

Bagna, ludzie i klimat – o ochronie torfowisk z punktu widzenia przeciwdziałania zmianie klimatu i adaptacji do niej

Wiktor Kotowski, wrzesień 2021

Wprowadzenie

Klimat, obok różnorodności biologicznej, jest najważniejszym obecnie kontekstem ochrony torfowisk. Znaczenie tych ekosystemów dla regulacji klimatu ma zarówno wymiar globalny, jak i lokalny – ten pierwszy wynika z roli bagien w krążeniu i magazynowaniu węgla, a ten drugi – z ich wpływu na retencję i lądowy obieg wody. Rzecz jasna, oba procesy zostają znacząco zaburzone wskutek działań prowadzących do osuszania lub innego rodzaju degradacji bagien. A właściwie, to zbyt mało powiedziane. Problem w tym, że osuszanie torfowisk sprawia, że te ekosystemy, dotychczas stabilizujące klimat i zapewniające trwanie dzikiej przyrody, pod wpływem odwodnienia stają się kolejnym poważnym zagrożeniem dla stabilności biosfery, pogłębiając kryzys klimatyczno-ekologiczny. Biorąc po uwagę fakt, że w wielu częściach świata – również w Polsce – osuszyliśmy już znaczącą część ekosystemów bagiennych, naprawa ich stanu, czyli restytucja przyrodnicza, jest dziś jednym z najważniejszych, powszechnie dostępnych, działań na rzecz ograniczania zmiany klimatu i adaptacji do niej.

Poniższy tekst ma na celu przybliżenie Czytelnikom wiedzy na temat wpływu bagien na klimat, konsekwencji ich degradacji oraz roli, jaką ochrona i restytucja przyrodnicza tych ekosystemów może odegrać w ograniczaniu i adaptacji do zmiany klimatu. Początkową część poświęciłem uporządkowaniu terminologii i wyjaśnieniu podstawowych procesów związanych z funkcjonowaniem torfowisk. Następnie, w oparciu o przegląd aktualnej literatury tematu omawiam znaczenie światowych torfowisk dla magazynowania i obiegu węgla, a także przytaczam wnioski z przeprowadzonego przeze mnie ostatnio, na zamówienie fundacji WWF Polska, oszacowania emisji gazów cieplarnianych z odwodnionych torfowisk Polski. Jako szczególny przykład balansowania pomiędzy ochroną, a degradacją torfowisk zamieszczam też tu ocenę klimatycznej roli największego kompleksu torfowisk w Polsce, czyli Kotliny Biebrzańskiej¹. Na zakończenie wskazuję na wyzwania związane z potrzebą powstrzymania odwadniania torfowisk w skali Polski i Europy.

¹ Niniejszy artykuł jest nieznacznie zmienioną wersją opracowania przygotowanego przeze mnie na zamówienie Fundacji Greenmind, w ramach wsparcia działań na rzecz ochrony bagien Doliny Biebrzy wobec planów budowy trasy Via Carpatia – drogi ekspresowej S16, mającej przeciąć Biebrzański Park Narodowy.

Na początek uporządkowanie terminologiczne: bagna a torfowiska.

Bagna to mokradła, które aktywnie akumulują torf. Oznacza to, że występuje tam warstwa torfu oraz roślinność bagienna warunkująca jego dalsze powstawanie, a także wysycenie wodą warunkujące występowanie długotrwałej anaerobiozy², która umożliwia trwanie procesów torfotwórczych³. Według tak przyjętej definicji, wszystkie bagna są torfowiskami (czyli obszarami ze zakumulowanym naturalnie pokładem torfu)⁴. Nie jest natomiast prawdą twierdzenie odwrotne. Większość torfowisk strefy umiarkowanej nie jest bagnami, a mówiąc ściślej: nie są one **JUŻ** bagnami, ponieważ szeroko prowadzone prace melioracyjne pozbawiły je wody, przełączając je z funkcji akumulacji torfu na jego przyspieszony rozkład. Tym samym torfowiska z pochłaniaczy atmosferycznego dwutlenku węgla zostały zmienione w istotne źródła tego gazu do atmosfery. W Polsce osuszyliśmy około 90% bagien, zmieniając je w tereny rolnicze i lasy gospodarcze. Wraz z nimi zniknęły zamieszkujące je gatunki roślin i zwierząt. W skali Europy ten wskaźnik wygląda lepiej: około połowa torfowisk to nadal bagna. To zasługa wciąż dużych obszarów bagiennych istniejących w północnej Skandynawii, Rosji, Białorusi i na Wyspach Brytyjskich⁵. Za to na zachodzie naszego kontynentu jest znacznie gorzej: państwa o dużej powierzchni torfowisk osuszyły je niemal całkowicie (Niemcy 98%, Holandia 94%) (Tanneberger i in. 2019).

Różnica między bagnem torfowym a osuszonym torfowiskiem jest różnicą jakościową, a nie tylko ilościową. Wskazuje na znak bilansu produkcji i dekompozycji materii organicznej. W przeważającej większości ekosystemów lądowych produkcja materii organicznej jest z grubsza zbilansowana przez rozkład. Oznacza to, że w ciągu roku rośliny asymilują z powietrza tyle samo dwutlenku węgla, ile zostaje wyemitowane z powrotem w procesach respiracji (oddychania komórkowego) – łącznie przez rośliny, mikroorganizmy rozkładające martwą biomasę (to zdecydowanie największa pula) oraz zwierzęta. Bagno jest od tej reguły szczególnym wyjątkiem: ma ujemny bilans węgla, jest ekosystemem z „dziurą”, w którą co roku „wpada” kilka do kilkunastu procent wyprodukowanej

² Anaerobioza – brak tlenu w podłożu, znacząco ograniczający występowanie organizmów oddychających tlenem.

³ W polskiej literaturze naukowej słowo „bagno” nie było dotychczas zdefiniowane w sposób ścisły i często termin ten odnosi się do różnych typów mokradeł, w których anaerobioza występuje przynajmniej czasowo. Zdecydowałem się tu na zawężenie tego terminu do ekosystemów torfotwórczych, ze względu na potrzebę polskiego odpowiednika zaproponowanej przez H. Joostena definicji angielskiego słowa „mire” (Joosten i Clarke 2002). W praktyce jednak trzeba zaakceptować również nieco szersze stosowanie słowa „bagno” na określenie mokradeł lądowych, w których istnieją przynajmniej kresowo warunki do przebiegu procesu bagiennego i występuje roślinność potencjalnie tworząca torf, bez sztywnego kryterium jego obecności, czy aktualnej akumulacji. Takie ujęcie byłoby zapewne bliższe popularnemu znaczeniu tego słowa i odpowiadałoby proponowanemu przez Joostena i Clarke’a (2002) fińskiemu słowu „suo”, później sugerowanemu do zastąpienia greckim neologizmem „swob” (Joosten i in. 2017).

⁴ „Torfowisko” to termin stosowany w wielu dyscyplinach naukowych (np. biologii, geologii, naukach rolniczych i leśnych), jak i dziedzinach gospodarki (np. rolnictwie, leśnictwie, czy przemyśle wydobywczym), z czego wynika różnorodność znaczeniowa tego terminu. Obecność torfu, czyli skały osadowej składającej się głównie z nierozłożonych szczątków roślin bagiennych, jest chyba jedynym ścisłym kryterium łączącym wszystkie te znaczenia. Przytoczona definicja torfowiska jako obszaru z naturalnie zakumulowanym pokładem torfu uwzględnia zarówno ekosystemy naturalne (bagna), jak i odwodnione i przekształcone w inny sposób (np. łąki i pola orne na torfie), ale nie obejmuje np. upraw roślin w podłożu torfowym ex-situ. Formalnie często przyjmuje się minimalną grubość warstwy torfu od której teren klasyfikowany jest jako torfowisko (najczęściej jest to 30 cm).

