


Znaczenie badań interdyscyplinarnych dla zrozumienia zaburzeń torfowisk w lasach

Mariusz Lamentowicz, Sandra Słowińska, Michał Słowiński, Katarzyna Marcisz, Alexandre Buttler, Bogdan H. Chojnicki, Vincent E. J Jassey, Radosław Juszcak, Katarzyna Kajukało, Piotr Kolaczek, Łukasz Lamentowicz, Dominika Luców, Monika K. Reczuga, Mateusz Samson, Małgorzata Zielińska, Kamila Harenda, Jan Barabach, Kazimierz Tobolski, Mariusz Gałka

Abstrakt. Przed zwiększoną wycinką lasów w średniowieczu torfowiska w Polsce znajdowały się w stanie naturalnym akumulując znaczne ilości węgla. Przez większość holocenu (ostatnie 10 650 lat) lasy stanowiły parasol ochronny dla torfowisk. Wraz z postępującym otwarciem krajobrazu została zaburzona pierwotna dynamika hydrologiczna większości obiektów. Zmianom uległy także funkcje i bioróżnorodność torfowisk. Szczególnie na przestrzeni ostatnich kilkuset lat, w efekcie działalności człowieka wszystkie torfowiska zostały zaburzone. Ostatnie 200 lat historii to dramatyczna eksploatacja torfu i melioracje odwadniające prowadzące do obniżenia wód gruntowych. Efektem tychże zaburzeń są obiekty pozbawione roślin torfotwórczych oraz mikroorganizmów uczestniczących w procesie akumulacji materii organicznej, które stają się często emiterem netto węgla do atmosfery. Dla lepszego zrozumienia bioróżnorodności i bilansu węgla w torfowiskach potrzebne jest szczegółowe spojrzenie na te skomplikowane obiekty z wykorzystaniem różnorodnych metod badań. Badania prowadzące do podejmowania kompetentnych i właściwych decyzji służących ochronie torfowisk powinny mieć charakter długoterminowy, co w pośpiechu realizacji grantów naukowych i projektów w aktywnej ochronie przyrody jest często dużym problemem. Jednocześnie niewiele jest działań zmierzających do oceny/recenzji poprzednich prób restytucji, które wydają się niezbędne w planowaniu przyszłych przedsięwzięć tego typu. W perspektywie planów restytucji torfowisk i przeszłych działań istnieje duża potrzeba zespołowych działań dla ochrony torfowisk w kontekście zmian klimatu i odpowiedniego określenia warunków referencyjnych. Artykuł prezentuje możliwości podejścia interdyscyplinarnego w badaniach torfowisk na przykładzie torfowiska Linje i badań paleoekologicznych torfowisk wysokich typu bałtyckich w północnej Polsce.

Słowa kluczowe: torfowisko, monitoring, eksperyment, paleoekologia

Abstrakt. Significance of the interdisciplinary studies for the understanding of peatlands disturbances in forested areas. Peatlands were accumulating a considerable amount of carbon before increased forest cutting in the Medieval. Through the most of the Holocene period (last 10 600 years) forest



was an important umbrella for peatlands. Together with the increasing openness natural hydrological dynamics of the most of the sites were disturbed. Last 200 years history has been connected with the dramatic peat exploitation and drainage leading to water table decrease. In result of those disturbances, peatlands appeared to exist without peat-forming vegetation and microbes taking part in organic matter accumulation and finally peatlands started to release carbon to the atmosphere. We need to look at peatlands in detail using many methods to better understand their biodiversity and carbon balance. Furthermore, to make competent decisions in peatland nature conservation we need long-term studies, that is very difficult in reality of the rush of active nature conservation projects. It should be stressed that assessments/reviews of the past restoration projects are not existing - but they would be really useful for the future activities. Moreover, there is a need for the teamwork for peatlands restoration in the context of the climate change and setting reference conditions for the restoration plans. This contribution presents interdisciplinary approaches using an example of the Linje mire and palaeoecological studies of raised bogs of N Poland.

Key words: peatland, monitoring, experiment, palaeoecology

Wstęp

Torfowiska, które są często jedynymi pozostałościami naturalności w pofragmentowanym krajobrazie Europy, są ważnymi centrami różnorodności biologicznej (Joosten and Clarke, 2002). Ekosystemy torfowiskowe posiadają unikatowe walory flory, fauny oraz zespołów mikroorganizmów. Są one bardzo czułe na wszelkie zaburzenia środowiska, szczególnie na te powodowane przez człowieka (Dise, 2010).

Torfowiska akumulują ogromne ilości węgla atmosferycznego (Gorham, 1991). Martwa materia organiczna ulega akumulacji w warunkach beztlenowych przy wysokim poziomie wody, natomiast w warunkach aerobowych następuje dekompozycja oraz w efekcie emisja węgla do atmosfery (Turetsky i in., 2015). Na terenie dobrze zachowanych torfowisk zachodzi proces torfotwórczy, polegający na akumulacji przede wszystkim podpowierzchniowych części roślin np. korzonków czy kłaczy. Na przestrzeni wielu lat roślinność przekształca się w torf, który może być magazynowany wiele milionów lat przekształcając się finalnie w węgiel (Scott, 2000).

Ekosystemy torfowiskowe posiadają skomplikowane sieci troficzne rozpięte pomiędzy wieloma taksonami, z którymi wiele nie zostało jeszcze poznanych (Gilbert i in., 1998; Jassey i in., 2013b; Song i in., 2016). Dopiero od niedawna rozpoczęły się szerzej zakrojone badania funkcji torfowisk w kontekście globalnego ocieplenia. Ujawniły one ogromne znaczenie mikroorganizmów dla efektywnego procesu akumulacji węgla (Andersen i in., 2013; Artz i in., 2008; Bragazza i in., 2007; Jassey i in., 2015).

Od kilkuset lat torfowiska podlegają postępującej degradacji związanej ze zmianami użytkowania ziemi (Kajukało i in., 2016). Szczególnie niebezpieczne dla hydrologii tych środowisk były odwodnienia oraz eksploatacja torfu (Tiemeyer i in., 2016). Jednym z rzadziej opisywanych zaburzeń były postępujące odlesienia zarówno naturalne (Słowiński i in., 2016) jak i antropogeniczne (Lamentowicz i in., 2007) oraz pożary wywołujące niestabilność akumulacji węgla zdeterminowaną gwałtownymi wahaniami poziomu lustra wody gruntowej (Marcisz i in., 2015). Zrozumienie efektów zaburzeń torfowisk wymaga szeroko zakrojonych badań naukowych wykorzystujących maksymalny potencjał metod wielu dyscyplin naukowych (Lamentowicz i in., 2016). Niniejszy artykuł jest próbą przeglądu potencjału różnych podejść w badaniach torfowisk na obszarach leśnych na przykładzie projektów naukowych realizowanych na obszarze Polski.

