicą będzie niewielki, pozostawiający centra mini-kopuł zbyt suchymi.³² Osiadanie będzie postępować nawet po całkowitym zablokowaniu kanałów, aż do osiągnięcia nowej równowagi.⁵⁰



Rysunek 10.
Powstawanie mini-kopuł między rowami odwadniającymi na skutek osiadania i utlenienia torfu

Podobna sytuacja dotyczy frezowanych pól eksploatacji torfów, które zasadniczo mają pochyloną powierzchnię dla umożliwienia skutecznego odwadniania i muszą być spłaszczone, aby umożliwić równe rozprowadzanie wody na całej powierzchni.¹⁵⁷

Pomysły kształtowania rzeźby powierzchni torfów w silnie zniszczonych torfowiskach wysokich do wysokości ustanowionego wzniesienia wody gruntowej oparte są o złe zrozumienie dynamicznej hydrologii torfowiska (patrz sekcja 6.3.5).

W przypadku naprzemiennych obniżzeń i wzniesień w wyniku zmiennych głębokości eksploatacji torfów, poziom wody po ponownym nawodnieniu powinien zapewnić nawodnienie sekcji wzniesionych, oznaczając zalanie obniżzeń. Te zalane obszary mogą z czasem wypetnić się roślinnością torfotwórczą (szczególnie, kiedy poziom wody jest podnoszony powoli), odtwarzając torfowisko o jednolitej powierzchni.¹¹² Jednakże, często utrzymujące się otwarte lustro wody wymaga specjalnych działań wprowadzenia roślinności torfowiskowej (patrz Aneks V). Rzeźba terenu może być wyrównana tylko wówczas, kiedy brak jest istotnych i niezastępowalnych wartości, np. wartości paleoekologicznych i historycznych.

Kiedy torfowiska są tak poważnie zerodowane, że utworzyły się głębokie wąwozy lub ocalały tylko odizolowane kępy, nagi torf musi być ustabilizowany, a jego roślinność odnowiona. Szczegółowe wskazówki na temat kontroli erozji i przywracania roślinności na erodujących torfowiskach kołdrowych przedstawiono w^{148, 183} i w sekcji 6.4.3.

6.3. Interwencje hydrologiczne

Podczas planowania interwencji hydrologicznych, różnice wysokości wewnątrz torfowiska i lokalizacja struktur odwadniających mogą być zidentyfikowane dzięki wysokiej rozdzielczości numerycznemu modelowi terenu (NMT) opartemu o LiDAR lub alternatywnie dzięki zdjęciom lotniczym i satelitarnym.⁴² Weryfikacja terenowa może zidentyfikować odpływy, które nie są łatwo wykrywalne przez teledetekcję. W terenie kierunki przepływu rowów mogą być zbadane podczas okresów mokrych. Odprowadzanie wody gruntowej jest najlepiej obserwowane w okresach suchszych i może być widoczne dzięki obecności nalotów żelaza i wytrąceń żelaza, dzięki temperaturze wody silnie odbiegającej od temperatury powietrza, wskaźnikom chemicznym (np. pH, EC, Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl)¹⁴⁹ i wskaźnikowym gatunkom roślin.

Wiele torfowisk użytkowanych rolniczo i miejsc eksploatacji torfów zostało odwodnionych przez melioracje podpowierzchniowe. Aby zapewnić, że ponowne nawodnienie nie będzie zagrożone, funkcjonujące rury odpływowe należy odłączyć przez wykonanie wykopu przez system odpływu i usunięcie kilku metrów rur. W niektórych przypadkach melioracje podpowierzchniowe będą efektywnie blokowane przez retencję wody w (zablokowanych) odpływach głównych. Informacja o lokalizacji odpływów podpowierzchniowych może być oparta o stare mapy melioracyjne, o zmienioną roślinność lub pochodzić od zarządców terenu.^{30,206}

6.3.1. Blokowanie i napętnianie rowów i kanałów

Głównymi celami blokowania i napętniania rowów i kanałów są: (i) podniesienie zwierciadła wody, (ii) przywrócenie przepływu przypowierzchniowego i powierzchniowego, oraz (iii) zmniejszenie prędkości przepływu w celu uniknięcia erozji.¹⁶⁰

Jeżeli odpływy nie są zachowane, często mają tendencję do zatykania się skompresowanym torfem i roślinnością lub mogą być zamknięte w wyniku aktywności bobrów (tam, gdzie występują), lecz aktywne blokowanie przyspiesza i ulepsza proces odtwarzania.

- Istnieją dobre ogólne rekomendacje i praktyczne wytyczne w kwestii blokowania odpływów.^{7, 50, 62, 88, 114, 147}
- Należy mieć świadomość, że kanały mogą być używane przez lokalną ludność do żeglugi lub transportu. Tym samym, przed podjęciem działań należy osiągnąć z lokalną społecznością konsensus w kwestii blokowania rowów i kanałów.
- W przypadkach, gdzie użytkowanie przyległego terenu może ulec pogorszeniu, ponowne nawodnienie musi być wykonywane stopniowo i konieczne jest unikanie zalewania otaczającego terenu.

Lokalizowanie i rozmieszczenie przetamowań

Rekomendacje pod względem lokalizowania i rozmieszczania przetamowań^{7, 50, 112, 147, 183} są następujące:

- Najbardziej skutecznym podejściem do ustalania liczby i lokalizacji przetamowań jest przeanalizowanie topografii powierzchniowej z zastosowaniem LiDAR. Alternatywnie mogą być zastosowane tradycyjne techniki badań lub system GPS.¹¹²
- Różnica w poziomie wody w górze zlewni i w dole zlewni od przetamowania powinna być zasadniczo ograniczona do 20-30 cm, aby zmniejszyć ciśnienie i zwiększyć skuteczność nawadniania. W praktyce często wymagany jest kaskadowy system przetamowań. Przy zbyt dużych odległościach (różnicach wysokości) zwierciadło wody w przeważającej części torfowiska pozostanie na zbyt niskim poziomie.

Nowa metoda rozmieszczania blokowania kanałów przez połączenie modelu hydrologicznego z heurystycznymi algorytmami optymalizacji zastosowana została dla 931 km² odwodnionego torfowiska na Sumatrze w Indonezji. Algorytmy sprawdziły się często lepiej niż podejście losowe lub podejście oparte na regułach. Przy tylko 10 blokadach uzyskały tę samą ilość ponownie nawodnionego torfu, którą konfiguracje losowe osiągnęły z użyciem 60 bloków. W najlepszym przypadku algorytmy znalazły konfiguracje, które ponownie nawodniły siedem razy więcej torfu niż podejścia losowe i oparte na regułach przy tej samej liczbie blokad; w najgorszym razie, wciąż były trzy razy lepsze niż losowe.¹⁹¹



Material tamujący i wypełniający

- Tam, gdzie to możliwe, powinno się stosować materiały lokalne, aby ograniczyć do minimum koszty transportu. Oczywistym materiałem jest torf, biorąc pod uwagę jego lokalne pochodzenie, niską przepuszczalność, małą wagę (w porównaniu z piaskiem, żwirem i betonem), łatwą dostępność i minimalny koszt.
- Torf jest mniej odpowiedni i) w bardzo mokrych, grząskich obszarach, ii) w obszarach suchych, gdzie torf ulega łatwej fragmentacji i utlenianiu, iii) w stromych odpływach, gdzie torf łatwo eroduje, iv) w miejscach zbyt wrażliwych dla maszyn, oraz v) w bardzo rozbudowanych systemach melioracyjnych, gdzie wymagane duże objętości torfu mogą wpłynąć na wizualną stronę krajobrazu.
- Uwzględniając liczbę przetamowań, które mogą być czasem potrzebne, rekomenduje się oszczędne użycie drewna, by zapobiec wylesianiu. Tamy z zagęszczonego torfu są również znacznie tańsze niż tamy z drewnianych skrzyń.
- Wielkość odpływu warunkuje przyjęte techniki i materiały (patrz dostępne drzewa decyzyjne dla blokowania rowów.^{7, 57, 114}) Jednakże wciąż istnieje wielki potencjał dla eksperymentowania w celu zwiększenia skuteczności tamowania i zmniejszenia wymagań zaopatrzeniowych.
- Materiały inne niż torf, które stosowane są do konstrukcji przetamowań, obejmują plastikowe pale, falisty Perspex (poli(2-metylopropanian metylu)), sklejkę, kamienie i bele biomasy. Płyty plastikowe nadają się dobrze do mniej dostępnych miejsc ze względu na ich lekką wagę.^{30, 120} Struktury wykonane z betonu i stali są drogie, potrzebują więcej czasu na zbudowanie, są ciężkie i wykazują skłonność do zapadania się w miękkiej torf.³²
- Bele z wrzosu (lub inne roślinne wiązki) zmniejszają prędkości przepływu, przechwytyują osady i w końcu powodują wypełnianie rowów melioracyjnych.⁷
- Dla bardziej solidnych konstrukcji może być zastosowana skała. Jednakże trzeba być świadomym, że materiał skalny jest ciężki i może zapaść się w torf oraz że skały wapienne mogą zmienić właściwości chemiczne torfowiska. Ił jest skrajnie nieprzepuszczalny, alkaliczny i zawiera wiele minerałów, które mogą uszkodzić torfowce Sphagnum.¹¹⁴

Budowa przetamowań

Zasadnicze kwestie odnośnie do budowy przetamowań,^{30, 31, 32, 114, 157, 160, 169, 183, 206} są następujące:

- Wszystkie rowy powinny być blokowane; należy przy tym uwzględnić stare odpływy zatkane przez roślinność, które mogą wciąż zachować pewne funkcje odwadniania. Obszary nisko położone bezpośrednio przyległe do odpływów (np. ścieżka lub szlak) muszą być zablokowane, ponieważ mogłyby przekształcić się w odpływy.
- Przetamowania torfowe mogą być skonstruowane ręcznie, lecz nawet w niewielkich rowach tamy budowane maszynowo są szybsze w instalacji.
- W większości przypadków przetamowania torfowe będą wystarczające, jeżeli będą wybudowane prawidłowo, lecz mogą czasem wymagać nieprzepuszczalnego rdzenia z plastiku, blachy, drewna itd.
- Środki finansowe mają istotny wpływ na wybrany materiał lub materiały. Niewielka tama torfowa jest niedroga, jeżeli dostęp do siły roboczej jest łatwy. Tamy ze sklejki są tańsze niż pokryta plastikiem falista stal, a jedne i drugie wymagają podobnych zasobów siły roboczej. Duże przetamowania plastikowe są zasadniczo tańsze oraz szybsze i łatwiejsze w montażu niż przetamowania z litej deski. Duże tamy i przegrody z bel wrzosowych wymagają zastosowania maszyn i doświadczonego operatora.

Projektowanie i konserwacja przetamowań

Wyodrębnia się różne typy przetamowań w zależności od wielkości i funkcji systemu melioracyjnego (patrz^{7, 50, 63, 112, 114, 147, 183} oraz powiązana notatka informacyjna Ramsar na temat odtwarzania torfowisk nr 11.⁸⁸):

- Jeżeli dostępne są ograniczone środki finansowe, kuszące jest wybudowanie mniejszej liczby przetamowań z większymi różnicami wysokości piętrzenia. Jednakże im większa różnica wysokości piętrzenia, tym większe ciśnienie wody i tym wyżej przesączająca się woda przepływa przez lub naokoło tamy. Różnice wysokości piętrzenia większe niż pół metra okazują się trudne do utrzymania i mogą prowadzić do gwałtownej erozji i utraty struktury tamy.
- Żywotność przetamowań w tropikach jest zasadniczo mniejsza niż 10 lat, zbyt krótka, aby przyjęło się naturalne odrastanie lub sedymentacja w kanale przed tamą. Tym samym tamy muszą być wymieniane w sposób regularny. Aby wspomagać odrastanie roślinności, budowa przetamowań może wymagać połączenia z częściowym zasypaniem kanału przed tamą i sadzeniem tolerujących wodę gatunków drzew.
- Tamy wymagają regularnych inspekcji i organizacji konserwacji zdolnej do szybkiego reagowania na naprawę każdego niewielkiego uszkodzenia, zanim stanie się ono większe.

„Dwie spośród sześciu tam wybudowanych w Bloku C Ex-Mega Rice Project (EMRP) zawaliły się ze względu na słabość materiału drzewnego zastosowanego do zatrzymania silnego prądu wody i dużej ilości wody dostającej się do tamy. Podobnie, pewna liczba tam wybudowanych w Bloku A Północ-Zachód EMRP i w Parku Narodowym Sebangau w centralnym Kalimantanie uległa wygięciu, pochyleniu i uszkodzeniu z powodu silnego prądu, dużej głębokości wody i nadmiernego przesączania wody, czyniąc je nieużytecznymi do utrzymywania i podnoszenia zwierciadła wody powierzchniowej i gruntowej. Niektóre tamy wybudowane w EMRP zostały również zniszczone przez nielegalny wyrąb, rybołówstwo i zbieraczy produktów leśnych, ponieważ tamy postrzegano jako utrudniające dostęp do wnętrza lasu.”³²

Przelewy i obejścia

Przelewy i obejścia, szczególnie w tropikach, są przykładem napięć między potrzebą utrzymania wysokiego zwierciadła wody w torfowiskach, potrzebą odprowadzenia nadmiaru wody a pragnieniem utrzymania dostępności do obszaru. Niemal stałe nasycenie wodą, którego wymagają żywe torfowiska, prowadzi do nieuniknionych konsekwencji, polegających na tym, że podczas nadwyżek wody - np. w czasach ciężkich opadów - woda musi być odprowadzana skutecznie, lecz w rozproszeniu, aby zapobiec erozji. Z drugiej strony w odwodnionych torfowiskach zwierciadło wody musi być odtworzone do warunków naturalnych, co oznacza zaburzenie możliwości transportu, które rowy i kanały zapewniały dla lokalnych społeczności. Tym samym kluczowe jest zidentyfikowanie tego, gdzie woda *musi* opuścić obszar, a gdzie *nie powinna*,³⁴ w celu rozwiązania powstałych konfliktów.

- Zaangażowanie lokalnej społeczności w planowanie, projektowanie i budowę blokad jest istotne dla uzyskania ich wsparcia, lecz nie jest gwarancją, że przetamowania będą zabezpieczone przed interwencją człowieka. Dla przetamowań w kanałach, które są często stosowane do transportu towarów lub ludzi, można rozważyć niewielkie obejścia w kanałach. Deski do przeciągania łodzi ponad niższą sekcją tamy okazały się być niezbyt trwałe.

Zasypywanie

Zasypywanie (tj. całkowite wypełnianie rowów/kanałów) jest najbardziej skuteczną metodą odtwarzania poziomów wody torfowisk, szczególnie w torfowiskach o nachyleniu większym niż 2%, gdzie sama budowa przetamowań nie będzie wystarczająca do osiągnięcia całościowego ponownego nawodnienia.¹¹⁴ Zasypywanie wymaga znacznej ilości torfu lub innego materiału. Rekomendacje dla zasypywania (wypełniania)^{18, 19, 50, 62, 114, 120, 160, 172, 183} obejmują:

- Trociny jako alternatywę dla torfu. Trociny są organiczne, ubogie w substancje odżywcze, chłonne, łatwe w transporcie, tanie, lokalnie dostępne i nośne dla obciążań.
- Wypełnianie belami z rozdrobnionej biomasy jako dobrą opcję w obszarach dzikich lub obszarach pozbawionych wypełnienia torfem lub glebą mineralną, ze względu na łatwy transport. Do zmniejszenia przesączania niezbędne może być zastosowanie innych materiałów (np. bentonitu lub ilitu).
- Uszczelnienie rowów wykopanych w wysoce przepuszczalnej glebie mineralnej powinno być priorytetem.
- Akumulacja osadów zmniejsza dostęp do obszaru, co może być korzystne dla obszarów chronionych. Hodowla ryb jest jednak niemożliwa w tych warunkach.

Wąwozy

Erodujące torfowiska mogą cechować się rozległymi obszarami nagiego torfu, często w głęboko wciętych wąwozach. W najrozleglejszych zerodowanych obszarach stosuje się geowłókniny i ponowny siew, w niektórych przypadkach obejmujący szybko rosnące trawy połączone z nanoszeniem wapna i nawozów. Blokowanie wąwozów opisano w^{7, 9, 18, 183}.

- Blokowanie wąwozów ma na celu głównie zatrzymanie dalszej erozji, stabilizację torfu i umożliwienie postępującej depozycji osadów oraz przywracania roślinności na dnie wąwozu.



6.3.2. Nasypy i ekrany

Wydlużone skarpy lub bariery („nasypy”, „obwałowania” i „wały”)^{88, 183, 206} mogą być zastosowane do ograniczenia utraty wody lub retencji wody otwartej:

- Nasypy powierzchniowe w i ponad poziomami wody wzniesionego torfu na torfowisku, kiedy zbocza torfowiska stały się zbyt strome (po eksploatacji torfów, odwadnianiu i/lub osuwaniu).
- Nasypy peryferyjne zatrzymują boczną utratę wody przez odwadnianie powierzchniowe i przesączanie podpowierzchniowe na krawędzi odizolowanej pozostałości torfowiska (takiej jak przyległa do obszarów eksploatacji torfów lub rowów, które nie mogą być blokowane) i często muszą opierać się dużemu ciśnieniu wody. Należy zauważyć, że nasypy peryferyjne ustanawiają stałą krawędź torfowiska i utrudniają jego przyszłą ekspansję.
- Nasypy ochronne instalowane są, kiedy zdolność torfu do magazynowania wody jest zbyt niska (z powodu eksploatacji torfów, degradacji lub zagęszczenia) i blokowanie rowów nie jest już wystarczające do przywracania wysokich, stabilnych zwierciadeł wody.²⁰⁶ Nasypy są wówczas stosowane do podniesienia zwierciadła wody ponad powierzchnię jako magazyn do ograniczenia rocznych wahań zwierciadła wody.³⁰
- Groble z bel, składające się z bel wrzosowych lub słomianych albo kłody kokosowe stosowane są do zmniejszenia erozji i przepływów wody przez obszary nagiego torfu.²⁰

Rozważania na temat stosowania nasypów powierzchniowych i ochronnych przedstawiono w^{30, 88, 143, 157, 183, 188, 195, 206}.

Aby zapobiec wypływowi wody gruntowej poza obszar lub dopływowi bogatej w substancje odżywcze wody z otaczającego terenu, zastosować można ekran foliowy. Ekrany foliowe mogą być również używane do zapobiegania przepływowi wody gruntowej między przyległymi płatami o różnych poziomach wody. Kiedy spód leży w mniej przepuszczalnej części profilu torfu, takie ekrany mogą być wysoce skuteczne.¹⁹⁵ Jeżeli ekran całkowicie odcina położoną niżej warstwę wodonośną, rozwiązuje się jednocześnie problem utraty wody przez przesączanie (patrz sekcja 6.3.3), lecz jest to technicznie i finansowo korzystne tylko wówczas, kiedy zalegająca warstwa wodonośna jest płytka.

6.3.3. Zmniejszanie wycieków

Utrata wody przez pionowe przesączanie do położonej niżej warstwy wodonośnej może wystąpić w torfowiskach położonych ponad przepuszczalnymi podłożami (porowate podłoża skalne, piaski i gliny), kiedy:

- wysokość wznoszenia wody gruntowej została obniżona przez regionalne odwadnianie rolnicze, pobór wody gruntowej lub górnictwo odkrywkowe (gdzie przeprowadza się odwadnianie dla ułatwienia wydobycia);¹²⁰ oraz
- odporność na przesączanie ku dołowi w torfowisku została zmniejszona przez kanały i rowy oraz usunięcie warstwy torfu.^{165, 206}

Dzięki wykorzystaniu bardziej przepuszczalnych gleb piaszczystych położonych poniżej w profilu glebowym, rowy odwadniające w samym torfowisku mogą również obniżyć wysokość wznoszenia wody gruntowej i wpływać na zwierciadło wody na wiele szerszym obszarze niż rowy, które pozostają w mniej przepuszczalnym torfie.¹⁶⁹

Miejsca, gdzie koncentruje się przesączanie ku dołowi, mogą być zatkane przez nanoszenie torfu lub innego nieprzepuszczalnego materiału (itū, bentonitu).

Jeżeli przesączanie ku dołowi jest zjawiskiem rozproszonym w wyniku znacznie zredukowanej odporności hydraulicznej lub silnie obniżonych regionalnych hydraulicznych wysokości wznoszenia, podniesienie zwierciadła wody w resztkowym masywie torfowym będzie wymagać podniesienia poziomu wody w otaczającym terenie (wzrost torfu, grunty rolne itd.²⁰⁶, patrz sekcja 6.3.4).



6.3.4. Hydrologia poza obszarem i strefy buforowe

W wielu przypadkach poprawa lokalnej hydrologii przez blokowanie rowów w obrębie torfowiska jest niewystarczająca do przywrócenia warunków hydrologicznych i konieczne jest powzięcie dodatkowych środków poza nim.

Skuteczność stref buforowych w zmniejszeniu utraty wody z obszaru projektu zależy od wielkości tego obszaru, sytuacji geohydrologicznej, pionowej odporności resztkowego torfu (która zależy głównie od miąższości resztkowego torfu) oraz różnicy w hydraulicznej wysokości wznoszenia między obszarem projektu i obszarem otaczającym.¹⁹⁵ Rozległość, struktura i charakter zewnętrznej strefy buforowej mogą być najlepiej określone na drodze trójwymiarowego, niestacjonarnego modelowania hydrologicznego.¹⁹⁶

Jeżeli odprowadzanie wody gruntowej do torfowiska ma być odtworzone w skali regionalnej, poziomy wody gruntowej muszą być podniesione przez zmniejszenie odwadniania i poboru wody gruntowej w obszarze zlewni.¹⁰³ Przykłady przywracania szaty roślinnej po odtworzeniu odprowadzania artezyjskiej wody gruntowej przez przeniesienie poboru wody gruntowej podano w^{124, 197}.

6.3.5. Opadanie i usuwanie torfu

Zapewne najprostszym podejściem sugerowanym dla ponownego nawodnienia torfowisk jest strategia braku interwencji, tj. zezwolenia na osiadanie w celu dostosowania niezrównoważonego kształtu obiektu torfowego do poziomu wody w masywie torfowiska.

Jednakże założenie, że opadająca powierzchnia torfów w pewnym etapie znajdzie się w równowadze w strefie stałego nasycenia, jest wątpliwe w przypadku pozostałości torfowisk wysokich, gdzie nie występują już warunki akrotelmowe. Kiedy najwyżej położony torf opadł do poziomu sprzed degradacji, pozycja zwierciadła wody będzie obniżona poniżej nowej powierzchni torfu w reakcji na okresy suche: gdy powierzchnia torfów osiada, strefa stałego nasycenia będzie również opadać poniżej niej. Końcową konsekwencją scenariusza „naturalnego opadania” będzie utrata całego ombrotroficznego (zasilanego deszczowo) złoża torfu. Ponadto, możliwość usunięcia torfu do przewidywanego poziomu ustanowionego wzniesienia wody gruntowej w pozostałości torfu narażona jest na te same problemy.²⁰⁶

Dla torfowisk niskich w zamkniętych obniżeniach opadanie torfu może w istocie prowadzić do przywrócenia warunków mokradłowych. Jednakże tworzenie się torfu będzie utrudnione z powodu braku stale wysokiego poziomu wody (patrz sekcja 6.1).

6.3.6. Zewnętrzne źródło wody

Alternatywnym podejściem do problemów retencji wody jest nawadnianie mas torfowych wodą. Testowanie tego podejścia było ograniczone i powinno się go unikać ze względu na brak zrównoważenia. Jednakże rozważyć można sztucznie zwiększony doływ wody („pompowanie”):

- dla dostarczenia początkowego doływu wody w celu „rozruchu” systemu;
- dla utrzymania wilgotności obszarów jako środka tymczasowego, zanim można będzie podjąć pełne działania naprawcze; oraz
- dla zachowania artefaktów archeologicznych i wartości paleoekologicznych.²⁰⁶

Oczywiste jest, że jeżeli stosowane jest to podejście, powinna być użyta tylko woda odpowiedniej jakości. Wykorzystanie wody powierzchniowej z otaczającego obszaru rolniczego lub wody rzecznej może prowadzić do poważnych problemów z jej jakością, takich jak skażenie i wzbogacenie w substancje odżywcze,¹⁹⁸ które mogą być wykorzystane po uprzednim oczyszczeniu biologicznym lub chemicznym.



6.3.7. Odtwarzanie akrotelmu

Najistotniejszym mechanizmem samoregulacji hydrologicznej w torfowiskach wysokich (tj. zarówno torfowiskach wysokich torfowcowych półkuli północnej i Tierra del Fuego, jak też kopułowych tropikalnych torfowych lasach bagiennych południowo-wschodniej Azji, Kotliny Konga i zachodniej Amazonii), jest „akrotelm”, najwyższa warstwa torfu i roślinności o specjalnej strukturze. Akrotelm charakteryzuje się poziomą przepuszczalnością wody, która zmniejsza się gwałtownie wraz z głębokością. To silne zróżnicowanie wskazuje, że kiedy zwierciadło wody podnosi się, coraz więcej wody przepływa w warstwach o wyższej przepuszczalności. W efekcie nadmiar wody odpływa szybko, lecz w rozproszeniu, tj. nie powodując erozji. W przypadku obniżania zwierciadła wody, poziomy odpływ wody staje się coraz bardziej skoncentrowany w warstwach o niższej przepuszczalności. Jeżeli zwierciadło wody opadło znacząco, poziome odprowadzanie wody może nawet zatrzymać się całkowicie. Jednocześnie akrotelm ma wysoki współczynnik magazynowania, co oznacza, że utrata wody przez ewapotranspirację prowadzi tylko do względnie niewielkiego opadnięcia zwierciadła wody.

W torfowiskach ze *Sphagnum* strefy borealnej i umiarkowanej, akrotelm składa się z górnej warstwy luźnej biomasy mchu torfowego i nieznacznie rozłożonego torfu bezpośrednio poniżej. W kopułowych tropikalnych bagnach torfowych akrotelm utworzony jest przez drzewa rosnące na kopułach materiału korzeniowego i ściółki. Szczególnie duże kopuły (wysokości > 0,4 m) ustanowione są wokół drzew o korzeniach skarpowych i podporowych, których korzenie są dodatkowymi elementami ograniczającymi ruch wody przez ściółkę leśną. W ten sposób spływ jest opóźniany i woda jest przechowywana w zagłębieniach między kopułami i za korzeniami skarpowymi (figura 4).³³

Dla odtwarzania „torfowisk akrotelmowych” kluczowe jest ponowne rozwinięcie struktur roślinności i mikrorzeźby terenu. Dla torfowisk wysokich ze *Sphagnum* oznacza to, że roślinność musi być poddana odtworzeniu przy użyciu „właściwych” gatunków torfowców (tylko nieliczne gatunki torfowców są w stanie zbudować wydajny akrotelm, patrz Aneks V). Dla tropikalnych kopuł torfowych pokrywa leśna powinna być przywrócona z użyciem gatunków drzew, które tworzą prawidłowe pagórki i korzenie skarpowe lub podporowe³³, patrz sekcja 6.4.1.

6.4. Rośliny i szata roślinna

Rośliny są najbardziej istotnymi składnikami torfowiska, ponieważ dostarczają materiał organiczny, który tworzy „torf”. Są one ponadto głównym celem odtwarzania skoncentrowanego na odtwarzaniu bioróżnorodności. Po przywróceniu rodzimych „konstruktorów ekosystemu” (głównych regulatorów i twórców torfu), wraz z upływem czasu reszta bioróżnorodności może przyjść samoistnie w ślad za nimi. Tym samym zarządzanie procesem odtwarzania powinno po pierwsze koncentrować się na tych „konstruktorach ekosystemu”.

Przywrócenie roślinności tworzącej mokradła lub torf jest - po odtworzeniu hydrologii (ponownym nawodnieniu) - drugą najbardziej istotną zasadą odtwarzania torfowisk. Pokrywa roślinna zwiększa wilgotność w glebie i powietrzu oraz spowalnia rozkład torfu. Dla odmiany bez pokrywy roślinnej torf wysycha gwałtownie i staje się bardziej wrażliwy na pożary, szczególnie w okresach suchych.⁵⁰

Na torfowiskach przywracanie szaty roślinnej na odwodnionych nagich powierzchniach będących skutkiem eksploatacji torfów, upraw rolniczych, pożarów i innych typów erozji torfu, jest trudne, ponieważ nagi torf jest wysoce podatny na erozję mrozową, wietrzną i deszczową i często jest niestabilny. Ponadto temperatura powierzchni na wysuszonych torfowiskach może podnosić się bardzo wysoko latem (do ponad 70 °C w Europie Środkowej).³⁷ Pozostały odsłonięty torf nie ma istotnego zasobu banku nasion, a ponadto, w przypadku rozległych nagich powierzchni, obszary, które mogą dostarczać odpowiednich diaspor (nasiona, owoce lub zarodniki), mogą znajdować się w znacznej odległości.¹⁸³

Podejście do przywracania roślinności w takich obszarach zależy od typu torfowiska, stanu degradacji oraz szerszych planów względem obszaru. Jeżeli istnieją pozostałości pierwotnej roślinności, do umożliwienia naturalnej regeneracji wystarczające może być ponowne nawodnienie. Przywracanie roślinności na zboczach nagiego torfu może wymagać zastosowania wapnowania, nawozów i przedplonu (np. składającego się z traw gazonowych) do szybkiego ustabilizowania powierzchni torfów i do zapewnienia warunków dla przywrócenia rodzimych gatunków roślin torfowisk.¹⁶⁸

6.4.1. Ponowne zalesianie tropikalnych torfowych lasów bagiennych

Ponowne zalesianie tropikalnego torfowego lasu bagiennego jest nie tylko niezbędne do zapewnienia siedliska dla typowych gatunków i do przywrócenia roślinności torfotwórczej (produkującej torf swoimi drewnianymi korzeniami), lecz również często do odtworzenia hydrologii torfowiska. Szczegółowo w torfowiskach o kształcie kopuł zasilanych wodą deszczową, takich jak w południowo-wschodniej Azji, lecz również w Afryce i Ameryce Południowej, drzewa są niezbędne do spowolnienia przepływu wody ponad powierzchnią. Tworzy to zdolność do magazynowania ponadpowierzchniowej nadwyżki wody z sezonu mokrego, umożliwiając utrzymanie mokrej kopuły torfowej podczas sezonu suchego.³³

Tym samym odtwarzanie hydrologii i zatrzymanie degradacji torfowisk wymaga przywrócenia lasów. Lokalizacja, zagęszczenie i gatunki muszą być zgodne z lokalną intensywnością przepływu wody. W obszarach o dużym przepływie bardziej obiecujące są gatunki tolerujące zalanie lub pływające, które tworzą roślinność wysoce przepuszczającą wodę. Obszary o małym istotnym przepływie są miejscami preferowanymi do sadzenia drzew o korzeniach skarpowych i tworzących kopce w celu zwiększenia szorstkości powierzchni i magazynowania wody w obniżeniach (niewielkie zagłębienia, które przechowują wodę deszczową). O ile rozwój takich naturalnych struktur leśnych przez dekady, sztucznie skonstruowane kopce i grzbiety mogą załagodzić efekty zbyt stromego zbocza przez zmniejszenie prędkości spływu w obszarach o silnym osiadananiu. Podwyższenia ułatwiają również na ukorzenie się sadzonek drzew w obszarach o dużych wahaniami zwierciadła wody. Tym samym, aby ponowne nawodnienie i odtwarzanie były udane, zamykanie rowów melioracyjnych musi być połączone z przywróceniem warstwy drzew.³⁴

Chociaż od ponad 10 lat wiele projektów podejmowało się czynności związanych z sadzeniem drzew, w literaturze jest bardzo niewiele dostępnych informacji na temat tego, co dzieje się po sadzeniu. Wedle wiedzy autorów, duża liczba obsadzonych obszarów została utracona z powodu pożaru, zalania i suszy oraz zdominowana przez paprocie i turzyce. W konsekwencji brak jest jak dotąd danych przedstawiających możliwości rozwoju naturalnych metod odtwarzania lasów.⁵⁶

Barierzy regeneracji

Kiedy zaburzenie tropikalnych torfowych lasów bagiennych staje się tak skrajne, że większość drzew zanika, krajobraz staje się zdominowany przez paprocie, turzyce i krzewy. W tej sytuacji zmienione warunki hydrologiczne i pożary mogą być z dużym prawdopodobieństwem głównymi „barierami regeneracji” dla samoistnego odtwarzania lasów.¹⁴⁶ Inne bariery obejmują brak banku nasion i rozsiewaczy, niską dostępność substancji odżywczych w glebie, konkurencję między sadzonkami drzew i ziółoroślami, zwiększoną intensywność światła i zalewanie sezonowe.^{34, 51, 56, 145}

Istotne jest odniesienie się do tych podstawowych przyczyn i zdecydowanie, czy ponowne zalesianie będzie podjęte przez wspomaganą naturalną regenerację czy ponowne sadzenie albo ich kombinację. Preferowana jest naturalna regeneracja, lecz może ona być powolna i nierównomierna (w zależności od warunków na miejscu), natomiast ponowne sadzenie (sadzenie wzbogacające) może wygenerować szybsze wyniki, lecz jest droższe i w długiej perspektywie może być mniej trwałe.^{88, 147}

Użyte gatunki będą musiały radzić sobie z i) wystawieniem na bezpośrednie światło słoneczne, ii) odwodnieniem w miesiącach suchych, oraz iii) pewnym stopniem zalania w sezonie mokrym. Tym samym, wiele gatunków wykształconego torfowego lasu bagiennego nie będzie odpowiednich, a wybór gatunków dla inicjalnej fazy sadzenia powinien skupiać się na tych gatunkach, które mają dużą tolerancję ekologiczną, takich jak gatunki pionierskie.¹⁴⁷

Przywracanie roślinności wymaga sadzenia głównie szybko rosnących i odpornych gatunków pionierskich, które mogą tolerować zalewanie i narażenie na suszę, w połączeniu z gatunkami odporniejszymi, ekologicznie pożądanymi. Te ostatnie powinny obejmować gatunki drzew owocowych, które są atrakcyjne dla dzikiej przyrody.³² Giesen i van der Meer, 2009⁵¹ przedstawiają listy gatunków torfowego lasu bagiennego, które są przystosowane do różnych głębokości zalewania. W najpoważniej zdegradowanych obszarach, które są zalane przez dużą część roku, należy się koncentrować na gatunkach, które mogą unosić się na wodzie, powstrzymać jej przepływ i spowodować wypełnianie kanałów i płytkich zagłębień. Wibisono i Dohong, 2017²⁰⁷ przedstawiają listę gatunków odpowiednich (oraz metody ich rozprzestrzeniania) dla różnych poziomów degradacji w Indonezji. Pomimo dużej liczby gatunków drzew pasujących do tropikalnych torfowych lasów bagiennych,⁵⁵ większość projektów odtwarzania stosuje tylko niewielką liczbę gatunków. Wybór szerszego zakresu odpowiednich gatunków ma teraz wysoki priorytet.⁵⁶

Gdy gatunki pionierskie dobrze się zadomowią, można zasadzić gatunki zdolne do regulacji hydrologicznej i tworzenia torfów lub mogą się one zadomowić samoistnie dzięki naturalnemu rozsiewaniu nasion; inaczej ujmując, odtwarzanie musi być etapowe. Jednakże jak dotąd wciąż dostępne są ograniczone informacje co do tego, które gatunki powinno być wybrane dla konkretnych lokalizacji i warunków obszarów, oraz jak można poprawić ich ukorzenie i przyrost. Gatunki pożyteczne (tj. wytwarzające wartościowe produkty leśne) powinny być wykorzystywane, kiedy obszary odtwarzania położone są blisko wsi lub należą do konkretnej społeczności.^{56, 147} Szczegółowe wskazówki co do ponownego sadzenia przedstawiono w^{51, 122, 141, 147, 207}.