⁵ Co nie oznacza wcale, że wspomniane regiony i kraje mają mało torfowisk zdegradowanych. Przeciwnie – są one również w czołówce pod względem powierzchni osuszonych torfowisk (Tanneberger i in. 2019).

biomasy roślinnej – wraz z zawartym w niej węglem. Ta „dziura” to powstający stopniowo, odkładający się około milimetrową warstwą rocznie, pokład torfu. Przez tysiące lat powstają pokłady torfu mające wiele metrów głębokości, sprawiając, że bagna stają się najefektywniejszymi w przeliczeniu na powierzchnię magazynami węgla organicznego.



Bagna Doliny Biebrzy z owocującą welnianką wąskolistną. Fot. W. Kotowski.

Niestety, osuszone torfowiska są również wyjątkowym zjawiskiem na tle naturalnej przyrody: to ekosystemy o znacząco dodatnim bilansie węgla, co czyni je jednymi z największych występujących na lądach źródeł emisji gazów cieplarnianych.

Zanim przyjrzymy się jak bagna i osuszone torfowiska wpływają na obieg węgla w skali świata i jaki udział w tych procesach mają torfowiska naszego kraju, warto może jeszcze poświęcić trochę miejsca na omówienie samych procesów akumulacji i rozkładu torfu.



Odwodnione torfowisko „Bagno Wizna”, niegdysiejszy PGR łąkarski, dziś w dalszym ciągu funkcjonuje jako obszar intensywnych łąk paszowych, generując emisje dziesiątek tysięcy ton CO₂ rocznie. Fot. M. Ostrowski / CMok.

Dlaczego właściwie bagna akumulują torf?

Jak napisałem powyżej, akumulacja torfu wynika wprost z przewagi produkcji roślinnej nad dekompozycją. To efekt zahamowania rozkładu przez panujące w torfie warunki beztlenowe, a w pewnym stopniu także przez niektóre z występujących w torfie związków chemicznych (np. kwasy humusowe). A mówiąc ściślej: efekt wyeliminowania większości rozkładających biomasę roślinną mikroorganizmów, czyli oddychających tlenem bakterii i grzybów. W pozbawionej tlenu wodzie procesy życiowe zachodzą znacznie wolniej, ponieważ mikroorganizmom trudno jest pozyskać energię do rozkładu materii organicznej. Beztlenowe oddychanie, czyli fermentacja, jest 18 razy mniej efektywne energetycznie niż respiracja tlenowa. W efekcie, niektóre trudniejsze w rozłożeniu, długołańcuchowe związki organiczne, takie jak (będąca wielocukrem) celuloza, a szczególnie (będąca polifenolem) lignina, pozostają w dużym stopniu nietknięte, jeśli trafią w warunki beztlenowe.

Pozostaje jeszcze wyjaśnić jedno: dlaczego w torfie na bagnach nie ma tlenu? Za wyjaśnienie nie wystarczy fakt, że są one wysycane wodą: wszak w większości typowych ekosystemów wodnych tlenu jest pod dostatkiem, co umożliwia trwanie bardzo bogatych ekosystemów. Otóż zasadnicza różnica wynika z unieruchomienia wody w torfie: w przeciwieństwie do oceanów, jezior, czy rzek, woda w ekosystemach bagiennych prawie nie ulega mieszaniu, zatem wędrówka tlenu w głąb profilu torfowego zależy wyłącznie od jego dyfuzji. A ta jest w wodzie niemal 10 tysięcy razy wolniejsza niż w powietrzu! Ale i to nie jest wystarczająca przyczyna, by doprowadzić do warunków beztlenowych. Woda w mokrym piasku na brzegach jezior też się znacząco nie miesza, a jednak zawiera wystarczająco dużo tlenu, by utrzymać zespoły organizmów zwane psammonem. Otóż niemal całkowity brak tlenu w torfie pozostającym w warunkach bagiennych wynika z samej istoty tego osadu: jest to wszak czysta materia organiczna, niezwykle atrakcyjna jako źródło węgla dla mikroorganizmów. Na powierzchni torfowiska i tuż pod jego powierzchnią jest ich bardzo dużo, a ich aktywność jest na tyle intensywna, że zużywają tlen szybciej, niż może się on przemieścić w głębsze warstwy torfu. W efekcie kilka – kilkadziesiąt cm pod powierzchnią bagna (w zależności od jego typu) tlenu już właściwie nie ma. Zaczyna się tu warstwa zwana katotelmem, w której zachodzi właściwa akumulacja torfu. Materia organiczna, która tu zalega, znajduje się w podobnych warunkach jak zakonserwowana w słoikach żywność. Ograniczenie rozkładu przez brak tlenu często jest jeszcze dodatkowo wzmocnione chemicznie – przez działające bakteriobójczo kwasy humusowe i sfagnany (związki powstające z rozkładu torfowców) oraz, częste na bagnach, niskie pH (trzymając się kulinarnych analogii, jego efekt możemy porównać do wpływu octu w marynatkach). Anaerobioza nie oznacza jednak całkowitego zatrzymania rozkładu, tylko jego bardzo znaczące spowolnienie. Dlatego dla trwania ekosystemów bagiennych w równowadze konieczne jest ciągłe dostarczanie nowej biomasy przez, niejako tworzące w ten sposób własne środowisko życia, rośliny bagienne.



Rdzeń torfowy pobrany z torfowiska niskiego. Widoczne szczątki turzyc i mszaków. Fot. W. Kotowski.

Torf powstaje z różnych roślin. Na torfowiskach wysokich (i innych zasilanych głównie wodą deszczową)⁶ torf tworzy się głównie z mchów torfowców. Na nieleśnych torfowiskach niskich, takich jak większość Bagien Biebrzańskich, torf współtworzą tzw. mchy brunatne i turzycy, a dokładniej –

⁶ Ugruntowany w Polsce podział na torfowiska wysokie i niskie, choć opiera się zwykle na opisie roślinności, wynika w pierwszym rzędzie z różnic w zasilaniu wodą (wyłącznie woda deszczowa na torfowiskach wysokich, udział wody podziemnej lub powierzchniowej na torfowiskach niskich) i odpowiada stosowanym w literaturze anglosaskiej terminom *bogs* i *fens*. Dla porządku warto jednak dodać, że kategoria bagien zasilanych wodą deszczową (*bogs*), poza znanymi w Polsce torfowiskami wysokimi (*raised bogs*) zawiera jeszcze powszechne w klimacie oceanicznym torfowiska wierzchowinowe lub kołdrowe (*blanket bogs*), a z kolei *fens* zawierają w sobie zarówno typowe torfowiska niskie zasilane wodami wzbogaconymi w sole mineralne (*rich fens*), jak i często wyróżniane w Polsce tzw. torfowiska przejściowe o mieszanym reżimie hydrologicznym (*poor fens*). Przy czym również ten podział nie wyczerpuje zróżnicowania torfowisk, które w znacznej mierze nawiązuje do zróżnicowania stref klimatycznych (zobacz Moen i in. 2017).

ich korzenie, które dzięki szczególnym przystosowaniom potrafią wrastać w pozbawiony tlenu torf, gdzie pozostają po obumarciu. Z kolei w olsach, czyli olszowych lasach bagiennych, torf powstaje z korzeni olsz. Podobnie tworzy się torf na leśnych torfowiskach strefy tropikalnej.