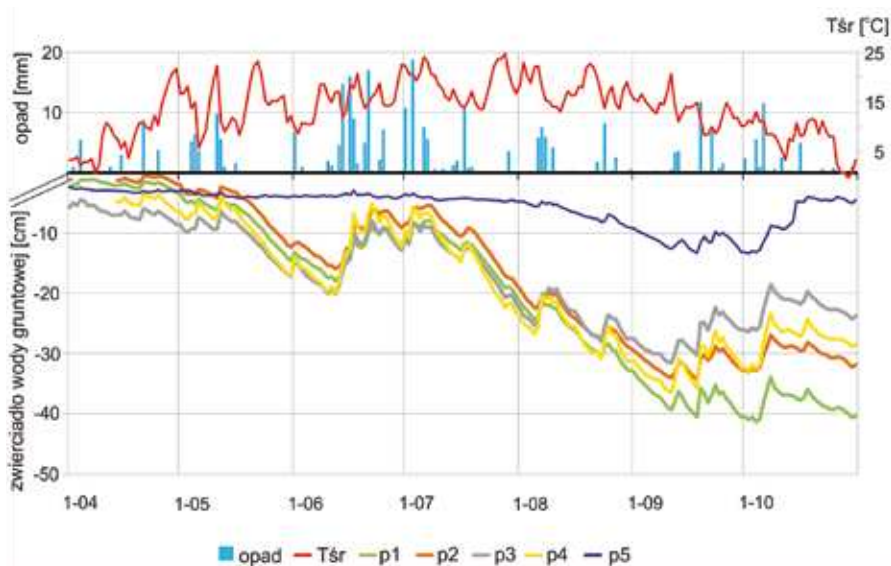
Monitoring torfowisk

Szeroko rozumiany monitoring jest istotnym narzędziem oceny stanu torfowisk, który pomaga nimi odpowiednio zarządzać. Długoterminowy monitoring pozwala wykryć zmiany w funkcjonowaniu ekosystemów torfowiskowych, jak również wskazać trend ich przemian w czasie. Aby torfowisko mogło poprawnie funkcjonować (tj. aby zachodziła akumulacja torfu) niezbędny jest odpowiednio wysoki poziom wody gruntowej. Dlatego też kluczowym działaniem jest monitorowanie głębokości zwierciadła wody gruntowej. W przypadku torfowisk ombrogenicznych (zasilanych głównie opadem atmosferycznym) istotne jest również monitorowanie warunków meteorologicznych na samych obiektach, bądź w ich najbliższym otoczeniu. Torfowiska te są bardzo czułe na zmiany warunków termiczno-wilgotnościowych, szczególnie w okresie letnim. Już kilkudniowy okres bezopadowy spowodować może znaczne obniżenie zwierciadła wody gruntowej (Hałas i in., 2008).

Przykładem tego typu obiektu jest śródleśne torfowisko Linje k. Bydgoszczy (53°11'15»N, 18°18'34»E), gdzie od 2006 roku prowadzony jest monitoring hydrologiczno-meteorologiczny (Hałas i in., 2008; Słowińska, 2016; Słowińska i in., 2010). Monitoring stał się punktem wyjścia do szczegółowych badań tego torfowiska wraz z otaczającą go zlewnią. W początkowych latach obserwacje głębokości wody gruntowej wykonywane były w sposób manualny, a od 2009 roku używane są do tego celu rejestratory automatyczne, które zamontowane są w sieci studzienek. Rejestrowana jest również temperatura i wilgotność powietrza oraz opad atmosferyczny, co pozwala określić reakcję torfowiska na zmieniające się warunki meteorologiczne. Ponadto, w okresie wegetacyjnym w 2010 roku analizowana była struktura gatunkowa ameb skorupkowych (Marcisz i in., 2014).

W latach 2011-2014 na torfowisku Linje realizowany był projekt badawczy pt. „Wpływ czynników biotycznych i abiotycznych na funkcjonowanie torfowiska Linje – jako implikacja dla badań paleoklimatycznych» (nr. NN306 060940). Celem projektu było poznanie funkcjonowania ekosystemu torfowiskowego rezerwatu Linje w kontekście zależności jakie zachodzą między warunkami meteorologicznymi, hydrologicznymi oraz edaficznymi na torfowisku w relacji do struktury gatunkowej ameb skorupkowych i roślinności. Wytypowano pięć miejsc szczegółowego monitoringu, w których prowadzono obserwacje przyrostu mchów z rodzaju *Sphagnum* oraz struktury gatunkowej ameb skorupkowych w relacji do czynników abiotycznych (głębokości wody gruntowej, tempera-

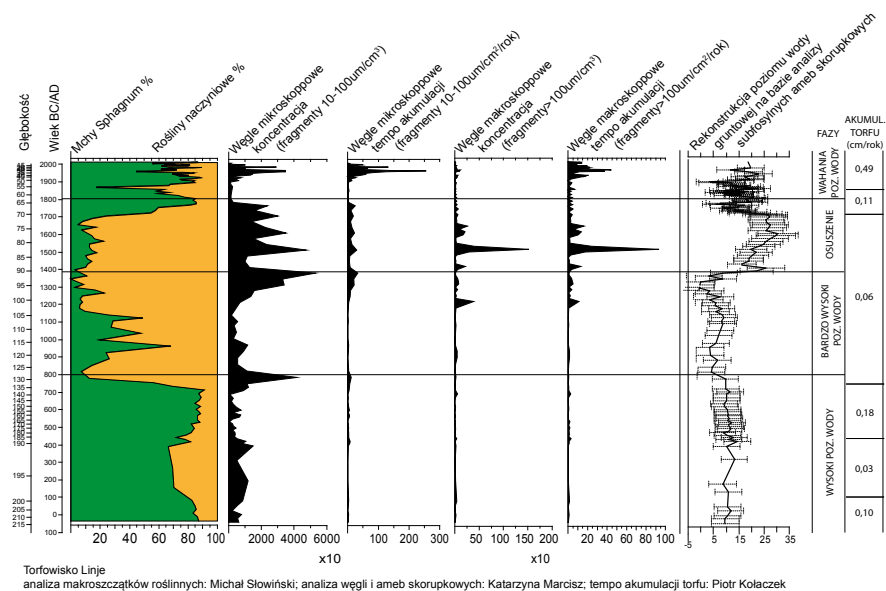
tury i wilgotności powietrza, warunków świetlnych oraz wilgotności torfu). W miejscach tych badano również tempo rozkładu torfu na różnych głębokościach. Wyniki ukazały, iż torfowisko Linje, choć obszarowo niewielkie (5,95 ha), charakteryzuje się dość dużym zróżnicowaniem pod względem warunków mikroklimatycznych oraz hydrologicznych, co ma bezpośrednie przełożenie na badane czynniki biotyczne. Na ryc. 1 przedstawiono przykład przebiegu poziomu wody gruntowej (w stosunku do powierzchni torfowiska) w miejscach szczegółowego monitoringu w zestawieniu z opadem atmosferycznym i temperaturą powietrza w 2012 roku. Zauważyć można różnice w poziomie wody gruntowej w poszczególnych miejscach torfowiska, jak również gwałtowną reakcję hydrologiczną na warunki meteorologiczne szczególnie na przełomie lipca i sierpnia. Gwałtowne zmiany hydrologiczne oraz różnice w nasłonecznieniu w okresie letnim wpłynęły także na zmianę struktury gatunkowej zespołów ameb skorupkowych, co wzmocniło ich przydatność jako ważnych bioindykatorów w długoterminowym monitoringu zmian hydrologicznych na torfowiskach (Marcisz i in., 2014).



