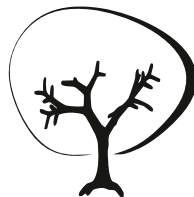


2. KONFERENCJA NAUKOWA
DRZEWIA I LASY
W ZMIENIAJĄCYM SIĘ ŚRODOWISKU

KÓRNIK-POZNAŃ, 11-13 PAŹDZIERNIKA 2021



MATERIAŁY KONFERENCYJNE



**Instytut Dendrologii
Polskiej Akademii Nauk
w Kórniku**

**Drzewa i lasy
w zmieniającym się
środowisku**

Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku

Konferencja naukowa
Kórnik–Poznań, 11–13 października 2021

Materiały konferencyjne

Redakcja
Dominik Tomaszewski
Andrzej M. Jagodziński

Bogucki Wydawnictwo Naukowe
Poznań 2021

Redakcja

Dominik Tomaszewski, Andrzej M. Jagodziński

Projekt okładki i logo Konferencji

Radosław Rakowski, Andrzej M. Jagodziński

Wydanie materiałów konferencyjnych sfinansowane
przez Fundację Zakłady Kórnickie.

Fundacja Zakłady Kórnickie jest Sponsorem projektu.

Copyright © Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik 2021

ISBN 978-83-7986-374-7

Bogucki Wydawnictwo Naukowe
ul. Górna Wilda 90, 61-576 Poznań
www.bogucki.com.pl
e-mail: biuro@bogucki.com.pl

Druk i oprawa:
Perfekt

Patronat



Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Michał Kurtyka
Minister Klimatu i Środowiska



Jerzy Duszyński
Prezes Polskiej Akademii Nauk



Lasy Państwowe

Józef Kubica
Dyrektor Generalny Lasów Państwowych

Komitet Honorowy



Lasy Państwowe

Andrzej Konieczny

Dyrektor
Regionalnej Dyrekcji
Lasów Państwowych
w Poznaniu



**Polskie Towarzystwo Leśne
Oddział Wielkopolski**

Jerzy Flisykowski

Przewodniczący Zarządu
Oddziału Wielkopolskiego
Polskiego Towarzystwa
Leśnego



Dariusz Grzybek

Prezes Zarządu
Fundacji Zakłady Kórnickie



Przemysław Pacholski

Burmistrz
Miasta i Gminy Kórnik



**POWIAT
POZNAŃSKI**

Jan Grabkowski

Starosta Poznański

Komitet Naukowy

Przewodniczący:

prof. dr hab. Tomasz Zawila-Niedzwiecki
Komitet Nauk Leśnych i Technologii Drewna PAN

Członkowie:

dr inż. Janusz Dawidziuk
Polskie Towarzystwo Leśne

prof. dr hab. Agnieszka Gniazdowska-Piekarska
Instytut Biologii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

prof. dr hab. Barbara Godzik
Instytut Botaniki im. Władysława Szafera PAN w Krakowie

prof. dr hab. Andrzej M. Jagodziński
Instytut Dendrologii PAN w Kórniku

dr inż. Czesław Kozioł
Leśny Bank Genów Kostrzyca w Miłkowie

prof. dr hab. Zbigniew W. Kundzewicz, czł. koresp. PAN
Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu

dr hab. Tomasz Leski, prof. ID PAN
Instytut Dendrologii PAN w Kórniku

prof. dr hab. Małgorzata Mańka, czł. koresp. PAN
Komisja Nauk Leśnych i Drzewnych Oddziału PAN w Poznaniu
Wydział Leśny i Technologii Drewna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

prof. dr hab. Jacek Oleksyn, czł. koresp. PAN
Instytut Dendrologii PAN w Kórniku

dr hab. Ewelina Ratajczak, prof. ID PAN
Instytut Dendrologii PAN w Kórniku

prof. dr hab. Jarosław Socha
Wydział Leśny Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

prof. dr hab. Marek Świtoński, czł. koresp. PAN
Oddział Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu

prof. dr hab. Szymon Zubek
Instytut Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

dr hab. Justyna Wiland-Szymańska, prof. UAM
Ogród Botaniczny Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Komitet Organizacyjny

Przewodnicząca:

Emilia Pers-Kamczyc

Członkowie: Katarzyna Broniewska, Paweł Horodecki, Iwona Moškowiak, Kinga Nowak, Sonia Paż-Dyderska, Marcin Pietras, Grzegorz Płócieniak, Radosław Rakowski, Karolina Sobierajska, Agnieszka Szuba, Dominik Tomaszewski, Łukasz Walas (sekretariat), Mikołaj K. Wawrzyniak (sekretariat), Robin Wilgan (sekretariat)