Bagna jako pochłaniacze dwutlenku węgla

Tempo akumulacji torfu jest różne i oczywiście zależy zarówno od wielkości produkcji pierwotnej (wzrostu roślin), jak i tempa rozkładu. Wspomniany milimetr rocznego przyrostu torfu to najczęściej przyjmowana średnia wartość dla torfowisk świata. Tak się składa, że jest ona też typowa dla bagien umiarkowanej strefy klimatycznej. Szybciej niż w naszym regionie odkłada się torf w regionach o wyższej wilgotności – na przykład na torfowiskach wysokich Kanady, czy Irlandii, ale też na (ginących dziś w drastycznym tempie) tropikalnych torfowiskach na Borneo, czy Sumatrze. Wiele torfowisk jest blisko stanu równowagi, to znaczy akumulują w przybliżeniu tyle samo węgla, ile uwalniają.

Szacuje się, że średnio hektar bagien torfowych akumuluje około 300 kg węgla rocznie (czyli 1,1 tony CO₂), a wszystkie zachowane w stanie bagiennym torfowiska świata (zajmujące ponad 3 miliony km²) akumulują około 100 milionów ton (Mt) węgla (albo 370 Mt dwutlenku węgla) (Frolking i in. 2011, Joosten i in. 2016). Czy to dużo? Porównując tę wartość do skali antropogenicznych emisji, okazuje się, że bagna świata są w stanie pochłonąć w ciągu roku zaledwie niecały jeden procent dwutlenku węgla pochodzącego z rocznego spalania węgla, ropy, czy gazu ziemnego (to pokazuje jak duże są nasze emisje w porównaniu z naturalnymi procesami regulującymi obieg węgla). Z naszej perspektywy jest to więc proces powolny, jednak fakt, iż może on zachodzić nieprzerwanie przez tysiące lat powoduje, że torfowiska są najefektywniejszym w biosferze lądowej długotrwałym pochłaniaczem węgla.

A co z metanem?

Powyższa kwestia często pada w odpowiedzi na argumenty o zbawiennym wpływie bagien na klimat. Jest to jak najbardziej słusznie postawione pytanie, a odpowiedź bynajmniej nie neguje potrzeby ochrony i restytucji torfowisk, ale zmienia nieco perspektywę czasową skutków naszych działań. Metan jest produktem oddychania żyjących w torfie mikroorganizmów beztlenowych rozkładających materię organiczną. Jako gaz cieplarniany jest kilkadziesiąt razy silniejszy niż dwutlenek węgla: tona metanu zatrzymuje w atmosferze wielokrotnie więcej ciepła niż tona dwutlenku węgla (wynika to zarówno z silniejszego przechwytywania podczerwieni przez cząsteczkę metanu, niż przez cząsteczkę dwutlenku węgla, jak i z 2,75-razy wyższej masy molowej CO₂). Przewaga ta jednak maleje wraz z wydłużaniem okresu w którym rozpatrujemy wpływ gazu, ponieważ metan dość szybko zostaje utleniony w atmosferze do dwutlenku węgla. Trzeba jeszcze wziąć pod uwagę, że ilość CO₂ usuniętego przez naturalny ekosystem bagienny znacznie przewyższa ilość uwolnionego CH₄. Bilansując wpływ tych dwóch procesów można wyliczyć, że w kilkudziesięcioletnim oknie czasowym bagna w zasadzie neutralnie wpływają na efekt cieplarniany, a ich efekt schładzający ujawnia się dopiero w dłuższych okresach, mierzonych w setkach i tysiącach lat (Joosten i in. 2016).



Ols – las bagienny w Dolinie Biebrzy. Fot. W. Kotowski.

Torfowiska jako długotrwałe magazyny węgla

Powyższe rozważania pokazują, że dla ograniczenia zmian klimatu znacznie ważniejsza od bieżącej sekwestracji węgla jest rola torfowisk jako magazynów węgla, które mogą – w zależności od warunków hydrologicznych i klimatycznych – zachowywać go lub uwalniać do atmosfery. To właśnie funkcja bagien i torfowisk jako magazynów węgla wyznacza dziś najważniejszy globalny kontekst ich ochrony.

Ilość węgla zgromadzonego w torfowiskach świata jest wciąż przedmiotem wyliczeń. Zwykle przyjmuje się, że jest to około 500 miliardów ton (Gt) (Joosten 2009, Yu i in. 2010), ale niedawno pojawiły się nowe oszacowania Nicholasa i Peeteta (2019) sugerujące, że jest to nawet 1 bilion ton (czyli 1 teratona, Tt). Zważywszy, że poprawność tych ostatnich wyliczeń jest przedmiotem dyskusji, przyjmijmy, że ilość węgla zgromadzonego w torfowiskach mieści się w przedziale od 500 Gt do 1 Tt. Oznacza to, że jest ona co najmniej dwukrotnie większa niż ilość węgla zawarta w biomasie wszystkich lasów⁷ i zbliżona do ilości węgla zawartej w atmosferze w postaci CO₂ (aktualnie ok. 850 Gt). Pamiętajmy, że ta ilość jest zgromadzona na obszarze zajmującym około 3% powierzchni lądów, co czyni torfowiska najbardziej skoncentrowanymi magazynami węgla organicznego spośród wszystkich ekosystemów lądowych.

⁷ Należy pamiętać, że to, przywoływane często porównanie, dotyczy nadziemnej biomasy lasów, a nie całego węgla zgromadzonego w lasach. Takie zastrzeżenie jest potrzebne ponieważ te dwa typy ekosystemów mają część wspólną: około 1/3 światowych torfowisk jest pokryta lasami (Zoltai i Martikainen, 1996).

Setki miliardów ton węgla zgromadzone w torfowiskach w ciągu ostatnich 11 tysięcy lat (czyli w czasie holocenu) obrazują niezwykle skuteczną długotrwałą wycofywanie węgla z obiegu wskutek procesów torfotwórczych, czego skutkiem jest stopniowe osłabianie efektu cieplarnianego. Warto przypomnieć, że ten proces działał już w historii naszej planety na znacznie większą skalę niż dziś. W karbonie (359-299 milionów lat temu) rozwój bagien tak znacząco obniżył zawartość dwutlenku węgla w atmosferze, że niemal doprowadził do globalnego zlodowacenia (Feulner 2017)⁸. To właśnie z torfu zakumulowanego w karbońskich bagnach powstały złoża węgla kamiennego, których eksploatacja i spalanie napędza dziś efekt cieplarniany. Niedawne badania Treat i in. (2019) dotyczące występowania torfowisk w okresach czwartorzędu poprzedzających holocen wskazują, że pokłady torfu były często pokrywane przez osady mineralne, co jest pierwszym etapem niezbędnym do ich trwałej fosylizacji. Zatem, wbrew dotychczasowym interpretacjom, rola torfowisk w regulacji klimatu czwartorzędu polegała nie tylko na mierzonych w liczących tysiące lat cyklach wymianie dwutlenku węgla i metanu między atmosferą a pedosferą, ale również na bardziej trwałym wycofywaniu węgla z obiegu, poprzez przemieszczanie go w głębsze warstwy litosfery. Czy torfy obecne w dzisiejszych bagnach mają szansę przetrwać miliony lat i w przyszłych procesach geologicznych również przekształcać się w węgiel brunatny, a następnie kamienny? Loisel i in. (2021), oceniają, że wśród czynników determinujących przyszłą stabilność dzisiejszych torfowisk najsilniej waży bezpośredni wpływ człowieka. Innymi słowy, wydaje się, że to od naszej decyzji co do gospodarowania na 3% powierzchni lądów pokrytej torfem zależy, czy torfowiska przetrwają w stanie bagiennym przez burzliwy okres antropocenu. Na razie robimy wszystko, by z pochłaniaczy i magazynów węgla zmieniły się one w potężne źródła jego emisji do atmosfery. Wystarczy bowiem usunąć z torfu chroniącą go wodę, by uruchomić procesy rozkładu i raptownie przywrócić unieruchomiony przez tysiące lat węgiel z powrotem do atmosfery.