Ryc. 1. Torfowisko Linje. Efekty monitoringu hydrometeorologicznego w roku 2012
Ryc. 1. Torfowisko Linje. Efekty monitoringu hydrometeorologicznego w roku 2012

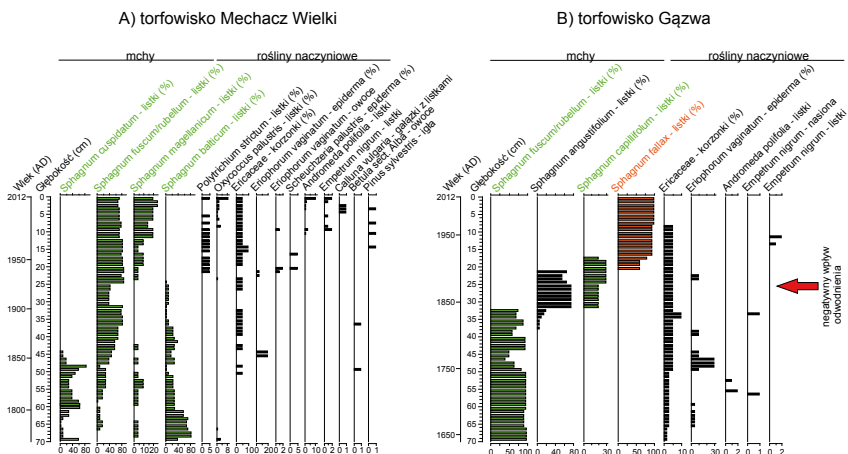


Ryc. 2. A) Eksperyment manipulacyjny w projekcie CLIMPEAT. Na torfowisku zastosowano heksagonalne klosze, które podnoszą temperaturę torfowiska (Fot. Jan Barabach); B) Prace badawcze na torfowisku wymagają dużych nakładów finansowych i wiele czasu spędzonego w terenie (Fot. Mariusz Lamentowicz)



Ryc. 3. Rekonstrukcja roślinności, pożarów, zmian hydrologicznych i tempa akumulacji torfu w torfowisku Linje w ciągu ostatnich 2000 lat. Szczególnie warty uwagi jest nagły wzrost akumulacji torfu ok. roku 1700 związany z odlesieniami i pożarami (Marcisz et al., 2015)

Ryc. 3. Rekonstrukcja roślinności, pożarów, zmian hydrologicznych i tempa akumulacji torfu w torfowisku Linje w ciągu ostatnich 2000 lat. Szczególnie warty uwagi jest nagły wzrost akumulacji torfu ok. roku 1700 związany z odlesieniami i pożarami (Marcisz et al., 2015)



Ryc. 4. Rekonstrukcja zmian kompozycji gatunkowej roślin w torfowiskach Mechacz Wielki (A) i Gązwa (B)

Ryc. 4. Rekonstrukcja zmian kompozycji gatunkowej roślin w torfowiskach Mechacz Wielki (A) i Gązwa (B)

Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne stanowią bardzo ważne uzupełnienie monitoringu (Delarue i in., 2015; Yoccoz i in., 2001). W rzeczywistości te dwa podejścia powinny być realizowane równolegle, co dzieje się jednak bardzo rzadko. Podczas gdy monitoring pozwala na ocenę stanu obecnego torfowiska, eksperyment umożliwia przewidywanie co stanie się z ekosystemem torfowiska pod wpływem np. globalnego ocieplenia lub zanieczyszczeń (Scheiner and Gurevitch, 2001).

Eksperymenty manipulacyjne stosowane są na torfowiskach w różnych częściach świata w różnych skalach przestrzennych, od 1 m² (np. projekt PEATWARM [<http://peatwarm.cnrs-orleans.fr>]) do kilkunastu m² (projekt SPRUCE [<http://mnspruce.ornl.gov/>]) (Buttler i in., 2015; Jassey i in., 2013a; Lamentowicz i in., 2016; Mulot i in., 2015). Są to eksperymenty zmian globalnych, które testują wpływ podniesionej temperatury i zwiększonego poziomu dwutlenku węgla na funkcjonowanie ekosystemu torfowiska (Blodau i in., 2004; Dorrepaal i in., 2004).

W Polsce zrealizowano dotąd dwa eksperymenty testujące wpływ podwyższonej temperatury i suszy na ekosystem torfowiska wysokiego – CLIMPEAT na torfowisku Linje k. Bydgoszczy oraz WETMAN na torfowisku Rzeczin w Puszczy Noteckiej. W projekcie CLIMPEAT (www.climpeat.pl) temperatura powietrza została podniesiona za pomocą heksagonalnych poliwęglanowych kloszy z otwartym szczytem (OTC – Open Top Chambers). Jest to pasywny system ogrzewania, podnoszący temperaturę o ok. 2°C (Dabros i in., 2010).

Eksperyment CLIMPEAT jest początkiem długoterminowych badań ekologicznych. Głównym celem jest odpowiedź na pytanie, w jakim ocieplenie klimatu w kombinacji z osuszeniem oddziałuje na ekosystem torfowiska na granicy kontynentalnych i oceanicznych wpływów klimatu. Torfowisko Linje jest obecnie ważnym europejskim stanowiskiem refe-

rencyjnym. Istotnym aspektem jest połączenie kilku uzupełniających się dyscyplin w celu uzyskania wglądu w skomplikowany ekosystem torfowiska w relacji do globalnych zmian klimatu. W projekcie zastosowano pomiary elementów meteorologicznych oraz szereg analiz: roślinności, mikroorganizmów, rozkładu materii organicznej, przyrostu mchów torfowców i aktywności enzymatycznej (Lamentowicz i in., 2016). Po raz pierwszy w Polsce na materiale z mchów torfowców zastosowano także sekwencjonowanie nowej generacji (Next Generation Sequencing) w celu określenia wpływu ocieplenia i osuszenia na zespoły eukariontów (Reczuga i in., 2015). Tak szczegółowe podejście jest niezbędne dla lepszego zarządzania torfowiskami w lasach, oraz do zrozumienia reakcji torfowisk na zaburzenia (wahania hydrologiczne) w przeszłości, co miało także związek z katastrofalnymi odlesieniami. (Dabros i in., 2010). Drugi eksperyment manipulacyjny realizowany jest na torfowisku Rzecińskim na terenie Puszczy Noteckiej w ramach projektu WETMAN (www.wetman.pl). W przeciwieństwie do projektu CLIMPEAT, w projekcie WETMAN manipulacje mają charakter aktywny – temperatura torfowiska podnoszona jest za pomocą elektrycznych radiatorów promieniowania cieplnego, a opady redukowane są za pośrednictwem automatycznej markizy wysuwającej się w nocy. W projekcie badany jest wpływ podniesionej temperatury powierzchni torfowiska i jej przesuszenia na wymianę gazów szklarniowych, bieg i alokację węgla, skład gatunkowy i różnorodność roślin i mikroorganizmów glebowych.

Zaburzenia lasu i historia rozwoju torfowisk

Monitoring torfowisk oraz badania eksperymentalne są niezmiernie ważne dla oceny aktualnego stanu funkcjonowania torfowisk oraz tworzenia projekcji na przyszłość, jednak badania te są najczęściej krótkotrwałe i prowadzone przez maksymalnie kilka lat. Wykazanie odpowiednich kierunków działań ochronnych dla torfowisk jest możliwe tylko w odniesieniu do przeszłości i na bazie wiedzy o ich długotrwałym rozwoju. Badania paleoekologiczne, skupiające się na rekonstrukcji zmian zachodzących w ekosystemach w ostatnich kilku tysiącach lat, pozwalają w pełni poznać historię rozwoju poszczególnych obiektów.