Obraz z Mahyudi et al. 2017.¹²²

6.4.2. Usuwanie lasów, drzew i krzewów

Niektóre torfowiska naturalnie podtrzymują warstwę drzew, taką jak torfowy las bagienny w tropikach, olsy w strefie umiarkowanej oraz bagna świerkowe i modrzewiowe w strefie borealnej. Jednakże, w wielu przypadkach, szczególnie w strefie borealnej i umiarkowanej, obecność drzew jest spowodowana bezpośrednim sadzeniem lub inwazją i ekspansją drzew po odwodnieniu pierwotnie pozbawionych drzew lub skąpo zadrzewionych torfowisk. W tych okolicznościach odtwarzanie torfowisk może obejmować usunięcie drzew.⁶ Usunięcie drzew na torfowisku dostarcza więcej światła do gruntowej warstwy roślinności i zmniejsza utratę wody wywołaną ewapotranspiracją i intercepcją.³⁰ Thom et al. (2019)¹⁸³ przedstawiają bardzo rozbudowane i szczegółowe wskazówki dla usuwania drzew i krzewów. Dalsze wskazówki przedstawiono w^{3, 5, 30, 169}.

- Aby kontrolować zarastanie, niezbędne jest ustalenie przyczyny stojącej za problemem. Jeżeli drzewa zadomowily się w reakcji na obniżone zwierciadło wody, powinno się podjąć próby przywrócenia odpowiedniej wilgotności w obszarze. Wszelkie działania usuwania drzew powinny być włączone w kompleksowy program zagospodarowania obszaru.

6.4.3. Odtwarzanie otwartej roślinności

Wiele naturalnych torfowisk na świecie nie ma lasów. W borealnej, umiarkowanej i subtropikalnej strefie klimatycznej tylko ograniczona liczba gatunków drzew może radzić sobie ze stałą wilgotnością i ciągłym przyrostem powierzchni torfów, co stanowi charakterystyczne cechy torfowiska. Niektóre torfowiska są zbyt mokre i zbyt niestabilne do podtrzymania warstwy drzew.

W tej sekcji omawiamy odtwarzanie otwartej roślinności torfowisk niskich, w tym począwszy od wzbogaconego w substancje odżywcze terenu rolniczego. Następnie opisujemy odtwarzanie roślinności zdominowanej przez torfowce Sphagnum.

Ponowne nawodnienie bogatych w substancje odżywcze gleb rolniczych

Około połowa zdegradowanych obszarów torfowiskowych na świecie to utworzone na torfowiskach tereny w użytkowaniu rolniczym.⁸⁹ Pod względem ich rozległości i wysiłków potrzebnych do ich rekultywacji, torfowiska te stanowią największe wyzwanie dla odtwarzania. Większość torfowisk jest niezmiernie bogata w substancje odżywcze w wyniku mineralizacji torfu, stosowania nawozów i gnojówki, oraz wprowadzania lotnych związków amoniaku i tlenków azotu z chowu bydła, ruchu drogowego i elektrowni.¹¹³ Ponowne nawodnienie może nawet zwiększyć problem substancji odżywczych, np. przez mobilizację dotychczas związanego fosforu i azotu („eutrofizacja wewnętrzna”).^{66, 113, 193} Po ponownym nawodnieniu wysoka dostępność substancji odżywczych sprzyja zadomowieniu się silnie konkurencyjnych, szybko rosnących helofitów (nadwodnych roślin mokradła), które pobierają substancje odżywcze, lecz ponownie gwałtownie je uwalniają po obumarciu. Bez dalszego zarządzania mało prawdopodobne jest, by takie torfowiska niskie wróciły do niskich poziomów substancji odżywczych za życia człowieka.²¹⁶

Wpływ doprowadzania substancji odżywczych z przyległego intensywnego rolnictwa często musi być wyeliminowany. W Everglades na Florydzie nadmierne dopływy fosforu z północnych obszarów rolniczych ograniczają ekologiczne odtwarzanie mokradła. Obniżenie dopływu fosforu w wodach powierzchniowych torfowisk niskich może wymagać dodatkowego oczyszczania poprzez usuwanie fosforanów z zastosowaniem soli żelaza lub glinu stosowanych w doprowadzalniku wody lub in situ lub przez mokradła sztuczne.¹¹³

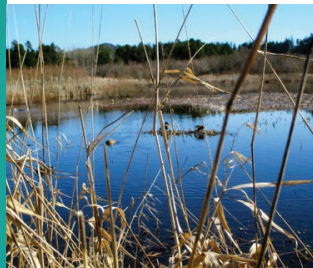
Istnieją trzy opcje dla ponownego nawodnienia i odtwarzania tych obszarów:

- usunięcie nadmiernie bogatej w substancje odżywcze warstwy wierzchniej przed ponownym nawodnieniem (usuwanie poziomu próchnicznego);
- usunięcie substancji odżywczych przez długotrwałą fitoekstrakcję (por. paludikultura); lub
- zaakceptowanie warunków nadmiernie bogatych w substancje odżywcze o niskiej bioróżnorodności na dekady lub dłużej.

Usuwanie poziomu próchnicznego

Usuwanie poziomu próchnicznego jest radykalną metodą zmniejszenia dostępności substancji odżywczych i pestycydów rolniczych. Usunięcie warstwy zdegradowanego torfowego poziomu próchnicznego może odsłonić bardziej porowate podłoże, pomóc osiągnąć wilgotniejsze warunki i wzmocnić wpływ wody gruntowej w górnej warstwie gleby. Dodatkowo, eliminuje ono istniejącą roślinność, tym samym zapobiegając gwałtownemu przywróceniu konkurencyjnych, szybko rosnących gatunków w obszarach bogatych w substancje odżywcze.^{66, 103, 113, 150}

Wyniki usuwania poziomu próchnicznego często zależą od głębokości, do której jest on usunięty, przy czym usuwanie głębokie (>20 cm) daje lepsze wyniki niż usuwanie płytkie. Dla roślin zależnych od wód gruntowych jest ono skuteczne tylko wtedy, jeżeli przesączanie wody gruntowej do strefy korzeniowej jest dostatecznie efektywne.¹⁹⁷ Usuwanie poziomu próchnicznego jest zwykle stosowane tylko na niewielką skalę z uwagi na wysokie koszty.



Sadzenie i przeszczepianie

Jeżeli pożądane gatunki nie zadomowiły się samoistnie po odtworzeniu warunków hydrologicznych (patrz sekcja 6.3), można rozważyć ich reintrodukcję (patrz Aneks V). Taylor et al.^{179, 180, 181} przedstawiają przegląd działań (oraz ich efektów), które uzupełniają sadzenie, takich jak dodanie wapna, nawozów sztucznych, nawozów organicznych lub ściółki organicznej.

Odtwarzanie gospodarowania tradycyjnego

W wielu otwartych torfowiskach niskich w Europie i Azji wschodniej tradycyjnie praktykowano koszenie i wypas dla pozyskania paszy i ściółki oraz często odwadniano je w pewnym stopniu, co powodowało kompresję wierzchniej warstwy torfu. Dopóki utrzymywały się produkcja siana i wypas, zapobiegano tworzeniu się soczewek wody deszczowej, natomiast regularne usuwanie biomasy tłumilo konkurencję i hamowało wzrost drzew i krzewów.¹⁶⁴ Po zaniechaniu użytkowania torfowiska niskie doświadczają ciężkich strat ich typowej różnorodności gatunkowej, zmniejszenia pokrycia mszakami, dominacji niektórych gatunków roślin trawiastych oraz wkraczania drzew i krzewów.¹¹¹

Dawna roślinność może być poddana odtworzeniu przez intensywne koszenie^{64, 130}, które może jednakże prowadzić również do utraty rzadkich gatunków torfowisk niskich przez zniszczenie mikrotopografii¹⁰⁹ i zwiększone zakwaszenie.¹⁹² Tym samym odtwarzanie powinno dążyć do przywrócenia naturalnych warunków hydrologicznych, w których torfowiska niskie ponownie stają się samowystarczalne oraz ograniczać „koszenie naprawcze” do niezbędnego minimum.¹¹¹

Taylor et al.^{179, 180, 181} (www.conservationevidence.com) przedstawiają szczegółowe informacje o efektach (co działa, a co nie działa)¹²⁵ różnych działań („interwencji”) dla zarządzania i odtwarzania bioróżnorodności torfowisk (flora i roślinność) na świecie (koncentrując się na Europie i Ameryce Północnej), jednakże nie omawiają związków przyczynowo-skutkowych.

Torfowce Sphagnum

Mchy torfowcowe Sphagnum są prawdopodobnie najważniejszymi torfotwórczymi roślinami na świecie.²¹ Jednakże Sphagnum sprawia poważne trudności w przywracaniu samoistnym, w naturalnych,¹⁵ odwodnionych¹⁵⁵ i ponownie nawodnionych torfowiskach¹⁸⁸ (Aneks V). Thom et al.¹⁸³ przedstawiają szczegółowe informacje o różnych metodach zaszczepiania gatunków torfowców. Nie licząc „Techniki przenoszenia warstw mchu” (Aneks V), podejścia te są wciąż na wczesnych etapach rozwoju, chociaż początkowe próby są obiecujące.

Kolonizacja otwartej tafli wody

Torfowiska o charakterze lekko bogatym w substancje odżywcze mogą łatwo odzyskać szatę roślinną i zacząć akumulować torf po głębokim zalaniu.¹³⁴ Dla odmiany rekolonizacja głębokiej otwartej tafli wody o niskiej produktywności, ubogiej w substancje odżywcze, bogatej w kwasy i humus, jest utrudniona przez działania fal oraz przez brak światła i gazów węglowych dla zanurzonych mchów, kiedy woda jest głębsza niż 30 cm.¹⁹⁵ Rozwiązaniem tego problemu są i) stopniowe podnoszenie poziomów wody do umożliwienia wzrostu roślinności kępowej przy podnoszącym się poziomie wody, ii) zapewnienie warunków dla kolonizacji roślinnej przez wprowadzenie ściółki lub lekko zawilgoconego torfu, oraz iii) minimalizowanie działania fal przez ustanowienie przegród.^{84, 186, 187, 206}

6.4.4. Paludikultura

Głównym celem paludikultury jest produkcja biomasy. Paludikultura powinna być stosowana jako możliwość odtwarzania tam, gdzie torfowiska stanowią znaczną i niezbędną część terenu produkcyjnego.

Chociaż paludikultura może czerpać z wielu tradycyjnych metod i doświadczeń, wymagana skala i intensywność produkcji powodują, że jej skuteczność jest wciąż w dużej mierze nieznaną. Obszerne informacje praktyczne na temat paludikultury dostępne są w^{48, 49, 50, 177, 210}, w różnych wydaniach specjalnych czasopisma Mires and Peat,²⁶ oraz w Bazie danych potencjalnych roślin dla paludikultury (DPPP).²⁷

26 <http://www.mires-and-peat.net/>

Możliwości wdrażania paludikultury w południowo-wschodniej Azji

Nizinne torfowe lasy bagiennie południowo-wschodniej Azji zawierają 1376 gatunków roślin wyższych, spośród których 534 gatunków (39%) ma znane zastosowanie, 222 gatunki produkują drewno, 221 gatunków ma zastosowanie medyczne, 165 gatunków stosowanych jest jako źródło żywności (np. owoce, orzechy i oleje), a 165 gatunkom przypisano „inne” zastosowania (np. lateks, paliwo i barwniki). Liczne gatunki mają wiele zastosowań, a 81 gatunków produktów leśnych innych niż drzewa ma „istotne zastosowanie gospodarcze”.⁴⁹ Szczegółowe informacje na temat możliwości upraw i ekonomicznego potencjału paludikultury przedstawiono w^{50,147}. Ponieważ społeczności wiejskie są zasadniczo społecznościami rolniczymi, a paludikultura oferuje zrównoważony sposób kontynuacji rolnictwa (choć przy zmodyfikowanych technikach i alternatywnych uprawach), paludikultura ma prawdopodobnie największy potencjał przyczynienia się do zachowania i rewitalizacji lokalnych źródeł utrzymania podczas ponownego nawodnienia torfowisk.^{34,50}

6.5. Zwierzęta

Chociaż różne badania monitorowały wpływy odtwarzania torfowisk na faunę,^{17, 29, 72, 139, 205} tylko nieliczne działania odtwarzające koncentrowały się na poprawie siedlisk zwierząt. Te ostatnie obejmują gospodarowanie torfowiskami niskimi dla bezkręgowców,¹²⁴ wpływ wycięcia lasów na ptaki rozmnażające się na otwartym terenie we Flow Country w Szkocji,²¹² oraz propozycję ponownego zalesiania torfowisk lasów bagiennych gatunkami drzew, których owoce i orzechy są preferowane przez dziką przyrodę.⁵⁰

W porównaniu z roślinami, powrót gatunków zwierząt do odtworzonych obszarów będzie silniej zależał od powstałej niejednorodności warunków środowiskowych, ponieważ różne gatunki zwierząt mają różne potrzeby, a wiele gatunków potrzebuje kombinacji różnych warunków (por. gradienty). Zdolność gatunków do rozpraszania się oraz bliskość populacji źródłowych (w pozostających, nieuszkodzonych torfowiskach) odgrywają istotne role w rekolonizacji.^{29, 28}

Przy światowej populacji wynoszącej 11 tys. śpiewających samców, **wodniczka (*Acrocephalus paludicola*)** jest najrzadszym lądowym ptakiem śpiewającym w Europie.

Jej populacja zmniejsza się z uwagi na degradację torfowisk niskich. Od 2014 r. wodniczka rozmnaża się tylko w czterech państwach: Białorusi, Ukrainie, Polsce i Litwie. Wysoce rozdrobnione populacje mają zmniejszoną różnorodność genetyczną, co zwiększa ryzyko wyginięcia.

W 2011 r. gatunek ten wyginął na Węgrzech, a w 2014 r. w Niemczech. Tanneberger i Kubacka¹⁷⁴ przedstawiają szczegółowy przegląd strategii gospodarowania i odtwarzania dla gatunku.

Jednocześnie, udany proces przenoszenia zapoczątkował wzmocnienie populacji litewskiej.²⁷ (Obrazek opracowany w ramach projektu „Zabezpieczenie zrównoważonego rolnictwa dla zapewnienia konserwacji globalnie zagrożonych gatunków ptaków w krajobrazie rolniczym”.)



6.6. Mikrobiota

Dużo brakuje do pełnego zrozumienia odpowiedzi środowiska mikrobiologicznego na zaburzenia i odtwarzanie torfowisk.¹⁵⁹ Po zaburzeniach spowodowanych w torfowiskach wysokich okazało się, że pewne związki zostały zastąpione przez bardziej rozpowszechnione gatunki.² Po ponownym nawodnieniu nastąpił przyrost gatunków niemikoryzowych i spadek niezbędnych gatunków mikoryzowych, a udział gatunków niemikoryzowych typowych dla bagien naturalnych nie został osiągnięty.¹⁰⁴

Pomimo znacznego odtworzenia siedliska, związki mikrobialne w obszarach ponownie nawodnionych były podobne do tych z obszarów nieodwodnionych tylko wówczas, kiedy udział glebowej materii organicznej przekraczał 70%, tj. kiedy gleba torfowa nie była bardzo zdegradowana.³⁹

Zaszczepienie mikoryzy może być istotne dla rekultywacji zdegradowanych tropikalnych torfowych lasów bagiennych.¹⁸⁹ Tym samym dziczki (tj. siewki o dzikim pochodzeniu) powinny być zbierane wraz z torfem otaczającym bryłę korzeniową, natomiast siewki hodowane mogą być zaszczipiane na etapie szkółki.³²

6.7. Monitoring i zarządzanie adaptacyjne

Podczas wdrażania zdobyta będzie wiedza w kwestii tego, co działa, a co nie, i wiedza ta powinna być włączona w późniejszą pracę i przyszłe planowanie. Tym samym planowanie i projektowanie powinno integrować monitoring, ocenę i adaptacyjne zarządzanie w ciągłym procesie „nauki przez działanie”.¹⁴⁷ Rozważania na temat monitoringu znaleźć można w Aneksie VI.

27 <https://greifswaldmoor.de/dppp-109.html>

28 https://meldine.lt/wp-content/uploads/sites/2/2018/07/Meldine_factsheet_A4_ENG_preview_compressed.pdf

7. Ewaluacja

Baczna, regularna i systematyczna obserwacja i dokumentacja zmian w obszarze objętym projektem stanowią istotne kroki prowadzące do oceny:

- czy cele odtwarzania zostały spełnione oraz które pozostały do spełnienia;
- czy pieniądze zostały wydane efektywnie i skutecznie; oraz
- co może lub mogłoby być poprawione (wiedza pozyskana dla obecnych i przyszłych projektów).

Ostatecznym testem pomyślnego odtworzenia torfowisk jest oczywiście fakt, czy pożądane cele zostały osiągnięte.²⁰⁶ Oznacza to, że cele te powinny być formułowane tak konkretnie, jak to możliwe (patrz rozdział 4). Samo ogłoszenie obszaru jako „odtworzonego” uniemożliwia jakąkolwiek znaczącą ocenę. To, co powinno być monitorowane oraz jak powinno być monitorowane, określono w Aneksie VII.



8. Perspektywy

8.1. Częste pułapki przy ponownym nawodnieniu i odtwarzaniu

- Wbrew wielu twierdzeniom, odtwarzanie torfowisk nie może przywrócić wszystkich wartości, które zostały utracone przez ich degradację ani zapewnić równoważnych alternatyw:
 - O ile odtwarzanie może gwałtownie przywrócić zdolność sekwestracji dwutlenku węgla w torfowisku, nawet w stopniu, w którym może (tymczasowo) przewyższyć torfowiska dziewicze,^{137, 140} w dającej się przewidzieć przyszłości (wieki lub tysiąclecia) nie może przywrócić zasobów węgla utraconych przez degradację przed odtwarzaniem siedliska.
 - Utrata pokładów torfu wywołana przez degradację w większości nie może być odwrócona. W torfowiskach niskich utrata warstwy torfu oznacza dużą utratę wody nie tylko w samej wypełnionej torfem niecce, lecz również wody gruntowej w powiązanej zlewni, zmniejszając całościową zdolność magazynowania wody w krajobrazie.¹³⁷
 - Dalszą istotną i nieodwracalną stratą jest utracone archiwum paleoekologiczne i paleośrodowiskowe. O ile część tego archiwum jest z pewnością zbyteczna, każda utrata torfu oznacza utratę potencjalnej informacji.⁵⁸
 - Wiele torfowisk rozwinęło wyjątkowe układy powierzchniowe w różnych skalach, które są wyrazem setek lub tysięcy lat złożonej samoorganizacji i samoregulacji.²³ Takie spójne układy nie mogą być zastąpione mechaniczną przebudową torfu lub odtworzeniem pokrywy roślinnej.
- Podkreśla to pierwszeństwo ochrony torfowisk przed odtworzeniem torfowisk.
- Wiele programów dotyczących ponownego nawodnienia i odtwarzania torfowisk w rzeczywistości dotyczy tylko częściowego ponownego nawodnienia. Często wciąż nie dostrzega się, że wszystko, co nie stanowi udanego i kompleksowego ponownego nawodnienia i przywrócenia torfotwórczej szaty roślinnej oznaczać będzie, że osiadanie torfów i zwiększone emisje węgla będą kontynuowane.
- Z poprzednim punktem powiązany jest częsty brak zrozumienia, że odwodnione torfowiska nie mogą utrzymać się z upływem czasu: albo ulegną niekontrolowanemu zalaniu (w tym przez morze w przypadku torfowisk nabrzeżnych) w konsekwencji trwającego osiadania, albo ich torf utleni się całkowicie, pozostawiając grunt mineralny podatny na kwaśne siarczany lub wyjałowiony.
- „Paludikultura” jest często nieprawidłowo wiązana z uprawami, które potrzebują odwadniania i nie radzą sobie dobrze na w pełni nawodnionym torfie. Paludikultura nie jest zdefiniowana przez wybór konkretnych upraw, lecz przez warunki uprawy i gospodarowania (stałe mokre i bez uszkodzania gleby torfowej).
- Niewystarczające rozpoznanie hydrologicznej spójności torfowisk może prowadzić do stosowania nieprawidłowych koncepcji hydrologicznego planowania i zarządzania. Nie jest możliwe połączenie zrównoważenia ochrony lub odtwarzania z opartym o odwadnianie rolnictwem na tym samym torfowisku.
- Koszty przywracania szaty roślinnej są często niedoszacowane. Przywracanie roślinności jest często o wiele droższe niż ponowne nawodnienie, a tym samym powinno się je podejmować tylko, jeżeli obszar jest pozbawiony roślinności, jeżeli mają być wprowadzeni „konstruktorzy ekosystemu” i jeżeli ponowne nawodnienie już zaszło lub zachodzi równocześnie.
- O ile „torfowisko musi być mokre” ma zastosowanie jako ogólna zasada, ponowne nawodnienie nie jest „zawsze i wszędzie dobre dla wszystkiego” (por. Aneks III).

8.2. Świadomość i budowanie umiejętności

Cele porozumienia paryskiego z 2015 r. w ramach Ramowej konwencji ONZ w sprawie zmian klimatu oraz Agendy na rzecz Zrównoważonego Rozwoju 2030 raczej nie będą spełnione, jeżeli degradacja torfowisk nie będzie zatrzymana i nie rozpocznie się odtwarzanie torfowisk w globalnej skali obejmującej 50 milionów hektarów (patrz rozdział 1). Aby osiągnąć ponowne nawodnienie i odtwarzanie torfowisk na wymaganą skalę, nieodzowne jest zwiększenie świadomości i stworzenie o wiele większych zdolności technicznych i instytucjonalnych.



Programy edukacyjne i zwiększania świadomości²⁹ są istotne nie tylko dla szkolenia młodszych pokoleń, lecz również w celach informacyjnych i zmiany postaw wśród lokalnych społeczności, zarządców terenów i polityków. Działania takie mogą być zainicjowane przez instytuty edukacyjne i badawcze, organizacje lub sieci społeczeństwa obywatelskiego, w tym w szczególności specjalizujące się w torfowiskach.¹⁴⁷ Specjalną rolą odgrywać mogą mokradła o znaczeniu międzynarodowym wpisane na listę Konwencji Ramsarskiej, przy ustanawianiu których uwzględniono funkcję regulacji klimatu jako dodatkowego argumentu do ich wyznaczenia. Obszary te mogą naświetlić znaczenie torfowisk w zapewnianiu lokalnie i międzynarodowo istotnych usług ekosystemowych i działać jako praktyczne przykłady mądrego użytkowania i zarządzania.¹⁰

Tylko skuteczna współpraca i wymiana wiedzy między naukowcami, zarządcami, przedsiębiorcami, praktykami i decydentami będzie w stanie rozwinąć wystarczające możliwości odtwarzania i ochrony torfowisk.¹¹⁸ Większość obecnych strategii nauczania i szkolenia nie zapewnia wymaganego zakresu interdyscyplinarnej wiedzy. Szkolenie, podstawy conceptualne i inspiracje będą nabywane nie tylko w salach szkolnych i na warsztatach, lecz również przez udział w działalności odtwarzającej w terenie.^{8, 77}

8.3. Ograniczenia i przyszły rozwój badań

Istotne ograniczenia i luki w wiedzy dotyczące odtwarzania torfowisk obejmują:

- Konstruktorów ekosystemowych: Dla różnych typów torfowisk na świecie brak jest wystarczającej wiedzy o wyborze strategicznych gatunków do uruchomienia regeneracji torfowiska.
- Hydrologiczną samoregulację, szczególnie tropikalnych torfowych lasów bagiennych: zrozumienie udziału gatunków lub typów fenologicznych (np. z korzeniami podporowymi, skarpowymi, korzeniami powierzchniowymi itd.) i struktury ściółki leśnej w retencji i regulacji wody oraz jak funkcje te mogą być odtworzone.
- Gatunki torfotwórcze: O ile tworzenie się torfu jest zasadniczo przypisywane wybranym grupom gatunków, których makroszczałki są zakonserwowane w torfie, ostatnie badania wskazują, że węgiel drzewny¹¹⁵ i mikroszczałki, w tym naziemnego materiału roślinnego, z którego nie zachowały się makroszczałki,¹²⁹ mogą również mieć zasadniczy udział w macierzy torfu i w sekwestracji dwutlenku węgla. Wiąże się to z kwestią składu chemicznego tych gatunków (lignin, polifenoli itd.) i odporności tych komponentów na rozkład, co może odgrywać różnorodne role w akumulacji torfu.
- Przywracanie funkcji ekosystemowych: Które funkcje i usługi ekosystemowe są przywracane, w jakim stopniu i w jakim czasie?
- Wpływ zmian klimatu na perspektywy odtwarzania: Wpływ wyższych temperatur, wahań sezonowych i ekstremów pogodowych oraz zwiększone występowanie pożarów torfowisk i powiązane z nimi zamglenia.
- Brak spójnych koncepcji i protokołów monitoringu: W celu solidnej oceny efektywności kosztowej projektów renaturyzacji konieczny jest spójny protokół rejestrujący zmiany w dostarczaniu usług ekosystemowych.

29 Patrz również <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/hbk4-06.pdf>

9. Wnioski

- Konwencja o obszarach wodno-błotnych oraz inne ramy polityk promują odtwarzanie zdegradowanych torfowisk. Cel ponownego nawodnienia 50 milionów hektarów odwodnionych torfowisk dla wypełnienia porozumienia paryskiego będzie wymagać znacznego zwiększenia skali praktyki odtwarzania.
- Odtwarzanie torfowisk musi uwzględnić czynniki ekologiczne, społeczne, ekonomiczne i polityczne. Udział społeczeństwa jest kluczowy, w szczególności jeżeli przewidywane są zasadnicze obawy społeczności lokalnych. Bez odniesienia się do wszystkich „barier” społecznych i ekonomicznych, odtworzenie będzie krótkotrwałe i powierzchowne.
- Cele restytucji mogą obejmować nie tylko pełne odtworzenie dawnego ekosystemu, lecz mogą również dążyć do odtworzenia wybranych usług ekosystemowych. Ponieważ różne cele mogą pozostawać w konflikcie, cele muszą być sformułowane konkretnie i w kolejności priorytetów.
- Ogólnie ponowne nawodnienie odwodnionych torfowisk jest bardzo pozytywne dla ochrony klimatu. Odtwarzanie torfowisk dla ochrony przyrody powinno ograniczać intensywność i częstotliwość interwencji. Zwiększający się popyt na biomasę oznacza, że użytkowanie terenu oparte o odwadnianie może wymagać zastąpienia „paludikulturą”.
- Zbyt niski poziom wody stanowi główną przyczynę degradacji torfowisk. Założenie, że pomimo braku działań ochronnych przyrost torfów ostatecznie przywróci się samoistnie, jest wątpliwe. W większości przypadków do podniesienia zwierciadła wody ponownie do poziomu lub powyżej powierzchni torfu wymagana jest aktywna interwencja.
- Skuteczne blokowanie urządzeń odwadniających wiąże się ze strategicznym planowaniem, regularnymi inspekcjami, terminową konserwacją i wspomaganiem samoistnego zarastania. Wciąż istnieje wielki potencjał do zwiększania skuteczności tamowania i zmniejszania wymagań zasobowych.
- Kiedy zablokowanie urządzeń odwadniających nie gwarantuje wysokich i stabilnych zwierciadeł wody, zwierciadło wody musi być podniesione ponad powierzchnię. Przesączenie ku dółowi może być zredukowane przez zablokowanie przepływu. Jeżeli nadmierne przesączenie ku dółowi jest rozproszone, poziom wody otaczającego terenu musi być podniesiony.
- Przywrócenie roślinności może nie tylko chronić obiekt torfowiskowy, przyczynić się do odnowionej akumulacji torfu i pozyskać istotną bioróżnorodność, lecz może również być niezbędne dla odtwarzania systemu hydrologicznego.
- Najistotniejszym mechanizmem samoregulacji hydrologicznej w torfowiskach wysokich jest oparty o roślinność „akrotelmu”. W torfowiskach wysokich z torfowcami *Sphagnum* muszą być przywrócone „właściwe” gatunki torfowców, które mogą wymagać ich zaszczepienia. Dla tropikalnych kopuł torfowych powinno się przywrócić pokrywę leśną z drzewami, które tworzą wydajne pagórki (np. tworzone przez korzenie skarpowe i podporowe). Jednakże jak na razie brak jest wystarczającej wiedzy co do tego, które gatunki mają być wybrane, oraz jak poprawić ich ukorzenie i przyrost.
- Połowa zdegradowanych torfowisk na świecie jest użytkowana rolniczo, a większość jest nadmiernie bogata w substancje odżywcze. Dla tych terenów istnieją trzy opcje: i) usuwanie poziomu próchnicznego, ii) usuwanie substancji odżywczych przez fitoekstrakcję, lub iii) zaakceptowanie (nadmierne) bogatych w substancje odżywcze torfowisk niskich o niskiej bioróżnorodności na dekady lub dłużej.
- Jeśli pożądane gatunki nie zadomawiają się samoistnie, można rozważyć ich reintrodukcję, np. przez bezpośrednie sadzenie, przenoszenie traw, przeszczepianie darni itd.
- Doświadczenia zebrane podczas odtwarzania powinny być systematycznie oceniane, a przyswojona wiedza uwzględniona w późniejszej pracy i przyszłym planowaniu.
- Istotnymi lukami w wiedzy jest rola „konstruktorów ekosystemu” i gatunków torfotwórczych, znaczenie samoregulacji i regeneracji hydrologicznej, powrót funkcji i usług ekosystemowych, wpływ zmian klimatu na perspektywy odtwarzania oraz brak wspólnych koncepcji i protokołów monitoringu.
- Aby osiągnąć ponowne nawodnienie i odtworzenie torfowisk na wymaganą skalę, nieodzowne jest zwiększenie świadomości i stworzenie o wiele większych zdolności technicznych i instytucjonalnych.