Wpływ osuszania torfowisk na globalny cykl węgla

Osuszanie torfowisk przerywa proces torfotwórczy i przyspiesza dekompozycję dotychczas zgromadzonego torfu. Wystawiony na działanie tlenu torf staje się środowiskiem dostępnym do zasiedlenia przez bakterie i grzybnie, które bardzo szybko doprowadzają do rozkładu materii organicznej. Rozkład ten jest co najmniej 10 razy szybszy, niż akumulacja torfu w warunkach bagiennych, a w przypadku głębokiego odwodnienia i ciepłego klimatu nawet kilkadziesiąt razy szybszy (Hiraishi i in. 2014). Jednym z produktów tlenowego rozkładu torfu jest dwutlenek węgla. Oznacza to, że jeśli hektar torfowiska w stanie bagiennym usuwał z atmosfery średnio jedną tonę

⁸ Dotychczas popularne wyjaśnienie, iż bezprecedensowa w historii planety karbońska akumulacja węgla była możliwa dzięki temu, że rozwój bogatych w ligninę roślin (m.in. wielkich skrzypów, paproci drzewiastych i wczesnych roślin nasiennych) wyprzedził znacząco ewolucję zdolnych do rozkładu ligniny grzybów, zostało ostatnio znacząco podważone przez Nelsena i in. (2016). Badacze ci wskazują, że rozkładające ligninę grzyby podstawczaki występowały przed Karbonem, a poza tym nie są one jedyną grupą organizmów zdolnych rozkładać ligninę, a fakt, że w karbońskich złożach występują również pokłady węgla ubogiego w ligninę (budowanego np. przez rośliny spokrewnione z widłakami) dowodzi, że to raczej gorący wilgotny klimat i specyficzna, ukształtowana przez procesy wulkaniczne geomorfologia tropikalnej Pangei umożliwiły rozwój i długotrwałe narastanie bagien, w których powstały złoża węgla kamiennego.

dwutlenku węgla rocznie, to hektar osuszonego torfowiska emituje od kilku do kilkudziesięciu ton tego gazu rocznie. Dochodzą do tego jeszcze emisje tlenu azotu (I), który pochodzi z utlenienia azotu, będącego skutkiem rozkładu torfu, ale też nawożenia mineralnego, oraz metanu, który powstaje z przedostającej się do wód torfowiska i rowów odwadniających rozpuszczonej frakcji materii organicznej (Joosten i in. 2016b). Wielkość emisji zależy od głębokości odwodnienia (im suszej, tym są one większe), sposobu użytkowania (np. orka znacząco zwiększa mineralizację torfu i w efekcie emisje CO₂) oraz temperatury (emisje z odwodnionych torfowisk są najwyższe w okresach wysokich temperatur np. latem, są też wyższe w tropikach niż klimacie umiarkowanym, a jeszcze niższe w klimacie borealnym).

Na marginesie tematu klimatycznego warto wspomnieć, że osuszanie torfowisk powoduje również dotkliwe zanieczyszczenia wód powierzchniowych azotanami i fosforanami pochodzącymi z rozkładu torfu.

Kolejną nieuniknioną, ale nie znaną powszechnie, konsekwencją osuszania torfowisk jest obniżanie się ich powierzchni wskutek ubytku masy torfu. Jego rozkład powoduje osiadanie torfowiska w tempie od kilku milimetrów do kilku centymetrów rocznie (tym szybciej, im głębsze odwodnienie i cieplejszy klimat). W warunkach Polski jest to średnio 1 cm na rok (Piaścik i Gotkiewicz 2004), ale do tego trzeba doliczyć znacznie szybsze osiadanie w początkowym okresie po pracach melioracyjnych, wskutek usunięcia większości wody z torfu. W efekcie, powierzchnia długotrwale osuszonych torfowisk jest dziś nawet kilka metrów poniżej oryginalnej powierzchni bagna⁹. W przypadku torfowisk przybrzeżnych (np. w Azji Południowo-Wschodniej) prowadzi to do ich zalewania przez wodę morską. Poza tym, osiadanie torfowisk pod wpływem odwodnienia jest zapewne jednym z głównych, choć nie do końca uświadomionych powodów, dla których co kilka - kilkanaście lat pogłębiane są rowy odwadniające (w Polsce jako powód zwykle podaje się ich wypłylenie wskutek zamulenia, co w wielu przypadkach jest chyba właśnie błędną interpretacją zaniku gleby torfowej).

W skali świata osuszyliśmy 15-20% wszystkich torfowisk. Zajmując pół procenta powierzchni lądów, emitują one do atmosfery ok. dwie gigatony dwutlenku węgla rocznie, co odpowiada około pięciu procentom światowych emisji tego gazu cieplarnianego z sektora energetyki, transportu i przemysłu (Joosten 2009). Emisje z odwodnionych torfowisk wielokrotnie przewyższają dziś tempo akumulacji węgla w pozostałych jeszcze ok. 80% bagien naturalnych. W skali świata wyróżniają się dwa główne regiony wzmożonej emisji dwutlenku węgla z odwodnionych torfowisk. Pierwszym jest Azja Południowo-Wschodnia (w szczególności Indonezja i Malezja), gdzie większość emisji jest skutkiem osuszania torfowisk na potrzeby plantacji palm olejowych oraz, zrealizowanego w latach 80. XX w., zakrojonego na wielką skalę, ale nieudanego, projektu zagospodarowania torfowisk indonezyjskich pod uprawy ryżu (w znacznej części również przekształconych w plantacje palm olejowych). Odwodnienie ogromnych połaci torfowisk doprowadza tam co roku tam do rozległych i

⁹ Rozkład torfu wskutek odwadniania jest główną przyczyną, dla której znaczna część Holandii znajduje się dziś poniżej powierzchni morza. Początkowo torfowiska były osuszane grawitacyjnie (poprzez spływ wody rowami do rzek), a kiedy torfowiska osiadły na tyle, że woda nie była w stanie z nich spłynąć, przekształcono je w poldery, z których woda była wypompowywana – początkowo wiatrakami, potem pompami spalinowymi i elektrycznymi. W efekcie wiele torfowisk Holandii straciło nawet 8 metrów torfu, a ich powierzchnia leży dziś 6-7 m poniżej poziomu morza.

długotrwałych pożarów torfowisk, w wyniku których do atmosfery uwalniane są ogromne ilości dwutlenku węgla. Drugim „hotspotem” emisji z torfowisk jest Europa Środkowo-Wschodnia (Białoruś, Polska, Niemcy, kraje nadbałtyckie, Finlandia, europejska część Rosji). Tutaj większość emisji jest skutkiem osuszania torfowisk na potrzeby rolnictwa i leśnictwa.



Zaorane torfowiska niskie na Białorusi. Fot. W. Kotowski.