Warstwy torfu, zakumulowane w torfowiskach przez setki lub tysiące lat, kryją w sobie informację o historii torfowiska oraz jego otoczenia (Tobolski 2003, 2006). Torfowiska są czułe na wszelkie zaburzenia zachodzące w środowisku – tak samo na naturalne zmiany klimatu (Swindles i in., 2010), pożary (Conedera i in., 2009), czy gradacje owadów (Lamentowicz i in., 2015b), jak i na zaburzenia powstałe na skutek działalności człowieka – pożary i wycinka lasów, tworzenie osiedli ludzkich, melioracje i odwodnienia torfowisk, eksploatacja torfu, czy zanieczyszczenia (Fiałkiewicz-Koziel i in., 2015; Kajukalo i in., 2016; Marcisz i in., 2015; Słowiński i in., 2016; Turner i in., 2014).

Zmiany w torfowiskach możemy zrekonstruować badając różnorodne wskaźniki zakonserwowane w torfie. Analiza palinologiczna (ziaren pyłku i zarodników) oraz makroszczątków roślinnych pozwala na odtworzenie szaty roślinnej w okolicy oraz na powierzchni torfowiska. Analiza ameb skorupkowych i zastosowanie funkcji transferu pozwala na zrekonstruowanie zmian poziomu lustra wody gruntowej. Z kolei na bazie analizy mikroskopowych i makroskopowych węgli drzewnych możemy odtworzyć pożary występujące w przeszłości w lasach otaczających badany obiekt, jak i na jego powierzchni. Analizy geochemiczne, zawartości pyłu w torfie oraz gęstości objętościowej torfu pozwalają określić tempo akumulacji

oraz stopień rozkładu torfu w czasie. Połączenie wielu metod paleoekologicznych umożliwia rozpoznanie zmian jakie zachodziły w ekosystemie w przeszłości oraz określenie, czy były one związane ze zmieniającym się klimatem, czy też efektem działalności człowieka (Gałka i in., 2017b; Lamentowicz i in., 2013; Sillasoo i in., 2007; van der Knaap i in., 2011).

Dla torfowisk szczególnie niebezpiecznymi zaburzeniami są odwodnienia na skutek melioracji oraz eksploatacja torfu, gdyż destabilizują one stosunki hydrologiczne. Innym czynnikiem mającym negatywny wpływ na torfowiska są antropogeniczne odlesienia i pożary lasów, także prowadzące do niestabilności hydrologicznej i dużych wahań lustra wody gruntowej, które w konsekwencji prowadzą do zaburzeń akumulacji węgla. Wpływ człowieka na torfowiska jest najwyraźniej widoczny na terenie Polski od średniowiecza, a szczególnie w ostatnim tysiącleciu. Początkowo człowiek miał tylko niewielki wpływ na ekosystemy, tworząc małe osady i wycinając niewielkie fragmenty lasów aby utworzyć pola uprawne. Jednak z biegiem czasu rozwijająca się gospodarka wymuszała wypalanie coraz większych połaci lasów, meliorowanie torfowisk czy eksploatację torfu. Te niekorzystne dla torfowisk działania zwiększyły się znacząco w ostatnich 300 latach, gdy presja ze strony człowieka znacząco wzrosła. Poza bezpośrednim niszczeniem torfowisk przez melioracje i ekstrakcję torfu, pożary czy rolnictwo, torfowiska są także narażone na zanieczyszczenia pyłami przemysłowymi, czy substancjami docierającymi do ich powierzchni wraz z opadami atmosferycznymi. Zmiany te są widoczne na przykładzie wielu badanych torfowisk, m.in. we wspomnianym wcześniej torfowisku śródlęsnym Linje (Marcisz i in., 2015), torfowisku Mechacz Wielki położonym w Puszczy Rominckiej (Gałka i in., 2017b), Bagnie Kusowo (Lamentowicz i in., 2015a), Stążkach (Gałka i in., 2013), czy torfowiskach Sudetów narażonych na depozycję pyłów przemysłowych (Fiałkiewicz-Koziel i in., 2015; Kajukalo i in., 2016).

Ochrona torfowisk i warunki referencyjne

Istotnym celem badań paleoekologicznych na terenie obszarów mokradlowych jest dostarczanie wiedzy o przeszłości ekosystemów torfowiskowych. Rekonstrukcja rozwoju lokalnej roślinności na torfowiskach oraz warunków hydrologicznych i klimatycznych pozwala na rozpoznanie czynników decydujących o ich rozwoju w dłuższej perspektywie czasowej (dekady, stulecia czy nawet tysiące lat). Spojrzenie w zapis rozwoju torfowiska w przeszłości jest niezmiernie potrzebne, a wręcz konieczne, do opracowania skutecznej długookresowej strategii ochrony ekosystemów torfowiskowych. Ochrona torfowisk powinna być oparta na szczegółowej wiedzy naukowej (Gałka and Tobolski, 2011; Gałka i in., 2017a; Lamentowicz i in., 2011; Tobolski, 2003, 2006). Niestety, często zabiegi ochroniarskie oparte są na niewystarczającej wiedzy lub wzorach ochrony i sposobach renaturyzacji przenoszonych z innych krajów. Swoistość cech klimatu przejściowego, pod wpływem którego obszar Polski się znajduje, powoduje, iż rozwój torfowisk przebiegał w inny sposób, niż torfowisk wykształconych w klimacie oceanicznym np.: na Wyspach Brytyjskich, czy w strefie wpływów klimatu kontynentalnego np.: w Estonii czy Finlandii (Sillasoo i in., 2007; Swindles i in., 2012; Väli-ranta i in., 2007). Odmienność rozwoju torfowisk położonych w Polsce została wykazana w wielu pracach (Gałka i in., 2015; Gałka i in., 2017a; Gałka i in., 2014; Gałka i in., 2017b; Lamentowicz i in., 2008; Lamentowicz i in., 2011; Lamentowicz i in., 2009; Marcisz i in., 2015). Swoistą odrębną grupę stanowią torfowiska położone w masywach górskich Central-

nej Europy, np. w Karpatach, Sudetach czy Górach Harzu. Na tych torfowiskach otoczonych najczęściej lasami świerkowymi i o stosunkowo niewielkiej powierzchni (kilka hektarów) inaczej przebiega sukcesja lokalnej roślinności i inne gatunki odgrywają wiodącą rolę w procesie wykształcania torfu. Przykładem jest torfowisko Taul Muced, położone w rumuńskich Karpatach (Góry Rodna), gdzie na przestrzeni ostatnich 8000 lat tylko dwa gatunki mchów *Sphagnum magellanicum* i *S. angustifolium* oraz *Eriophorum vaginatum* wykształcały torf (Gałka i in., 2016). Z tego powodu w trakcie procesu ochrony i renaturyzacji torfowisk profesjonalna wiedza o lokalnych wymaganiach roślin, oraz warunkach topograficznych, klimatycznych i hydrologicznych ma tak istotne znaczenie.