Bibliografia

1. Ahmad, S., Liu, H., Günther, A., Couwenberg, J. & Lennartz, B. 2020. Long-term rewetting of degraded peatlands restores hydrological buffer function. *Science of The Total Environment*, 141571. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720351007>
2. Andersen, R., Chapman, S.J. & Artz, R.R.E. 2013. Microbial communities in natural and disturbed peatlands: A review. *Soil Biology & Biochemistry* 57: 979e994. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003807171200380X>
3. Andersen, R., Farrell, C., Graf, M., Muller, F., Calvar, E., Frankard, P., Caporn, S. & Anderson, P. 2017. An overview of the progress and challenges of peatland restoration in Western Europe. *Restoration Ecology* 25: 271-282. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.12415>
4. Anderson, J.A.R. 1983. The tropical peat swamps of western Malaysia. In: Gore, A.J.P. (ed.) *Mires: Swamps, Bogs, Fen and Moor. Ecosystems of the World 4B*, Elsevier, Amsterdam, 181-199.
5. Anderson, R. 2010. Restoring afforested peat bogs: results of current research. Forestry Commission. <https://www.forestryresearch.gov.uk/documents/987/FCRN006.pdf>
6. Anderson, R., Vasander, H., Geddes, N., Laine, A., Tolvanen, A., O'Sullivan, A. & Aapala, K. 2016. Afforested and forestry-drained peatland restoration. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 213-233. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/afforested-and-forestrydrained-peatland-restoration/269C8D3ABF0640660A940016E7ED76EA>
7. Armstrong, A., Holden, J., Kay, P., Foulger, M., Gledhill, S., McDonald, A. T. & Walker, A. 2009. Drain-blocking techniques on blanket peat: A framework for best practice. *Journal of Environmental Management* 90: 3512-3519. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479709002035>
8. Aronson, J., Goodwin, N., Orlando, L., Eisenberg, C. & Cross, A. T. 2020. A world of possibilities: six restoration strategies to support the United Nation's Decade on Ecosystem Restoration. *Restoration Ecology* 28: 730-736. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.13170>
9. Artz, R. R.E. Faccioli, M., Roberts, M. & Anderson, R. 2018. Peatland restoration - a comparative analysis of the costs and merits of different restoration methods. The James Hutton Institute on behalf of ClimateXChange, pp. 44. <https://www.climateexchange.org.uk/media/3141/peatland-restoration-methods-a-comparative-analysis.pdf>
10. Barthelmes, A., Couwenberg, J., Risager, M., Tegetmeyer, C. & Joosten, H. 2015. Peatlands and climate in a Ramsar context - A Nordic-Baltic perspective. *TemaNord 2015:544*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, pp. 244. https://www.nordic-ilibrary.org/peatlands-and-climate-in-a-ramsar-context_5jm596gb65q1.pdf
11. Bess, J. A., Chimner, R. A. & Kangas, L. C. 2014. Ditch restoration in a large Northern Michigan fen: Vegetation response and basic porewater chemistry. *Ecological Restoration* 32:260-274. http://er.uwpress.org/content/32/3/260_abstract
12. Bonn, A., Reed, M.S., Evans, C.D., Joosten, H., Bain, C., Farmer, J., Emmer, I., Couwenberg, J., Moxey, A., Artz, R., Tanneberger, F., von Unger, M., Smyth, M.-A. & Birnie, D. 2014. Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration. *Ecosystem Services* 9: 54-65. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041614000692>
13. Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.) 2016. *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 493.
14. Bowles, S. 2008. Policies designed for self-interested citizens may undermine 'the moral sentiments': evidence from economic experiments. *Science* 320: 1605-1609. <https://science.sciencemag.org/content/320/5883/1605/tab-article-info>
15. Campbell, D. & Corson, A. 2014. Can mulch and fertilizer alone rehabilitate surface-disturbed Subarctic peatlands? *Ecological Restoration* 32: 153-160. <http://er.uwpress.org/content/32/2/153.full.pdf+html>
16. Caners, R. T., & Lieffers, V. J. 2014. Divergent pathways of successional recovery for in situ oil sands exploration drilling pads on wooded moderate-rich fens in Alberta, Canada. *Restoration Ecology* 22: 657-667. doi:10.1111/rec.12123.
17. Carroll, M.J., Dennis, P., Pearce-Higgins, J.W. & Thomas, C.D. 2011. Maintaining northern peatland ecosystems in a changing climate: effects of soil moisture, drainage and drain blocking on craneflies. *Global Change Biology* 17: 2991-3001. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2486.2011.02416.x>
18. Chimner, R. A., Cooper, D. J., Wurster, F. C. & Rochefort, L. 2017. An overview of peatland restoration in North America: where are we after 25 years? *Restoration Ecology* 25: 283- 292. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.12434>
19. Chimner, R.A., Cooper, D.J., Bidwell, M., Culpepper, A., Zillich, K. & Nydick, K. 2019. A new method for restoring ditches in peatlands: ditch filling with fiber bales. *Restoration Ecology* 27: 63-69. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.12817>
20. Clarkson, B., Whinam, J., Good, R. & Watts, C. 2017. Restoration of Sphagnum and restiad peatlands in Australia and New Zealand reveals similar approaches. *Restoration Ecology* 25: 301-311. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.12466>
21. Clymo, R.S. & Hayward, P.M. 1982. The ecology of Sphagnum. In: Smith, A.I.E. (ed.): *Bryophyte ecology*. Chapman & Hall, London, New York, pp. 229-289. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-5891-3_8
22. Cobb, A. R., Domain, R., Tan, F., Hwee En Heng, N. & Harvey, C.F. 2020. Carbon storage capacity of tropical peatlands in natural and artificial drainage networks. *Environ. Res. Lett.* in press <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba867>
23. Couwenberg, J. 2021. Self-regulation and self-organisation of raised bogs. PhD thesis Greifswald, pp. 147. 137
24. Couwenberg, J. & Fritz, C. 2012. Towards developing IPCC methane 'emission factors' for peatlands (organic soils). *Mires and Peat* 10 (03): 1-17. <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map10/map1003.php>
25. Couwenberg, J., P. de Klerk, E. Endtmann, H. Joosten & D. Michaelis, 2001. Hydrogenetische Moortypen in der Zeit - eine Zusammenschau. In: Succow, M. & Joosten, H. (eds.): *Landschaftsökologische Moorkunde* (2nd ed.), Schweizerbart, Stuttgart, pp. 399 - 403. https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510651986/Landschaftsökologische_Moorkunde_Hrsg
26. Couwenberg, J., Domain, R. & Joosten, H. 2010. Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. *Global Change Biology* 16: 1715-1732. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2009.02016.x>
27. 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://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10750-011-0729-x.pdf>
28. Davidsson, T. E., Trepel, M. & Schrautzer, J. 2002. Denitrification in drained and rewetted minerotrophic peat soils in Northern Germany (Pohnsdorfer Stauung). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165: 199-204. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1522-2624\(200204\)291:65%3A2%3C199%3A%3AAID-JPLN199%3E3.0.CO%3B2-I](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1522-2624(200204)291:65%3A2%3C199%3A%3AAID-JPLN199%3E3.0.CO%3B2-I)
29. Desrochers, A. & van Duinen, G.-J. 2006. Peatland fauna. In: Wiedner, R. K. & Vitt, D. H. (eds.): *Boreal peatland ecosystems*. Springer, *Ecological Studies* 188, pp. 67-100. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-31913-9_5
30. Dinesen, L. & Hahn, P. 2019. Draft Ramsar Technical Report on peatland restoration and rewetting methodologies in Northern bogs. STRP22 Doc.7.2. <https://www.ramsar.org/document/strp22-doc72-draft-ramsar-technical-report-on-peatland-restoration-and-rewetting>
31. Dohong, A. & Lilia 2008. Hydrology restoration of Ex Mega Rice Project Central Kalimantan through canal blocking techniques: lessons learned and steps forward. In: Wösten, J.H.M., Rieley, J.O. & Page, S.E. (Eds.): *Restoration of tropical peatlands*. Alterra - Wageningen University and Research Centre, and the EU INCO - RESTORPEAT Partnership, pp. 125-130. https://cordis.europa.eu/docs/results/510/510931/127976191-6_en.pdf
32. Dohong, A., Aziz, A. A. & Dargusch, P. 2018. A review of techniques for effective tropical peatland restoration. *Wetlands* 38: 275-292. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13157-018-1017-6.pdf>
33. Domain, R., Couwenberg, J. & Joosten H. 2010. Hydrological self-regulation of domed peatlands in south-east Asia and consequences for conservation and restoration. *Mires and Peat*, Volume 6, Article 05, 1-17. <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map06/map0605.php>
34. Domain, R., Dittrich, I., Giesen, W., Joosten, H., Rais, D. S., Silvius, M. & Wibisono, I. T. C. 2016. Ecosystem services, degradation and restoration of peat swamps in the South East Asian tropics. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 253-288. https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/ecosystem-services-degradation-and-restoration-of-peat-swamps-in-the-south-east-asian-tropics/24B139_6EE935F2842372C47A53DB45E0
35. Dröser, M., Adelman, W., Augustin, J., Bergman, L., Beyer, C., Chojnicki, B., Förster, Ch., Freibauer, A., Giebels, M., Görlitz, S., Höper, H., Kattelhardt, J., Liebersbach, H., Hahn-Schöfl, M., Minke, M., Petschow, U., Pfadenhauer, J., Schaller, L., Schägner, Ph., Sommer, M., Thuille, A. & Wehrhan, M. 2013. Klimaschutz durch Moorschutz. Schlussbericht des BMBF-Vorhabens: Klimaschutz -61 Moornutzungsstrategien 2006-2010. 201 pp. <http://edok01.tib.uniannover.de/edoks/e01fb13/735500762.pdf>
36. Edom, F. 2001. Hydrologische Eigenheiten. In: Succow, M. & Joosten, H. (eds.): *Landschaftsökologische Moorkunde* (2nd ed.), Schweizerbart, Stuttgart, pp. 17-18. https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510651986/Landschaftsökologische_Moorkunde_Hrsg
37. Eggelsmann, R., Heathwaite, A.L., Gosse-Brauckmann, G., Küster, E., Naucke, W.-Schuch, W. & Schweickle, V. 1993. Physical processes and properties of mires. In: Heathwaite, A. L. (ed.): *Mires : Process, exploitation and conservation*. Wiley, Chichester, pp. 171- 262. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19931983530>

38. Elliot, R. 1997. *Faking nature: the ethics of environmental restoration*. Routledge, London, pp. 177
39. Emsens, W.-J., van Diggelen, R., Aggenbach, C. J. S., Cajtham, T., Frouz, J., Klimkowska, A., Kotowski, W., Kozub, L., Liczner, Y., Seeber, E., Silvennoinen, H., Tanneberger, F., Vicena, J., Wilk, M. & Verbruggen, E. 2020. Recovery of fen peatland microbiomes and predicted functional profiles after rewetting. *ISME J* 14: 1701-1712. <https://www.nature.com/articles/s41396-020-0639-x.pdf>
40. Evans, M. & Warburton, J. 2007. *Geomorphology of upland peat: Erosion, form and landscape change*. Blackwell, Malden, pp. 262. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470798003>
41. Evans, C., Morrison, R., Burden, A., Williamson, J., Baird, A., Brown, E., Callaghan, N., Chapman, P., Cumming, A., Dean, H., Dixon, S., Dooling, G., Evans, J., Gauci, V., Grayson, R., Haddaway, N., He, Yufeng; Heppell, Kate; Holden, Joseph; Hughes, Steve; Kaduk, Jörg; Jones, Davey; Matthews, R., Menichino, N., Misselbrook, T., Page, S., Pan, G., Peacock, M., Rayment, M., Ridley, L., Robinson, I., Rylett, D., Scowen, M., Stanley, K. & Worrall, F. 2016. Final report on project SP1210: Lowland peatland systems in England and Wales - evaluating greenhouse gas fluxes and carbon balances. Centre for Ecology and Hydrology. http://oro.open.ac.uk/50635/1/14106_Report_FINAL%20Defra%20Lowland%20Peat%20Published.pdf
42. FAO. 2020. *Peatlands mapping and monitoring - Recommendations and technical overview*. Rome. <http://www.fao.org/3/CA8200EN/CA8200EN.pdf>
43. Fenner, N. & Freeman, C. 2020. Woody litter protects peat carbon stocks during drought. *Nature Climate Change*. <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0727-y>
44. Ferré, M. & Martin-Ortega, J. 2019. A User Guide for Valuing the Benefits of Peatland Restoration. An iCASP (integrated Catchment Solutions Programme) report developed in collaboration with Yorkshire Peat Partnership and Moors For the Future Partnership., pp. 49. <https://icasp.org.uk/resources/>
45. Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S., Aragão, L. E. O. C., Arneeth, A., Arora, V., Bates, N. R., Becker, M., Benoit-Cattin, A., Bittig, H. C., Bopp, L., Bultan, S., Chandra, N., Chevallier, F., Chini, L. P., Evans, W., Florentie, L., Forster, P. M., Gasser, T., Gehlen, M., Gilfillan, D., Gkritzalis, T., Gregor, L., Gruber, N., Harris, I., Hartung, K., Haverd, V., Houghton, R. A., Ilyina, T., Jain, A. K., Joetzjer, E., Kadono, K., Kato, E., Kitidis, V., Korsbakken, J. I., Landschützer, P., Lefèvre, N., Lenton, A., Lienert, S., Liu, Z., Lombardozi, D., Marland, G., Metz, N., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S.-I., Niwa, Y., O'Brien, K., Ono, T., Palmer, P. I., Pierrot, D., Poulter, B., Resplandy, L., Robertson, E., Rödenbeck, C., Schwinger, J., Séférian, R., Skjelvan, I., Smith, A. J. P., Sutton, A. J., Tanhua, T., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., van der Werf, G., Vuichard, N., Walker, A. P., Wanninkhof, R., Watson, A. J., Willis, D., Wiltshire, A. J., Yuan, W., Yue, X. & Zaehele, S. 2020. *Global Carbon Budget 2020*. *Earth System Science Data* 12: 3269-3340. <https://essd.copernicus.org/articles/12/3269/2020/>
46. Frolking, S. & Roulet, N.T. 2007. Holocene radiative forcing impact of northern peatland carbon accumulation and methane emissions. *Global Change Biology* 13: 1079-1088. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2007.01339.x>
47. Gann, G., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverria, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. & Dixon, K. W. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology* 27: S3-S46. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.13035>
48. Giesen, W. 2013. *Paludiculture: sustainable alternatives on degraded peat land in Indonesia*. Euroconsult Mott MacDonald, Jakarta, pp. 71. https://www.researchgate.net/publication/323642714_Paludiculture_sustainable_alternatives_on_degraded_peat_land_in_Indonesia_QANS_Report_on_Activity_33
49. Giesen, W. 2015. Utilising non-timber forest products to conserve Indonesia's peat swamp forests and reduce carbon emissions. *Journal of Indonesian Natural History* 3/2: 10-19. <http://jinh.fmipa.unand.ac.id/index.php/jinh/article/view/66/48>
50. Giesen, W. & Nirmala Sari, E.N. 2018. *Tropical peatland restoration report: The Indonesian case*. *Berkab Green Prosperity Partnership/Kemitraan Kesejatheraan Hijau (Kehijau Berkab)*. Euroconsult Mott MacDonald Graha CIMB Niaga, Jakarta, pp. 82. https://www.researchgate.net/publication/323676663_Tropical_Peatland_Restoration_Report_the_Indonesian_case
51. Giesen, W. & van der Meer, P.J. 2009. Guidelines for the rehabilitation of degraded peat swamp forests in Central Kalimantan (1st draft). Project report for Master Plan for the Conservation and Development of the Ex-Mega Rice Project Area in Central Kalimantan. Euroconsult Mott MacDermott, Jakarta, pp. 66. <https://edepot.wur.nl/175467>
52. Glenk, K., & Martin-Ortega, J. 2018. The economics of peatland restoration. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 1-18. DOI: 10.1080/21606544.2018.1434562 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21606544.2018.1434562>
53. Goudarzi, S., Milledge, D. G., Holden, J., Evans, M. G., Allott, T. E. H., Shuttleworth, E. L., Pilkington, M. & Walker, J. 2020. Blanket-peat restoration: numerical study of the underlying processes delivering Natural Flood Management benefits. <https://www.essoar.org/doi/abs/10.1002/essoar.10505089.1>
54. Graham, A. M., Pope, R. J., Pringle, K. P., Arnold, S., Chipperfield, M. P., Conibear, L. A., Butt, E. W., Kiely, L., Knotte, C. & McQuaid, J. B. 2020. Impact on air quality and health due to the Saddleworth Moor fire in northern England. *Environmental Research Letters* 15: 074018. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab8496>
55. Graham, L.L.B. 2009. A literature review of the ecology and silviculture of tropical peat swamp forest tree species found naturally occurring in Central Kalimantan. *The Kalimantan Forests and Climate Partnership*, 226 p. https://www.researchgate.net/profile/Laura_Graham11/publication/299822118_A_Literature_Review_of_the_Ecology_and_Silviculture_of_Tropical_Peat_Swamp_Forest_Tree_Species_Found_Naturally_Occurring_in_Central_Kalimantan/links/5705d2fc08ae44d70ee34805/A-Literature-Review-of-the-Ecology-and-Silviculture-of-Tropical-Peat-Swamp-Forest-Tree-Species-Found-Naturally-Occurring-in-Central-Kalimantan.pdf
56. Graham, L. L. B., Giesen, W. & Page, S. E. 2017. A common-sense approach to tropical peat swamp forest restoration in Southeast Asia. *Restoration Ecology* 25 312- 321. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/rec.12465>
57. Grand-Clement, E, Anderson, K., Smith, D., Angus, M., Luscombe, D.J., Gatis, N., Bray, L.S. & Brazier R.E. 2015. New approaches to the restoration of shallow marginal peatlands. *Journal of Environmental Management* 161: 417e430. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715301146/>
58. Greiser, C. & Joosten, H. 2018. Archive value: measuring the palaeo-information content of peatlands in a conservation and compensation perspective. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 14: 210-221. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21513732.2018.1523229>
59. Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., Houghton, R.A., Lomax, G., Miteva, D.A., Schlesinger
- W.H., (...), Fargione, J. 2017. Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: 11645-11650. <https://www.pnas.org/content/114/44/11645>
60. Grootjans, A., Adema, E.B., Bleuten, W., Joosten, H., Madaras, M. & Janakova, M. 2006. Hydrological landscape settings of base-rich fen mires and fen meadows: an overview. *Applied Vegetation Science* 9: 175-184. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1654-109X.2006.tb00666.x>
61. Grootjans, A.P., Jansen, A.J.M. & Joosten, J.H.J. 2015. *Bargervensen Externe audit 2014*. Staatsbosbeheer, 58 p.
62. Grosvernier, P. & Staubli, P. 2009. Régénération des hauts-marais, bases et mesures techniques, L'environnement pratique n°0918. Office fédéral de l'environnement, Berne, Switzerland, pp. 96. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/schutzgebiete/uv-umwelt-vollzug/regeneration_vonhochmoeren.pdf.download.pdf/regeneration_deshauts-marais.pdf
- German version: https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/schutzgebiete/uv-umwelt-vollzug/regeneration_vonhochmoeren.pdf.download.pdf/regeneration_vonhochmoeren.pdf
63. 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://www.nature.com/articles/s41467-020-15499-z.pdf>
64. Hájková, P., Hájek, M. & Kintrová, K. 2009. How can we effectively restore species richness and natural composition of a Molinia-invaded fen? *Journal of Applied Ecology* 46: 417-425. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2664.2009.01608.x>
65. Hansson, A. & Dargusch, P. 2018. An estimate of the financial cost of peatland restoration in Indonesia. *Case Studies in the Environment* 2: 1-8. https://online.ucpress.edu/cse/article-pdf/2/1/1/393995/cse_2017_000695.pdf
66. Harpenslager, S. F., van den Elzen, E., Kox, M. A. R., Smolders, A. J. P., Ettwig, K. F. & Lamers, L. P. M. 2015. Rewetting former agricultural peatlands: Topsoil removal as a prerequisite to avoid strong nutrient and greenhouse gas emissions. *Ecological Engineering* 84: 159-168. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857415301361>
67. Harrison, M. E., Ottay, J. B., D'Arcy, L. J., Cheyne, S. M., Anggodo, Belcher, C., Cole, L., Dohong, A., Ermiasi, Y., Feldpausch, T., Gallego-Sala, A., Gunawan, A., Höing, A., Husson, S. J., Kulu Ici, P., Maimunah Soebagio, S., Mang, S., Mercado, L., Morrough-Bernard, H. C., Page, S. E., Priyanto, R., Ripoll Capilla, B., Rowland, L., Santos, E. M., Schreer, V., Sudyana, I. N., Bin Bakeri Taman, S., Thornton, S. A., Upton, C., Wich, S. A. & Veen, F. J. F. 2019. Tropical forest and peatland conservation in Indonesia: Challenges and directions. *People and Nature* 00: 1-25. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/pan3.10060>
68. Hasch, B. 2016. Implementation and administrative approval in Germany. In: Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (eds.) (2016). *Paludiculture - productive use of wet peatlands*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, pp. 194-195. <https://www.schweizerbart.de/publications/detail/ isbn/9783510652839>

69. Hayasaka, H., Takahashi, H., Limin, S. H., Yulianti, N. & Usup, A. 2016. Peat fire occurrence. In: Osaki, M. & Tsuji, N. (eds.): Tropical peatland ecosystems. Springer, Tokyo, pp. 377-398. <https://www.springerprofessional.de/peat-fire-occurrence/6967400>
70. Hayden, M. J. & Ross, D. S. 2005. Denitrification as a nitrogen removal mechanism in a Vermont peatland. *Journal of Environmental Quality* 34: 2052-2061. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq2004.0449>
71. Helbig, M., Waddington, J. M., Alekseychik, P., Amiro, B., Aurela, M., Barr, A. G., Black, T. A., Carey, S. K., Chen, J., Ch, J., Desai, A. R., Dunn, A., Euskirchen, E., Flanagan, L. B., Friborg, T., Garneau, M., Grelle, G. A., Harder, S., Heliasz, M., Humphreys, E. R., Ikawa, H., Isabelle, P.-E., Iwata, H., Jassa, R., Korhikoski, M., Kurbatova, J., Kutzbach, L., Lapshina, E., Lindroth, A., Ottosson, Löfvenius, M., Lohila, A., Mammarella, I., Marsh, P., Moore, P. A., Maximov, T., Nadeau, D. F., Nicholls, E. M., Nilsson, M. B., Ohta, T., Peichl, M., Petrone, R. M., Prokushkin, A., Quinton, W., Roulet, N., Runkle, B. R. K., Sonntag, O., Strachan, I. B., Taillardat, P., Tuittila, E.-S., Tuovinen, J.-P., Turner, J., Ueyama, M., Varlagin, A., Vesala, T., Wilming, M. & Zyryanov, V. 2020. The biophysical climate mitigation potential of boreal peatlands during the growing season. *Environ. Res. Lett.* <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abab34>
72. Herold, B. 2012. Neues Leben in alten Mooren. Brutvögel wiedervernässter Flusstalmoore. *Bristol-Schriftenreihe* 34. Haupt, Bern, pp. 200. https://epub.ub.uni-greifswald.de/frontdoor/ deliver/index/docid/1683/file/Diss_Herold_Benjamin.pdf
73. Hirano, T., Segah, H., Kusin, K., LIMIN, S., Takahashi, H. & Osaki, M. 2012. Effects of disturbances on the carbon balance of tropical peat swamp forests. *Global Change Biology* 18: 3410-3422. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2486.2012.02793.x>
74. Hirano, T., Sundari, S. & Yamada, H. 2016. CO₂ balance of tropical peat ecosystems. In: Osaki, M. & Tsuji, N. (eds.): Tropical peatland ecosystems. Springer, Tokyo, pp. 329-338. <https://www.springerprofessional.de/co2-balance-of-tropical-peat-ecosystems/6967364>
75. Hodgkins, S. B., Richardson, C. J., Dommain, R., Wang, H., Glaser, P. H., Verbeke, B., Winkler, B. R., Cobb, A. R., Rich, V. I., Missilmani, M., Flanagan, N., Ho, M., Hoyt, A. M., Harvey, C. F. S., Vining, R., Hough, M. A., Moore, T.R., Richard, P. J. H., De La Cruz, F. B., Toufaily, J., Hamdan, R., Cooper, W. T. & Chanton, J. P. 2018. Tropical peatland carbon storage linked to global latitudinal trends in peat recalcitrance. *Nature Communications* 9: 3640. <https://www.nature.com/articles/s41467-018-06050-2.pdf>
76. Holden, J., Kirkby, M. J., Lane, S. N., Milledge, D. G., Brookes, C. J., Holden, V. & McDonald, A. T. 2008. Overland flow velocity and roughness properties in peatlands. *Water Resources Research* 44. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007WR006052>
77. Holden, J., Bonn, A., Reed, M., Buckmaster, S., Walker, J., Evans, M. & Worrall, F. 2016. Peatland conservation at the science-practice interface. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 358-374. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/peatland-conservation-at-the-science-practice-interface/F1ABC68C68345ADD4D9480617C3E2DD>
78. Hommeltenberg, J., Schmid, H. P., Drösler, M. & Werle, P. 2014. Can a bog drained for forestry be a stronger carbon sink than a natural bog forest? *Biogeosciences* 11: 3477-3493. <https://bg.copernicus.org/articles/11/3477/2014/bg-11-3477-2014.pdf>
79. Humpenöder, F., Karstens, K., Lotze-Campen, H., Leifeld, J., Menichetti, L., Barthelmes, A. & Popp, A. 2020. Peatland protection and restoration are key for climate change mitigation. *Environmental Research Letters.* <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abae2a>
80. Huth, V., Günther, A., Bartel, A., Hofer, B., Jacobs, O., Jantz, N., Meister, M., Rosinski, E., Ulrich, T., Weil, M., Zak, D. & Jurasinski, G. 2020. Topsoil removal reduced in-situ methane emissions in a temperate rewetted bog grassland by a hundredfold. *Science of the Total Environment* 721: 137763. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720312742>
81. IPCC 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1535. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf (366 Mb!)
82. IPCC 2018. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty (ed. by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W., Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield). IPCC, Geneva. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
83. Jewitt, S. 2008. Restoration, rehabilitation and sustainable livelihoods: The importance of alternative incomes for tropical peatland dependent communities. In: Wösten, J.H.M., Rieley, J.O. & Page, S.E. (eds.): Restoration of tropical peatlands. Alterra - Wageningen University and Research Centre, and the EU INCO - RESTORPEAT Partnership, pp. 210-215. https://cordis.europa.eu/docs/results/510/510931/127976191-6_en.pdf
84. Joosten, J.H.J. 1992. Bog regeneration in the Netherlands: a review. In: O.M. Bragg, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram & R.A. Robertson (eds.): Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment. Dept. of Biological Sciences University of Dundee, Dundee, 367 - 373.
85. Joosten, H. 2001. Identifying peatlands of international biodiversity importance. <http://www.imcg.net/pages/publications/papers/identifying-peatlands-of-international-biodiversity-importance.php>
86. Joosten, H. 2016a. Peatlands across the globe. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 17-43. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/peatlands-across-the-globe/9844CCAEDC5446B18589041DB6C8ADFE>
87. Joosten, H. 2016b. Changing paradigms in the history of tropical peatland research. In: Osaki, M. & Tsuji, N. (eds.): Tropical peatland ecosystems. Springer, Tokyo, pp. 33-48. <https://www.springerprofessional.de/changing-paradigms-in-the-history-of-tropical-peatland-research/6967360>
88. Convention on Wetlands. (2021). Practical peatland restoration. Briefing Note No. 11. Gland, Switzerland: Secretariat of the Convention on Wetlands. <https://www.ramsar.org/document/briefing-note-11-practical-peatland-restoration>
89. Joosten, H. & Clarke, D. 2002. Wise use of mires and peatlands - Background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group / International Peat Society, Saarijärvi, pp. 304. http://www.imcg.net/media/download_gallery/books/wump_wise_use_of_mires_and_peatlands_book.pdf
90. Joosten, H. & Couwenberg, J. 2019. Hoogvenen als zelfregulerende en zelforganiserende systemen (Raised bogs as self-regulating and self-organizing systems). In: Jansen, A. & Grootjans, A. (eds.): Hoogvenen. Landschapsecologie, behoud, herstel, beheer. Noordboek Natuur Gorredijk, pp. 24 - 35.
91. Joosten, H. & Schumann, M. 2007. Hydrogenetic aspects of peatland restoration in Tibet and Kalimantan. *Global Environmental Research* 11: 195-204. https://www.researchgate.net/publication/242195489_Hydrogenetic_Aspects_of_Peatland_Restoration_in_Tibet_and_Kalimantan
92. Joosten, H., Tapio-Biström, M.-L. & Tol, S. (eds.) 2012. Peatlands - guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 5. FAO, Rome, L + 96 p. <http://www.fao.org/3/an762e/an762e.pdf>
93. Joosten, H., Brust, K., Couwenberg, J., Gerner, A., Holsten, B., Permiën, T., Schäfer, A., Tanneberger, F., Trepel, M. & Wahren, A. 2015. MoorFutures® Integration of additional ecosystem services (including biodiversity) into carbon credits - standard, methodology and transferability to other regions. BfN Skripten 407, Bundesamt für Naturschutz, Bonn, 119 p. <https://www.bfn.de/fileadmin/BFN/service/Dokumente/skripten/Skript407.pdf>
94. Joosten, H., Couwenberg, J., von Unger, M. & Emmer, I. 2016a. Peatlands, forests and the climate architecture: Setting incentives through markets and enhanced accounting. CLIMATE CHANGE 14/2016. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety Report No. (UBA-FB) 002307/ENG, pp. 156. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_14_2016_peatlands_forests_and_the_climate_architecture.pdf
95. Joosten, H., Couwenberg, J. & von Unger, M. 2016b. International carbon policies as a new driver for peatland restoration. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 291-313. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/international-carbon-policies-as-a-new-driver-for-peatland-restoration/EF6CFC770695532B99185370631B67D4>
96. Joosten, H., Sirin, A., Couwenberg, J., Laine, J. & Smith, P. 2016c. The role of peatlands in climate regulation. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 63-76. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/role-of-peatlands-in-climate-regulation/24EC1D07B9504D1184890DADB F6F0AC9>
97. Joosten, H., Gaudig, G., Tanneberger, F., Wichmann, S. & Wichtmann, W. 2016e. Paludiculture: sustainable productive use of wet and rewetted peatlands. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 339-357. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/paludiculture-sustainable-productive-use-of-wet-and-rewetted-peatlands/494DE50954D10C06837A988CA0FA2FD0>