Emisje z użytkowania torfowisk Polski to odpowiednik 10% emisji z energetyki i przemysłu

Spośród około 1,5 miliona hektarów występujących w Polsce torfowisk, ponad 1,2 miliona hektarów jest osuszonych, pokrytych dziś łąkami i lasami uprawnymi, a także wycofanych z użytkowania, ale wciąż odwadnianych starymi systemami rowów melioracyjnych (Kotowski i in. 2017). Najpowszechniej występujące łąki kośne odwodnione na głębokość kilkudziesięciu cm poniżej powierzchni torfu emitują około 20-30 ton ekwiwalentów dwutlenku węgla na hektar na rok (Hiraishi i in. 2014). To odpowiednik emisji wygenerowanych przez przejechanie 200-300 tysięcy kilometrów samochodem osobowym. Ponadto, na ok. 7,5 tysiąca ha (ok. 0,5% powierzchni torfowisk) wydobywamy torf, w ilości ok. 1,4 miliona m³ rocznie. W szacowaniu emisji gazów cieplarnianych z wydobycia torfu należy wziąć pod uwagę zarówno emisje *in-situ* z miejsca wydobycia, jak i *ex-situ*, wynikające z całkowitego rozłożenia się wydobytego torfu w ciągu kilku lat.

Łącznie, szacunkowe emisje gazów cieplarnianych z obszarów zagospodarowanych rolniczo, leśnie i na potrzeby eksploatacji to około 34 milionów ton dwutlenku węgla rocznie (Kotowski 2021). Odpowiada to 10% raportowanych przez Polskę emisji ze spalania paliw kopalnych (sektor

energetyka i przemysł). Za zdecydowanie największą część odpowiadają torfowiska użytkowane rolniczo, stanowiąc największe źródło emisji z rolnictwa. Warto podkreślić, że emisje te są kilkunastokrotnie zaniżone w oficjalnych raportach Polski do Konwencji Klimatycznej (KOBiZE 2021, por. Kotowski, 2021) i sytuują Polskę wśród czterech największych emitentów gazów cieplarnianych z osuszonych torfowisk w Unii Europejskiej (obok Niemiec, Finlandii i Wielkiej Brytanii).

Torfowiskowy ślad węglowy żywności

Aby uświadomić sobie związki przyczynowo-skutkowe między rolnictwem a emisjami z torfu, warto policzyć ślad węglowy produktów żywnościowych wytworzonych dzięki osuszaniu torfowisk. Na każdy kilogram oleju palmowego pochodzącego z upraw na indonezyjskich torfowiskach przypadają średnio 24 kg CO₂ pochodzącego z rozkładu torfu (Verhagen i in. 2009), przy czym ilości te rosną kilkukrotnie, jeśli uwzględnić pożary torfowisk wywołane odwodnieniem. Ale produkty z torfowisk naszej strefy biogeograficznej wcale nie przedstawiają się lepiej. Proste wyliczenia pokazują, że litr mleka pozyskiwanego od krów żywionych sianem z łąk na głęboko odwodnionych polskich torfowiskach jest „obciążony” nawet 7,5 kg emisji CO₂ z rozkładu torfu, a 1 kg wyprodukowanej z niego śmietany – 37,5 kg emisji! W przypadku masła jest to nawet 190 kg CO₂ na kilogram!¹⁰.

Wpływ bagien na klimat w skali lokalnej, czyli znaczenie regulacji obiegu wody

Globalny obieg wody zależny jest przede wszystkim od parowania z oceanów, zatem tereny bagienne, zajmujące 3% lądów raczej nie odgrywają w nim znaczącej roli. Ale już w skali lokalnej i regionalnej bagna okazują się ważnym czynnikiem regulującym krążenie wody między atmosferą, a lądem (zwane małym cyklem hydrologicznym). Rola ta wynika z retencji i ewapotranspiracji (to suma parowania i transpiracji, czyli usuwania wody przez rośliny).

Należy pamiętać, że im wyższa temperatura powietrza, tym więcej pary wodnej może zatrzymać powietrze i tym szybciej wysychają ekosystemy lądowe, zwłaszcza grunty rolne o słabej zdolności retencji wody. Również dlatego ocieplenie klimatu powoduje, że susze stają się coraz bardziej dotkliwe. W takich przypadkach ratunkiem jest bliskość terenów podmokłych. Po pierwsze, poprzez zwiększenie wilgotności powietrza skutecznie ograniczają one wysychanie innych otaczających je terenów – w tym gruntów rolnych. Wynika to ze zmniejszenia tzw. deficytu pary wodnej w atmosferze – im więcej źródeł lokalnej ewapotranspiracji, tym jest on niższy (Kelvin i in. 2017). Po drugie, mokradła dosłownie „generują” opady. Wyparowana woda wróci do nas w postaci deszczu (w tym opadów konwekcyjnych, np. krótkotrwałych letnich burz), ale też mgieł, czy rosy. W przypadku deszczu nie zawsze spadnie on na ten sam obszar, z którego woda wyparowała, bo chmury

¹⁰ Wyliczenia oparto o następujące założenia: roczna produktywność mleka 4 000 kg z 1 hektara łąki, przelicznik ilości mleka potrzebnej do uzyskania śmietany 5:1, a do uzyskania masła 25:1. Emisja CO₂ z torfu 30 ton ha⁻¹ rok⁻¹ odpowiada oficjalnemu wskaźnikowi IPCC dla żyznych łąk na głęboko odwodnionych torfowiskach strefy umiarkowanej (Hiraishi i in. 2014). W wyliczeniach zastosowano prosty przelicznik masy produktu na emisję z powierzchni torfowiska. W rzeczywistości ślad węglowy jest nieco niższy, ponieważ z tego samego pełnotłustego mleka powstają różne produkty.

przemieszczają się wraz z wiatrem, ale w skali regionalnej mokradła wraz z lasami (które również mają znaczną zdolność do retencji wody i wysokie wskaźniki ewapotranspiracji) tworzą „pompę hydrologiczną” przemieszczającą opady w głąb kontynentów (Huryna i Pokorny, 2017). W niektórych kręgach związanych z gospodarką wodną wciąż pokutuje wąskie rozumienie ewapotranspiracji, jako „utraconej” wody, która nie zasili trwale wód podziemnych, ani rzek. Takie podejście nie bierze jednak pod uwagę niezmiernie ważnej funkcji małego obiegu wody dla regulacji lokalnego klimatu, w tym powstawania opadów i łagodzenia anomalii temperaturowych (Huryna i Pokorny, 2017). W warunkach klimatycznych Polski około 60-70% letnich opadów jest naturalnie generowane wskutek ewapotranspiracji z lądów, a tylko pozostałe 30-40% dociera do nas znad oceanów (Dirmeyer i in., 2014). Wreszcie, ewapotranspiracja ma jeszcze jeden, niezmiernie ważny wpływ na klimat. Otóż proces ten pobiera ciepło z otoczenia, które oddawane jest dopiero podczas kondensacji pary wodnej w górnych warstwach atmosfery (Huryna i Pokorny, 2017). Jest to proces podobny do działania klimatyzatorów, które chłodzą nasze domy lub samochody, w których "pompa ciepła" również opiera się na zmianie fazy wymiennika ciepła (gaz-ciecz). Nasza własna fizjologiczna "klimatyzacja" działa w ten sam sposób – pocąc się w gorące dni chłodzimy nasze ciała poprzez odparowanie wody. Mokradła są zatem takimi systemami klimatycznymi dla krajobrazów¹¹.