W trakcie podejmowania decyzji w celu przeprowadzenia zabiegów zmierzających do renaturyzacji zniszczonych lub zaburzonych w rozwoju torfowisk, fundamentalną kwestią jest odpowiedź na kilka pytań:

1. Jak wyglądało torfowisko i jego najbliższe otoczenie/zlewnia przed przekształceniem/zniszczeniem?
2. Co jest jego stanem naturalnym?
3. Do czego dążymy w procesie restytucji torfowisk?
4. Co powinno rosnąć na torfowisku, by uznać, że cel został osiągnięty?
5. Czy cel – proces restytucji lub ochrona np. rzadkiego gatunku rośliny – jest możliwy do osiągnięcia i skuteczny w dłuższej perspektywie czasu?

Odpowiedź na powyższe pytania to warunek konieczny, aby w trakcie procesu renaturyzacji określić warunki referencyjne dla poszczególnych torfowisk. Warunki referencyjne, do których będziemy zmierzać w trakcie wieloletniej renaturyzacji torfowisk. Zaznaczyć należy, iż mogą one być różne dla wybranych torfowisk. Dysponowanie wiedzą o minionych populacjach roślinnych, a szczególnie o obecności gatunków torfotwórczych, które występowały na torfowisku, przed okresem wyznaczającym negatywny wpływ działalności człowieka np. odwodnienia, jest konieczne, by zwiększyć szanse na pozytywny wynik zabiegów renaturyzacyjnych. Istotą renaturyzacji i ochrony torfowisk powinno być bowiem nie tylko: a) podniesienie poziomu wody poprzez budowę zastawek, czy b) zachowanie cennych, bo najczęściej rzadkich organizmów roślinnych i zwierzęcych, ale odtworzenie procesu torfotwórczego, jak i również prace polegające na odtworzeniu potencjalnej szaty roślinnej na obszarze zlewni bezpośredniej renaturyzowanego ekosystemu (o czym najczęściej się zapomina). Znaczna część torfowisk w Polsce charakteryzuje się zasilaniem topogenicznym i dlatego też istotny wpływ na wszelkie zmiany troficzne oraz hydrologiczne odgrywa „kondycja” zlewni bezpośredniej. Obecność procesu torfotwórczego jest istotą w rozwoju torfowisk i nadrzędną cechą w określaniu jego stanu zachowania oraz potencjału do akumulacji węgla.

Na podstawie szczegółowych badań profili torfowych pobranych na terenie północnej Polski i rekonstrukcji składu botanicznego można wskazać torfowiska, które pomimo zmniejszenia zachowały pewne cechy naturalności, co jest bardzo istotne z punktu widzenia zachowania bioróżnorodności. Przykładem są torfowiska Bagno Kusowo k. Szczecinka (Lamentowicz i in., 2015a) i Mechacz Wielki k. Gołdapi (Ryc. 4A) (Gałka i in., 2017b), gdzie pomimo intensywnych prac odwadniających nadal występują gatunki roślin np. mchów *Sphagnum*, obecnych na tych torfowiskach przez ostatnich kilka tysięcy lat. Co najważniejsze, proces torfotwórczy na tych torfowiskach nie został przerwany. Niestety, więcej torfowisk zostało bezpowrotnie zniszczonych w trakcie np. wydobywania torfu. Na zniszczonych

torfowiskach odtworzenie procesu torfotwórczego może być bardzo trudne lub nawet niemożliwe. Przykładem torfowiska zniszczonego, choć z czynnym procesem torfotwórczym, jest torfowisko Gązwa k. Mrągowa (Ryc. 4B). Na tym torfowisku wskutek odwodnień zanikła populacja mchów *Sphagnum fuscum* i *Sphagnum rubellum*, które były nieprzerwanie obecne w trakcie ostatnich 3600 lat i stanowiły główne gatunki torfotwórcze. W ich miejsce pojawił się inny mech *Sphagnum fallax*, który choć ma zdolności torfotwórcze to jednak nie jest cennym gatunkiem z punktu widzenia naturalności tego torfowiska (Gałka and Lamentowicz, 2014; Gałka i in., 2015). Podobne zmiany zostały zaobserwowane na torfowisku Linje, gdzie, na skutek melioracji, w miejscu mchu *Sphagnum magellanicum* ok. 180 lat temu pojawił się mech *S. fallax* (Marcisz i in., 2015). *S. fallax* jest gatunkiem bardzo powszechnym na odwodnionych torfowiskach Polski (Gąbka and Lamentowicz, 2008).

W trakcie ochrony i restytucji torfowisk powinniśmy również wziąć pod uwagę zmiany otoczenia torfowiska i jego zlewni. Na rozwój lokalnych zbiorowisk roślinnych na torfowiskach w ostatnich dekadach czy stuleciach miała znaczny wpływ nie tylko bezpośrednia ingerencja jak np. melioracje lub pożary, ale także zmiana typów drzewostanów z liściastych na iglaste lub odlesienia i powstanie gruntów ornych (Lamentowicz i in., 2007). Wyniki równoczesnych analiz geochemicznych i rozwoju lokalnej roślinności dowodzą, iż dostawa pyłów z okolicznych pól i zanieczyszczeń z zakładów przemysłowych może mieć istotny wpływ na obecność i proces sukcesji roślin na torfowiskach (van der Linden and van Geel, 2006; van Geel and Middelorp, 1988).

Podsumowanie

Ochrona i renaturyzacja torfowisk nie powinna sprowadzać się tylko do rozpoznania współczesnej roślinności, budowania zastawek podnoszących poziom wody, wycinania drzew lub krzewów oraz na krótkotrwałym monitoringu efektów aktywnej ochrony przyrody. Naszym zdaniem, torfowiska będące swoistym muzeum przyrody, należy najpierw dobrze poznać, aby móc opracować skuteczną strategię ich długookresowej ochrony mierzonej w dziesięcioleciach. Jednak warunkiem koniecznym w uzyskaniu skuteczności tej strategii jest wykorzystanie profesjonalnej wiedzy paleoekologicznej (Chambers i in., 2017; McCarroll i in., 2015; McCarroll i in., 2016a; McCarroll i in., 2016b; Willis i in., 2005), która z pewnością może zapobiec błędom i często niepotrzebnym wydatkom towarzyszącym obecnej formie ochrony torfowisk.

Zaburzenia torfowisk w lasach mają swoją długą historię i związane są bezpośrednio z zaburzeniami lasów, które w przeszłości otaczały większość obiektów. Badania paleoekologiczne pokazują jak dramatyczne zmiany zachodziły w przypadku torfowisk, wokół których następowały zmiany w drzewostanach. W Ameryce Północnej wycinka drzew zapoczątkowana w większej skali przez Europejczyków miała wpływ na rozwój mokradeł w tamtym regionie (Warner i in., 1989). Badania paleoekologiczne pozwalają dostarczyć informacji o procesach odbywających się w długich skalach ekologicznych, takich jak odlesienia lub pożary (Ireland and Booth, 2012; Ireland i in., 2012). Często są to zjawiska katastrofalne, które trudno zaobserwować lub symulować w postaci eksperymentu terenowego. Były to na przykład wielkoobszarowe odlesienia Borów Tucholskich, których ślad pozostał w tamtejszych torfowiskach (Lamentowicz i in., 2007). Następnie zmiany