98. Joosten, H., Moen, A., Couwenberg, J. & Tanneberger, F. 2017a. Mire diversity in Europe: mire and peatland types. In: Joosten, H., Tanneberger, F. & Moen, A. (eds.): Mires and peatlands of Europe - Status, distribution and conservation. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, 5-64.
99. Joosten, H., Couwenberg, J., Moen, A. & Tanneberger, F. 2017b. Mire and peatland terms and definitions in Europe. In: Joosten, H., Tanneberger, F. & Moen, A. (eds.): Mires and peatlands of Europe - Status, distribution and conservation. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, 65-96.
100. Ketcheson, S. J. & Price, J. S. 2011. The impact of peatland restoration on the site hydrology of an abandoned block-cut bog. *Wetlands* 31: 1263-1274. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13157-011-0241-0.pdf>
101. Ketcheson, S. J., Price, J. S., Sutton, O., Sutherland, G., Kessel, E. & Petrone, R. M. 2017. The hydrological functioning of a constructed fen wetland watershed. *Science of The Total Environment* 603-604: 593-605. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717131505X>
102. Ketrtridge, N., Turetsky, M. R., Sherwood, J. H., Thompson, D. K., Miller, C. A., Benschoter, B. W., Flannigan, M. D., Wotton, B. M. & Waddington, J. M. 2015. Moderate drop in water table increases peatland vulnerability to post-fire regime shift. *Scientific reports* 5: 8063. <https://www.nature.com/articles/srep08063.pdf>
103. Klimkowska, A., van der Elst, D. J. D., & Grootjans, A. P. 2014. Understanding long-term effects of topsoil removal in peatlands: overcoming thresholds for fen meadows restoration. *Applied Vegetation Science* 18: 110-120. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/avsc.12127>
104. Klimkowska, A., Goldstein, K., Wyszomirski, T., Kozub, L., Wilk, M., Aggenbach, C., Bakker, J. P., Belting, H., Beltman, B., Blüml, V., De Vries, Y., Geiger-Udod, B., Grootjans, A. P., Hedberg, P., Jager, H. J., Kerkhof, D., Kollmann, J., Pawlikowski, P., Pleyl, E., Reinink, W., Rydin, H., Schrautzer, J., Sliva, J., Staňko, R., Sundberg, S., Timmermann, T., Wolejko, L., van der Burg, R. F., van der Hoek, Dick, van Diggelen, J. M. H., van Heerden, A., van Tweel, L., Vegelin, K. & Kotowski, W. 2019. Are we restoring functional fens? - The outcomes of restoration projects in fens re-analysed with plant functional traits. *PLOS ONE* 14: e0215645. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6481837/pdf/pone.0215645.pdf>
105. Kooijman, A. M., Cusell, C., Mettrop, I. S. & Lamers, L. P. M. 2015. Recovery of target bryophytes in floating rich fens after 25 yr of inundation by base-rich surface water with lower nutrient contents. *Applied Vegetation Science* 19: 53-65. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/avsc.12197>
106. Korkiakoski, M., Tuovinen, J.-P., Penttilä, T., Sarkkola, S., Ojanen, P., Minkkinen, K., Rainne, J., Laurila, T. & Lohila, A. 2019. Greenhouse gas and energy fluxes in a boreal peatland forest after clear-cutting. *Biogeosciences* 16: 3703-3723. <https://bg.copernicus.org/articles/16/3703/2019/bg-16-3703-2019.pdf>
107. Koropchak, S., Vitt, D.H., Bloise, R. & Wieder, R.K. 2012. Fundamental paradigms, foundation species selection, and early plant responses to peatland initiation on mineral soils. In: Vitt, D.H. & Bahti, J.S. (eds.): Restoration and reclamation of boreal ecosystems - Attaining sustainable development. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 76-100. https://www.researchgate.net/publication/283487505_Fundamental_paradigms_foundation_species_selection_and_early_plant_responses_to_peatland_initiation_on_mineral_soils
108. Kotiaho, J. S., Kuusela, S., Nieminen, E., Päivinen, J. & Moilanen, A. 2016. Framework for assessing and reversing ecosystem degradation. Report of the Finnish restoration prioritization working group on the options and costs of meeting the Aichi biodiversity target of restoring at least 15 percent of degraded ecosystems in Finland. REPORTS OF THE MINISTRY OF THE ENVIRONMENT 15en, pp. 68. https://julkaissut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74862/YMre_15en_2016.pdf
109. Kotowski, W., Jabłońska, E. & Bartoszek, H. 2013. Conservation management in fens: Do large tracked mowers impact functional plant diversity? *Biological Conservation*, 167, 292-297. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320713002954/pdf>
110. Kotowski, W., Acreman, M., Grootjans, A., Klimkowska, A., Röfling, H. & Wheeler, B. 2016. Restoration of temperate fens: matching strategies with site potential. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 170-191. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/restoration-of-temperate-fens-matching-strategies-with-site-potential/5EB1CE0975EB553814D1E4F35629E5A4>
111. Kozub, Ł., Goldstein, K., Dembiczy, I., Wilk, M., Wyszomirski, T. & Kotowski, W. 2018. To mow or not to mow? Plant functional traits help to understand management impact on rich fen vegetation. *Applied Vegetation* 22: 27-38. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/avsc.12411>
112. Kozulin, A. V., Tanovitskaya, N. I. & Vershinskaya, I. N. 2010. Methodical recommendations for ecological rehabilitation of damaged mires and prevention of disturbances to the hydrological regime of mire ecosystems in the process of drainage. Scientific and Practical Center for Bio Resources - Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, pp. 39. http://content-ext.undp.org/aplaws/publications/2944594/Belarus_guidebook_%20peatland_restoration.pdf
113. Lamers, L. P. M., Vile, M. A., Grootjans, A. P., Acreman, M. C., van Diggelen, R., Evans, M. G., Richardson, C. J., Rochefort, L., Kooijman, A. M., Roelofs, J. G. M. & Smolders, A. J. P. 2015. Ecological restoration of rich fens in Europe and North America: from trial and error to an evidence-based approach. *Biological Reviews* 90: 182-203. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/brv.12102>
114. Landry, J. & Rochefort, L. 2012. The drainage of peatlands - Impacts and rewetting techniques. Peatland Ecology Research Group, Département de phytologie, Université Laval, Québec, pp. 53. [http://www.gret-perg.ulaval.ca/no_cache/en/pergs-publications/?tx_centerrecherche_pi1\[showId\]=5985](http://www.gret-perg.ulaval.ca/no_cache/en/pergs-publications/?tx_centerrecherche_pi1[showId]=5985)
115. Leifeld, J., Alewell, C., Bader, C., Krüger, J.P., Mueller, C.W., Sommer, M., Steffens, M. & Szidat, S. 2018. Pyrogenic carbon contributes substantially to carbon storage in intact and degraded northern peatlands. *Land Degradation and Development* 29: 2082-2091. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ldr.2812>
116. Leifeld, J., Wüst-Galley, C. & Page, S. 2019. Intact and managed peatland soils as a source and sink of GHGs from 1850 to 2100. *Nature Climate Change* 9: 945-947. <https://www.nature.com/articles/s41558-019-0615-5>
117. Lohila, A., Minkkinen, K., Laine, J., Savolainen, I., Tuovinen, J.-P., Korhonen, L., Laurila, T., Tietäväinen, H. & Laaksonen, A. 2010. Forestation of boreal peatlands: Impacts of changing albedo and greenhouse gas fluxes on radiative forcing. *Journal of Geophysical Research* 115: G04011. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2010JG001327>
118. López Gonzales, M., Herguacal, K., Angulo Núñez, Ó., Baker, T., Chimner, R., del Águila Pasquel, J., del Castillo Torres, D., Freitas Alvarado, L., Fuentealba Durand, B., García Gonzales, E., Kazuyo, H., Lilleskov, E., Málaga Durán, N., Maldonado Fonkén, M., Brañas, M. M., Mori Vargas, T., Planas
- Clarke, A. M., Roucoux, K. & Vacalla Ochoa, F. 2020. What do we know about Peruvian peatlands? Occasional Paper 210. Bogor, Indonesia: CIFOR, pp. 24. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-210.pdf
119. Luijten, R.C.K., Fritz, C. & Geurts, J.R. 2018. Effects of sod cutting on methane emissions from rewetted peat soils. MSc thesis Radboud University Nijmegen, pp. 37.
120. Mackin, F., Barr, A., Rath, P., Eakin, M., Ryan, J., Jeffrey, R. & Fernandez Valverde, F. 2017a. Best practice in raised bog restoration in Ireland. Irish Wildlife Manuals, No. 99. National Parks and Wildlife Service, Department of Culture, Heritage and the Gaeltacht, Ireland, pp. 82. https://www.npws.ie/sites/default/files/publications/pdf/IWM99_RB_Restoration_Best%20Practice%20Guidance.pdf
121. Mackin, F., Flynn, R., Barr, A. & Fernandez-Valverde, F. 2017b. Use of geographical information system-based hydrological modelling for development of a raised bog conservation and restoration programme. *Ecological Engineering* 106: 242-252. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857417302537>
122. Mahyudi, A., Al-Zaqie, I. & Tim Reforestasi KFCP 2014. Tree planting guide: reforestation programme. Technical Report: Kalimantan Forest and Climate Partnership, pp. 32. http://www.forda-mof.org/index.php/download/attach/19_Tree_Planting_Guide_Reforestation_Programme1.pdf/3242
123. Marlier, M. E., Liu, T., Yu, K., Buonocore, J. J., Koplitz, S. N., DeFries, R. S., Mickley, L. J., Jacob, D. J., Schwartz, J., Wardhana, B. S. & Myers, S. S. 2019. Fires, smoke exposure, and public health: An integrative framework to maximize health benefits from peatland restoration. *GeoHealth* 3: 178-189. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2019GH000191>
124. McBride, A., Diack, I., Droy, N., Hamill, B., Jones, P., Schutten, J., Skinner, A. & Street, M. (eds.) 2011. The Fen Management Handbook. Scottish Natural Heritage, Perth, pp. 329. <https://www.nature.scot/sites/default/files/Publication%202011%20-%20Fen%20Management%20Handbook.pdf>
125. McCarter, C. P. R. & Price, J. S. 2015. The hydrology of the Bois-des-Bel peatland restoration - hydrophysical properties limiting connectivity between regenerated Sphagnum and remnant vacuum harvested peat deposit. *Ecology* 8: 173-187. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/eco.1498>
126. Menberu, M. W., Tahvanainen, T., Marttila, H., Irannezhad, M., Ronkanen, A.-K., Penttinen, J. & Kløve, B. 2016. Water-table-dependent hydrological changes following peatland forestry drainage and restoration: Analysis of restoration success. *Water Resources Research* 52: 3742-3760. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2015WR018578>
127. Menberu, M.W., Marttila, H., Tahvanainen, T., Kotiaho, J. S., Hokkanen, R., Kløve, B. & Ronkanen, A.K. 2017. Changes in pore water quality after peatland restoration: Assessment of a large-scale, replicated before-after-control-impact study in Finland. *Water Resources Research* 53: 8327-8343. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2017WR020630>
128. Menberu, M. W., Haghghi, A. T., Ronkanen, A.-K., Marttila, H., & Kløve, B. 2018. Effects of drainage and subsequent restoration on peatland hydrological processes at catchment scale. *Water Resources Research*, 54. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2017WR022362>

129. Michaelis, D., Mrotzek, A. & Couwenberg, J. 2020. Roots, tissues, cells and fragments—How to characterize peat from drained and rewetted fens. *Soil Systems* 4, 12: 1-16. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4010012>
130. Middleton, B. A., Holsten, B. & Van Diggelen, R. 2006. Biodiversity management of fens and fen meadows by grazing, cutting and burning. *Applied Vegetation Science* 9: 307-316. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1654-109X.2006.tb00680.x>
131. Minayeva, T., Bragg, O., Cherednichenko, O., Couwenberg, J., van Duinen, G.-J., Giesen, W., Grootjans, A., Grundling, P.-L., Nikolaev, V. & van der Schaaf, S. 2008. Peatlands and biodiversity. In: Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minaeva, T. & Silvius, M. (eds.) 2008. Assessment on peatlands, biodiversity and climate change. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International Wageningen, pp. 60-98. http://www.imcg.net/modules/download_gallery/dlc.php?file=35&id=1311192068
132. Minayeva, T., Bragg, O. & Sirin, A. 2016. Peatland biodiversity and its restoration. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 44-62. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/peatland-biodiversity-and-its-restoration/7D9E5F919AC0A2D1D37BED56EE2FB4EE>
133. Minayeva, T. Yu., Bragg, O.M. & Sirin, A.A. 2017. Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity. *Mires and Peat* 19, Article 01: 1-36. <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map19/map1901.php>
134. Minke, M., Augustin, J., Burlo, A., Yarmashuk, T., Chuvashova, H., Thiele, A., Freibauer, A., Tikhonov, V. & Hoffmann, M. 2016. Water level, vegetation composition, and plant productivity explain greenhouse gas fluxes in temperate cutover fens after inundation. *Biogeosciences* 13: 3945-3970. <https://bg.copernicus.org/articles/13/3945/2016/bg-13-3945-2016.pdf>
135. Moxey, A. 2016. Assessing the opportunity costs associated with peatland restoration. IUCN Peatland Programme, pp. 15. <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/2019-07/Andrew%20Moxey%20Assessing%20the%20opportunity%20costs%20of%20peatland%20restoration%20revised%20v2.pdf>
136. Moxey, A. & Moran, D. 2014. UK peatland restoration: Some economic arithmetic. *Science of The Total Environment* 484: 114-120. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969714003635>
137. Mrotzek, A., Michaelis, D., Günther, A., Wrage-Mönnig, N. & Couwenberg, J. 2020. Mass balances of a drained and a rewetted peatland: on former losses and recent gains. *Soil Syst.* 4, 16: 1-14. <https://www.mdpi.com/2571-8789/4/1/16>
138. Nieminen, M., Sarkkola, S., Hellsten, S., Marttila, H., Piirainen, S., Sallantausta, T. & Lepistö, A. 2018. Increasing and decreasing nitrogen and phosphorus trends in runoff from drained peatland forests—Is there a legacy effect of drainage or not? *Water, Air, & Soil Pollution* 229, 286. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11270-018-3945-4.pdf>
139. Noreika, N., Kotze, D. J., Loukola, O. J., Sormunen, N., Vuori, A., Päivinen, J., Penttinen, J., Punntila, P. & Kotiaho, J. S. 2016. Specialist butterflies benefit most from the ecological restoration of mires. *Biological Conservation* 196: 103-114. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320716300593>
140. Nugent, K.A., Strachan, I.B., Strack, M., Roulet, N.T. & Rochefort, L. 2018. Multi-year net ecosystem carbon balance of a restored peatland reveals a return to a carbon sink. *Global Change Biology*, 24: 5751-5768. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcb.14449>
141. Nuyim, T. 2005. Guideline on peat swamp forest rehabilitation and planting in Thailand. Global Environment Centre & Wetlands International - Thailand Office, pp. 97. http://www.gec.org/my/view_file.cfm?fileid=2898
142. Ojanen, P. & Minkinen, K. 2020. Rewetting offers rapid climate benefits for tropical and agricultural peatlands but not for forestry-drained peatlands. *Global Biogeochemical Cycles*: 34, e2019GB006503. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2019GB006503>
143. O'Kelly B.C. 2008. On the geotechnical design and use of peat bunds in the conservation of bogs, Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering (ICGE'08), 24th-26th March, Hammamet, Tunisia. Vol. 1, pp. 259 - 267. https://pdfs.semanticscholar.org/328b/91551bac77944dea6c060f86ed1fb6ebf4eb.pdf_ga=2.170566944.1621837050.1595264150-784764260.1592311684
144. Okrusko, H. 1993 Transformation of fen-peat soils under the impact of draining. *Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych* 406: 3-73. http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-article-7106560c-4d5e-44aa-b048-884ac8fbd80b/c/Zeszyt_Probl_Poste_Nau_Rol_r.1993_t.406_s.3-73.PDF
145. Page, S., Graham, L., Hoscilo, A. & Limin, S. 2008. Vegetation restoration on degraded tropical peatlands: Opportunities and barriers. In: Wösten, J.H.M., Rieley, J.O. & Page, S.E. (eds.): Restoration of tropical peatlands. Alterra - Wageningen University and Research Centre, and the EU INCO - RESTORPEAT Partnership. pp. 64-68 https://cordis.europa.eu/docs/results/510/510931/127976191-6_en.pdf
146. Page, S., Hoscilo, A., Wösten, H., Jauhainen, J., Silvius, M., Rieley, J., Ritzema, H., Tansey, K., Graham, L., Vasander, H. & Limin, S. 2009. Restoration ecology of lowland tropical peatlands in Southeast Asia - current knowledge and future research directions. *Ecosystems* 12: 288-905. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10021-008-9216-2.pdf>
147. Parish, F., Yan, L. S., Zainuddin, M. F. & Giesen, W. (Eds.). 2019. RSP0 manual on Best Management Practices (BMPs) for management and rehabilitation of peatlands. 2nd Edition, RSP0, Kuala Lumpur, pp. 178. http://www.gec.org.my/view_file.cfm?fileid=3458
148. Parry, L. E., Holden, J. & Chapman, P. J. 2014. Restoration of blanket peatlands. *Journal of environmental management* 133:193-205. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713007263>
149. Pedroli, B. 1990. Ecohydrological parameters indicating different types of shallow groundwater. *Journal of Hydrology* 120: 381-404. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002216949090160Y>
150. Pfadenhauer, J. & Grootjans, A. 1999. Wetland restoration in Central Europe: aims and methods. *Applied Vegetation Science* 2: 95-106. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2307/1478886>
151. Phillips, V. D. 1998. Peatswamp ecology and sustainable development in Borneo. *Biodiversity & Conservation* 7: 651- 671. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008808519096>
152. Prager, A., Barthelmes, A. & Joosten, H. 2006. A touch of tropics in temperate mires: on Alder carrs and carbon cycles. *Peatlands International* 2006/2: 26-31.
153. Price, J. 1997. Soil moisture, water tension, and water table relationships in a managed cutover bog. *Journal of Hydrology* 202: 21-32. http://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrecherche/Price_J_Hydrol_1997.pdf
154. Price, J. S., McLaren, R. G. & Rudolph, D. L. 2010. Landscape restoration after oil sands mining: conceptual design and hydrological modelling for fen reconstruction. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* 24: 109-123. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17480930902955724>
155. Price, J., Evans, C., Evans, M., Allott, T. & Shuttleworth, E. 2016. Peatland restoration and hydrology. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 77- 94. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/peatland-restoration-and-hydrology/69CA89F28305A7E57178F02689C06FA7>
156. Puspitaloka, D., Kim, Y., Purnomo, H. & Fulé, P. Z. 2020. Defining ecological restoration of peatlands in Central Kalimantan, Indonesia. *Restoration Ecology* 28: 435-446. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.13097>
157. Quilty, F. & Rochefort, L. 2003. Peatland restoration guide, second edition. Sphagnum Peat Moss Association and New Brunswick Department of Natural Resources and Energy. Québec, Québec. pp. 106. [http://www.gret-perg.ulaval.ca/no_cache/en/pergs-publications/?tx_centrecherche_pi1\[showUid\]=6192](http://www.gret-perg.ulaval.ca/no_cache/en/pergs-publications/?tx_centrecherche_pi1[showUid]=6192)
- In 2019 and 2020, Chapter 4 was revised and republished in independent booklets;
- Planning Restoration Projects (replace pp. 13 to 24 in the 2003 Guide)
- Site Preparation and Rewetting (replace pp. 25 to 35 and pp. 60 to 62)
- Plant Material Collecting and Donor Site Management (replace pp. 36 to 45)
- Spreading of Plant Material, Mulch and Fertilizer (replace pp. 46 to 59)
158. Rehell, S., Similä, M., Vesterinen, P., Ilmonen, J. & Haapalehto, S. 2014 Planning peatland restoration projects. In: Similä, M, Aapala, K. & Penttinen, J. (eds): Ecological restoration in drained peatlands - best practices from Finland. *Metsähallitus, Vantaa*, pp. 34-37. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1733>
159. Ritson, J., Alderson, D., Robinson, C., Burkitt, A., Heinemeyer, A., Stimson, A., Gallego-Sala, A., Harris, A., Quillet, A., Malik, A., Cole, B., Brobeck, B., Heppell, C., Rivett, D., Shuttleworth, E., Lilleskov, J., Cox, F., Clay, G., Diack, I., Rowson, J., Pratscher, J., Lloyd, J., Walker, J., Belyea, L., Dumont, M., Longden, M., Bell, N., Artz, R., Bardgett, R., Griffiths, R., Andersen, R., Chadburn, S., Hutchinson, S., Page, S., Thom, T., Burn, W. & Evans, M. 2021. Towards a microbial process-based understanding of the resilience of peatland ecosystem service provisioning – a research agenda. *Science of the Total Environment* 759. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720369989>
160. Ritzema, H., Limin, S., Kusin, K., Jauhainen, J. & Wösten, H. 2014. Canal blocking strategies for hydrological restoration of degraded tropical peatlands in Central Kalimantan, Indonesia. *Catena* 114: 11-20 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S034181816213002531>
161. Saunio, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Jackson, R. B., Raymond, P. A., Dlugokencky, E. J., Houweling, S., Patra, P. K., Ciais, P., Arora, V. K., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K. M., Carrol, M., Castaldi, S., Chandra, N., Crevoisier, C., Crill, P. M., Covey, K., Curry, C. L., Etiope, G., Frankenberg, C., Gedney, N., Hegglin, M. I., Höglund-Isaksson, L., Hugelius, G., Ishizawa, M., Ito, A., Janssens-Maenhout, G., Jensen, K. E. M., Joos, F., Kleinen, T., Krummel, P. B., Langenfelds, R. L., Laruelle, G. G., Liu, L., Machida, T., Maksyutov, S., McDonald, K. C., McNorton, J., Miller, P. A., Melton, J. R., Morino, I., Müller, J., Murguía-Flores, F., Naik, V., Niwa, Y., Noce, S., O'Doherty, S., Parker, R. J., Peng, C., Peng, S., Peters, G. P., Prigent, C., Prinn, R., Ramonet, M., Regnier, P., Riley, W. J., Rosentretter, J. A., Segers, A., Simpson, I. J., Shi, H., Smith, S. J., Steele, L. P., Thornton, B. F., Tian, H., Tohjima, Y., Tubiello, F. N., Tsuruta, A., Viovy, N., Voulgarakis, A., Weber, T. S., van Weele, M., van der Werf, G. R., Weiss, R. F., Worthy, D., Wunch, D., Yin, Y., Yoshida, Y., Zhang, W., Zhang, Z., Zhao, Y., Zheng, B., Zhu, Q., Zhu, Q. & Huang, Q. 2020. The global methane budget 2000-2017. *Earth System Science Data* 12: 1561-1623. <https://essd.copernicus.org/articles/12/1561/2020/essd-12-1561-2020.pdf>

162. Schäfer, A. 2016. Welfare aspects of land use on peatland. In: Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (eds.): *Paludiculture - productive use of wet peatlands*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, pp. 134-141. <https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510652839>
163. Schimelpfenig, D. W., Cooper, D. J. & Chimner, R. A. 2014. Effectiveness of ditch blockage for restoring hydrologic and soil processes in mountain peatlands. *Restoration Ecology* 22:257-265. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/rec.12053>
164. Schipper, A.M., Zeef, R., Tanneberger, F., van Zuidam, J. P., Hahne, W., Schep, S.A., Loos, S., Bleuten, W., Joosten, H., Lapshina, E.D. & Wassen, M.J. 2007. Vegetation characteristics and eco-hydrological processes in a pristine mire in the Ob River valley (Western Siberia). *Plant Ecology* 193: 131-145. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11258-006-9253-x.pdf>
165. Schouwenaars, J. 1993. Hydrological differences between bogs and bog-relicts and consequences for bog restoration. *Hydrobiologia* 265: 217-224. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00007270.pdf>
166. Schumann, M. & Joosten, H. 2008. *Global peatland restoration manual*. Institute of Botany and Landscape Ecology, Greifswald University, pp. 68. www.imcg.net/media/download_gallery/books/gprm_01.pdf
167. SER 2004: Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. Society for Ecological Restoration International, Tucson <https://www.ser-rrc.org/resource/the-ser-international-primer-on/>
168. Shuttleworth, E. L., Evans, M. G., Pilkington, M., Spencer, T., Walker, J., Milledge, D. & Allott, T. E. H. 2019. Restoration of blanket peat moorland delays stormflow from hillslopes and reduces peak discharge. *Journal of Hydrology* X, 2, 100006. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589915518300063>
169. Similä, M., Aapala, K. & Penttinen, J. (eds.) 2014. Ecological restoration in drained peatlands - best practices from Finland. *Metsähallitus, Vantaa*, pp. 84. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1733>
170. Sirin, A.A., Medvedeva, M.A., Makarov, D.A., Maslov, A.A. & Joosten, H. 2020. Multispectral satellite based monitoring of land cover change and associated fire reduction after large-scale peatland rewetting following the 2010 peat fires in Moscow Region (Russia). *Ecological Engineering* 158. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09255857420303323/ pdf>
171. Stańko, R., Wołejko, L. & Pawlaczny, P. (eds.) 2018. *A Guidebook on Good Practices of alkaline fen conservation*. Klub Przyrodników Publishing House, Świebodzin, pp. 170. http://alkfens.kp.org.pl/wp-content/uploads/2018/11/GUIDEBOOK_EN.pdf
172. Staubli, P. 2004. *Regeneration von Hochmooren im Kanton Zug. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 149/2-3: 75-81. https://www.beckstaubli.ch/files/dokumente/moorregeneration/Regeneration_von_Hochmooren_im_Kanton_Zug_NGZ_2004.pdf
173. Suryadiputra, I.N.N., Dohong, A., Waspodo, S.B., Muslihat, L., Lubis, I.R., Hasudungan, F. & Wibisono, I.T.C. 2005. A guide to the blocking of canals and ditches in conjunction with the community. *Wetlands International - Indonesia Programme and Wildlife Habitat Canada, Bogor, Indonesia*, 170 pp. https://www.researchgate.net/profile/Alue_Dohong2/publication/322525860_A_guide_to_the_blocking_of_canals_and_ditches_in_conjunction_with_the_community_links/5bacd7f845851574f7ea587b/A-guide-to-the-blocking-of-canals-and-ditches-in-conjunction-with-the-community.pdf
- Also available in Indonesian as: "Panduan Penyekatan Parit dan Saluran di Lahan Gambut Bersama Masyarakat."
174. Tanneberger, F. & Kubacka, J. (eds.) 2018. *The Aquatic Warbler Conservation Handbook*. Brandenburg State Office for Environment, Potsdam. http://www.lifeschreidler.de/data/user/Downloads/D06_Aquatic%20Warbler%20Conservation%20Handbook%20-%20LrU%202018.pdf (60 Mb!)
175. Tanneberger, F. & Wichtmann, W. (eds.) 2011. *Carbon credits from peatland rewetting. Climate - biodiversity - land use*. Schweizerbart, Stuttgart, pp. 223. https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510652716/Tanneberger_Wichtmann_Carbon_credits_fr
176. Tanneberger, F., Tegetmeyer, C., Dylawski, M., Flade, M. & Joosten, H. 2009. Commercially cut reed as a new and sustainable habitat for the globally threatened Aquatic Warbler. *Biodiversity and Conservation* 18: 1475-1489. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10531-008-9495-0.pdf>
177. Tata, H.L. & Susmianto, A. 2016. - *Prospek Paludikultur Ekosistem Gambut Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan (FORDA, MoEF) and Wetlands International Indonesia. FORDA Press, Bogor, 71 pp. <https://indonesia.wetlands.org/id/download/1803/>
178. Taylor, N. & Price, J. 2015. Soil water dynamics and hydrophysical properties of regenerating Sphagnum layers in a cutover peatland. *Hydrological Processes* 29: 3878-3892. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/hyp.10561>
179. Taylor, N.G., Grillas, P. & Sutherland, W.J. 2018a. *Peatland conservation: Global evidence for the effects of interventions to conserve peatland vegetation*. University of Cambridge, Cambridge, UK, 236 pp. https://www.researchgate.net/publication/323551453_Peatland_Conservation_Global_Evidence_for_the_Effects_of_Interventions_to_Conserve_Peatland_Vegetation/citation/download
180. Taylor, N.G., Grillas, P. & Sutherland, W.J. 2018b. *Peatland conservation. Global evidence for the effects of interventions to conserve peatland vegetation*. In: Sutherland, W. J., Dicks, L. V., Ockendon, N., Petrovan, S. O. & Smith, R. K. (eds.): *What Works in Conservation*. Open Book Publishers, pp. 330-392. <https://www.jstor.org/stable/pdf/10.2307/j.ctv4nncw.9>
181. Taylor, N.G., Grillas, P., Fennessy, M.S., Goodyer, E., Graham, L.L.B., Karofeld, E., Lindsay, R.A., Locky, D.A., Ockendon, N., Rial, A., Ross, S., Smith, R.K., van Diggelen, R., Whinam, J. & Sutherland, W.J. 2019. A synthesis of evidence for the effects of interventions to conserve peatland vegetation: overview and critical discussion. *Mires and Peat* 24, Article 18: 1-21. http://mires-and-peat.net/modules/download_gallery/dlc.php?file=326&id=1561112066
182. Thom, T., Evans, M., Evans, C. & Allott, T. 2016. Blanket mire restoration and its impact on ecosystem services. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 153-169. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/blanket-mire-restoration-and-its-impact-on-ecosystem-services/CA2DA99A76697CCFD8A69307C04FC268>
183. Thom, T., Hanlon, A., Lindsay, R., Richards, J., Stoneman, R. & Brooks, S. 2019. *Conserving bogs: The management handbook 2nd edition*. <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/header-images/Resources/Conserving%20Bogs%20The%20Management%20Handbook%202nd%20Edition.pdf>
184. Tian, H., X1, R., Canadell, J. G., Thompson, R. L., Winiwarter, W., Suntharalingam, P., Davidson, E. A., Ciais, P., Jackson, R., Janssens-Maenhout, G., Prather, M. J., Regnier, P., Pan, N., Pan, S., Peters, G. P., Shi, H., Tubiello, F. N., Zaehle, S., Zhou, F., Arneeth, A., Battaglia, G., Berthet, S., Bopp, L., Bouwman, A. F., Buitenhuis, E. T., Chang, J., Chipperfield, M. P., Dangal, S. R. S., Dlugokencky, E., Elkins, J. W., Eyre, B. D., Fu, B., Hall, B., Ito, A., Joos, F., Krummel, P. B., Landolfi, A., Laruelle, G. G., Lauerwald, R., Li, W., Lienert, S., Maavara, T., MacLeod, M., Millet, D. B., Olin, S., Patra, P. K., Prinn, R. G., Raymond, P. A., Ruiz, D. J., van der Werf, G. R., Vuichard, N., Wang, J., Weiss, R. F., Wells, K. C., Wilson, C., Yang, J. & Yao, Y. 2020. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature* 586: 248-256. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2780-0>
185. Timmermann, T., Joosten, H. & Succow, M. 2009. *Restaurierung von Mooren*. In: Zerbe, S. & Wiegler, G. (eds.): *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*. Spektrum, Heidelberg, pp. 55-93. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-48517-0_3
186. Tomassen, H. B.M., Smolders, A. J. P., van Herk, J. M., Lamers, L. P. M. & Roelofs, J. G. M. 2003. Restoration of cut-over bogs by floating raft formation: An experimental feasibility study. *Applied Vegetation Science* 6: 141-152. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1654-109X.2003.tb00574.x>
187. Tomassen, H. B.M., Smolders, A. J. P., Lamers, L. P. M. & Roelofs, J. G. M. 2004. Development of floating rafts after the rewetting of cut-over bogs: The importance of peat quality. *Biogeochemistry* 71: 69-87. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10533-004-3931-3.pdf>
188. Tomassen, H. B.M., Smolders, A. J.P., van der Schaaf, S., Lamers, L. P.M. & Roelofs, J. G.M. 2012. Restoration of raised bogs: Mechanisms and case studies from the Netherlands. In: Eiselová, M. (ed.): *Restoration of lakes, streams, floodplains, and bogs in Europe: Principles and case studies*. Springer, Dordrecht, pp. 285-330. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-9265-6_15
189. Turjaman, M., Saito, H., Santoso, E., Susanto, A., Gaman, S., Limin, S. H., Shibuya, M., Takahashi, K., Tamai, Y., Osaki, M. & Tawarayama, K. 2008. Effect of ectomycorrhizal fungi inoculated on Shorea balangeran under field conditions in peat swamp forests. In: Wösten, J.H.M., Rieley, J.O. & Page, S.E. (eds.): *Restoration of tropical peatlands*. Alterra - Wageningen University and Research Centre, and the EU INCO - RESTORPEAT Partnership. pp. 154-159. https://cordis.europa.eu/docs/results/510/510931/127976191-6_en.pdf
190. Turner, E. K., Worrall, F. & Burt, T.P. 2013. The effect of drain blocking on the dissolved organic carbon (DOC) budget of an upland peat catchment in the UK. *Journal of Hydrology* 479: 169-179. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169412010384>
191. Urzainki, I., Laurén, A., Palviainen, M., Haahti, K., Budiman, A., Basuki, I., Netzer, M. & Hökkä, H. 2020. Canal blocking optimization in restoration of drained peatlands. *Biogeosciences Discussions*, in review. <https://bg.copernicus.org/preprints/bg-2020-83/bg-2020-83.pdf>
192. Van Diggelen, J. M. H., Bense, I. H. M., Brouwer, E., Limpens, J., van Schie, J. M. M., Smolders, A. J. P. & Lamers, L. P. M. 2015. Restoration of acidified and eutrophied rich fens: Long-term effects of traditional management and experimental liming. *Ecological Engineering*, 75, 208-216. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925585714006648/ pdf>