W tym miejscu może warto wspomnieć czym różnią się bagna od innych mokradeł pod względem możliwości ich wykorzystania w regulacji lokalnego obiegu wody. Rzeczywiście, opisane powyżej mechanizmy wpływu na mikroklimat w znacznym stopniu dotyczą również jezior, rzek, łąk podmokłych, czy nadrzecznych terenów zalewowych. Wszystkie one są ważnymi źródłami ewapotranspiracji – o ile mają aktualnie pod dostatkiem wody. Jednak w przypadku rzek zwiększone parowanie może być kłopotliwe. Tak zwane „niżówki” hydrologiczne mogą być trudne do przetrwania dla niektórych gatunków ryb oraz utrudniają lub uniemożliwiają nasze korzystanie z wody powierzchniowej np. jej pobór z rzek do celów komunalnych czy przemysłowych. Dlatego warto minimalizować parowanie z rzek poprzez promowanie zadrzewień na brzegach, a budowa zbiorników zaporowych, w których woda nagrzewa się i w przyspieszonym tempie paruje, jest niekorzystna z punktu widzenia bilansu hydrologicznego rzek. Z kolei różnego typu mokradła okresowe, np. tereny zalewowe rzek, różnią się od bagien tym właśnie, że dysponują wodą tylko przez część sezonu i często w czasie letnich upałów są po prostu suche¹². Takie mokradła odgrywają niezmiernie ważną rolę w ochronie przeciwpowodziowej, ale niekoniecznie pomagają schłodzić klimat w letnie upały i zmniejszyć lokalne deficyty wody. W odróżnieniu od nich, dzięki znakomitej zdolności retencyjnej torfu, bagna zatrzymują wodę znacznie skuteczniej, na długo „buforując” jej przepływ przez krajobraz. Są nią wysyczone nawet wtedy, gdy innym ekosystemom jej brakuje – np. podczas letnich susz i silnych fal upałów. W takich okresach torfowiska, podobnie jak wody powierzchniowe, jeśli

¹¹ Huryna i Pokorny (2017) podają, że aby odparować 1 litr wody potrzebne jest 0,69 kW-h (2,5 MJ) energii. Podają przykład mokradła w Czechach, o powierzchni ok. 4 km², badanego przez Rejskovą i in. (2010), które podczas słonecznego dnia odparowywało około 500 kg wody na sekundę, co odpowiada przepływowi małej rzeki. Ten niewidoczny strumień pochłaniał z otoczenia około 1,260 MW energii, co odpowiada mocy sporej elektrowni.

¹² Ale należy pamiętać o części wspólnej tych zbiorów, czyli o nadrzecznych bagnach zalewowych, które przyjmują ogromne ilości wody powierzchniowej w czasie wiosennych wezbrań, a jednocześnie są wysyczone wodą podziemną przez większą część roku.

występują w krajobrazie, są głównym źródłem zaopatrzenia dla małego obiegu wody. I jeszcze jedna ważna przewaga bagien nad otwartą wodą: otóż rośliny bagienne skutecznie transportują wodę tylko do pewnego limitu. Przy bardzo wysokiej temperaturze aparaty szparkowe zamykają się, chroniąc rośliny przed nadmiernym poborem wody z solami mineralnymi (Lafleur, 2008). Tworzy to swego rodzaju ujemne sprzężenie zwrotne, chroniące zasoby wody na bagnach przed wyczerpaniem i podtrzymujące ich zdolność buforowania klimatu.

Nie trzeba chyba dodawać, że osuszanie mokradeł niszczy te mechanizmy. Budując systemy melioracyjne sprawiliśmy, że znacznie więcej wody spływa teraz bezpośrednio do rzek lub wsiąka w ziemię, a to doprowadziło do osłabienia lokalnego obiegu wody i zaniku lub znacznego zmniejszenia efektu schładzania.



Bagno Ławki – największy kompleks dobrze zachowanych torfowisk w południowej części Biebrzańskiego Parku Narodowego. Fot. M. Ostrowski / CMok.

Niejednoznaczny wkład torfowisk biebrzańskich w regulację globalnego klimatu

W Dolinie Biebrzy występują największe w Polsce bagna torfowe zachowane w stanie zbliżonym do naturalnego. Niestety, dwa razy większą powierzchnię zajmują tu torfowiska odwodnione, których przekształcenie sięga początków XIX wieku, a także jest skutkiem projektów melioracyjnych z czasów Polski Ludowej. Na podstawie bardzo zgrubnego szacunku można policzyć, że torfowiska Doliny Biebrzy, na powierzchni odpowiadającej 0,3% powierzchni Polski, magazynują 76-127 milionów ton węgla, co przekłada się na ok. 280-460 milionów ton

wycofanego z atmosfery dwutlenku węgla¹³. Całe polskie lasy, zajmujące ok. 30% powierzchni kraju (a więc sto razy większy obszar), przewyższają zasobami węgla biebrzańskie torfowiska najwyżej dwu-trzykrotnie (zasoby węgla w polskich lasach szacowane są na ok. 820 MT [Zajączkowski i in. 2017]). Jednocześnie cały węgiel, który bagna biebrzańskie zakumulowały w czasie holocenu to ilość porównywalna z zaledwie 1 rokiem emisji CO₂ z polskiej gospodarki (ok. 300 Mt). Pokazuje to jak ogromne są nasze antropogeniczne emisje.

Jaka jest obecna funkcja klimatyczna biebrzańskich torfowisk? Musimy pamiętać, że zaledwie ok. jedna trzecia z nich ma warunki pozwalające na zachowanie lub akumulację torfu (a więc są one z grubsza bagnami). Nie wiemy, na jakiej części z tych 30 tysięcy hektarów względnie naturalnych bagien zachodzi aktualnie akumulacja torfu, ale przyjmując optymistycznie za średnie tempo akumulacji ok. 1 mm miąższości torfu rocznie, uzyskamy sekwestrację węgla na poziomie 12 tysięcy ton węgla, czyli ok. 44.000 ton wycofywanego z atmosfery dwutlenku węgla rocznie. Niestety, emisje z pozostałych 60.000 ha odwodnionych torfowisk w Dolinie Biebrzy kilkudziesięciokrotnie przekraczają tę wielkość. Przyjmując dość konserwatywnie uwalnianie dwutlenku węgla z łąk na odwodnionych torfowiskach doliny Biebrzy na 15 ton ekwiwalentów CO₂ na hektar na rok (choć w niektórych obszarach wielkości te mogą być nawet trzy razy większe), uzyskujemy emisje rzędu 3,3 miliona ton CO₂¹⁴. To ekwiwalent 15 milionów kilometrów przejechanych samochodem osobowym. Albo 1,1 % całkowitych raportowanych przez Polskę emisji gazów cieplarnianych.

Torfowiska Biebrzańskie są więc – z jednej strony – jednym z największych naturalnych magazynów węgla organicznego w Polsce, a z drugiej strony – jednym z najsilniejszych emitentów dwutlenku węgla, przynajmniej w regionie Podlasia. W kontekście pojawiających się nowych zagrożeń dla tego obszaru jasne jest jedno: torfowiska Doliny Biebrzy należy nie tylko chronić przed kolejnymi inwestycjami, ale też wyleczyć zadane im kiedyś rany, przeprowadzając szeroko zakrojone, odważne projekty renaturyzacji. I to właśnie ta perspektywa, a nie zachowanie status quo, powinna być odniesieniem przy analizie wpływu jakichkolwiek inwestycji na środowisko. W czasie przyspieszającego kryzysu klimatycznego naprawa częściowo zaburzonych dużych terenów przyrodniczych powinna być zdecydowanym priorytetem. Wycofanie rolnictwa odwodnieniowego z Doliny Biebrzy jest koniecznością i moralnym obowiązkiem administrujących tym obszarem instytucji. Region ten mógłby stać się poligonem pilotowo wdrażanego programu przywracania warunków bagiennych na torfowiskach, w ramach którego właściciele gruntów rolnych na torfowiskach będą mogli je sprzedać po korzystnych cenach lub uzyskać dopłaty ułatwiające przestawienie się na przyjazne klimatowi rolnictwo bagienne, czyli tzw. paludikulturę. Programu, który docelowo powinniśmy wdrożyć w całym kraju.