klimatu zaczęły nakładać się na efekty działalności człowieka, która stopniowo zyskiwała na intensywności. Badania przeprowadzone na torfowisku Linje k. Bydgoszczy pokazują jak czule może być torfowisko na nieznaczne zmiany roślinności w zlewni spowodowane pożarami i/lub wycinką (Marcisz i in., 2015). Badania procesów zachodzących w torfowiskach w długiej skali czasowej pozwalają na lepsze zrozumienie obecnego stanu torfowisk oraz warunków przed degradacją, które mogą stać się celem restytucji (Gałka i in., 2017a). Jednakże, większość działań w ochronie przyrody pozbawiona jest szczegółowych danych na temat przeszłej dynamiki torfowisk. Przekroje geologiczne zbiorników akumulacji biogenicznej nie są wystarczające dla identyfikacji przeszłej roślinności i warunków hydrologicznych. Badania paleoekologiczne stanowią ważną podstawę do wyznaczenia warunków referencyjnych w aktywnej ochronie. Jednocześnie, istotnym elementem badań torfowisk jest monitoring i badania eksperymentalne, które są szczególnie istotne dla zarządzania obszarami chronionymi. Przykładem długoterminowego monitoringu jest torfowisko Linje gdzie takie badania wykonuje się od ponad 10 lat (Słowińska, 2016). Inne polskie torfowisko, które podlega wieloletniemu szczegółowemu monitoringowi to Rzecin, zlokalizowany w Puszczy Noteckiej. Obydwa torfowiska są także przedmiotem badań eksperymentalnych w ramach projektów interdyscyplinarnych. Podsumowując, potrzebujemy jak najwięcej badań, w ramach których wykorzystane będzie jednocześnie wiele różnych podejść naukowych aby zrozumieć i skutecznie chronić torfowiska na obszarach leśnych. Ma to szczególne znaczenie w kontekście akumulacji i emisji węgla przez te wartościowe ekosystemy.

Podziękowania

Niniejszy tekst inspirowany był badaniami prowadzonymi w ramach Szwajcarsko-Polskiego Programu Współpracy, czyli tzw. Funduszu Szwajcarskiego dla krajów powiększonej Unii Europejskiej (Projekt PSPB-013/2010), Polsko Norweskiego Programu Współpracy (Narodowy Fundusz Badań i Rozwoju: Projekt WETMAN Central European Wetland Ecosystem Feedbacks to Changing Climate – Field Scale Manipulation), oraz w ramach projektów finansowanych z Narodowego Centrum Nauki (N N306 060940, 2015/17/B/ST10/01656, 2015/17/B/ST10/03430, 2015/19/N/NZ8/00172 oraz 2016/21/B/ST10/02271) a także Grantu Narodowego Programu Rozwoju Humanistyki pt. W poszukiwaniu transdyscyplinarnej synergii: przełomy gospodarcze Polski z perspektywy historyczno-przyrodniczej na tle europejskim (2bH 15 0154 83).

Literatura

- Andersen, R., Chapman, S.J., Artz, R.R.E., 2013. Microbial communities in natural and disturbed peatlands: A review. *Soil Biology and Biochemistry* 57, 979-994.
- Artz, R.R.E., Chapman, S.J., Siegenthaler, A., Mitchell, E.A.D., Buttler, A., Bortoluzzi, E., Gilbert, D., Yli-Petays, M., Vasander, H., Francez, A.-J., 2008. Functional microbial diversity in regenerating cutover peatlands responds to vegetation succession. *J. Appl. Ecol.* 45, 1799-1809.

- Blodau, C., Basiliko, N., Moore, T.R., 2004. Carbon turnover in peatland mesocosms exposed to different water table levels. *Biogeochemistry* 67, 331-351.
- Bragazza, L., Siffi, C., Iacumin, P., Gerdol, R., 2007. Mass loss and nutrient release during litter decay in peatland: The role of microbial adaptability to litter chemistry. *Soil Biol. Biochem.* 39, 257-267.
- Buttler, A., Robroek, B.J.M., Laggoun-Defarge, F., Jassey, V.E.J., Pochelon, C., Bernard, G., Delarue, F., Gogo, S., Mariotte, P., Mitchell, E.A.D., Bragazza, L., 2015. Experimental warming interacts with soil moisture to discriminate plant responses in an ombrotrophic peatland. *Journal of Vegetation Science* 26, 964-974.
- Chambers, F., Crowle, A., Daniell, J., Mauquoy, D., McCarroll, J., Sanderson, N., Thom, T., Toms, P., Webb, J., 2017. Ascertaining the nature and timing of mire degradation: using palaeoecology to assist future conservation management in Northern England. *AIMS Environmental Science* 4, 54-82.
- Conedera, M., Tinner, W., Neff, C., Meurer, M., Dickens, A.F., Krebs, P., 2009. Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation. *Quaternary Sci. Rev.* 28, 555-576.
- Dabros, A., Fyles, J.W., Strachan, I.B., 2010. Effects of open-top chambers on physical properties of air and soil at post-disturbance sites in northwestern Quebec. *Plant and Soil* 333, 203-218.
- Delarue, F., Buttler, A., Bragazza, L., Grasset, L., Jassey, V.E.J., Gogo, S., Laggoun-Défarge, F., 2015. Experimental warming differentially affects microbial structure and activity in two contrasted moisture sites in a *Sphagnum*-dominated peatland. *Sci Total Environ* 511, 576-583.
- Dise, N.B., 2010. Peatland response to global change. *Science* 326, 810-811.
- Dorrepaal, E., Aerts, R., Cornelissen, J.H.C., Callaghan, T.V., Van Logtestijn, R.S.P., 2004. Summer warming and increased winter snow cover affect *Sphagnum fuscum* growth, structure and production in a sub-arctic bog. *Global Change Biology* 10, 93-104.
- Fialkiewicz-Koziel, B., Smieja-Krol, B., Ostrovnaya, T.M., Frontasyeva, M., Sieminska, A., Lamentowicz, M., 2015. Peatland microbial communities as indicators of the extreme atmospheric dust deposition. *Water Air Soil Pollut* 226, 97.
- Gałka, M., Lamentowicz, M., 2014. *Sphagnum* succession in a Baltic bog in Central-Eastern Europe over the last 6200 years and paleoecology of *Sphagnum contortum*. *The Bryologist* 117, 22-36.
- Gałka, M., Miotk-Szpiganowicz, G., Goslar, T., Jęško, M., van der Knaap, W.O., Lamentowicz, M., 2013. Palaeohydrology, fires and vegetation succession in the southern Baltic during the last 7500 years reconstructed from a raised bog based on multi-proxy data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 370, 209-221.
- Gałka, M., Miotk-Szpiganowicz, G., Marczewska, M., Barabach, J., van Der Knaap, W., Lamentowicz, M., 2015. Palaeoenvironmental changes in Central Europe (NE Poland) during the last 6200 years reconstructed from a high-resolution multi-proxy peat archive. *Holocene* 25, 421-434.
- Gałka, M., Tanțău, I., Ersek, V., Feurdean, A., 2016. A 9000-year record of cyclic vegetation changes identified in a montane peatland deposit located in the Eastern Carpathians (Central-Eastern Europe): Autogenic succession or regional climatic influences? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 449, 52-61.