193. Van Dijk, J., Stroetenga, M., Bos, L., Van Bodegom, P. M., Verhoef, H. A. & Aerts, R. 2004. Restoring natural seepage conditions on former agricultural grasslands does not lead to reduction of organic matter decomposition and soil nutrient dynamics. *Biogeochemistry* 71: 317-337. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10533-004-0079-0.pdf>
194. Van Duinen, G.-J., Tomassen, H., Limpens, J., Smolders, F., van der Schaaf, S., Verberk, W., Groenendijk, D., Wallis de Vries, M. & Roelofs, J. 2011. Perspectieven voor hoogveenherstel in Nederland. Samenvatting onderzoek en handleiding hoogveenherstel 1998-2010. Bosschap, Driebergen, pp. 89. https://www.natu.orkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/obn150-nz-perspectieven-voor-hoogveenherstel-in-nederland.0039e3.pdf
195. Van Duinen, G.-J., von Asmuth, J., van Loon, A., van der Schaaf, S. & Tomassen, H. 2017. Duurzaam herstel van hoogveenlandschappen. Kennis, praktijkervaring en kennisleemten bij de inrichting van hoogveenkernen, randzones en bufferzones. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren, Driebergen, pp. 301. https://www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/obn212-nz-duurzaam-herstel-hoogveenlandschappen.56d5db.pdf
196. Van Walsum, P.E.V. & Joosten, J.H.J. 1994. Quantification of local ecological effects in regional hydrologic modelling of bog reserves and surrounding agricultural lands. *Agricultural Water Management* 25: 45 - 55. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378377494900523>
197. Veeken, A. & Wassen, M.W. 2020. Impact of local- and regional-scale restoration measures on a vulnerable rich fen in the Naardermeer nature reserve (the Netherlands). *Plant Ecology* <https://doi.org/10.1007/s11258-020-01049-6>
198. Vermeer, J.G. & Joosten, J.H.J. 1992. Conservation and management of bog en fen reserves in the Netherlands. In: Verhoeven, J.T.A. (ed.): *Fens and Bogs in the Netherlands: vegetation, history, nutrient dynamics and conservation*. Geobotany 18, Kluwer Academic Publishers Dordrecht, 433 - 478. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-7997-1_10
199. Vile, M. A., Bridgman, S. D., Wieder, R. K. & Novak, M. 2003. Atmospheric sulfur deposition alters pathways of gaseous carbon production in peatlands. *Global Biogeochemical Cycles* 17. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2002GB001966>
200. Von Unger, M., Emmer, I., Joosten, H. & Couwenberg, J. 2019. Designing an international peatland carbon standard: Criteria, best practices and opportunities. *Umweltbundesamt, Dessau. Climate Change | 42/2019*, pp. 103. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-11-28_cc-42-2019_sca_peatland_standards_0.pdf
201. Vroom, R., Temmink, R.J.M., van Dijk, G., Joosten, H., Lammers, L.P.M., Smolders, A.J.P., Krieb, M., Gaudig, G. & Fritz, C. 2020. Nutrient dynamics of Sphagnum farming on rewetted bog grassland in NW Germany. *Science of the Total Environment* 726, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720319835>
202. Waddington, J. M., Morris, P. J., Kettridge, N., Granath, G., Thompson, D. K., & Moore, P. A. 2015. Hydrological feedbacks in northern peatlands. *Ecohydrology* 8: 113-127. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/eco.1493>
203. Wallage, Z. E., Holden, J. & McDonald, A. T. 2006. Drain blocking: An effective treatment for reducing dissolved organic carbon loss and water discoloration in a drained peatland. *Science of the Total Environment* 367: 811-821. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969706001215>
204. Wassen, M.J. & Joosten, J.H.J. 1996. In search of a hydrological explanation for vegetation changes along a fen gradient in the Biebrza Upper Basin (Poland). *Vegetatio* 124: 191 - 209. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00045494.pdf>
205. Watts, C.H. & Mason, N.W.H. 2015. If we build – they mostly come: partial functional recovery but persistent compositional differences in wetland beetle community restoration. *Restoration Ecology* 23: 555-565. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.12227>
206. Wheeler, B. D., & Shaw, S. C. 1995. Restoration of damaged peatlands - with particular reference to lowland raised bogs affected by peat extraction. London: HMSO, <http://142.44.210.7/bitstream/123456789/562/1/Wheeler%2c%20Shaw.%20Restoration%20of%20Damaged%20Peatlands.%20With%20particular%20reference%20to%20lowland%20raised%20bogs%20affected%20by%20peat%20extraction.pdf>
207. Wibisono, I.T.C. & Dohong, A. 2017. Technical guidance for peatland revegetation. Peatland Restoration Agency (BRG) of the Republic of Indonesia. Jakarta, pp. 85. <http://brg.go.id/download/3413/>
208. Wichmann, S. 2018. Economic incentives for climate smart agriculture on peatlands in the EU. *Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 01/2018*, pp. 38. https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/Report_Economic%20incentives_Cinderella_GMC%20Proceedings_web.pdf
209. Wichmann, S., Brander, L., Schäfer, A., Schaafsma, M., van Beukering, P., Tinch, D. & Bonn, A. 2016. Valuing peatland ecosystem services. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge University Press/ British Ecological Society, Cambridge, pp. 314-338. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/valuing-peatland-ecosystem-services/>
210. Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (eds.) 2016. *Paludiculture - productive use of wet peatlands. Climate protection - biodiversity - regional economic benefits*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, pp. 272. <https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510652839>
211. Wijedasa, L. S., Vernimmen, R., Page, S. E., Mulyadi, D., Bahri, S., Randi, A., Evans, T. A., Lasmito, Priatna, D., Jensen, R. M. & Hooijer, A. 2020. Distance to forest, mammal and bird dispersal drive natural regeneration on degraded tropical peatland. *Forest Ecology and Management* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112719315907>
212. Wilson, J. D., Anderson, R., Bailey, S., Chetcuti, J., Cowie, N. R., Hancock, M. H., Quine, C. P., Russell, N., Stephen, L. & Thompson, D. B.A. 2014. Modelling edge effects of mature forest plantations on peatland waders informs landscape-scale conservation. *Journal of Applied Ecology* 51: 204-213. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1365-2664.12173>
213. Wilson, L., Wilson, J., Holden, J., Johnstone, J., Armstrong, A. & Morris, M. 2011. Ditch blocking, water chemistry and organic carbon flux: Evidence that blanket bog restoration reduces erosion and fluvial carbon loss, *Science of the Total Environment* 409: 2010-2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969711002099>
214. Wilson, D. Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C.D., Murdiyarto, D., Page, S.E., Renou-Wilson, F., Rieley, J.O., Sirin, Strack, A. M. & Tuittila, E.-S. 2016. Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat* 17, Article 04, 1-28. <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map17/map1704.php>
215. Worrall, F., Boothroyd, I. M., Gardner, R. L., Howden, N. J. K., Burt, T. P., Smith, R., Mitchell, L., Kohler, T. & Gregg, R. 2019. The impact of peatland restoration on local climate: Restoration of a cool humid island. *JGR Biogeosciences* 124: 1696-1713. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019JG005156>
216. Zak, D., Gelbrecht, J., Zerbe, S., Shatwell, T., Barth, M., Cabezas, A. & Steffenhagen, P. 2014. How helophytes influence the phosphorus cycle in degraded inundated peat soils - Implications for fen restoration. *Ecological Engineering* 66: 82-90. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857413004187>
217. Zeitz, J. 2016. Drainage induced peat degradation processes. In: Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (eds.): *Paludiculture - productive use of wet peatlands*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, pp. 7-9. <https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510652839>

Wyrażone w niniejszej publikacji poglądy i oznaczenia należą do jej autorów i nie muszą reprezentować poglądów stron Konwencji o obszarach wodno-błotnych ani jej Sekretariatu.

Kopiowanie niniejszego dokumentu w całości lub w część i w jakiegokolwiek postaci w celach edukacyjnych lub non-profit może być wykonywane bez specjalnej zgody właścicieli praw autorskich, o ile zostanie podane źródło. Sekretariat byłby wdzięczny za otrzymanie kopii jakiegokolwiek publikacji lub materiału, który korzysta z niniejszego dokumentu jako źródła.

Poza miejscami, gdzie podano inaczej, niniejsza praca jest chroniona w ramach licencji Creative Commons, uznanie autorstwa, bez utworów zależnych.



Raporty techniczne Ramsar publikowane są przez Sekretariat Konwencji o obszarach wodno-błotnych w językach angielskim, francuskim i hiszpańskim (oficjalne języki Konwencji) w formacie elektronicznym, jak również w formie drukowanej, kiedy jest to wymagane.

Raporty techniczne Ramsar mogą być pobrane z: www.ramsar.org/resources.

Informacje o Naukowej i technicznej komisji rewizyjnej (STRP) przedstawiono na: www.ramsar.org/about/the-scientific-technical-review-panel.

Aby uzyskać więcej informacji o raportach technicznych Ramsar lub poprosić o informacje na temat możliwości korespondencji z ich autami, prosimy o kontakt z Sekretariatem Konwencji o obszarach wodno-błotnych pod adresem: strp@ramsar.org.

Opublikowano przez Sekretariat Konwencji o obszarach wodno-błotnych.

© 2021 Sekretariat Konwencji o obszarach wodno-błotnych.

Konwencja o obszarach wodno-błotnych



Konwencja o obszarach wodno-błotnych, znana również jako Konwencja ramsarska, jest globalnym międzyrządowym traktatem, który przedstawia ramy działania krajowego i współpracy międzynarodowej dla ochrony i mądrego użytkowania mokradł i ich zasobów.

Aneks I: Wartości, usługi ekosystemowe i cele odtwarzania

Konkretne cele odtwarzania torfowisk są wybierane w oparciu o to, co jest potrzebne lub pożądane, oraz co jest możliwe do osiągnięcia. Odtwarzanie może dążyć do zwiększenia bioróżnorodności, zmniejszenia ryzyka pożaru, zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, poprawy dostaw wody, zwiększenia bezpieczeństwa żywnościowego, wzbogacenia walorów krajobrazowych, ochrony wartości archiwalnych, itd., oraz wszystkich ich możliwych kombinacji. Przy odtwarzaniu konieczny jest wybór celów, za którymi trzeba podążać, ponieważ nie wszystkie cele mogą być połączone.

Cele odtwarzania mogą być sformułowane pod względem „usług ekosystemowych”, tj. korzyści, które ludzie/społeczeństwo mogą pozyskać z ekosystemów.¹ Usługi ekosystemowe zawierają nie tylko produkty handlowe, ale także szeroki zakres mniej materialnych wartości. Poniższa tabela przedstawia przegląd tych usług. Jest ona oparta o Wspólną Międzynarodową Klasyfikację Usług Ekosystemowych (CICES), która została opracowana w imieniu Europejskiej Agencji Środowiska, Narodów Zjednoczonych (Wydziału Statystycznego Organizacji) i Banku Światowego, aby usystematyzować monitoring, wycenę i raportowanie usług ekosystemowych. Standard stosuje trzy główne kategorie (zaopatrzenie, regulację i usługi kulturalne) i dzieli je na podkategorie (Bonn et al. 2016). O ile te trzy kategorie usług ekosystemowych są bezpośrednio stosowane przez ludzi, wspierające usługi ekosystemowe nie są bezpośrednio używane lub wykorzystywane, a tym samym są wyłączone (Kahn, 2020). Przykłady wspierających usług ekosystemowych obejmują produkcję główną, produkcję dodatkową, bioróżnorodność, zasoby genetyczne i obieg substancji odżywczych.

Termin „usługi ekosystemowe” może sprawiać wrażenie koncentracji wyłącznie na korzyściach „materialnych”, które dać mogą torfowiska, od dostarczania pożywienia, paszy, włókna i paliwa, ochrony przeciwpowodziowej i denitryfikacji, aż do regulacji warunków klimatycznych.

Jednakże koncepcja „usług ekosystemowych” zawiera o wiele szerszy zakres wartości i obejmuje wszystkie relacje istotne dla ludzi i ludzkości.

Usługi ekosystemowe są czasami mylone z bioróżnorodnością. Sama bioróżnorodność nie stanowi usługi ekosystemowej, lecz raczej wspomaga dostarczanie usług ekosystemowych. Wartość, jaką niektórzy ludzie przypisują bioróżnorodności samej w sobie, jest ujęta w ramach kulturalnych usług ekosystemowych jako wartości duchowe, estetyczne lub edukacyjne. Inne usługi ekosystemowe powiązane blisko z bioróżnorodnością obejmują pożywienie, zasoby genetyczne, drewno, paliwo z biomasy, rekreację i ekoturystykę.

1. W kontekście polityki zmian klimatu usługi ekosystemowe nazywane są również „darami przyrody dla ludzi” (Diaz et al. 2018, de Groot et al. 2018).

Tabela 1: Usługi ekosystemowe torfowisk według Wspólnego międzynarodowego standardu dla usług ekosystemowych (CICES), przystosowanego do torfowiska (Joosten 2016).

Sekcja	Dział	Grupa	Podgrupa	Przykłady towarów i usług zapewnianych przez torfowiska		
				(Potencjalna) sekwestracja torfów (nieodwodnionych)	Degradacja torfów (odwodnionych lub głęboko zalanych)	
Usługi zaopatrzeniowe	Odżywianie: Pożywienie i pasza	Naturalne		Dzika zwierzyna łowna i ptactwo, ryby, jagody, grzyby, sago, miód		
				Wspomagane	Łowiectwo	Mięso reniferów, jeleni lub pardw
		Pasza <i>in situ</i>	Pasza dla zwierząt gospodarskich pasących się na mokrych torfowiskach (np. bawół domowy)			
		Pasza <i>ex situ</i>	Siano i kiszonka z materiału roślinnego mokrych torfowisk niskich			
		Woda	Uprawiane		Olej z damazyka, skrobia z sago	Marchew, ziemniaki, olej palmowy, kukurydza i inne
					Woda do picia, nawodnienia, woda przemysłowa i chłodząca	Pobrana woda powierzchniowa i gruntowa
	Materiały	Medycyna i produkty spożywcze	Farmaceutyki	Rośliny (i zwierzęta) medyczne, np. <i>Drosera</i> , <i>Menyanthes</i> , <i>Ledum</i>	Preparaty humusowe, kapele i okłady torfowe, środki grzybobójcze i bakteriobójcze na bazie torfu, węgiel aktywny z torfu	
			Aromaty	Rośliny jako aromaty do napojów (eg. <i>Menyanthes</i> , <i>Acorus</i> , <i>Hierochloa</i>)	Torf jako aromat do whiskey	
				Rośliny (z B. <i>Phragmites</i> , <i>Typha</i>) do strzech, izolacji, budowy, plecionek i forniru	Torf jako fundament, materiał konstrukcyjny i izolacyjny; drewno z odwodnionego torfowiska	
		Włókna		Ubrania i tekstylia	Futro, skóra, wełna	Włókno torfowe z wełnianki, konopie, wełna z wypasu owiec o wysokiej intensywności
				Masa do papieru i celulozy	Biomasa z <i>Phragmites</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Papyrus</i> , <i>Typha</i>	Drewno z <i>Pinus</i> , <i>Picea</i> , <i>Acacia</i>
				Materiały absorpcyjne, filtrujące i ściółkowe	Ściółka z biomasy	Torf do ściółki w stadninach, filtry, węgiel aktywny, absorbent do wyciekającego oleju, pieluchy
Nawozy		Podłoża uprawowe, gleby doniczkowe	Biomasa z mchu torfowego, kompost z biomasy	Torf jako składnik ogrodniczych podłoży uprawowych		
		Wzbogacenie w substancje odżywcze	Kompost z biomasy torfowisk niskich	Popiół torfowy jako nawóz potasowy, torf z torfowisk niskich jako nawóz azotowy		
		Poprawa struktury gleby	Kompost z biomasy	Torf dla poprawy struktury gleby		
	Chemikalia	Surowce dla chemii	Rafinowany sok mleczny, lateks (jelutong)	Woski i barwniki torfowe, węgiel aktywny wykonany z torfu		

Sekcja	Dział	Grupa	Podgrupa	Przykłady towarów i usług zapewnianych przez torfowiska		
				(Potencjalna) sekwestracja torfów (nieodwodnionych)	Degradacja torfów (odwodnionych lub głęboko zalanych)	
Usługi zaopatrzeniowe (c.d.)	Paliwo	Paliwo kopalne		Gaz biotny (metan)	Paliwa torfowe i pochodzące od torfu	
		Paliwo oparte o biomasę		Trzcina, turzyce, drewno	Olaj palmowy, kukurydza do produkcji biogazu, drewno, trzcina cukrowa do produkcji alkoholu	
		... dla zapewnienia biomasy		(Patrz odżywianie, materiały i paliwo)	(Patrz odżywianie, materiały i paliwo); stawy rybne	
	Przestrzeń	... dla rozwoju urbanistycznego, przemysłowego i infrastrukturalnego		Przestrzeń dla niektórych farm wiatrowych, część infrastruktury transportowej	Przestrzeń dla osad, porfów, lotnisk, kompleksów przemysłowych, zbiorników elektroenergetycznych, składowisk	
		... do obrony i izolacji		Przestrzeń dla poligonów wojskowych o niskiej intensywności	Przestrzeń dla poligonów wojskowych o wysokiej intensywności	
				Miło nadzorowane linie obronne i graniczne	Intensywnie nadzorowane linie obronne i graniczne	
				Przestrzeń dla więzień i obozów pracy	Powiązane odwadnianie i rekultywacja torfowisk	
	Usługi regulacyjne	Regulacja odpadów	Bioremediacja		Denitryfikacja, retencja i sekwestracja substancji odżywczych w roślinach i torfie	Oczyszczanie ścieków, intensywna denitryfikacja
			Rozcieńczanie i sedymentacja		Dostawa czystej wody do rozcieńczania skażeń w dolnym biegu, odfiltrowania zanieczyszczeń	-
		Regulacja przepływów	Regulacja przepływu wody		Zmniejszenie splotu i prędkości odprowadzania, łagodzenie powodzi w dolnym biegu	
				Zachowanie przepływu podstawowego, ochrona wybrzeży	Gwałtowne odprowadzanie wody i zwiększona zdolność buforowania po odwadnianiu	
Regulacja przepływu masowego				Kontrola erozji		
Regulacja środowiska fizycznego		Klimat globalny		Sekwestracja dwutlenku węgla i magazynowanie w torfie	Jak wyżej w biomasie i ściółce w niektórych borealnych lasach torfowiskowych (tymczasowo)	
		Klimat lokalny i regionalny		Chłodzenie ewapotranspiracyjne		
		Jakość wody		Retencja substancji odżywczych, denitryfikacja	Oczyszczanie odpadów, denitryfikacja	
		Warunki glebowe		Akumulacja torfu, inicjowanie i ochrona wieloletniej zmarzliny	Ulepszona struktura gleby dzięki wtórnemu procesowi glebotwórczemu, ochrona wieloletniej zmarzliny	
Regulacja środowiska biotycznego		Utrzymanie cyklu życiowego gatunków i ochrona siedlisk		Zapylanie, rozsiewanie nasion		
			Kontrola pożarów lasów			
	Kontrola szkodników i chorób		Kontrola patogenów i gatunków inwazyjnych			
Ochrona puli genów		Rzadkie i specjalistyczne gatunki bagien i mokradel		Rzadkie gatunki (lekkie) odwodnionych łąk torfowisk niskich		

Sekcja	Dział	Grupa	Podgrupa	Przykłady towarów i usług zapewnianych przez torfowiska				
Usługi kulturalne	Symboliczne	Estetyczne uznanie i inspiracja	Degradacja torfów (odwodnionych lub głęboko zalanych)	(Potencjalna) sekwestracja torfów (nieodwodnionych)				
				Obszary o wybitnym pięknie naturalnym, kompozycja krajobrazu bagien	Wykorzystanie torfu i dębu kopalnego do obiektów rzemieślniczych			
				Tematy dla sztuki i literatury				
				Dziedzictwo	Tradycja, historia i pojęcie ciągłości kulturalnej, poczucie miejsca	Tradycyjna eksploatacja torfu i użytkowanie terenu, poczucie miejsca		
				Symbole i maskotki	Trofea łowieckie, bóbr kanadyjski i żuraw mandzurski jako symbole narodowe			
				Refleksja i wzbogacanie duchowe/religijne	Dzikość, naturalność, cisza, samotność	Szerokie otwarte przestrzenie, szeroki horyzont		
					Pojęcia łączności ekologicznej i ewolucyjnej, czasowość i naturalność	Poczucie kontroli nad krajobrazem		
					Miejsca i gatunki święte			
				Intelektualne i wynikające z doświadczenia	Rekreacja i łagodzenie stresu	Spokój i scenaria dla turystyki i aktywności na świeżym powietrzu, okazja do łowiectwa/wędkarstwa i obserwacji dzikiej przyrody		
					Użyteczność społeczna	Zatrudnienie i wolontariat w ochronie i badaniach bagien	Zatrudnienie w eksploatacji i przetwórstwie torfu oraz zatrudnienie w opartym o odwadnianie rolnictwie i leśnictwie	
					Informacje i wiedza	Poznawczość i zaspokajanie ciekawości	Archiwa stratygraficzne (zapisy paleoilityczne, zachowanie artefaktów archeologicznych)	
						Indykacja	Ekstremalne warunki siedliskowe i specjalne adaptacje organizmów bagiennych, (odniesienie do samoorganizacji — oraz regulacji	Historia i socjologia kulturowego użytkowania terenu, zachowanie zaburzonych systemów
						Edukacja	Zapis paleoekologiczny, organizmy wskaźnikowe	
Transformacja	Kształtowanie charakteru	Temat literatury edukacyjnej, wycieczek terenowych, prezentacji	Jak wyżej w odniesieniu do eksploatacji torfów, rolnictwa, leśnictwa, gospodarowania wodą i budowy dróg					
	Możliwości i dziedzictwo	Możliwości rozwoju nowych gustów, zdolności moralnych i społecznych oraz rosnąca świadomość łączności ewolucyjnej i ekologicznej	Korzyści, które wciąż pozostają do odkrycia	Korzyści, które wciąż pozostają do odkrycia				

Bibliografia

- Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (2016). Peatland restoration and ecosystem services: an introduction. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. Cambridge: Cambridge University Press/ British Ecological Society, pp. 1-16. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/peatland-restoration-and-ecosystem-services-an-introduction/EF3923BC49D5EA9AA22F90B7706A6CEC>.
- De Groot, R., Costanza, R., Braat, L., Brander, L., Burkhard, B., Carrascosa, J.L., Egoh, B., Geneletti, D., Hansjürgens, B.; Hein, L.; et al. (2018). Ecosystem services are nature's contributions to people: Response to: Assessing nature's contributions to people. *Sci. Prog.* 359, 6373.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K.M., Baste, I.A., Brauman, K.A. et al. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359, 270-272. <https://science.sciencemag.org/content/359/6373/270/tab-pdf>.
- Joosten, H. (2016). Ecosystem services of peatlands. In: Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (eds.): *Paludiculture - productive use of wet peatlands*. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, pp. 15-18.
- Khan, M. S. I. (2020). Supporting ecosystem services: Concepts and linkages to sustainability. In: W. Leal Filho et al. (eds.), *Life on Land, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, Springer Nature Switzerland AG, 1-21. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71065-5_34-1.

Aneks II: Hydrogenetyczne typy bagien

Hydrogenetyczna klasyfikacja bagien koncentruje się na procesach, które napędzają powstawanie torfu i rozwój torfowisk. Specjalną uwagę poświęcono wzajemnym relacjom i mechanizmom zwrotnym między i) przepływem i wahaniami wody, ii) szatą roślinną oraz iii) tworzeniem się torfu, oraz do roli, jaką rozwój torfowisk odgrywa w hydrologii krajobrazu. Poniższy tekst jest w dużej mierze oparty o Joosten et al. 2017, gdzie można również znaleźć liczne odniesienia.

Hydrogenetyczne typy bagien składają się z dwóch głównych grup: „bagien poziomych” i „bagien pochyłych (pochylonych)” (Tabela 1).

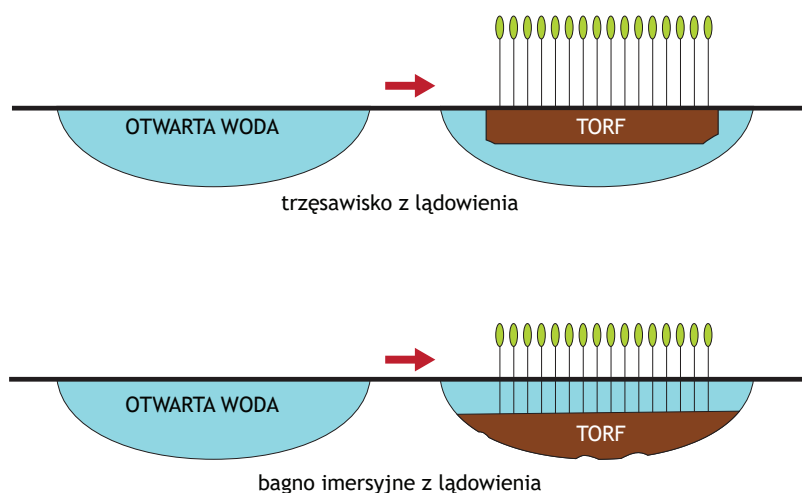
BAGNA POZIOME występują w zamkniętych nieckach, gdzie poziomemu ruchowi wody w dużej mierze zapobiega się dzięki płaskiej rzeźbie terenu i nieprzepuszczalnemu podłożu, a co za tym idzie powierzchnia wody jest pozioma. Pionowe wahania zwierciadła wody (sezonowe lub między latami) mogą być niewielkie do bardzo dużych. Tworzenie się torfu zachodzi tylko, jeżeli okresy zalania wodą są o wiele dłuższe niż okresy suche, w taki sposób, że straty oksydacyjne niwelowane są przez produkcję materiału organicznego. Bagna poziome prawie nie mają wpływu na przepływ wody w krajobrazie lub na zwierciadło wody w ich otoczeniu. Ich wpływ na hydrologię krajobrazu jest wyłącznie taki, że zmniejszają magazynowanie wody w niecce, gdyż wypełniają niecki torfem, co może prowadzić do większego przypowierzchniowego szczytowego przepływu w innym miejscu w krajobrazie.

Bagna poziome dodatkowo dzielą się na:

- „**Bagna z lądowienia**”, gdzie tworzenie się torfu zachodzi w lub ponad otwartym lustrem wody. Bagna z lądowienia dodatkowo dzielą się na:
 - „**Trzęsawiska**”, w których torf akumuluje się w pływającym ple; oraz
 - „**Bagna imersyjne**”, w których torf akumuluje się na dnie zbiornika wodnego.

Torf odkładający się na początku lądowienia jest w większości słabo rozłożony. Gdy basen wypełnia się przy ciągłym lądowieniu, górne warstwy torfu, które odkładały się jako ostatnie, podlegają silniejszemu rozkładowi z powodu zwiększających się wahań zwierciadła wody. Na końcu procesu lądowienia, kiedy basen jest całkowicie wypełniony, akumulacja torfu zatrzymuje się, chyba, że kontrolę przejmie inna strategia tworzenia się torfu.

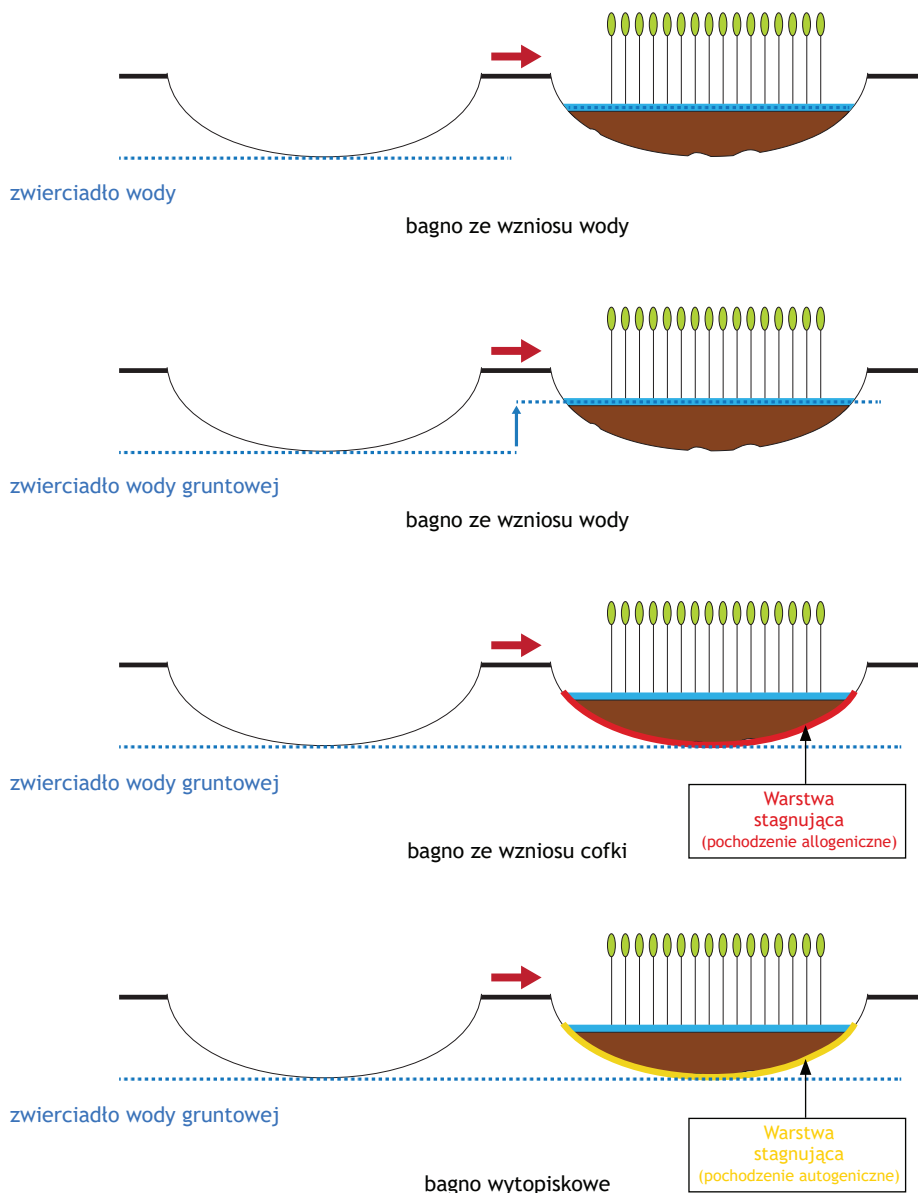
Ilustracja 1



- „**Bagna ze wzniosu wody**”, gdzie tworzenie się torfu zachodzi po podnoszeniu się zwierciadła wody (które jest niewystarczające do wytworzenia otwartej wody, patrz wyżej). Ponieważ głębokość wody (ponad powierzchnią) jest w większości niewielka, a wahania zwierciadła wody są zwykle duże, odkładają się silnie rozłożone torfy, które mają niskie przewodnictwo hydrauliczne i tylko niewielki współczynnik magazynowania, lecz wysoką kapilarność. Bagna ze wzniosu wody dodatkowo dzielą się na:

- „Bagna ze wzniosu wody gruntowej” w kontakcie z i zasilane przez wodę gruntową zlewni;
- „Bagna ze wzniosu cofki” bez kontaktu z wodą gruntową, zasilane przez przelew i z uszczelnieniem allogenicznym; oraz
- „Bagna samouszczelniające się” bez kontaktu z wodą gruntową, zasilane przez przelew i z uszczelnieniem autogenicznym („samouszczelnienie”).