Misja „rewetting”: 50 milionów hektarów torfowisk do zalania w ciągu 20 lat

Z punktu widzenia technicznego naprawa sytuacji nie jest skomplikowana. Należy zatkać lub zasypać wykopane kiedyś rowy, a woda przestanie odpływać z torfowisk. Ponownie nawodnione torfowiska nie powrócą szybko do stanu sprzed degradacji – największym problemem jest ich podwyższona trofia (żyźność) – to efekt rozkładu torfu, a często też długotrwałego nawożenia. W miejsce niegdysiejszych mechowisk wykształcają się tam zwykle wysokie szuwały, niezbyt gościnne dla

¹³ Oszacowanie na podstawie następujących założeń: powierzchnia torfowisk Doliny Biebrzy 90.000 ha, średnia miąższość torfu 1,5 m, średnia gęstość objętościowa suchego torfu 0,15 g cm³. Podany przedział wynika z przyjęcia ufności tego oszacowania na poziomie 25%.

¹⁴ Dotyczy torfowisk całej Doliny Biebrzy – zarówno w Biebrzańskim Parku Narodowym, jak i poza nim.

większości zagrożonych gatunków bagiennych roślin i zwierząt¹⁵. Ale z punktu widzenia klimatycznego sytuacja ulega natychmiastowej poprawie. Wysokie emisje dwutlenku zostają zredukowane niemal do zera natychmiast po podniesieniu zwierciadła wody do powierzchni gruntu. Przez pierwsze lata po ponownym nawodnieniu ze zdegradowanych gleb torfowych wydobywa się wprawdzie zwiększona ilość metanu, ale wkrótce emisje te zrównują się z poziomem typowym dla naturalnych bagien i są mało znaczące w porównaniu z efektem ograniczenia ogromnych emisji CO₂. W ten sposób przywrócimy też mikroklimatyczną rolę bagien wynikającą z retencji i regulacji obiegu wody, adaptując się do zmiany klimatu¹⁶.



Zastawka piętrząca poziom wody w rowie odwadniającym na mazurskim torfowisku na terenie Nadleśnictwa Maskulińskie. Fot. W. Kotowski.

To wszystko można i trzeba zrobić na wielką skalę – o ile traktujemy poważnie zobowiązania Porozumienia Paryskiego o wyzerowaniu emisji gazów cieplarnianych. Przeprowadzenie tego

¹⁵ Na torfowiskach niskich efekty ponownego zabagnienia zależą znacząco od skali uprzedniej degradacji. W zależności od niej, jak i od lokalnych priorytetów można przyjąć różne strategie restytucji przyrodniczej. Wtórnej eutrofizacji można na przykład uniknąć poprzez usuwanie warstwy silnie zdegradowanego torfu, wtedy trzeba go wliczyć w bilans klimatyczny procesu restytucji. Więcej na ten temat: Kotowski i in. (2016).

¹⁶ Kolejną korzyścią z odtwarzania torfowisk – w szczególności tych zlokalizowanych nad rzekami – jest wykorzystanie ich potencjału do oczyszczania wód powierzchniowych z zanieczyszczeń spływających z terenów rolniczych. O tych korzyściach można przeczytać np. w broszurze wydanej w ramach projektu [CLEARANCE](#) (Kotowski i Jabłońska, 2021).

procesu jest przede wszystkim wyzwaniem natury polityczno-administracyjnej. Na szczęście jest to problem wielu krajów Unii Europejskiej i powinien być wspólnie rozwiązany.

Unia Europejska jest drugim, po Indonezji, emitentem gazów cieplarnianych z osuszonych torfowisk. Nie bez znaczenia jest fakt, że aktualne status quo jest wspierane przez system dopłat do rolnictwa w ramach Wspólnej Polityki Rolnej. Ta sytuacja ma się zmienić w najbliższej perspektywie finansowej, choć trudno dziś przewidzieć na ile konieczność powstrzymania emisji z torfu zostanie doceniona przez polityków. Według szacunków Greifswald Mire Centre (2019), Unia Europejska powinna w ciągu najbliższych 29 lat (a więc do 2050 roku, wyznaczonego jako cezura dojścia do gospodarki zeroemisyjnej) ponownie nawodnić 15 milionów hektarów osuszonych torfowisk. Oznacza to konieczność ponownego nawadniania co najmniej 500 tysięcy hektarów rocznie. Wycofanie takich obszarów z sektora rolnego i oddanie ich przyrodzie po ponownym zabagnieniu jest niemal niemożliwe do realizacji w takiej perspektywie czasowej – nie dlatego, że mają one szczególnie duży udział w produkcji żywności (to wszak zaledwie parę procent obszarów rolniczych UE), ale ze względu na ekonomiczne i społeczne koszty takiego przedsięwzięcia. Dlatego właśnie potrzebujemy paludikultury – czyli bagiennej rolnictwa (Wichtmann i in. 2016).

Paludikultura to przyjazna klimatowi i przyrodzie alternatywa dla użytkowania torfowisk w stanie odwodnienia, a więc uprawa roślin bagiennych (np. pałki szerokolistnej, trzciny pospolitej, olszy) w warunkach zachowujących pokłady torfu, a więc minimalizujących emisje gazów cieplarnianych. Sprzyja jej wysoka żyzność ponownie nawodnionych torfowisk. Przy użyciu różnych, sprawdzonych już technik, biomasa może być wykorzystana do produkcji energii lub być przetwarzana na materiały izolacyjne i budowlane, na podłoża do roślin uprawnych (kompost), wreszcie część roślin bagiennych sprawdza się również jako pasza dla zwierząt. To opcja sprawdzona dotąd w stosunkowo niewielkiej, głównie eksperymentalnej skali (Wichmann 2017), ale w Niemczech będąca już podstawą regionalnego planowania (Tanneberger i in. 2020). Jej powszechne wdrożenie wydaje się jedyną drogą do szybkiego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z torfowisk, ale wymaga systemowego wsparcia. Wiadomo już, że w nowej, zreformowanej Wspólnej Polityce Rolnej UE paludikultura ma być jednym z tzw. ekoschematów, do których realizacji przewidziano specjalne dopłaty. Konkretnie rozwiązania i decyzje zapadną jednak na poziomie państw członkowskich i będą zapewne różne w poszczególnych krajach. Nie ulega dla mnie wątpliwości, że wsparcie innowacyjnego rolnictwa bagiennej jest w Polsce bardzo potrzebne, pozwoli bowiem nie tylko na podtrzymanie dochodowości rolników gospodarujących na torfowiskach w warunkach ochrony klimatu, ale również zapewni niezbędne warunki brzegowe dla ochrony sąsiadujących torfowisk o wysokich walorach przyrodniczych, dziś zagrożonych w związku z odwadnianiem przyległych obszarów rolnych.

Przyszłość torfowisk musi być mokra – dla klimatu, dla ludzi i dla przyrody¹⁷.