- Gałka, M., Tobolski, K., 2011. The history of *Cladium mariscus* (L.) Pohl. in the “Kłocie Ostrowickie” Reserve (Drawieński National Park). Part I. *Studia Quaternaria* 28, 53-59.
- Gałka, M., Tobolski, K., Górka, A., Lamentowicz, M., 2017a. Resilience of plant and testate amoeba communities after climatic and anthropogenic disturbances in a Baltic bog in Northern Poland: implications for ecological restoration. *Holocene* 27, 130-141.
- Gałka, M., Tobolski, K., Górka, A., Milecka, K., Fiałkiewicz-Kozielec, B., Lamentowicz, M., 2014. Disentangling the drivers for the development of a Baltic bog during the Little Ice Age in northern Poland. *Quaternary International* 328-329, 323-337.
- Gałka, M., Tobolski, K., Lamentowicz, L., Ersek, V., Jassey, V.E.J., van der Knaap, W.O., Lamentowicz, M., 2017b. Unveiling exceptional Baltic bog ecohydrology, autogenic succession and climate change during the last 2000 years in CE Europe using replicate cores, multi-proxy data and functional traits of testate amoebae. *Quaternary Sci. Rev.* 156, 90-106.
- Gąbka, M., Lamentowicz, M., 2008. Vegetation-environment relationships in peatlands dominated by *Sphagnum fallax* (Klinggr.) Klinggr. in Western Poland. *Folia Geobotanica* 43, 413-429.
- Gilbert, D., Amblard, C., Bourdier, G., Francez, A.-J., 1998. The microbial loop at the surface of a peatland: Structure, function, and impact of nutrient input. *Microbial Ecology* 35, 83-93.
- Gorham, E., 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications* 1, 182-195.
- Hałas, S., Słowiński, M., Lamentowicz, M., 2008. Relationships between meteorological factors and hydrology of a kettle-hole mire in northern Poland. *Studia Limnologica et Telmatologica* 2, 15-26.
- Ireland, A.W., Booth, R.K., 2012. Upland deforestation triggered an ecosystem state-shift in a kettle peatland. *Journal of Ecology* 100, 586-596.
- Ireland, A.W., Booth, R.K., Hotchkiss, S.C., Schmitz, J.E., 2012. Drought as a Trigger for Rapid State Shifts in Kettle Ecosystems: Implications for Ecosystem Responses to Climate Change. *Wetlands* 32, 989-1000.
- Jassey, V.E.J., Chiapusio, G., Binet, P., Buttler, A., Laggoun-Defarge, F., Delarue, F., Bernard, N., Mitchell, E.A.D., Toussaint, M.L., Francez, A.J., Gilbert, D., 2013a. Above- and belowground linkages in Sphagnum peatland: climate warming affects plant-microbial interactions. *Glob Chang Biol* 19, 811-823.
- Jassey, V.E.J., Signarbieux, C., Hattenschwiler, S., Bragazza, L., Buttler, A., Delarue, F., Fournier, B., Gilbert, D., Laggoun-Defarge, F., Lara, E., Mills, R.T., Mitchell, E.A.D., Payne, R.J., Robroek, B.J., 2015. An unexpected role for mixotrophs in the response of peatland carbon cycling to climate warming. *Scientific reports* 5, 16931.
- Jassey, V.E.J., Meyer, C., Dupuy, C., Bernard, N., Mitchell, E.A.D., Toussaint, M.-L., Metian, M., Chatelain, A.P., Gilbert, D., 2013b. To what extent do food preferences explain the trophic position of heterotrophic and mixotrophic microbial consumers in a Sphagnum peatland? *Microbial Ecology* 66, 571-580.
- 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, Saarijärvi, Finland.
- Kajukalo, K., Fiałkiewicz-Kozielec, B., Gałka, M., Kolaczek, P., Lamentowicz, M., 2016. Abrupt ecological changes in the last 800 years inferred from a mountainous bog using testate amoebae traits and multi-proxy data. *Europ. J. Protistol.* 55, 165-180.

- Lamentowicz, M., Cedro, A., Gałka, M., Miotk-Szpiganowicz, G., Mitchell, E.A.D., Pawlyta, J., Goslar, T., 2008. Last millennium palaeoenvironmental changes from a Baltic bog (Poland) inferred from stable isotopes, pollen, plant macrofossils and testate amoebae. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 265, 93-106.
- Lamentowicz, M., Gałka, M., Lamentowicz, Ł., Obremska, M., Köhl, N., Lücke, A., Jassey, V.E.J., 2015a. Reconstructing climate change and ombrotrophic bog development during the last 4000 years in northern Poland using biotic proxies, stable isotopes and trait-based approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 418, 261-277.
- Lamentowicz, M., Gałka, M., Milecka, K., Tobolski, K., Lamentowicz, Ł., Fiałkiewicz-Kozielec, B., Blaauw, M., 2013. A 1300 years multi-proxy, high-resolution record from a rich fen in northern Poland: reconstructing hydrology, land-use and climate change. *Journal of Quaternary Science* 28, 582-594.
- Lamentowicz, M., Gałka, M., Pawlyta, J., Lamentowicz, Ł., Goslar, T., Miotk-Szpiganowicz, G., 2011. Climate change and human impact in the southern Baltic during the last millennium reconstructed from an ombrotrophic bog archive. *Studia Quaternaria* 28, 3-16.
- Lamentowicz, M., Milecka, K., Gałka, M., Cedro, A., Pawlyta, J., Piotrowska, N., Lamentowicz, Ł., van der Knaap, W.O., 2009. Climate- and human-induced hydrological change since AD 800 in an ombrotrophic mire in Pomerania (N Poland) tracked by testate amoebae, macro-fossils, pollen, and tree-rings of pine. *Boreas* 38, 214-229.
- Lamentowicz, M., Mueller, M., Gałka, M., Barabach, J., Milecka, K., Goslar, T., Binkowski, M., 2015b. Reconstructing human impact on peatland development during the past 200 years in CE Europe through biotic proxies and X-ray tomography. *Quaternary International* 357, 282-294.
- Lamentowicz, M., Słowińska, S., Słowiński, M., Jassey, V.E.J., Chojnicki, B.H., Reczuga, M.K., Zielińska, M., Marcisz, K., Lamentowicz, Ł., Barabach, J., Samson, M., Kolaczek, P., Buttler, A., 2016. Combining short-term manipulative experiments with long-term palaeoecological investigations at high resolution to assess the response of Sphagnum peatlands to drought, fire and warming. *Mires and Peat* 18, 1-17.
- Lamentowicz, M., Tobolski, K., Mitchell, E.A.D., 2007. Palaeoecological evidence for anthropogenic acidification of a kettle-hole peatland in northern Poland. *Holocene* 17, 1185-1196.
- Marcisz, K., Lamentowicz, Ł., Słowińska, S., Słowiński, M., Muszak, W., Lamentowicz, M., 2014. Seasonal changes in Sphagnum peatland testate amoeba communities along a hydrological gradient. *Eur J Protistol* 50, 445-455.
- Marcisz, K., Tinner, W., Colombaroli, D., Kolaczek, P., Słowiński, M., Fiałkiewicz-Kozielec, B., Łokas, E., Lamentowicz, M., 2015. Long-term hydrological dynamics and fire history during the last 2000 years in CE Europe reconstructed from a high-resolution peat archive. *Quaternary Sci. Rev.* 112, 138-152.
- McCarroll, J., Chambers, F.M., Webb, J.C., Thom, T., 2015. Application of palaeoecology for peatland conservation at Mossdale Moor, UK. *Quaternary International*.
- McCarroll, J., Chambers, F.M., Webb, J.C., Thom, T., 2016a. Informing innovative peatland conservation in light of palaeoecological evidence for the demise of Sphagnum imbricatum: the case of Oxenhope Moor, Yorkshire, UK. *Mires and Peat* 18.
- McCarroll, J., Chambers, F.M., Webb, J.C., Thom, T., 2016b. Using palaeoecology to advise peatland conservation: An example from West Arkengarthdale, Yorkshire, UK. *Journal for Nature Conservation*.