Ilustracja 2



Podnoszenie się poziomu wody gruntowej może występować regionalnie (np. z powodu podniesienia się poziomu morza, zmiany klimatu lub użytkowania terenu, lub z powodu tworzenia się torfu w niższej leżących dolinach). Względne podniesienie się poziomu wody gruntowej może być również wynikiem tektonicznego lub glacialnego izostatycznego (post-glacialny ruch Ziemi) opadania ładu lub rozłamów krasowych.

W zagłębieniach bez połączenia z wodą gruntową, zwierciadło wody może podnosić się lokalnie ze względu na infiltrację mniejszej ilości wody z uwagi na uszczelnienie podglebia przez cząstki mineralne lub organiczne (rudawiec, strefy akumulacyjnej gleb bielcowych), lub ze względu na boczną utratę mniejszej ilości wody (na przykład z powodu tam bobrowych lub jazów młyńskich, lub ze względu na przepływ większej ilości wody do zagłębienia (na przykład z powodu melioracji lub zagęszczenia gleby w zlewni).

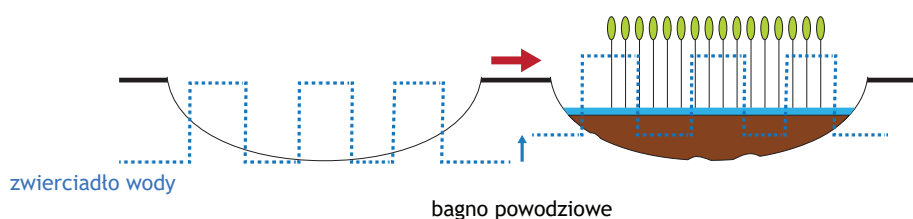
Szczególnym podtypem bagien ze wzniosu wody jest „bagno samouszczelniające się”. Same bagna samouszczelniające się tworzą warstwę stagnującą w uprzednio bardziej przepuszczalnym podglebiu mineralnym, zwykle w niecce o kształcie kotła. Kiedy odpływ wody jest utrudniany w coraz to wyższym stopniu, wewnętrzne zwierciadło wody bagna podnosi się.

Chociaż uszczelnienie występuje pod wpływem przepływającej wody, które transportuje odpowiedzialne za uszczelnienie koloidy humusowe z bagna do podglebia mineralnego, strategia akumulacji torfu jest taka, jak dla bagna bez znacznego bocznego przepływu wody.

'**Bagna powodziowe**', które powiązane są z obszarami okresowo zalewanymi. Nadmiar wody zwykle szybko sływa.

- Bagna powodziowe dodatkowo dzielą się na:
 - „**Rzeczne bagna powodziowe**”, gdzie regularne zalewanie wywoływane jest przez (roczne lub częstsze niż roczne) wyptyw wody z obszaru zlewni;
 - „**Morskie bagna powodziowe**”, gdzie regularne zalewanie wywoływane jest przez pływy księżycowe (np. akumulujące torfy namorzyny i słone bagna); oraz
 - „**Jeziorne bagna powodziowe**”, gdzie regularne zalewanie wywoływane jest przez pływy wietrzne (np. duże jeziora, Morze Baltyckie).

Ilustracja 3



Torfy bagien powodziowych są zwykle silnie rozłożone z uwagi na silne wahania zwierciadła wody. Bagna powodziowe o znacznej miąższości torfu mogą występować tylko, jeżeli względne zwierciadła wody także się podnoszą (podnoszący się poziom wody morskiej, podnoszące się koryta rzek itd.). Są one w związku z tym powiązane z bagnami ze wzniosu wody. Różnicę stanowi mechaniczne działanie okresowego bocznego przepływu wody i powiązanej sedimentacji allogenicznych materiałów klastycznych (piasek, ił). Zasadniczo, z powodu dużej gęstości objętościowej torfu, brak jest wahań poziomu powierzchni bagna. Ponieważ przewodnictwo hydrauliczne torfu jest niskie, spływ powierzchniowy jest duży, chociaż jest on w pewnym stopniu spowalniany przez roślinność. Przy wpływie na boczny przepływ wody, ten typ tworzy przejście do grupy pochylonych typów bagien.

Bagna poziome są „pasywne”: leżą poziomo w krajobrazie, ruch wody jest w dużej mierze pionowy, i nie mają one hydrologicznego wpływu na obszar zlewni (lub mają jedynie bardzo ograniczony). Z czasem, kiedy ich baseny stopniowo wypełniają się torfem, zmniejszają one zdolność krajobrazu do magazynowania wody.

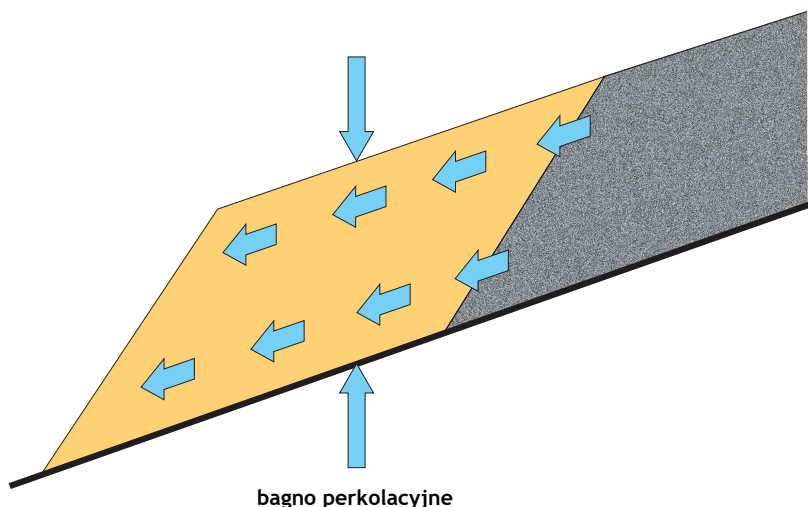
BAGNA POCHYLE są bardziej „aktywne”: powierzchnia bagna wykazuje spadek i znaczna ilość wody jest utracona przez przepływ boczny. Roślinność i torf spowalniają ten przepływ, tak więc przyrost roślinności i akumulacja torfu prowadzą do bezwzględnego podniesienia się zwierciadła wody w bagnie i często również w zlewni, wywołując ciągłą akumulację torfu. W przeciwieństwie do bagien poziomych, bagna pochyłe zwiększają retencję wody w krajobrazie.

Bagna pochyłe mogą w pewnym stopniu regulować dostępną dla nich wodę. Co najważniejsze, opóźniają one jej sptyw, lecz również skutecznie odprowadzają nadwyżkę wody ponad powierzchnią z uwagi na ich pochylenie. W regulacji dopływu i odpływu wody, istotną rolę odgrywa dynamiczna trójstronna relacja między wodą, roślinnością i torfem. Bagna pochyłe dodatkowo dzielą się na:

- **„Bagna perkolacyjne”**, które są związane z krajobrazami, gdzie dostawa wody jest duża i bardzo równo rozłożona w ciągu roku. W efekcie zwierciadło wody w bagnie jest niemal nieruchome względem powierzchni. Martwy materiał roślinny szybko dochodzi do stale zawadnionej strefy i podlega szybkiemu rozkładowi tlenowemu tylko przez krótki czas. W konsekwencji torf pozostaje słabo rozłożony i sprężysty. Z powodu dużych porów i związanego z tym wysokiego przewodnictwa hydraulicznego, istotny przepływ wody występuje ponad znaczącą głębokością ciała torfu. O ile młode bagna perkolacyjne są podatne na zewnętrznie wywoływane wahania zwierciadła wody, rosnąca miąższość torfu z czasem coraz bardziej kompensuje wahania dostaw wody i utraty wody przez wahania poziomu powierzchni bagna. Zdolność torfu do wahań czyni warunki dla tworzenia się torfu na powierzchni coraz bardziej stabilnymi. Bagna perkolacyjne dodatkowo dzielą się na
 - **„Perkolacyjne torfowiska niskie”**, zasilane przez wodę gruntową (geogeniczne); oraz
 - **„Perkolacyjne torfowiska wysokie”**, zasilane tylko przez opady (ombrogeniczne).

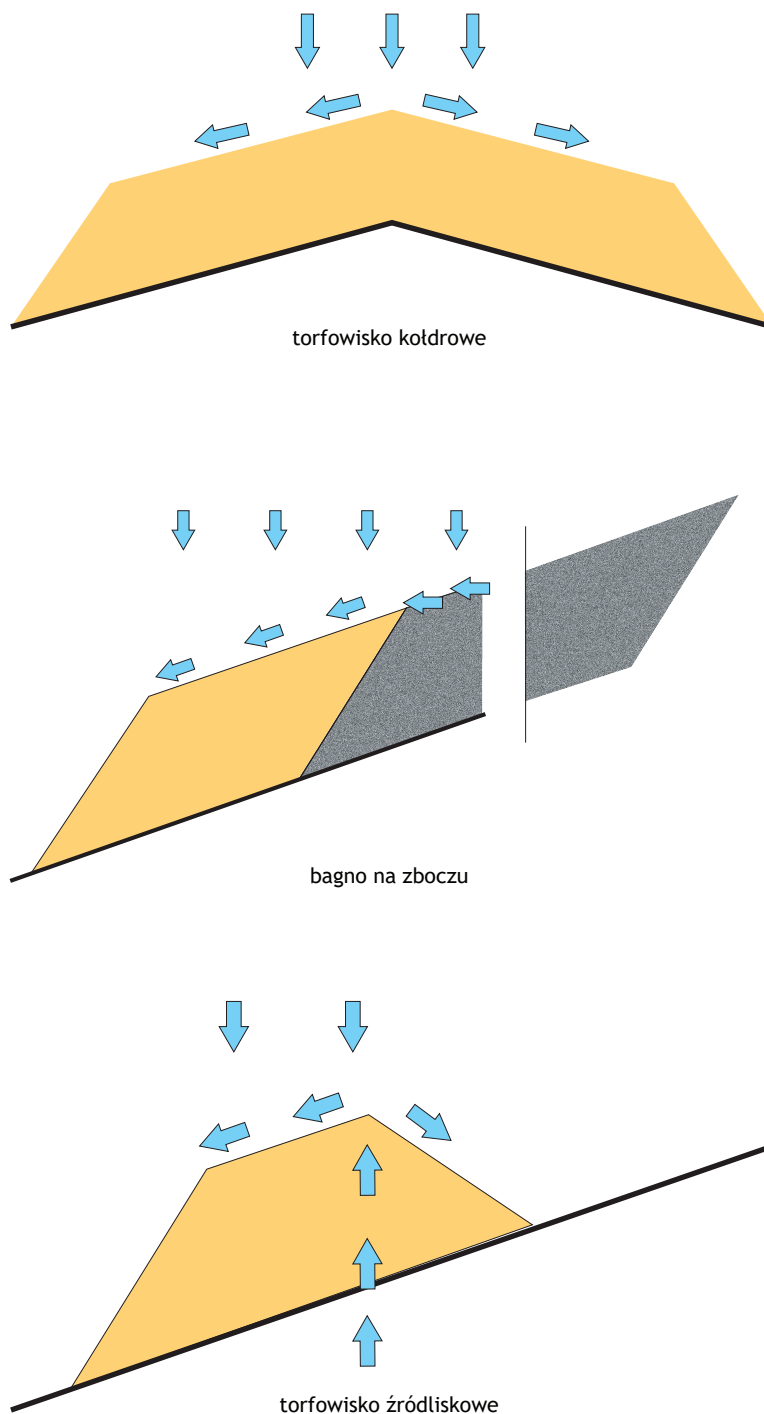
W większości stref klimatycznych, tylko duże obszary zlewni mogą zagwarantować pokaźną i ciągłą dostawę wody. Tym samym bagna perkolacyjne normalnie występują tylko jako bagna zasilane przez wodę gruntową (torfowiska niskie). Jednakże w obszarze Kolchida (Gruzja) zdominowane przez torfowce ombrogeniczne bagna perkolacyjne istnieją w warunkach niemal „stałych” silnych opadów deszczu.

Ilustracja 4



- **„Bagna z przepływu powierzchniowego”**, gdzie silny rozkład torfu zmusza wodę do przelania się przez torf. Bagna z przepływu powierzchniowego mogą przetrwać tylko, jeżeli straty z utleniania są ograniczone, tj. jeżeli zwierciadło wody opada tylko niekiedy. Tym samym, są one ograniczone do obszarów o niemal stałej dostawie wody w ciągu roku i/lub tylko niewielkich utratach wody (szczególnie z powodu ewapotranspiracji). Z powodu niewielkiego współczynnika magazynowania torfu, wszelkie niedostatki wody wciąż mogą prowadzić do dość dużych spadków zwierciadła wody i wynikającego z tego silnego rozkładu torfu. Z powodu ich niskiego przewodnictwa hydraulicznego i dużych dostaw wody, bagna z przepływu powierzchniowego mogą występować na i ze stromymi zboczami. Bagna z przepływu powierzchniowego dodatkowo dzielą się na:
 - **„Torfowiska koldrowe”**, zasilane tylko wodą deszczową;
 - **„Torfowiska niskie na zboczach”**, zasilane również przez sptyw powierzchniowy; oraz
 - **„Torfowiska źródłiskowe”**, zasilane również przez wodę gruntową.

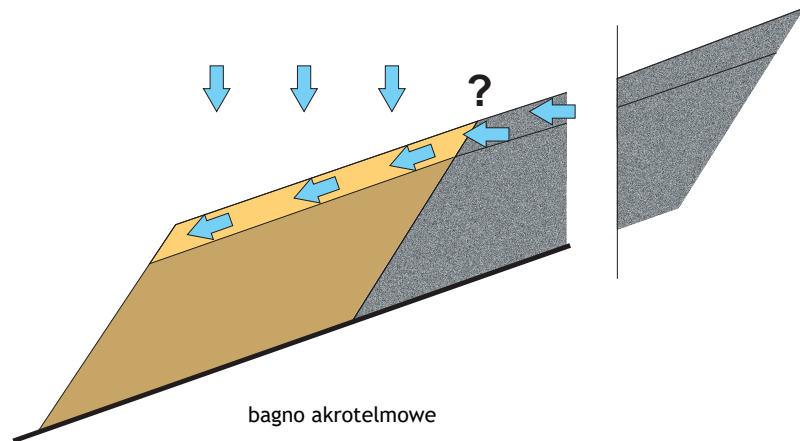
Ilustracja 5



- **„Bagna akrotelmowe”**, które wykazują się wyraźnym pionowym gradientem przewodnictwa hydraulicznego w warstwie roślinności i torfie przypowierzchniowym, co umożliwia im regulowanie przepływu wody i ograniczanie utrat wody. Bagna akrotelmowe znane są wyłącznie jako ekosystemy ombrotroficzne (tj. zasilane tylko deszczem), lecz teoretycznie wyobrazić można sobie również systemy zasilane wodę gruntową (oznaczone znakiem zapytania (?) na ilustracji 6 poniżej).
 - Torfowcowe bagna akrotelmowe („torfowiska wysokie”) charakteryzują się ciągłą akumulacją świeżego materiału torfowcowego, który łączy wysoki współczynnik magazynowania (wiele dużych porów) z niewielką zdolnością materiału do rozkładu. Ta ograniczona zdolność do rozkładu utrzymuje efekt wahań zwierciadła wody w przestrzeni porowej na względnie niewielkim poziomie. Utrata wody przez sptyw i ewapotranspirację powodują tylko ograniczone spadki zwierciadła wody z uwagi na duże pory i wysoki współczynnik magazynowania torfu.

Wyraźny gradient pionowy w przestrzeni porowej i przewodnictwo hydrauliczne są efektem głębszego, starszego materiału torfowego, który był dłużej podatny na utlenienie i na ciśnienie. Jeżeli zwierciadło wody rzeczywiście opadnie podczas niedostatku wody, przez mniej przepuszczalną część „akrotelmu” może przepływać tylko niewielka ilość wody. W ten sposób głębsze warstwy torfu („katotelm”) pozostają ciągle zalane wodą, nawet jeżeli dostawa wody jest zróżnicowana.

Ilustracja 6



W przypadku bagien akrotelmowych typu klasycznego, zdominowanego przez torfowce torfowiska wysokiego, kontrastujące wymagania wysokiego współczynnika magazynowania (dla zapobiegnięcia dużym spadkom zwierciadła wody spowodowanych utratą wody przez ewapotranspirację) i niewielkiego przewodnictwa hydraulicznego wypełnione są w pełni tylko przez nieliczne gatunki torfowców, przede wszystkim *Sphagnum austinii*, *S. fuscum*, *S. magellanicum/medium/divinum*, *S. papillosum* i *S. rubellum/capillifolium*. Gatunki te łączą w sobie ograniczoną zdolność do rozkładu z preferencjami ubogich i kwaśnych warunków, właściwymi dla warunków ombrotroficznych. Zaskakująco szerokie rozprzestrzenienie torfowcowego typu bagna akrotelmowego pokazuje skuteczność tej strategii.

- Ponadto, tropikalne kopolowe torfowe lasy bagienne w południowo-wschodniej Azji (i prawdopodobnie również w innych miejscach w tropikach) są bagnami akrotelmowymi. Najniższa część roślinności leśnej, warstwa ściółki i struktura powierzchni gruntu realizuje tu typowy gradient przewodnictwa, który dłużej utrzymuje w bagnie wodę z sezonu mokrego.

Hydrogenetyczne typy tworzenia się torfu mogą być połączone z innymi zmiennymi, np. ze:

- źródłem wody
- jakością wody
- roślinnością itd.

Jako przykład przedstawiamy kombinację ze źródłem wody (patrz tabela 1):

- ombrogeniczne: pochodzące wyłącznie z wody opadowej
- soligeniczne: pochodzące również ze spływu powierzchniowego
- litogeniczne: pochodzące również z głębokiej wody gruntowej
- talasogeniczne: pochodzące również z wody morskiej

Tabela 1: Hydrogenetyczne typy bagien (kolumny) połączone z ich właściwościami hydrologicznymi i źródłem wody (rzędy), z przykładami podanymi kursywą. Szare pola wskazują kombinacje, które prawdopodobnie nie istnieją (Joosten et al. 2017).

Reżim wodny		Bagna poziome			Bagna pochyle				
		Z łądowienia		Ze wzniosu wody	Powodziowe	Z przepływu powierzchniowego	Akrotelmowe	Perkolacyjne	
		Trzęsawiska	Imersyjne						
Dostawa wody		Ciągła	Głównie ciągła	Niewielka	Okresowa	Częsta	Częsta	Ciągła	
Pochylenie powierzchni bagna		Brak	Brak	Brak	Brak / niewielkie	Niewielkie / duże	Niewielkie	Niewielkie	
Wewnętrzne magazynowanie wody		Duże	Przeważnie duże	Brak	Niewielkie / duże	Bardzo niewielkie	Dość duże	Duże	
Wpływ na magazynowanie wody w krajobrazie		Zmniejszenie magazynowania	Zmniejszenie magazynowania	Zmniejszenie magazynowania	Zmniejszenie magazynowania (być może zwiększenie)	Zwiększenie magazynowania	Zwiększenie magazynowania	Zwiększenie magazynowania	
Pochodzenie wody	Ombrogeniczne torfowisko wysokie	Ombrogeniczne trzęsawisko <i>trzęsawisko w mszarze</i>	Ombrogeniczne bagno imersyjne <i>łądowienie w mszarze</i>	Ombrogeniczne bagno ze wzniosu wody <i>kompleks ze wzniosem wody w mszarze</i>	Ombrogeniczne bagno powodziowe <i>bagno powodziowe wzdłuż dużego jeziora bagiennego</i>	Ombrogeniczne bagno z przepływu powierzchniowego <i>grzęzawisko</i>	Ombrogeniczne bagno akrotelmowe <i>typowe torfowisko wysokie</i>	Ombrogeniczne bagno perkolacyjne <i>mszar perkolacyjny</i>	
	Geogeniczne torfowisko niskie	Soligeniczne	Soligeniczne trzęsawisko <i>plywająca mata w trzęsawisku</i>	Soligeniczne bagno imersyjne <i>łądowienie w trzęsawisku</i>	Soligeniczne bagno ze wzniosu wody <i>samouszczelniające się bagno (Kesselmoor)</i>	Soligeniczne bagno powodziowe <i>samouszczelniające się bagno (Kesselstandmoor)</i>	Soligeniczne bagno z przepływu powierzchniowego <i>pochyłe torfowisko niskie, Hangmoor</i>	Soligeniczne bagno akrotelmowe	Soligeniczne bagno perkolacyjne <i>niektóre pochylone torfowiska niskie</i>
		Litogeniczne	Litogeniczne trzęsawisko <i>plywające pło na jeziorze</i>	Litogeniczne bagno imersyjne <i>bagno z łądowienia jeziora</i>	Litogeniczne bagno ze wzniosu wody <i>bagno ze wzniosu wody gruntowej</i>	Litogeniczne bagno powodziowe <i>bagno równi zalewowej rzeki</i>	Litogeniczne bagno z przepływu powierzchniowego <i>większość bagien źródłanych</i>	Litogeniczne bagno akrotelmowe	Litogeniczne bagno perkolacyjne <i>typowe bagno perkolacyjne</i>
		Talaso-geniczne	Talaso-geniczne trzęsawisko	Talaso-geniczne bagno imersyjne <i>nabrzańne bagno z łądowienia</i>	Talaso-geniczne bagno ze wzniosu wody	Talaso-geniczne bagno powodziowe <i>nabrzańne bagno powodziowe, namorzynowe</i>	Talaso-geniczne bagno z przepływu powierzchniowego	Talaso-geniczne bagno akrotelmowe	Talaso-geniczne bagno perkolacyjne

W efekcie współdziałania roślinności, wody i torfu („samoorganizacja”), bagna wykształcają różne typy morfologiczne. Składają się one z charakterystycznej formy terenu (profil przekrojowy, Grossform) połączonej z charakterystycznymi konfiguracjami mikrotopograficznych elementów powierzchniowych (Kleinform). Klasycznymi przykładami są torfowiska typu kermi (bagno akrotelmowe) i bagna aapa (bagno z przepływu powierzchniowego).

W bagnach pochylonych rozwój lodu prowadzi do silniejszego zróżnicowania między konfiguracjami oraz bardziej wyraźnego ułożenia pożądanego i niepożądanego elementów mikrorzeźby (tufury i zagłębienia, pasy i obniżenia itd.). Wynikiem tego jest rozwój mszarów „koncentrycznych” i „ekscentrycznych” oraz „wstęgowych torfowisk niskich”/bagien aapa.

Oprócz procesów wewnętrznych, w konfiguracji makro- i mikrostruktur torfowisk istotne mogą być również zewnętrzne procesy, takie jak działanie rzek i mrozu. Działanie mrozu może być przyczyną cech, które istnieją również w glebach mineralnych, lecz które w przypadku obszarów pokrytych torfem dają podwaliny do konkretnych morfologicznych typów torfowisk, takich jak „palsa”, „torfowe plateau” i bagna „poligonowe”.

Bibliografia

Joosten, H., Moen, A., Couwenberg, J. & Tanneberger, F. (2017). Mire diversity in Europe: mire and peatland types. In: Joosten, H., Tanneberger, F. & Moen, A. (eds.): Mires and peatlands of Europe - Status, distribution and conservation. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, 5-64.

Aneks III: Konflikty, kompromisy i synergia

Celem ponownego nawodnienia i odtwarzania torfowisk jest wiele funkcji ekologicznych, społecznych i ekonomicznych oraz cała gama towarów i usług ekosystemowych korzystnych dla wielu grup interesariuszy. Niektóre usługi są synergiczne i wzmacniające, inne są potencjalnie konfliktowe (Acreman et al. 2011). Niniejszy aneks rozważa główne konflikty i synergia.

Najważniejszymi konfliktami są:

- Choroby przenoszone drogą wodną: ponowne nawodnienie może zwiększyć występowanie wektorów chorób przenoszonych drogą wodną, zarówno dla zwierząt gospodarskich, jak i ludzi (Cromie et al. 2012).
- Uciążliwości dla otoczenia: utrata znajomego krajobrazu, zalane piwnice, gryzące meszki i komary (Becker et al. 2010, Verdonschot i Besse-Lototskaya, 2014, Hawkes et al. 2020).
- Eutrofizacja wewnętrzna i zewnętrzna: ponowne nawodnienie wodą powierzchniową może prowadzić do dopływu substancji odżywczych i wywołanej siarczanami mobilizacji fosforanów (Lamers et al. 2002).
- Ponowne nawodnienie, szczególnie bogatego w substancje odżywcze dawnego terenu rolniczego, może prowadzić do tymczasowej mobilizacji substancji odżywczych (Haapalehto et al. 2014, Kotowski et al. 2016), w szczególności fosforanów, które mogą dokonać eutrofizacji samego obszaru oraz wód w dole przepływu (Sallantaus 2014, Harpenslager et al. 2015, Zak et al. 2018). Ryzyka i możliwości łagodzenia omówiono w Zak et al. (2010). Ługowanie substancji odżywczych i zawieszonych ciał stałych może być zredukowane przez przekierowanie wody z zablokowanych rowów odwadniających na otaczające torfowiska (Rehell et al. 2014).
- Emisje metanu: ponowne nawodnienie nie tylko zatrzymuje emisje CO₂ i N₂O (Wilson et al. 2016), lecz również przywraca wytwarzanie i emisję metanu - silnego gazu cieplarnianego (patrz sekcja 4.2).
- Niszczenie wartości historycznych, archeologicznych i paleoekologicznych (Joosten, 1987, Similä et al. 2014, Waylen et al. 2016). Konflikty mogą być zminimalizowane dzięki uprzedniej inwentaryzacji (por. Coles 1995, Coles et al. 2001, Greiser i Joosten, 2018), przez zaangażowanie specjalistów w planowanie zagospodarowania i regularny monitoring (Thom et al. 2019) oraz przez dostarczanie personelowi wykonawczemu informacji o wartościowych obszarach, jak również o tym, jak powinny być one uwzględnione podczas prac odtwarzających.
- Osłabienie istniejących wartości ochrony gatunków. Łagodzenie tego zjawiska obejmuje minimalizowanie uszkodzeń pozostałości i ostoi przez rozprowadzenie zagrożeń w czasie, poprzez modyfikację technik odtwarzania i tworzenie siedlisk alternatywnych (i funkcjonalnych) dla danych gatunków (Remm et al. 2019).
- Zasadniczy konflikt między „uczynieniem” a „staniem się”: projektowanie zabija spontaniczność - „tworzenie niszczy naturę” (patrz sekcja 4.3).

Synergia:

- Choroby: Wycinka lasu iglastego dla przywrócenia torfowisk może spowodować drastyczny spadek liczebności kleszczy z następstwem zmniejszonego ryzyka choroby (Gilbert, 2013).
- Archeologia/wartości archiwalne: Zasadniczo ochronie wartości paleologicznych sprzyjają środki, które stabilizują torf i zmniejszają erozję, zatrzymują fizyczne usuwanie torfu, utrzymują wysokie zwierciadła wody i wspomagają aktywne tworzenie się torfu¹ (Bunning et al. 2000, 2012, Gearey i Fyfe, 2016).

Ustalanie celów powinno wziąć pod uwagę pożądane rezultaty wobec ryzyka porażki, zwłaszcza, jeżeli „zdegradowany” ekosystem zawiera komponenty o wysokiej wartości. Tam, gdzie istnieje duża niepewność, rozsądniejsze może być zachowanie obecnych wartości, nawet jeżeli odtwarzanie mogłoby w dłuższej perspektywie czasowej przynieść większe korzyści.

1 <https://www.ramsar.org/document/resolution-viii19-guiding-principles-for-taking-into-account-the-cultural-values-of>

Joosten i Van Noorden, 1992 przedstawiają system oceny dla wszystkich rodzajów elementów przyrodniczych i kulturalnych przez połączenie zróżnicowania przestrzennego (jak rzadki jest element lokalnie, krajowo, globalnie) i rozwoju czasowego (czy rozwój zajmuje lata, wieki, czy tysiąclecia). W oparciu o tę zintegrowaną wycenę, przedstawiają one wskazania do wyboru między elementami rzeczywistymi i potencjalnymi. Kiedy elementy rzeczywiste i potencjalne mają tę samą wartość, wartości rzeczywiste powinny przeważać nad potencjalnymi („lepszy wróbel w garści niż gołąb na dachu”).

Jeżeli wartości potencjalne należą do wyższej kategorii niż rzeczywiste, wybory odnośnie do dalszej drogi stają się w większym stopniu ruletką. Jeśli uznaje się za dopuszczalne 50% prawdopodobieństwo przeskoczenia między dwiema kolejnymi kategoriami (tj. z 8 do 7 lub z 5 do 4), można byłoby przeskoczyć z wartości kategorii 8 do wartości kategorii 3 z prawdopodobieństwem realizacji $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 0,03$ (3%).

Bibliografia

Acreman, M.C., Harding, R.J., Lloyd, C., McNamara, N.P., Mountford, J.O., Mould, D. J., Purse, B. V., Heard, M. S., Stratford, C.J. & Dury, S.J. (2011). Trade-off in ecosystem services of the Somerset Levels and Moors wetlands. *Hydrological Sciences Journal*, 56: 1543-1565. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2011.629783>.

Becker, N., Petrić, D., Zgomba, M., Boase, C., Dahl, C., Madon, M. & Kaiser, A. (2010). *Mosquitoes and their control*, 2nd edition. Heidelberg: Springer, pp. 577. <https://www.springer.com/de/book/9783540928737>.

Coles, B. (1995). *Archaeology and wetland restoration*. In: Wheeler, B.D. & Shaw, S.C., Foit, W.J. & Robertson, R.A. (eds.): *Restoration of temperate wetlands*. Chichester: John Wiley, pp. 1-19.

Coles, B., Olivier, A. & Bull, D. (eds.). (2001). *The heritage management of wetlands in Europe*. Brussels: EAC / Exeter: WARP, pp. 207.

Cromie, R.L., Lee, R., Delahay, R.J., Newth, J.L., O'Brien, M. F., Fairlamb, H.A., Reeves, J.P. & Stroud, D.A. (2012). *Ramsar wetland disease manual: Guidelines for assessment, monitoring and management of animal disease in wetlands*. Ramsar Technical Report No.7. Gland: Ramsar Convention Secretariat, pp. 353. <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/rtr7-disease.pdf>.

Gearey, B. & Fyfe, R. (2016). *Peatlands as knowledge archives*. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge: Cambridge University Press/ British Ecological Society, pp. 95-113. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/peatlands-as-knowledge-archives/C1DD851783AE904F657A2DA91F7C9595>.

Gilbert, L. (2013). Can restoration of afforested peatland regulate pests and disease? *Journal of Applied Ecology*, 50: 1226-1233. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1365-2664.12141>.

Greiser, C. & Joosten, H. (2018). Archive value: measuring the palaeo-information content of peatlands in a conservation and compensation perspective. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 14: 210-221. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21513732.2018.1523229>.

Haapalehto, T., Kotiaho, J.S., Matilainen, R. & Tahvanainen, T. (2014). The effects of long-term drainage and subsequent restoration on water table level and pore water chemistry in boreal peatlands. *Journal of Hydrology*, 519: 1493-1505. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169414006933>.

[S0022169414006933](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169414006933).

Harpenslager, S.F., van den Elzen, E., Kox, M.A.R., Smolders, A.J.P., Ettwig, K.F. & Lamers, L.P.M. (2015). Rewetting former agricultural peatlands: Topsoil removal as a prerequisite to avoid strong nutrient and greenhouse gas emissions. *Ecological Engineering*, 84: 159-168. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857415301361>.

Hawkes, F.M., Medlock, J.M., Vaux, A.G.C., Cheke, R.A. & Gibson, G. (2020). *Wetland mosquito survey handbook - Assessing suitability of British wetlands for mosquitoes*. Natural Resources Chatham: Institute, pp. 130. http://www.wetlandlife.org/images/images/Project_outputs/NRI-PHE-UoG_Wetland_Mosquito_Survey_Handbook_v1-indexed.pdf.