¹⁷ Pozwoliłem tu sobie sparafrazować hasło, którym mój najważniejszy nauczyciel i mentor w zakresie wiedzy o bagnach, prof. Hans Joosten, zwykle kończy swoje wykłady: *Peatlands must be wet: for nature, for people, forever!*

dr hab. Wiktor Kotowski - profesor Uniwersytetu Warszawskiego na Wydziale Biologii, kierownik Grupy Badawczej ds. Ekologii Mokradeł w Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych UW oraz współzałożyciel i członek Zarządu stowarzyszenia Centrum Ochrony Mokradeł.
Kontakt: w.kotowski@uw.edu.pl

Cytowana literatura

- Dirmeyer, P. A., Wei, J., Bosilovich, M. G., & Mocko, D. M. (2014). Comparing evaporative sources of terrestrial precipitation and their extremes in MERRA using relative entropy. *Journal of Hydrometeorology*, 15(1), 102-116.
- Feulner, G. (2017). Formation of most of our coal brought Earth close to global glaciation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(43), 11333-11337.
- Frolking, S., Talbot, J., Jones, M. C., Treat, C. C., Kauffman, J. B., Tuittila, E. S., & Roulet, N. (2011). Peatlands in the Earth's 21st century climate system. *Environmental Reviews*, 19(NA), 371-396.
- Greifswald Mire Centre (2019) Briefing Paper on the role of peatlands in the new European Union's Common Agriculture Policy (CAP). Greifswald Mire Centre. Online: https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere_Briefings/GMC-briefing%20paper_CAP_final.pdf (dostęp 01.08.2021).
- Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M., Troxler T.G. (red.) (2014). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
- Huryňa, H., & Pokorný, J. (2016). The role of water and vegetation in the distribution of solar energy and local climate: a review. *Folia geobotanica*, 51(3), 191-208.
- Joosten, H. (2009). The Global Peatland CO₂ Picture: peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. Wageningen, Wetlands International.
- Joosten, H., & Clarke, D. (2002). Wise use of mires and peatlands - background and principles Including a framework for decision-making. *International Mire Conservation Group and International Peat Society*, 304 ss. ISBN 951-97744-8-3.
- Joosten, H., Moen, A., Couwenberg, J., & Tanneberger, F. (2017). Mire diversity in Europe: mire and peatland types. *Mires and Peatlands of Europe: Status, Distribution and Conservation*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, 5-64.
- Joosten, H., Sirin, A., Couwenberg, J., Laine, J., & Smith, P. (2016). The role of peatlands in climate regulation. W: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H., & Stoneman, R. (Eds.). (2016). *Peatland restoration and ecosystem services: science, policy and practice*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 63-76.
- Kelvin, J., Acreman, M. C., Harding, R. J., & Hess, T. M. (2017). Micro-climate influence on reference evapotranspiration estimates in wetlands. *Hydrological sciences journal*, 62(3), 378-388.
- KOBiZE (2021) Poland's National Inventory Report (2020). Greenhouse Gas Inventory for 1988-2018 Submission under the UN Framework Co. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE), Instytut Ochrony Środowiska, Ministerstwo Klimatu, Warszawa (dostęp 10.05.2020).

- Kotowski W., Jabłońska E. (Red.) (2020) Bagienne strefy buforowe: nasze wyjście bezpieczeństwa. Online: <http://output.clearance-project.com/CLEARANCE-brochure-PL> (dostęp 01.08.2021).
- Kotowski, W. (2021) Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych z użytkowania gleb organicznych w Polsce oraz potencjału ich redukcji. Fundacja WWF Polska.
- Kotowski, W., Ackerman, M., Grootjans, A., Klimkowska, A., Rössling, H., & Wheeler, B. (2016). Restoration of temperate fens: matching strategies with site potential. W: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H., & Stoneman, R. (Eds.). (2016). Peatland restoration and ecosystem services: science, policy and practice. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 170-191.
- Kotowski, W., Dembek, W., Pawlikowski, P. (2017). Poland. W: Joosten, H., Tanneberger, F., & Moen, A. (red.) Mires and peatlands of Europe. Schweizerbart and Borntraeger science publishers. ISBN 978-3-510-65383-6.
- Lafleur, P. M. (2008). Connecting atmosphere and wetland: energy and water vapour exchange. *Geography Compass*, 2(4), 1027-1057.
- Loisel, J., Gallego-Sala, A. V., Amesbury, M. J., Magnan, G., Anshari, G., Beilman, D. W., ... & Wu, J. (2021). Expert assessment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. *Nature climate change*, 11(1), 70-77.
- Moen, A., Joosten, H., Tanneberger, F. (2017) Mire diversity in Europe: mire regionality. W: Joosten, H., Tanneberger, F., & Moen, A. (red.) Mires and peatlands of Europe. Schweizerbart and Borntraeger science publishers. ISBN 978-3-510-65383-6.
- Nichols, J. E., & Peteet, D. M. (2019). Rapid expansion of northern peatlands and doubled estimate of carbon storage. *Nature Geoscience*, 12(11), 917-921.
- Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, 313(5790), 1068-1072.
- Piasek, H., & Gotkiewicz, J. (2004). Przeobrażenia odwodnionych gleb torfowych jako przyczyna ich degradacji. *Roczniki Gleboznawcze*, 55(2), 331-338.
- Rejsková A, Čížková H, Brom J, Pokorný J (2010) Transpiration, evapotranspiration and energy fluxes in temperate wetland dominated by *Phalaris arundinacea* under hot summer conditions. *Ecohydrology* 5:19–27
- Tanneberger, F., Schröder, C., Hohlbein, M., Lenschow, U., Permien, T., Wichmann, S., & Wichtmann, W. (2020). Climate change mitigation through land use on rewetted peatlands—cross-sectoral spatial planning for paludiculture in northeast Germany. *Wetlands*, 40(6), 2309-2320.
- Tanneberger, F., Tegetmeyer, C., Busse, S., Barthelmes, A. and 55 others (2017): The peatland map of Europe. *Mires and Peat*, 19(22), 1-17. (Online: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map19/map1922.php>); 10.19189/MaP.2016.OMB.264
- Treat, C. C., Kleinen, T., Broothaerts, N., Dalton, A. S., Dommain, R., Douglas, T. A., ... & Brovkin, V. (2019). Widespread global peatland establishment and persistence over the last 130,000 y. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(11), 4822-4827.
- Verhagen, A., van den Akker, J.J.H., Blok, C., Diemont, W.H., Joosten, J.H.J., Schouten, M.A., Schrijver, R.A.M., den Uyl, R.M., Verweij, P.A., Wösten, J.H.M. (2009) Climate change

scientific assessment and policy analysis. Peatlands and carbon flows. Outlook and importance for the Netherlands. Report 500102 027. Netherlands Environmental Assessment Agency.

- Wichmann, S. (2017). Commercial viability of paludiculture: a comparison of harvesting reeds for biogas production, direct combustion, and thatching. *Ecological Engineering*, 103, 497-505.
- Wichtmann, W., Schröder, C., & Joosten, H. (2016). *Paludiculture-productive use of wet peatlands*. Schweizerbart and Borntraeger science publishers. ISBN 978-3-510-65283-9.
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D. P., Beilman, D. W., & Hunt, S. J. (2010). Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical research letters*, 37(13).
- Zajączkowski, G., Jabłoński, M., Jabłoński, T., Małecka, M., Kowalska, A., Małachowska, J., Piwnicki, J. 2017. Raport o Stanie Lasów w Polsce 2016. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe. Online https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/Media/Default/Publikacje/raport_o%20stanie_lasow_2016.pdf. (dostęp 01.08.2021).
- Zoltai, S. C., & Martikainen, P. J. (1996). Estimated extent of forested peatlands and their role in the global carbon cycle. In *Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle* (pp. 47-58). Springer, Berlin, Heidelberg.