- Mulot, M., Villard, A., Varidel, D., Mitchell, E.A.D., 2015. A mesocosm approach to study the response of Sphagnum peatlands to hydrological changes: setup, optimisation and performance. *Mires and Peat* 16, 1-12.
- Reczuga, M.K., Seppey, C., Mulot, M., Jassey, V., Buttler, A., Słowińska, S., Słowiński, M., Lamentowicz, Ł., Lara, E., Mariusz, L., Mitchell, E.A.D., 2015. Assessing the Responses of Peatland Micro-Eukaryotes to Climate Change Using Next Generation Sequencing, VII European Congress of Protistology (VII ECOP), 5-10 Września 2015, Sewilla, Hiszpania.
- Scheiner, S.M., Gurevitch, J., 2001. Design and analysis of ecological experiments. Oxford University Press.
- Scott, A.C., 2000. The Pre-Quaternary history of fire. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 281-329.
- Sillasoo, Ü., Mauquoy, D., Blundell, A., Charman, D., Blaauw, M., Daniell, J.R.G., Toms, P., Newberry, J., Chambers, F.M., Karofeld, E., 2007. Peat multi-proxy data from Männikjärve bog as indicators of late Holocene climate changes in Estonia. *Boreas* 36, 20-37.
- Słowińska, S., 2016. Mikroklimatyczne uwarunkowania funkcjonowania małych torfowisk i ich otoczenia, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego. PAN, p. 173.
- Słowińska, S., Słowiński, M., Lamentowicz, M., 2010. Relationships between local climate and hydrology in a small Sphagnum mire in northern Poland: implications for ecosystem management and palaeohydrological studies. *Polish Journal of Environmental Studies* 19, 779-787.
- Słowiński, M., Marcisz, K., Płóciennik, M., Obremska, M., Pawłowski, D., Okupny, D., Słowińska, S., Borówka, R., Kittel, P., Forsyjak, J., Michczyńska, D.J., Lamentowicz, M., 2016. Drought as a stress driver of ecological changes in peatland – A palaeoecological study of peatland development between 3500BCE and 200BCE in central Poland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 461, 272-291.
- Song, L.H., Gilbert, D., Wu, D.H., 2016. Vertical micro-distribution of microbial communities living in Sphagnum fallax. *Aquatic Microbial Ecology* 77, 1-10.
- Swindles, G.T., Blundell, A., Roe, H.M., Hall, V.A., 2010. A 4500-year proxy climate record from peatlands in the North of Ireland: the identification of widespread summer 'drought phases'? *Quaternary Sci. Rev.* 29, 1577-1589.
- Swindles, G.T., Patterson, R.T., Roe, H.M., Galloway, J.M., 2012. Evaluating periodicities in peat-based climate proxy records. *Quaternary Sci. Rev.* 41, 94-103.
- Tiemeyer, B., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Drosler, M., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Forster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Hoper, H., Jurasinski, G., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Rosskopf, N., Sommer, M., Zeitz, J., 2016. High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Glob Chang Biol* 22, 4134-4149.
- Tobolski, K., 2003. Torfowiska, na przykładzie Ziemi Świeckiej. Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły, Świecie.
- Tobolski, K., 2006. Torfowiska Parku Narodowego «Bory Tucholskie». Park Narodowy «Bory Tucholskie», Charzykowy.
- Turetsky, M.R., Benscoter, B., Page, S., Rein, G., van der Werf, G.R., Watts, A., 2015. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geosci* 8, 11-14.

- Turner, T.E., Swindles, G.T., Roucoux, K.H., 2014. Late Holocene ecohydrological and carbon dynamics of a UK raised bog: impact of human activity and climate change. *Quaternary Sci. Rev.* 84, 65-85.
- Väliranta, M., Korhola, A., Seppä, H., Tuittila, E.-S., Sarmaja-Korjonen, K., Laine, J., Alm, J., 2007. High-resolution reconstruction of wetness dynamics in a southern boreal raised bog, Finland, during the late Holocene: a quantitative approach. *Holocene* 17, 1093-1107.
- van der Knaap, W.O., Lamentowicz, M., van Leeuwen, J.F.N., Hangartner, S., Leuenberger, M., Mauquoy, D., Goslar, T., Mitchell, E.A.D., Lamentowicz, Ł., Kamenik, C., 2011. A multi-proxy, high-resolution record of peatland development and its drivers during the last millennium from the subalpine Swiss Alps. *Quaternary Sci. Rev.* 30, 3467-3480.
- van der Linden, M., van Geel, B., 2006. Late Holocene climate change and human impact recorded in a south Swedish ombrotrophic peat bog. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 240, 649-667.
- van Geel, B., Middelorp, A.A., 1988. Vegetational history of Carbury Bog (Co. Kildare, Ireland) during the last 850 years and a test of the temperature indicator value of 2H/1H measurements of peat samples in relation to historical sources and meteorological data. *New Phytol.* 109, 377-392.
- Warner, B.G., Kubiw, H.J., Hanf, K.I., 1989. An anthropogenic cause for quaking mire formation in southwestern Ontario. *Nature* 340, 380-384.
- Willis, K.J., Gillson, L., Brncic, T.M., Figueroa-Rangel, B.L., 2005. Providing baselines for biodiversity measurement. *Trends in Ecology and Evolution* 20, 107-108.
- Yoccoz, N.G., Nichols, J.D., Boulinier, T., 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution* 16, 446-453.

^{1,2}Mariusz Lamentowicz, ³Sandra Słowińska, ^{4,8}Michał Słowiński, ^{1,2}Katarzyna Marcisz, ^{1,5,6}Alexandre Buttler, ⁷Bogdan H. Chojnicki, ^{5,6}Vincent E. J. Jassey, ⁷Radosław Juszcak, ^{1,2}Katarzyna Kajukalo, ²Piotr Kołaczek, ¹Łukasz Lamentowicz, ^{1,2}Dominika Łuców, ^{1,2}Monika K. Reczuga, ⁷Mateusz Samson, ^{1,2}Małgorzata Zielińska, ⁷Kamila Harenda, ¹Jan Barabach, ²Kazimierz Tobolski, ²Mariusz Galka

¹Pracownia Ekologii i Monitoringu Mokradeł, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu; ²Zakład Biogeografii i Paleoekologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu; ³Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy; ⁴Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Zakład Geoekologii i Klimatologii; ⁵Swiss Federal Research Institute-WSL, Community Ecology Research Unit, Station 2, CH1015 Lausanne, Switzerland; ⁶École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), School of Architecture, Civil and Environmental, Engineering (ENAC), Laboratory of Ecological Systems; ⁷Katedra Meteorologii, Uniwersytet Przyrodniczy z Poznaniu; ⁸Zakład Zasobów Środowiska i Geozagrożeń, PAN, Toruń IGiPZ PAN Toruń
mariuszl@amu.edu.pl