Joosten, H., 1987. Lange armen, grote neusgaten: De Ospelse Peel als cultuurreservaat. In: A. Bruekers (ed.): *Nederweerts verleden. De kerk in het midden*. Nederweert: Stichting Geschiedschrijving, 131-41. <http://www.nederweertsverleden.nl/downloads%20artikelen/peelcultuurreservaat.pdf>

Joosten, J.H.J. & van Noorden, B.P.M. (1992). *De Groote Peel: leren waarden. Een oefening in het waarden van natuurelementen ten behoeve van het natuurbehoud*. (Valuing the Groote Peel: an exercise in the valuation of natural elements). *Natuurhist. Maandbl.* 81: 203-211.

Kotowski, W., Acreman, M., Grootjans, A., Klimkowska, A., Röbbling, H. & Wheeler, B. (2016). Restoration of temperate fens: matching strategies with site potential. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge: Cambridge University Press/ British Ecological Society, pp. 170-191. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/restoration-of-temperate-fens-matching-strategies-with-site-potential/5EB1CE0975EB553814D1E4F35629E5A4>.

Lamers, L.P.M., Vile, M.A., Grootjans, A.P., Acreman, M.C., van Diggelen, R., Evans, M.G., Richardson, C.J., Rochefort, L., Kooijman, A.M., Roelofs, J.G.M. & Smolders, A.J.P. (2015). Ecological restoration of rich fens in Europe and North America: from trial and error to an evidence-based approach. *Biological Reviews*, 90: 182-203. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/brv.12102>.

Rehell, S., Similä, M., Vesterinen, P., Ilmonen, J. & Haapalehto, S. (2014) Planning peatland restoration projects. In: Similä, M, Aapala, K. & Penttinen, J. (eds): *Ecological restoration in drained peatlands - best practices from Finland*. Vantaa: Metsähallitus, pp. 34-37. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1733>.

Remm, L., Löhmus, A., Leibak, E., Kohv, M., Salm, J.-O., Löhmus, P., Rosenvald, R., Runnel, K., Vellak, K. & Rannap, R. (2019). Restoration dilemmas between future ecosystem and current species values: The concept and a practical approach in Estonian mires. *Journal of Environmental Management* 250, 109439. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719311570>.

Sallantausta, T. (2014). The impacts of peatland restoration on water quality. In: Similä, M, Aapala, K. & Penttinen, J. (eds): *Ecological restoration in drained peatlands - best practices from Finland*. Vantaa: Metsähallitus, pp. 12-14. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1733>.

Similä, M, Aapala, K. & Penttinen, J. (eds.) (2014). *Ecological restoration in drained peatlands - best practices from Finland*. Vantaa: Metsähallitus, pp. 84. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1733>.

Thom, T., Hanlon, A., Lindsay, R., Richards, J., Stoneman, R. & Brooks, S. (2019). *Conserving bogs: The management handbook*, 2nd edition. <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/header-images/Resources/Conserving%20Bogs%20The%20Management%20Handbook%202nd%20Edition.pdf>.

Verdonschot, P.F.M. & A. Besse-Lototskaya, A. (2014). Flight distance of mosquitoes (Culicidae): A metadata analysis to support the management of barrier zones around rewetted and newly constructed wetlands. *Limnologia*, 45: 69-79. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0075951113001011>.

Waylen, K. A., van de Noort, R. & Blackstock, K.L. (2016). *Peatlands and cultural ecosystem services*. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge: Cambridge University Press/ British Ecological Society, pp. 114-128. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/peatlands-and-cultural-ecosystem-services/571067AE5A791CED4CDB0C758CBF4E8C>.

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: 1336-1349. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/08-2053.1>.

Zak, D., Goldhammer, T., Cabezas, A., Gelbrecht, J., Gurke, R., Wagner, C., Reuter, H., Augustin, J., Klimkowska, A. & McInnes, A. (2018). Top soil removal reduces water pollution from phosphorus and dissolved organic matter and lowers methane emissions from rewetted peatlands. *Journal of Applied Ecology*, 55: 311-320. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1365-2664.12931>.

Aneks IV: Udział społeczeństwa i zaangażowanie interesariuszy

Udane wdrożenie projektu odtwarzania będzie często zależeć od publicznego wsparcia i akceptacji, szczególnie ze strony społeczności lokalnej i lokalnych interesariuszy. Udział społeczeństwa jest kluczowy, w szczególności jeżeli spodziewane jest, że planowany projekt spotka się ze sceptycyzmem lub oporem. Konwencja z Aarhus wymaga zapewnienia możliwości udziału społeczeństwa w decyzjach na temat postępow, które mogą mieć znaczący wpływ na środowisko.²

„Aby środki odtwarzające odniosły sukces na torfowiskach tropikalnych, muszą być prowadzone we współpracy z lokalnymi społecznościami. Jest tak, ponieważ społeczności, które obecnie uzależnione są od torfowisk dla zaspokojenia ich potrzeb utrzymania, mogą zniweczyć wysiłki dla odtwarzania, które postrzegają jako nie będące w ich interesie. Przykłady sposobów, w jakie mogą to zrobić, obejmują nielegalną wycinkę lasów, stosowanie ognia do wspomagania rolnictwa w zdegradowanych lasach lub niszczenie tam zaprojektowanych do spowalniania odwadniania torfowisk. Tym samym potrzebne są znaczące i właściwe zachęty, aby przekonać lokalne społeczności do zastąpienia opartych o degradację torfów strategii pozyskiwania dochodów z alternatywnych możliwości utrzymania, które mają ograniczone wpływy na ekologię i hydrologię torfów tropikalnych.” (Jewitt, 2008)

Wzrost zaangażowania społeczeństwa obejmują:

- **dostarczenie informacji**, np. z zastosowaniem ulotek, broszur, posterów, naklejek, kalendarzy, newsletterów, wystaw bez personelu, reklam, artykułów w publicznych gazetach, komentarzy w radiu lub telewizji, video/DVD, mediach społecznościowych, zorganizowanych wizyt na miejscu (również dla dziennikarzy);
- **zbieranie informacji zwrotnych**, np. przez personel odpowiadający na wystawach publicznych, media społecznościowe, linie telefoniczne z obsługą, regularnie aktualizowane strony internetowe i blogi, konferencje telefoniczne/online, prezentacje projektowe i spotkania publiczne...
- **zaangażowanie w podejmowanie decyzji (konsultacje)**, np. przez warsztaty, fora, dni otwarte (również w terenie i w Internecie, np. poprzez tablice ogłoszeń, listy mailingowe, fora dyskusyjne); oraz
- **pozwolenie interesariuszom na decydowanie**, np. przez społeczne komitety doradcze, „realne planowanie” lub „kolegia obywatelskie” z lokalnymi grupami lub reprezentatywnymi jurorami uczestniczącymi w planowaniu projektów, oraz przez Dobrowolną, Upřednią i Świadomą Zgodę (FPIC).³

W 2017 r. finansowany przez USAID projekt LESTARI wsparł proces Dobrowolnej, Upředniej i Świadomej zgody (FPIC) dla przygotowania bloków kanałowych w pięciu wsiach w bloku C-2 (55 733 hektary) dawnego obszaru Projektu Mega-Rice w centralnym Kalimantanie w Indonezji. Praca ta zaangażowała lokalne rządy i społeczności, Agencję Odtwarzania Torfowisk (BRG) i Centrum Gospodarki Wodnej. Spośród pięciu zaangażowanych wsi, jedna wieś odmówiła zablokowania jej kanałów, natomiast cztery wsie zgodziły się na budowę bloków kanałów z finansowaniem BRG. Ułatwienie FPIC zapewniło, że społeczności zostały dobrze poinformowane o zablokowaniu kanałów, miały okazję przedstawienia swoich wkładów oraz dały swoją świadomą zgodę na budowę, utrzymanie i ochronę przetamowań. Co istotne, lokalne społeczności mogły wpływać na projektowanie przetamowań tak, by ich niewielkie łożyska mogły przepływać przez przelewy w celu zachowania źródeł utrzymania miejscowej ludności.

Łącznie 178 blokad kanałów zostało pomyślnie skonstruowanych między 2017 a 2018 r. Po budowie blokad liczba ognisk pożarów w obrębie obszaru C-2 zmniejszyła się z 944 ognisk w 2015 r. do jednego ogniska w 2018 r. Budowa blokad kanałów zapewniła zwiększoną produkcję ryb w kanałach, które były blokowane, zapewniając korzyści ekonomiczne.

² Konwencja EKG o dostępie do informacji, udziale społeczeństwa w podejmowaniu decyzji oraz dostępie do sprawiedliwości w sprawach dotyczących środowiska (Konwencja z Aarhus) <https://www.unece.org/env/pp/treatytext.html>

³ <http://www.fao.org/indigenous-peoples/our-pillars/fpic/en/>

Wynikiem zaangażowania społeczności na poziomie obszaru były dobrze zachowane blokady kanałów (w porównaniu z obszarami przyległymi, gdzie społeczności nie były zaangażowane i wiele blokad okazało się porażką). Uwzględniając społeczną i ekonomiczną złożoność odtwarzania torfowisk, postuluje się zaangażowanie społeczności poprzez metodę FPIC w podejmowanie decyzji i przy budowie blokad kanałów (Parish et al. 2019).



Promowanie udziału:

- spotkania z ludźmi w regularnie odwiedzanych miejscach,
- angażowanie różnych społeczności,
- szerzenie informacji przez różne media (media społecznościowe, gazety, telewizja, radio, Internet),
- dystrybucja materiałów w lokalnym(ch) języku(ach),
- angażowanie tłumaczy i moderatorów,
- trenowanie personelu w kontekście świadomości kulturowej, zwalczania rasizmu i promowania równych szans,
- tworzenie atmosfery społeczności (wycieczki terenowe z przewodnikami, dni akcji, wystawy i prezentacje),
- oferowanie przekąsek, herbaty i herbatników, owoców,
- przedstawianie zachęt (np. nagrody lub podarunki).

Istotne wskazówki można znaleźć w

- programie Konwencji Ramsarskiej odnośnie do komunikacji, budowy potencjału, edukacji, partycypacji i świadomości (CEPA) ⁴
- Zestawie narzędzi wspierających CEPA Konwencji o Różnorodności Biologicznej⁵:
- stronie organizacji Frogleaps⁶

4 <https://www.ramsar.org/activity/the-cepa-programme>

5 <https://www.cbd.int/cepa/toolkit/2008/cepa/index.htm>

6 www.frogleaps.org

Bibliografia

Jewitt, S. (2008). Restoration, rehabilitation and sustainable livelihoods: The importance of alternative incomes for tropical peatland dependent communities. In: Wösten, J.H.M., Rieley,

J.O. & Page, S.E. (eds.): Restoration of tropical peatlands. Alterra - Wageningen University and Research Centre, and the EU INCO - RESTORPEAT Partnership, p. 210-215. https://cordis.europa.eu/docs/results/510/510931/127976191-6_en.pdf.

Parish, F., Yan, L. S., Zainuddin, M. F. & Giesen, W. (Eds.). (2019). RSPO manual on Best Management Practices (BMPs) for management and rehabilitation of peatlands, 2nd Edition. Kuala Lumpur: RSPO,, 178 p. http://www.gec.org.my/view_file.cfm?fileid=3458.

Aneks V: Uwagi o gospodarowaniu roślinnością

Sadzenie i przeszczepianie

Po odtworzeniu warunków hydrologicznych (patrz sekcja 6.3) szansa, że charakterystyczne społeczności torfowisk niskich zostaną samoistnie przywrócone zależy od:

- długości czasu, w którym torfowisko niskie zostało odwodnione (która wraz z jakością zasobu nasion również determinuje to, jak zdegradowany jest poziom próchniczny i czy powinno rozważyć się usunięcie poziomu próchnicznego);
- gatunków roślin obecnych w obszarze ponownie nawodnionym; oraz
- bliskość istniejącego siedliska torfowiska niskiego z pożądanymi gatunkami.

Zasób nasion charakterystycznych gatunków torfowisk niskich jest jedynie krótkotrwały i nie przeżyłby długotrwałego odwadniania, orki lub usuwania poziomu próchnicznego. Rozsiewanie się nasion istotnych gatunków jest zasadniczo słabe, tak więc kolonizacja z pobliskich torfowisk niskich jest mało prawdopodobna, chyba, że fragmenty wegetatywne i nasiona mogłyby dożyć na miejsce docelowe. Gwałtownie imigrują tylko rośliny mokradła o skutecznym systemie rozsiewania przez wiatr lub ptaki brodzące i kaczki (Pfadenhauer i Grootjans, 1999, Mälson et al. 2008, McBride et al. 2011, Hedberg et al. 2012, Lamers et al. 2015, Klimkowska et al. 2019).

Kiedy pożądane gatunki nie zdomowiają się samoistnie, może być rozważona reintrodukcja (Hedberg et al. 2012), np. przez bezpośrednie sadzenie, przenoszenie trawy, sadzenie wstępnie wyhodowanych sadzonek, przeszczepianie darni z pobliskich źródłowych torfowisk niskich, sadzenie wstępnie wyhodowanych sadzonek typu plug lub gatunków wyhodowanych na macie z geowłókniny lub nawet przez aktywne przetransportowanie całego torfowiska niskiego (Mälson et al. 2008, Ramseier et al. 2009, McBride et al. 2011, Kiehl et al. 2014, Lamers et al. 2015, Wilhelm et al. 2015, Chimner et al. 2017, Pedrini i Dixon, 2020).

Przenoszenie traw jest tanie i skuteczne zarówno dla roślin naczyniowych i mszaków, natomiast lokalne siano gwarantuje adaptację do lokalnego klimatu (Pfadenhauer i Grootjans, 1999, Patzelt et al. 2001). Ponowne sadzenie darni wykorzystuje cechę wegetatywnego rozprzestrzeniania większości gatunków roślin torfowisk niskich za pomocą kłaczy. Mchy torfowisk niskich mogą dobrze regenerować się z fragmentów (Malson i Rydin, 2007). Dla większości gatunków, ściśle wypełniona darń z wysoce konkurencyjnymi gatunkami stanowi główne ograniczenia dla zdomowienia nowych gatunków (Van Dijk et al. 2007).

Taylor et al. (2018) przedstawiają przegląd działań (and ich skutków), które uzupełniają sadzenie, takich jak dodawanie wapna, nawozu, nawozu organicznego lub ściółki organicznej.

Celem wielu projektów odtwarzania w Europie jest przywrócenie „łąk torfowisk niskich”. Łąki torfowisk niskich są lekko odwodnionymi, uzależnionymi od wody gruntowej ekosystemami torfowisk niskich, które zwykle utraciły zdolność do akumulacji torfu, lecz z powodu długotrwałego gospodarowania rolniczego o niskiej intensywności uzyskały wysokie zagęszczenie bioróżnorodności typowych gatunków torfowisk niskich. Odtworzenie łąk torfowisk niskich następuje przez (i) podnoszenie poziomów wody przez zamykanie rowów odwadniających, (ii) usunięcie nadmiaru substancji odżywczych poprzez długotrwałe koszenie lub usuwanie poziomu próchnicznego, (iii) reintrodukcję gatunków docelowych, oraz (iv) odtworzenie tradycyjnego gospodarowania (Klimkowska et al. 2014). Dla odmiany, odtwarzanie torfowisk niskich w Ameryce Północnej skupia się bardziej na naturalnym stanie torfowisk.

Odtwarzanie tradycyjnego gospodarowania

W wielu otwartych torfowiskach niskich w zachodniej Europie i wschodniej Azji tradycyjnie praktykowano koszenie i wypas dla pozyskania paszy i ściółki (oraz często nieznacznie je odwadniano), co pomimo niewielkiej intensywności powodowało zagęszczenie wierzchniej warstwy torfu. Dopóki utrzymywała się produkcja siana i wypas, zapobiegano tworzeniu się soczewek wody deszczowej, ponieważ rozdeptywanie przez ludzi i zwierzęta regularnie obniżało powierzchnię torfowiska do buforującej wody gruntowej. Ponadto, regularne usuwanie biomasy tłumiło konkurencję oraz hamowało zdomowianie się drzew i krzewów, które wynikałoby z silniejszych wahań poziomów wody (Schipper et al. 2007). Po zakończeniu użytkowania, torfowiska niskie obecnie odczuwają ciężkie straty typowej różnorodności gatunków, zmniejszanie się pokrywy mszaków, dominację niektórych gatunków trawiastych oraz wkraczanie drzew i krzewów (Kozub et al. 2018).

Dawna roślinność może być poddana odtworzeniu przez intensywne koszenie (Middleton et al. 2006, Hâjková et al. 2009). Jednakże przez zniszczenie mikrotopografii może to również prowadzić do utraty rzadkich gatunków torfowisk niskich (Kotowski et al. 2013) i zwiększenia zakwaszenia (van Diggelen et al. 2015). Tym samym, podmioty zarządzające środowiskiem powinny spróbować przywrócić zmienione właściwości ekosystemu do ich naturalnych (w tym naturalnych hydrologicznych) warunków, w których torfowiska niskie stają się ponownie samowystarczalne oraz ograniczyć „koszenie naprawcze” do niezbędnego minimum (Kozub et al. 2018).

Dodatkowo wypas zwierząt udomowionych jest od tysięcy lat częścią tradycyjnego użytkowania torfowisk niskich, zarówno na nizinnych torfowiskach niskich (Middleton et al. 2006) jak i w obszarach górskich (Maldonado Fonkén, 2014) i miał znaczny wpływ na historyczny rozwój siedlisk torfowiskowych (Thom et al. 2019). W Tybecie wypas jaków zmienił nawet hydrogenetyczny charakter wielu torfowiska, czyniąc je bardziej podatnymi na nadmierne wypas i erozję (Zhang et al. 2016). O ile wypas promuje różnorodność strukturalną, może również lokalnie prowadzić do nadmiernego i niedostatecznego wypasu (Middleton et al. 2006, McBride et al. 2011).

Taylor et al. (2018a, b, 2019, www.conservationevidence.com) przedstawiają szczegółowe informacje o efektach (co działa, a co nie działa) 125 różnych działań („interwencji”) dla zarządzania i odtwarzania bioróżnorodności torfowisk (flory i roślinności) na świecie (koncentrując się na Europie i Ameryce Północnej), jednakże bez omawiania związków przyczynowo-skutkowych.

Torfowce Sphagnum

Torfowce Sphagnum są prawdopodobnie najważniejszymi roślinami torfotwórczymi na świecie (Clymo i Hayward, 1982). Ponadto, tylko kilka gatunków torfowców trawników i pagórków darniowych na świecie jest w stanie zbudować akrotelm, który mógłby podnieść powierzchnię torfowiska ponad wpływy wody gruntowej, aby stało się krajobrazem „torfowiska wysokiego” (Joosten, 1993). Jednakże Sphagnum sprawia znaczne trudności podczas przywracania samoistnego zarówno w torfowiskach naturalnych (Campbell i Corson, 2014), odwodnionych (Price et al. 2016) jak również na ponownie nawodnionych torfowiskach (Thomassen et al. 2012).

*Badanie 71 ponownie nawodnionych torfowisk w Niemczech ujawniło, że po 30 latach tylko kilka gatunków w zagłębieniach (*Sphagnum cuspidatum* i *S. fallax*) zostało przywróconych, natomiast gatunki trawników i pagórków były nieobecne (Andersen et al. 2017).*

Nieudana lub opóźniona rekolonizacja może być spowodowana rzadkością źródeł diaspor (jak w Europie Zachodniej), lecz w większości będzie dotyczyć właściwości typowych dla rośliny. Duże pory i luźna struktura Sphagnum nie może generować silnego wzniosu kapilarnego do główek roślin, gdzie zachodzi przyrost (Gauthier et al. 2018). Tym samym, aby główki pozostawały wilgotne, poziom wody nie powinien spadać zbyt głęboko poniżej główki. W warunkach naturalnych jest to zapewnione przez „warunki akrotelmowe” warstwy powierzchniowej, tj. ograniczoną poziomą przepuszczalność połączoną z wysokim współczynnikiem magazynowania (Joosten, 1993) oraz stopniowe przejście starszego torfu do młodszej biomasy. Po długotrwałym odwadnianiu lub eksploatacji torfów niski współczynnik magazynowania pozostającego torfu łatwo prowadzi do głębokich poziomów wody w okresach suchych (Schouwenaars, 1993). Odtworzenie stałego wysokiego poziomu wody jest wówczas możliwe tylko przez podniesienie poziomu wody znacznie ponad powierzchnię zagęszczonego torfu. Sprzyja to jednak przyrostowi gatunków zagłębień, które wypierają wolniej rosnące gatunki pagórków (Robroek et al. 2009). Wiele dekad może upłynąć, zanim te pierwsze nagromadzą wystarczająco dużo torfu, aby osuszyć środowisko na tyle, aby gatunki pagórków mogły pokonać konkurencję (Joosten, 1995, Van Duinen et al. 2011, Lindsay i Clough, 2016).

Ponadto dostępność wody w główkach może być poprawiona przez ograniczenie ewapotranspiracji, np. przez zapewnienie pewnej ochrony przed światłem i wiatrem dzięki ziołoroślom lub drzewom, lub przez pokrycie przywróconego mchu torfowego słomą, tak jak robi się to w kanadyjskiej technice przenoszenia warstw mchu (patrz poniżej).

Opracowano różne metody zaszczepiania gatunków torfu w tym:

- zbieranie i rozsiewanie fragmentów torfowców (technika przenoszenia warstw mchu (MLTT), patrz ramka);
- zbieranie i sadzenie całych pęków torfowca;
- rozsiewanie torfowca wyhodowanego z zastosowaniem technik mikropropagacji (np. w kulkach żelowych);

- sadzenie torfowców wyhodowanych jako sadzonki typu plug lub jako pagórki z torfowca po mikropropagacji.

Thom et al. (2019) przedstawiają szczegółowe informacje na temat tych metod. Poza MLTT, podejścia te są wciąż na wczesnych etapach rozwoju. Ogólnie transplantacja większych objętości daje większy sukces niż rozsiewanie mniejszej ilości i mniejszych fragmentów (Robroek et al. 2009).

MLTT opracowana przez Kanadyjską Grupę Badań Ekologii Torfowisk (PERG) dla odtwarzania torfowisk (mszarów, ubogich torfowisk niskich i umiarkowanie bogatych torfowisk niskich), szczególnie po eksploatacji torfu, oparta jest o aktywną reintrodukcję torfowiskowych gatunków roślin, szczególnie mchów torfowych, połączone z ponownym nawodnieniem. Metoda ta została zastosowana w ponad stu projektach odtwarzania w Kanadzie oraz w wielu innych państwach. Umożliwia ona zdomowienie ponad 80% gatunków obecnych w materiale roślinnym zebranym z lokalizacji źródłowej, pokazuje postępujące zmniejszanie się gatunków atypowych w miarę rozwoju pokrywy mchu i może umożliwić odtworzonemu torfowisku ponowne przechwytywanie i sekwestrację dwutlenku węgla 15 lat po odtworzeniu (Nugent et al. 2018, Hugron et al. 2020, Quinty et al. 2020). Pierwszy poradnik dotyczący odtwarzania dla MLTT opublikowano w 1997 r.; wydanie drugie w 2003 r. (Quinty i Rochefort, 2003). W 2019 i 2020 r. rozdział dotyczący odtwarzania został zmieniony i ponownie opublikowany w niezależnych broszurach dotyczących planowania projektów odtwarzania, przygotowania terenu i ponownego nawodnienia, zbierania materiału roślinnego i zarządzania obszarem źródłowym, a także rozsiewania materiału roślinnego, ściółki i nawozu.

Po zdomowieniu poduszki Sphagnum w pewnym stopniu stabilizują różnice wilgoci gleby, zwłaszcza w większych poduszkach (Robroek et al. 2009, Price et al. 2016). Żywa warstwa torfowca unieruchamia również duże ilości substancji odżywczych i zapobiega dominacji nitrofilnych gatunków naczyniowych (Tomassen et al. 2012, Temmink et al. 2017). Przedplon może pomóc ustabilizować torf, zapobiec erozji i zapewnić fizyczne schronienie dla nowo zdomowionych mchów (Sliva i Pfadenhauer, 1999, Groeneveld et al. 2007, Dinesen i Hahn, 2019).

Przywracanie minimalnego wypasu na torfowiskach wysokich może zredukować krzewy i zarośla oraz faworyzować Sphagnum (Thom et al. 2019).

Kolonizacja otwartej wody

Torfowiska o charakterze średnio i lekko eutroficznym mogą łatwo odzyskać roślinność i zacząć akumulować torf po głębokim zalaniu (Minke et al. 2016). Dla odmiany, rekolonizacja oligotroficznej, bogatej w kwasy i humus głębokiej otwartej wody o niskiej produktywności, jest utrudniona przez działanie fal oraz przez brak światła i gazów węglowych dla zanurzonych mchów, kiedy woda jest głębsza niż 30 cm (Van Duinen et al. 2017). Możliwościami odniesienia się do tego problemu są i) stopniowe podnoszenie poziomu wody umożliwiającego wzrost roślinności kępowej przy podnoszącym się poziomie wody, ii) zapewnienie ram dla kolonizacji roślinnej przez wprowadzenie ściółki lub lekko zawilgoconego torfu, oraz iii) minimalizowanie działania fal przez ustanowienie przegród (Joosten, 1992, Wheeler i Shaw, 1995, Tomassen et al. 2003, 2004).

Bibliografie

- Andersen, R., Farrell, C., Graf, M., Muller, F., Calvar, E., Frankard, P., Caporn, S. & Anderson, P. (2017). An overview of the progress and challenges of peatland restoration in Western Europe. *Restoration Ecology*, 25: 271-282. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.12415>.
- Campbell, D. & Corson, A. (2014). Can mulch and fertilizer alone rehabilitate surface-disturbed Subarctic peatlands? *Ecological Restoration*, 32: 153-160. <http://er.uwpress.org/content/32/2/153.full.pdf+html>.
- Chimner, R.A., Cooper, D. J., Wurster, F.C. & Rochefort, L. (2017). An overview of peatland restoration in North America: where are we after 25 years? *Restoration Ecology*, 25: 283-292. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.12434>.
- Clymo, R.S. & Hayward, P.M. (1982). The ecology of Sphagnum. In: Smith, A.I.E. (ed.): *Bryophyte ecology*. London, New York: Chapman & Hall, pp. 229-289. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-5891-3_8.
- Dinesen, L. & Hahn, P. (2019). Draft Ramsar Technical Report on peatland restoration and rewetting methodologies in Northern bogs. STRP22 Doc.7.2. <https://www.ramsar.org/document/strp22-doc72-draft-ramsar-technical-report-on-peatland-restoration-and-rewetting>.
- Gauthier, T.-L. J., McCarter, C.P.R. & Price, J.S. (2018). The effect of compression on Sphagnum hydrophysical properties: Implications for increasing hydrological connectivity in restored cutover peatlands. *Ecohydrology*, e2020. doi:10.1002/eco.2020. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/eco.2020>
- Greeneveld, E.V.G., Masse, A. & Rochefort, L. (2007). *Polytrichum strictum* as a nurse-plant in peatland restoration. *Restoration Ecology*, 15: 709-719. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1526-100X.2007.00283.x>.
- Hájková, P., Hájek, M. & Kintrová, K. (2009). How can we effectively restore species richness and natural composition of a *Molinia*-invaded fen? *Journal of Applied Ecology*, 46: 417-425. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2664.2009.01608.x>.
- Hedberg, P., Kotowski, W., Saetre, P., Mälson, K., Rydin, H. & Sundberg, S. (2012). Vegetation recovery after multiple-site experimental fen restorations. *Biological Conservation*, 147: 60-67. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320712000523>
- Hugron, S., Guêné-Nanchen, M., Roux, N., LeBlanc, M.-C. & Rochefort, L. (2020). Plant reintroduction in restored peatlands: 80% successfully transferred - Does the remaining 20% matter? *Global Ecology and Conservation* 22: e01000. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989419308182/epdf?md5=2a743b2015483cc076f31878c9371c5c&pid=1-s2.0-S2351989419308182-main.pdf>.
- Joosten, J.H.J. (1992). Bog regeneration in the Netherlands: a review. In: O.M. Bragg, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram & R.A. Robertson (eds.): *Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment*. Dundee: Dept. of Biological Sciences University of Dundee, pp. 367-373.
- Joosten, H., (1993). Denken wie ein Hochmoor: Hydrologische Selbstregulation von Hochmooren und deren Bedeutung für Wiedervernässung und Restauration. *Telma*, 23: 95-115.
- Joosten, J.H.J. (1995). Time to regenerate: long-term perspectives of raised bog regeneration with special emphasis on palaeoecological studies. In: B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt & R.A. Robertson (eds.): *Restoration of temperate wetlands*. Chichester: Wiley, pp. 379-404.
- Kiehl, K., Kirmer, A., Shaw, N. & Tischew, S. (2014). Guidelines for native seed production and grassland restoration. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, <http://www.cambridgescholars.com/download/sample/61669>.
- Klimkowska, A., van der Elst, D.J. D., & Grootjans, A.P. (2014). Understanding long-term effects of topsoil removal in peatlands: overcoming thresholds for fen meadows restoration. *Applied Vegetation Science*, 18: 110-120. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/avsc.12127>.
- Klimkowska, A., Goldstein, K., Wyszomirski, T., Kozub, L., Wilk, M., Aggenbach, C., Bakker, J. P., Belting, H., Beltman, B., Blüml, V., De Vries, Y., Geiger-Udod, B., Grootjans, A. P., Hedberg, P., Jager, H. J., Kerkhof, D., Kollmann, J., Pawlikowski, P., Pleyl, E., Reinink, W., Rydin, H., Schratzter, J., Sliva, J., Staňko, R., Sundberg, S., Timmermann, T., Wolejko, L., van der Burg, R. F., van der Hoek, Dick, van Diggelen, J. M. H., van Heerden, A., van Tweel, L., Vegelin, K. & Kotowski, W. (2019). Are we restoring functional fens? - The outcomes of restoration projects in fens re-analysed with plant functional traits. *PLOS ONE* 14: e0215645. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6481837/pdf/pone.0215645.pdf>
- Kotowski, W., Jabłońska, E. & Bartoszek, H. (2013). Conservation management in fens: Do large tracked mowers impact functional plant diversity? *Biological Conservation*, 167, 292-297. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320713002954/epdf>.
- Kozub, L., Goldstein, K., Dembic, I., Wilk, M., Wyszomirski, T. & Kotowski, W. (2018). To mow or not to mow? Plant functional traits help to understand management impact on rich fen vegetation. *Applied Vegetation*, 22: 27-38. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/avsc.12411>.
- Lamers, L.P.M., Vile, M.A., Grootjans, A.P., Acreman, M.C., van Diggelen, R., Evans, M.G., Richardson, C. J., Rochefort, L., Kooijman, A.M., Roelofs, J.G. M. & Smolders, A.J.P. (2015). Ecological restoration of rich fens in Europe and North America: from trial and error to an evidence-based approach. *Biological Reviews*, 90: 182-203. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/brv.12102>.
- Lindsay, R.A. & Clough, J. (2016). A review of the influence of ombrotrophic peat depth on the successful restoration of bog habitat. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 925. Edinburgh: Scottish Natural Heritage, pp. 74. <https://repository.uel.ac.uk/download/8b5018f497ea646a5764a0a1d124e8f04e0333f879a2e8a4953b3f58c5623c58/19790621/SNH%20Report%20925.pdf>.
- Maldonado Fonkén, M.S. (2014). An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat* 15, Article 05: 1-13. http://mires-and-peat.net/modules/download_gallery/dlc.php?file=150&id=1558800006.
- Mälson, K. & Rydin, H. (2007). The regeneration capabilities of bryophytes for rich fen restoration. *Biological Conservation*, 135: 435-442. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320706004411/epdf>.
- Mälson, K., Backéus, I. & Rydin, H. (2008). Long-term effects of drainage and initial effects of hydrological restoration on rich fen vegetation. *Applied Vegetation Science*, 11: 99-106. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1654-109X.2008.tb00208.x>.
- McBride, A., Diack, I., Droy, N., Hamill, B., Jones, P., Schutten, J., Skinner, A. & Street, M. (eds.) (2011). *The Fen Management Handbook*. Perth: Scottish Natural Heritage, pp. 329. <https://www.nature.scot/sites/default/files/Publication%202011%20-%20Fen%20Management%20Handbook.pdf>.
- Middleton, B. A., Holsten, B. & Van Diggelen, R. (2006). Biodiversity management of fens and fen meadows by grazing, cutting and burning. *Applied Vegetation Science*, 9: 307-316. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1654-109X.2006.tb00680.x>.
- Minke, M., Augustin, J., Burlo, A., Yarmashuk, T., Chuvashova, H., Thiele, A., Freibauer, A., Tikhonov, V. & Hoffmann, M. (2016). Water level, vegetation composition, and plant productivity explain greenhouse gas fluxes in temperate cutover fens after inundation. *Biogeosciences*, 13: 3945-3970. <https://bg.copernicus.org/articles/13/3945/2016/bg-13-3945-2016.pdf>.
- Nugent, K.A., Strachan, I.B., Strack, M., Roulet, N.T. & Rochefort, L. (2018). Multi-year net ecosystem carbon balance of a restored peatland reveals a return to a carbon sink. *Global Change Biology*, 24: 5751-5768. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcb.14449>.
- Patzelt, A., Wild, U. & Pfdenhauer, J. (2001). Restoration of wet fen meadows by topsoil removal: vegetation development and germination biology of fen species. *Restoration Ecology*, 9:127-136. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1526-100X.2001.009002127.x>.
- Pedrini, S. & Dixon, K.W. (2020). International principles and standards for native seeds in ecological restoration. *Restoration Ecology*, 28/ S3: S286-S303. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.13155>.
- Pfdenhauer, J. & Grootjans, A. (1999). Wetland restoration in Central Europe: aims and methods. *Applied Vegetation Science*, 2: 95-106. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2307/1478886>.
- Price, J., Evans, C., Evans, M., Allott, T. & Shuttleworth, E. (2016). Peatland restoration and hydrology. In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge: Cambridge University Press/ British Ecological Society, pp. 77- 94. <https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/peatland-restoration-and-hydrology/69CA89F28305A7E57178F02689C06FA7>.
- Quinty, F. & Rochefort, L. (2003). *Peatland restoration guide*, second edition. Québec, Sphagnum Peat Moss Association and New Brunswick Department of Natural Resources and Energy. Québec, pp. 106. [http://www.gret-perg.ulaval.ca/no_cache/en/pergs-publications/?tx_centrecherche_pi1\[showUid\]=6192](http://www.gret-perg.ulaval.ca/no_cache/en/pergs-publications/?tx_centrecherche_pi1[showUid]=6192)
- In 2019 and 2020, Chapter 4 was revised and republished in independent booklets:
- Planning Restoration Projects (replace p. 13 to 24 in the 2003 Guide)
- Site Preparation and Rewetting (replace p. 25 to 35 and pp. 60 to 62)
- Plant Material Collecting and Donor Site Management (replace p. 36 to 45)
- Spreading of Plant Material, Mulch and Fertilizer (replace p. 46 to 59)
- Ramseier, D., Klötzli, F., Bollens, U., & Pfdenhauer, J. (2009). Restoring wetlands for wildlife habitat. In: Maltby, E. & Barker, T. (eds.): *The Wetlands Handbook*. Blackwell Publishing, pp. 780-801. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781444315813.ch34>.
- Robroek, B.J.M., van Ruijven, J., Schouten, M.G.C., Breeuwer, A., Crushell, P.H., Berendse, F. & Limpens, J. (2009). Sphagnum re-introduction in degraded peatlands: The effects of aggregation, species identity and water table. *Basic and Applied Ecology*, 10: 697-706. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1439179109000516/epdf>.
- Schipper, A.M., Zeefat, R., Tanneberger, F., van Zuidam, J. P., Hahne, W., Schep, S.A., Loos, S., Bleuten, W., Joosten, H., Lapshina, E.D. & Wassen, M.J. (2007). Vegetation characteristics and eco-hydrological processes in a pristine mire in the Ob River valley (Western Siberia). *Plant Ecology*, 193: 131-145. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11258-006-9253-x.pdf>.

- Schouwenaars, J. (1993). Hydrological differences between bogs and bog-relicts and consequences for bog restoration. *Hydrobiologia*, 265: 217-224. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00007270.pdf>.
- Sliva, J. & Pfadenhauer, J. (1999). Restoration of cut-over raised bogs in Southern Germany: A comparison of methods. *Applied Vegetation Science*, 2: 137-148. <https://www.jstor.org/stable/1478891>.
- Taylor, N.G., Grillas, P. & Sutherland, W.J. 2018a. Peatland conservation: Global evidence for the effects of interventions to conserve peatland vegetation. Cambridge: University of Cambridge, pp. 236. https://www.researchgate.net/publication/323551453_Peatland_Conservation_Global_Evidence_for_the_Effects_of_Interventions_to_Conserve_Peatland_Vegetation/citation/download.
- Taylor, N.G., Grillas, P. & Sutherland, W.J. 2018b. Peatland conservation. Global evidence for the effects of interventions to conserve peatland vegetation. In: Sutherland, W. J., Dicks, L.V., Ockendon, N., Petrovan, S.O. & Smith, R.K. (eds.): *What Works in Conservation*. Open Book Publishers, pp. 330-392. <https://www.jstor.org/stable/pdf/10.2307/j.ctv4ncnwf.9>.
- Taylor, N.G., Grillas, P., Fennessy, M.S., Goodyer, E., Graham, L.L.B., Karofeld, E., Lindsay, R.A., Locky, D.A., Ockendon, N., Rial, A., Ross, S., Smith, R.K., van Diggelen, R., Whinam, J. & Sutherland, W.J. (2019). A synthesis of evidence for the effects of interventions to conserve peatland vegetation: overview and critical discussion. *Mires and Peat* 24, Article 18: 1-21. http://mires-and-peat.net/modules/download_gallery/dlc.php?file=326&id=1561112066.
- Temmink, R.J.M., Fritz, C., van Dijk, G., Hensgens, G., Lamers, L. P.M., Krebs, M., Gaudig, G. & Joosten, H. (2017). Sphagnum farming in a eutrophic world: the importance of optimal nutrient stoichiometry. *Ecological Engineering*, 98: 196-205. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857416305973>.
- Thom, T., Hanlon, A., Lindsay, R., Richards, J., Stoneman, R. & Brooks, S. (2019). Conserving bogs: The management handbook, 2nd edition. <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/header-images/Resources/Conserving%20Bogs%20The%20Management%20Handbook%202nd%20Edition.pdf>.
- Tomassen, H.B.M., Smolders, A.J.P., van Herk, J. M., Lamers, L.P.M. & Roelofs, J. G. M. (2003). Restoration of cut-over bogs by floating raft formation: An experimental feasibility study. *Applied Vegetation Science*, 6: 141-152. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1654-109X.2003.tb00574.x>.
- Tomassen, H.B.M., Smolders, A.J.P., Lamers, L.P.M. & Roelofs, J.G. M. (2004). Development of floating rafts after the rewetting of cut-over bogs: The importance of peat quality. *Biogeochemistry*, 71: 69-87. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10533-004-3931-3.pdf>.
- Tomassen, H. B.M., Smolders, A. J.P., van der Schaaf, S., Lamers, L. P.M. & Roelofs, Jan G.M. (2012). Restoration of raised bogs: Mechanisms and case studies from the Netherlands. In: Eiseltová, M. (ed.): *Restoration of lakes, streams, floodplains, and bogs in Europe: Principles and case studies*. Springer, Dordrecht, pp. 285-330. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-9265-6_15.
- Van Diggelen, J. M.H., Bense, I. H.M., Brouwer, E., Limpens, J., van Schie, J.M.M., Smolders, A.J.P. & Lamers, L.P.M. (2015). Restoration of acidified and eutrophied rich fens: Long-term effects of traditional management and experimental liming. *Ecological Engineering*, 75, 208-216. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414006648/pdf>.
- Van Dijk, J., Stroetenga, M., Van Bodegom, P. M. & Aerts, R. (2007). The contribution of rewetting to vegetation restoration of degraded peat meadows. *Applied Vegetation Science* 10: 315-324. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1654-109X.2007.tb00430.x>.
- Van Duinen, G.-J., Tomassen, H., Limpens, J., Smolders, F., van der Schaaf, S., Verberk, W., Groenendijk, D., Wallis de Vries, M. & Roelofs, J. (2011). Perspectieven voor hoogveenherstel in Nederland. Samenvatting onderzoek en handleiding hoogveenherstel 1998-2010. Bosschap, Driebergen, pp. 89 https://www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/obn150-nz-perspectieven-voor-hoogveenherstel-in-nederland.0039e3.pdf.
- Van Duinen, G.-J., von Asmuth, J., van Loon, A., van der Schaaf, S. & Tomassen, H. (2017). Duurzaam herstel van hoogveenlandschappen. Kennis, praktijkervaring en kennisleemten bij de inrichting van hoogveenkernen, randzones en bufferzones. Driebergen: Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren, pp. 301. https://www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/obn212-nz-duurzaam-herstel-hoogveenlandschappen.56d5db.pdf.
- Wheeler, B. D., & Shaw, S. C. (1995). Restoration of damaged peatlands - with particular reference to lowland raised bogs affected by peat extraction. London: HMSO. <http://142.44.210.7/bitstream/123456789/562/1/Wheeler%2c%20Shaw.%20Restoration%20of%20Damaged%20Peatlands.%20With%20particular%20reference%20to%20lowland%20raised%20bogs%20affected%20by%20peat%20extraction.pdf>.
- Wilhelm, L.P., Morris, P.J., Granath, G. & Waddington, J.M. (2015). Assessment of an integrated peat-harvesting and reclamation method: peatland-atmosphere carbon fluxes and vegetation recovery. *Wetlands Ecology and Management*, 23: 491-504. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11273-014-9399-6.pdf>.
- Zhang, X.H., Schumann, M., Gao, Y., Foggin, J.M., Wang, S.-Z. & Joosten, H. (2016). Restoration of high altitude peatlands on the Ruergai Plateau (Northeastern Tibetan Plateau, China). In: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (eds.): *Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice*. Cambridge: Cambridge University Press/ British Ecological Society, pp. 234-252. https://www.cambridge.org/core/books/peatland-restoration-and-ecosystem-services/restoration-of-highaltitude-peatlands-on-the-ruergai-plateau-northeastern-tibetan-plateau-china/A638A70F02822_7666F25635F572067D9.

Aneks VI: Monitoring i gospodarka adaptacyjna

Nie jest ani możliwe, ani pożądane zapewnienie kompletnego „schematu” dla wdrożenia planów odtwarzania. Podczas wdrażania zdobywa się wiedzę w kwestii tego, co działa, a co nie działa, i wiedza ta powinna być włączona w późniejszą pracę i przyszłe planowanie. Tym samym planowanie i projektowanie powinno integrować monitoring, ocenę i adaptacyjne zarządzanie w ciągłym procesie „uczenia się przez działanie” (Parish et al. 2019).

Wielu interesariuszy zaniepokojonych jest zewnętrznymi efektami odtwarzania torfowisk i są oni skłonni do interpretacji zjawisk jednoczesnych lub późniejszych jako przyczynowo-skutkowego efektu ponownego nawodnienia, czy to w postaci zalewania piwnic, czy uciążliwości ze strony meszek i komarów. Monitoring może skutecznie zademonstrować prawdziwe efekty środków odtwarzających. Włączenie programu monitoringu jako integralnej części jakiegokolwiek planu odtwarzania zapewni środki do zademonstrowania interesariuszom, że ich obawy traktowane są poważnie.

Cele, standardy wydajności i protokoły monitorowania i oceny danych powinny być włączone w plany odtwarzania przed początkiem projektu. Strategia monitoringu powinna uznać, że końcowe cele odtwarzania mogą być osiągnięte tylko po długim i niemożliwym do zaplanowania okresie (Bonnett et al. 2009). Może to wymagać utworzenia wskaźników dla odpowiedniej trajektorii rozwoju ekosystemu ku zamierzonemu celowi. Na przykład Joosten (1992) zaproponował nazwanie „odtworzenia bagien” sukcesem nie wtedy, kiedy przywrócono autonomicznie funkcjonujący krajobraz bagienny (zajęłoby to bardzo dużo czasu), lecz wówczas, gdy zaszło „stałe” zadomowienie tych kluczowych gatunków i społeczności, które są w stanie odbudować taki krajobraz bagienny w obecnych warunkach klimatycznych (Wheeler i Shaw, 1995).

Monitoring w okresie projektu powinien koncentrować się głównie na parametrach „wejściowych”, tj. czy planowane środki są odpowiednio wdrożone? W odniesieniu do ponownego nawodnienia torfowisk i adaptacyjnego zarządzania, będzie to szczególnie dotyczyć wykonania i późniejszej konserwacji urządzeń do kontrolowania wody, prowadząc do następujących rekomendacji (Wheeler i Shaw, 1995, Similä et al. 2014):

- Monitorować warunki wszystkich urządzeń do kontrolowania wody.
- Regularnie sprawdzać przetamowania i nasypy, w szczególności po zjawiskach silnych deszczy. Sprawdzać również obecność kanałów erozyjnych wokół tam oraz erozji podstawy rowu wywołanej przez silne przelewy.
- Naprawiać wszelkie uszkodzenia tak szybko, jak to możliwe. Jeśli działania nie są pilne, mogą być odłożone do okresu o lepszym dostępie dla maszyn (np. suche lato).
- Sprawdzać przetamowania pod kątem kurczenia i pęknięcia podczas suchej pogody i podejmować działania dla zapobiegania utracie wody spowodowanej łatwiejszym przepływem przez te pęknięcia.
- W miarę postępu ponownego nawodnienia niezbędne może być okresowe zwiększanie wysokości przetamowań i nasypów, jeżeli przyległy torf pęcznieje.
- Konserwacja nasypów „wewnętrznych” jest mniej istotna niż nasypów „zewnętrznych”. Przyrost roślinności może pomóc w związaniu ze sobą powierzchni torfu, lecz wzrost drzew może zwiększać wysuszenie i pęknięcie.
- Koszenie roślinności może być korzystne, jeżeli nasypy muszą być dostępne.

Oprócz odniesienia się do parametrów wejściowych, niezbędne jest monitorowanie parametrów wyjściowych powiązanych z celami. Wskaźnikami dla efektu klimatycznego byłyby akumulacja/utrata torfu i strumienie gazów cieplarnianych, oraz ich oznaki: wysokie i stabilne poziomy wody, roślinność i brak osiadania. Dla różnych innych usług ekosystemowych i dla bioróżnorodności, roślinność może być dobrym wskaźnikiem.

Thom et al. (2019) przedstawiają szczegółowe informacje na temat **metod i technik monitoringu** dla:

- ogólnych warunków lokalizacji (z zastosowaniem oceny polowej, fotografii: satelitarnej, dronów i punktów stałych);
- topografii (z zastosowaniem ramki poziomej, stolików mierniczych, poziomicy ręcznej, niwelatora i podobnych poziomicy, badania tachometrycznego, teodolitów, dalmierzy elektronicznych EDM i globalnych systemów pozycjonowania GPS, fotogrametrii lotniczej, LiDAR);

- hydrologii: poziomów wody (z zastosowaniem wilgotności gruntu, rurek perforowanych, wodowskazów, sond pojemnościowych, technik znaczenia chemicznego, rejestratorów danych, multispektralnej teledetekcji, opartego o satelitę radaru do wilgotności gleby SMAP, modelowania), przesączania/odprowadzania (z zastosowaniem jazów z nacięciem w kształcie V, przepływomierzy kubelkowych, piezometrów), ewapotranspiracji (z zastosowaniem lizymeterów) i opadów deszczu (wskaźniki zbierające i rejestrujące);
- chemii: pH, przewodnictwa elektrycznego (EC) i potencjału redox (z zastosowaniem urządzeń ręcznych) oraz różnych jonów/pierwiastków/substancji (z zastosowaniem technik laboratoryjnych);
- głębokości torfu (z zastosowaniem wiercenia i georadaru) i właściwości torfu, w tym stopnia rozkładu, tekstury, zawartości włókien, gęstości objętościowej, zawartości wody, popiołu, glebowej materii organicznej (SOM) i węgla;
- zmian poziomu powierzchni (z zastosowaniem reperów torfowych, płytek akumulacyjnych, LiDAR, fotogrametrii);
- erozji torfu (z zastosowaniem markerów referencyjnych, mapowania ścieżek erozji, wysokiej rozdzielczości obrazowania satelitarnego, opartych o LIDAR i fotografię lotniczą numerycznych modeli powierzchni terenu DEM, pułapek osadowych);
- roślinności (z zastosowaniem stałych lub losowych kwadratów obszarowych, punktowych lub liniowych, fotografii polowej, lotniczej, lub mapowania opartego o satelitę);
- fauny (z zastosowaniem badań ptaków lęgowych, liczeń transektowych, liczeń tokowisk, sieci ornitologicznych, pułapek Malaise'a, dołów w ziemi, pułapek wodnych, pułapek świetlnych, pułapek ssących, powietrznych pułapek feromonowych, pułapek lęgowych oraz technik bezpośredniego liczenia, takich jak chodzenie wzdłuż transektów, siatki, szukanie ręczne, zastosowanie kwadratów).

Bibliografia

- Bonnett, S.A.F., Ross, S., Linstead, C. & Maltby, E. (2009). A review of techniques for monitoring the success of peatland restoration. University of Liverpool. Natural England Commissioned Reports, Number 086, pp. 179. <http://publications.naturalengland.org.uk/file/84005>.
- Joosten, J.H.J. (1992). Bog regeneration in the Netherlands: a review. In: O.M. Bragg, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram & R.A. Robertson (eds.): Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment. Dundee: Dept. of Biological Sciences University of Dundee, pp. 367-373.
- Parish, F., Yan, L. S., Zainuddin, M. F. & Giesen, W. (eds.). (2019). RSP0 manual on Best Management Practices (BMPs) for management and rehabilitation of peatlands, 2nd Edition. Kuala Lumpur, RSP0, pp. 178. http://www.gec.org.my/view_file.cfm?fileid=3458.
- Similä, M, Aapala, K. & Penttinen, J. (eds.). (2014). Ecological restoration in drained peatlands - best practices from Finland. Vantaa: Metsähallitus, pp. 84. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1733>.
- Thom, T., Hanlon, A., Lindsay, R., Richards, J., Stoneman, R. & Brooks, S. (2019). Conserving bogs: The management handbook 2nd edition. <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/header-images/Resources/Conserving%20Bogs%20The%20Management%20Handbook%202nd%20Edition.pdf>.
- Wheeler, B. D., & Shaw, S. C. (1995). Restoration of Damaged Peatlands - with Particular Reference to Lowland Raised Bogs Affected by Peat Extraction. London: HMSO.

Aneks VII: Ewaluacja

Zarówno wnikliwa, regularna i systematyczna obserwacja, jak i dokumentacja zmian w obszarze projektu stanowią istotne kroki składające się na ocenę:

- czy cele zostały spełnione oraz pozostają w dalszym ciągu spełnione;
- czy pieniądze zostały wydane efektywnie i skutecznie; oraz
- co może lub mogłoby być poprawione (wiedza pozyskana dla obecnych i przyszłych projektów).

Ostatecznym testem pomyslnego odtworzenia torfowisk jest oczywiście fakt, czy pożądane cele zostały osiągnięte (Wheeler i Shaw, 1995). Oznacza to, że cele te powinny być formułowane tak konkretnie, jak to możliwe (patrz rozdział 4). Samo ogłoszenie obszaru jako „odtworzonego” uniemożliwia jakąkolwiek znaczącą ocenę.

„Sukces jest mglistą częścią leksykonu odtwarzania; kryteria docelowe mogą być znacznie zróżnicowane zarówno pod względem ambicji, jak i uzasadnienia, nawet wśród interesariuszy w ramach tego samego projektu. Efekty ekologiczne również różnią się od sukcesu w odniesieniu do z ekonomii, estetyki, rekreacji lub edukacji. Ustalanie standardów oceny wymaga konsensusu wśród naukowców, agencji finansujących i grup obywateli.” (Gonzalez i Rochefort, 2019)

Jednakże długi czas, jakiego pełne przywrócenie prawdopodobnie będzie wymagać, wymusza utworzenie celów pośrednich, wobec których może być oceniony postęp i mogą być zidentyfikowane niezbędne korekty w zagospodarowaniu. Ogólnie najszybsza jest odpowiedź hydrologiczna, po której następują zmiany biologiczne i w końcu regeneracja przyrostu torfu.

Monitoring długoterminowy

Końcowy „sukces” praktycznego odtwarzania prawie nigdy nie jest oceniany w sposób systematyczny. Przywracanie zdegradowanych ekosystemów jest zwykle powolne, natomiast koszty długotrwałego monitoringu i oceny są często trudne do sfinansowania, ponieważ cykle są zbyt krótkie (<5 lat) i zbyt restrykcyjne (tj. cykle wspierające wdrożenie, lecz nie monitoring i ocenę) (Andersen et al. 2017, Strobl, 2019). W efekcie większość badań obejmuje tylko krótki czas, natomiast badania długotrwałe są rzadkością. Tworzy to ryzyko wyciągania przedwczesnych wniosków odnośnie do efektywności odtwarzania (Klimkowska et al. 2014, Haapalehto et al. 2017). Ponadto, nie istnieją ogólne standardy monitoringu długoterminowego (Andersen et al. 2017, Artz et al 2018). Teledetekcja powinna być tu rozwijana jako metoda monitorowania wielkoskalowych projektów odtwarzania niemal w czasie rzeczywistym i przy niskich kosztach (por. Sirin et al. 2020).

Monitorowanie czego?

Sukces projektu odtwarzania ostatecznie determinowany jest przez to, czy pożądane cele zostały osiągnięte, lecz w obliczu długich ram czasowych, w trakcie których prawdopodobnie nastąpi przywracanie, istotne jest, by zidentyfikować szereg celów pośrednich, tak by postęp w kierunku celu mógł być oceniany i mogły być wykonane poprawki w działaniach dla gospodarowania (Wheeler i Shaw, 1995).

Monitoring **poziomów wody** i regularne inspekcje stanu urządzeń do kontrolowania wody umożliwiają odpowiedzi na następujące pytania:

- Czy poziomy wody są konsekwentnie wyższe niż uprzednio?
- Czy poziomy wody ustabilizowały się i wahania zostały wystarczająco zredukowane?
- Czy poziomy wody są utrzymane na wymaganych poziomach?

Należy zauważyć, że ocena musi być wykonana z odpowiednim uwzględnieniem rzeczywistych i dominujących warunków pogodowych.

Roślinność często traktowana jest jako narzędzie operacyjne (np. ustanowienie "konstruktorów ekosystemu"), metodę monitoringu (bioindykacja) i cel odtwarzania (ochrona bioróżnorodności). Wybór gatunków do monitoringu mógłby koncentrować się na wszystkich tych aspektach.

Aspekt bioindykacji może być z pewnością istotny dla oceny krótkoterminowej odpowiedzi na działania odtwarzające i dla wskazania, że działania te były odpowiednie do osiągnięcia ostatecznych celów. Pod tym względem, dobrze jest uświadomić sobie, że łatwiej jest wyeliminować (niechciane) gatunki, niż odzyskać gatunki docelowe (Haapalehto et al. 2017), tak, że „nieobecność” gatunków również stanowi istotną obserwację.

Monitorowanie całych zbiorowisk gatunków jest trudne i kosztowne, tak więc trzeba wybrać kilka grup gatunków. Mogą one obejmować:

- *Konstruktorów ekosystemu, tj. gatunki, które determinują strategiczne funkcjonowanie ekosystemu, np. konkretne gatunki torfowców dla siedlisk bagiennych;*
- *Gatunki wskaźnikowe, tj. gatunki, które odzwierciedlają szczególne aspekty jakości siedliska, np. reżim wodny oraz jej jakość, dostarczanie substancji odżywczych, zaburzenia, i mogą wskazywać na konkretne czynniki stymulujące zmiany (Strobl, 2019);*
- *Gatunki charakterystyczne, tj. gatunki, które są typowe dla siedlisk (konsekwentnie w nich znajdowane), w tym gatunki flagowe, które działają jako ambasadorzy, ikony lub symbole siedliska;*
- *Gatunki dominujące, tj. gatunki, które przeważają w zbiorowiskach roślinnych.*

Przyrost torfu jest trudniejszy do oceny, ponieważ zwiększona retencja wody w uprzednio odwodnionym torfie może spowodować fizyczne „pęcznienie” masy torfu, co powoduje zwiększenie względnej wysokości powierzchni torfu. To ostatnie nie powinno być interpretowane jako znak odnowionej akumulacji torfów.

Akumulacja torfu jest procesem subtelnym, o dużym rocznym zróżnicowaniu. Tym samym, bez bezpośrednich, długotrwałych badań strumienia dwutlenku węgla (Nugent et al. 2018) lub wyczerpujących paleoekologicznych analiz i datowania (Joosten 1995, Mrotzek et al. 2020), trudno jest ustalić, czy torfowisko rzeczywiście akumuluje torf. Wskaźnikami tworzenia się torfu jest przewaga roślin, których szczątki są znajduwane również w najwyższym torfie, wraz z niemal stale uwodnionymi warunkami (Joosten et al. 2017) i bezpośrednim wskazaniem przez roślinność z zastosowaniem konkretnie opracowanych typów roślinności (Couwenberg et al. 2011).

Ekolodzy zajmujący się renaturyzacją tradycyjnie skupiali się na właściwościach abiotycznych i roślinnych jako celach i kryteriach monitoringu, podczas gdy zwierzęta były generalnie mniej badane (z wyjątkiem ptaków). Wiąże się to z założeniem, że jeśli jakość siedliska i struktura roślinności się poprawia, fauna samoistnie podąży ich śladem. Jednocześnie rośliny naczyniowe są łatwiejsze do oceny, wykazują mniejszą zmienność sezonową i komasują warunki siedliskowe w długich okresach czasu.

Wykazano jednak, że zbiorowiska owadów nie regenerują się w takim samym stopniu jak zbiorowiska roślinne. Zwierzęta odgrywają znaczącą rolę w odbudowie ekosystemu, biorąc pod uwagę rolę saprofagów, roślinożerców i drapieżników, silnie wpływających na różnorodność roślin i funkcjonowanie ekosystemu (Strobl, 2019).

Towarzystwo Renaturyzacji Ekologicznej (SER 2004) wymienia dziewięć atrybutów pozwalających określić, kiedy renaturyzacja ekologiczna została osiągnięta. Gann i in. (2019) przedstawiają system „gwiazdek” podsumowujących wyniki odbudowy. Bonnett i in. (2009) przedstawiają obszerny przegląd technik monitorowania osiągnięcia sukcesu odtwarzania torfowisk. Obszerne informacje można znaleźć także w pracy McBride i in. (2011). Przydatny jest Podręcznik Konwencji Ramsar nr 13 dotyczący inwentaryzacji, oceny i monitorowania.

Ekosystemy torfowiskowe często rozwijały się przez wiele tysięcy lat.

Jednakże w odtwarzaniu torfowisk czas jest często postrzegany jako towar luksusowy, ponieważ podmioty finansujące domagają się udowodnienia wysokiej wartości w stosunku do ceny oraz udowodnienia sukcesu podczas względnie krótkich cykli finansowania.

Stosunek ten podkreśla zauważalną nierównowagę między gospodarowaniem lasem a torfowiskiem: jeżeli ustanawiany jest las, podmioty finansujące zazwyczaj dostrzegają, że drzewa wymagają dekad do zdomowienia. O dziwo, to samo postrzeganie nie dotyczy odtwarzania torfowisk, chociaż większość torfowisk typowo ma znacznie dłuższą żywotność niż lasy. Niektóre reakcje torfowisk mogą być zaskakująco gwałtowne, a tym samym mogą wpasować się w krótkie ramy czasowe finansowania, lecz większość nie jest szybka i potrzebuje czasu na ustabilizowanie i zdomowienie. Jest to fundamentalna zasada zarządzania i oceny odtwarzania torfowisk - zasada, która powinna być uznana zarówno przez polityków, badaczy akademickich, jak i praktyków. (zmodyfikowano za Lindsay et al. 2016).

1 <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-13.pdf>

Bibliografia

- Andersen, R., Farrell, C., Graf, M., Muller, F., Calvar, E., Frankard, P., Caporn, S. & Anderson, P. (2017). An overview of the progress and challenges of peatland restoration in Western Europe. *Restoration Ecology*, 25, 271-282. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/rec.12415>.
- Artz, R. R.E. Faccioli, M., Roberts, M. & Anderson, R. (2018). Peatland restoration - a comparative analysis of the costs and merits of different restoration methods. The James Hutton Institute on behalf of ClimateXChange, pp. 44. <https://www.climatechange.org.uk/media/3141/peatland-restoration-methods-a-comparative-analysis.pdf>.
- 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://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10750-011-0729-x.pdf>.
- Gann, G., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Declerck, K. & Dixon, K.W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27, S3-S46. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.13035>.
- González, E., & Rochefort, L. (2019). Declaring success in Sphagnum peatland restoration: Identifying outcomes from readily measurable vegetation descriptors. *Mires and Peat* 24: Article 19, 1-16. http://mires-and-peat.net/modules/download_gallery/dlc.php?file=327&id=156112378.
- Haapalehto, T., Juutinen, R., Kareksela, S., Kuitunen, M., Tahvanainen, T., Vuori, H. & Kotiaho, J. S. (2017). Recovery of plant communities after ecological restoration of forestry-drained peatlands. *Ecology and Evolution*, 7, 7848-7858. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5632633/>.
- Joosten, J.H.J. (1995). Time to regenerate: long-term perspectives of raised bog regeneration with special emphasis on palaeoecological studies. In: B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt & R.A. Robertson (eds.): *Restoration of temperate wetlands*. Chichester: Wiley, pp. 379-404.
- Joosten, H., Moen, A., Couwenberg, J. & Tanneberger, F. (2017a). Mire diversity in Europe: mire and peatland types. In: Joosten, H., Tanneberger, F. & Moen, A. (eds.): *Mires and peatlands of Europe - Status, distribution and conservation*. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, 5-64.
- Klimkowska, A., van der Elst, D. J. D., & Grootjans, A. P. (2014). Understanding long-term effects of topsoil removal in peatlands: overcoming thresholds for fen meadows restoration. *Applied Vegetation Science*, 18, 110-120. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/avsc.12127>.
- Lindsay, R., Birnie, R. & Clough, J. (2016). Peatland restoration. IUCN UK Committee Peatland Programme Briefing Note No. 11. https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/2019-05/11%20Peatland%20Restoration_FINAL.pdf.
- McBride, A., Diack, I., Droy, N., Hamill, B., Jones, P., Schutten, J., Skinner, A. & Street, M. (eds.). (2011). *The Fen Management Handbook*. Perth: Scottish Natural Heritage, pp. 329. <https://www.nature.scot/sites/default/files/Publication%202011%20-%20Fen%20Management%20Handbook.pdf>
- Mrotzek, A., Michaelis, D., Günther, A., Wrage-Mönning, N. & Couwenberg, J. 2020. Mass balances of a drained and a rewetted peatland: on former losses and recent gains. *Soil Syst.* 4, 16, 1-14. <https://www.mdpi.com/2571-8789/4/1/16>
- Nugent, K.A., Strachan, I.B., Strack, M., Roulet, N.T. & Rochefort, L. (2018). Multi-year net ecosystem carbon balance of a restored peatland reveals a return to a carbon sink. *Global Change Biology*, 24, 5751-5768. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcb.14449>
- SER 2004: Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. Tucson: Society for Ecological Restoration International. <https://www.ser-rrc.org/resource/the-ser-international-primer-on/>.
- Sirin, A.A., Medvedeva, M.A., Makarov, D.A., Maslov, A.A. & Joosten, H. (2020). Multispectral satellite based monitoring of land cover change and associated fire reduction after large-scale peatland rewetting following the 2010 peat fires in Moscow Region (Russia). *Ecological Engineering* 158. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857420303323/pdf>.
- Strobl, K. (2019). Evaluating restoration success of rewetted peatlands: Recovery potential, temporal dynamics and comparison of monitoring approaches. Doctor thesis Technischen Universität München, pp. 79. <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1484578/1484578.pdf>.
- Wheeler, B.D., & Shaw, S.C. (1995). *Restoration of Damaged Peatlands - with Particular Reference to Lowland Raised Bogs Affected by Peat Extraction*. London: HMSO.