Spis treści

Wprowadzenie	19
Sesja plenarna	21
Additive stressors call for Adaptive Forest Management <i>Andreas Bolte, Tanja Sanders</i>	23
Znaczenie torfowisk dla bilansu węgla w lasach w kontekście globalnego ocieplenia i kryzysu ekologicznego <i>Mariusz Lamentowicz, Bogdan H. Chojnicki, Katarzyna Marcisz, Michał Słowiński, Piotr Kołaczek, Wiktor Kotowski</i>	35
We need more resilient forestry to cope with climatic extreme events and disturbances <i>Marcus Lindner</i>	58
Czy zmiana klimatu i przyspieszony wzrost drzew zwiększają ryzyko zamierania lasów? <i>Jarosław Socha, Tomasz Zawila-Niedźwiecki</i>	59
Rola lasów w bilansie węglowym oraz utrzymaniu bioróżnorodności i dobrostanu człowieka <i>Jerzy Szwagrzyk, Anna Orczewska, Bogdan Jaroszewicz</i>	61
Lasu szum, ptaków śpiew – kontakt z przyrodą a zdrowie psychiczne <i>Piotr Tryjanowski, Sławomir Murawiec</i>	73
Sesja referatowa i plakatowa	79
Strategie redoks podczas kiełkowania nasion reprezentujących przeciwstawne kategorie: <i>orthodox</i> (klon zwyczajny) i <i>recalcitrant</i> (klon jawor) <i>Shirin Alipour, Natalia Wojciechowska, Ewa M. Kalemba</i>	81
Bioróżnorodność zbiorowisk mikroorganizmów glebowych w drzewostanach górskich <i>Marta Bełka, Jacek Kamczyc</i>	82
Wpływ wylesienia o różnej genezie na zróżnicowanie czasowo-przestrzenne cech i składu chemicznego wód w zlewniach elementarnych Doliny Kościeliskiej <i>Anna Biernacka</i>	84
Skład chemiczny drewna i kory czeremchy amerykańskiej (<i>Prunus serotina</i> Ehrh.) <i>Jakub Brózdowski, Bogusława Waliszewska, Oskar Szczepaniak</i>	85

Wkraczanie inwazyjnej czeremchy amerykańskiej (<i>Prunus serotina</i> Ehrh.) na grunt porolny na przykładzie Puszczy Zielonki <i>Bartosz Bułaj, Kamila Woźniecka</i>	86
Przyrosty roczne i zależności przyrost–klimat u cyprysika groszkowego (<i>Chamaecyparis pisifera</i> Endl.) w Polsce <i>Anna Cedro, Grzegorz Nowak, Halina Kowalewska-Kalkowska</i>	88
Co jeśli nie nasiona w ochronie zasobów genowych drzew leśnych? <i>Paweł Chmielarz, Mikołaj K. Wawrzyniak, Jan Suszka</i>	89
Aktywność fosfataz i formy fosforu w glebach industrioziemnych pod gatunkami pionierskimi i fitomelioracyjnymi <i>Marcin Chodak, Katarzyna Sroka, Marcin Pietrzykowski</i>	92
Pandemia COVID-19 i jej wpływ na rekreacyjne wykorzystanie terenów leśnych <i>Mariusz Ciesielski, Karolina Taczanowska</i>	93
Regeneracja lasu po wiatrołomie w Lesie Ochronnym Szast – czy dąb jest beneficjentem zaburzenia? <i>Dorota Dobrowolska, Hanna Lietz, Bogdan Pawlak</i>	94
Oszacowanie przyrostu biomasy i efektywności wykorzystania węgla (CUE) 25-letniego drzewostanu sosnowego z wykorzystaniem metod kowariancji wirów i biometrycznej w zmiennych warunkach wilgotnościowych <i>Paulina Dukat, Klaudia Ziemblińska, Janusz Olejnik, Stanisław Małek, Timo Vesala, Marek Urbaniak</i>	96
Konfliktogenność gospodarki leśnej w zmieniającym się środowisku społeczno-politycznym <i>Piotr Grygier</i>	98
Morfologia młodych igieł w pąkach wybranych gatunków sosen <i>Marzenna Guzicka, Dominik Tomaszewski, Sławomir W. Marek, Magdalena Gawlak</i> .	99
Dynamika parowania z torfowiska wysokiego Kusowo <i>Kamila M. Harenda, Małgorzata Kleniewska, Patryk Poczta, Damian Józefczyk, Mariusz Lamentowicz, Maciej Gąbka, Bogdan H. Chojnicki</i>	101
Oddziaływanie wybranych auksyn syntetycznych na poszczególne etapy rozwojowe somatycznych zarodków <i>Picea abies</i> i <i>P. omorika</i> <i>Teresa Hazubska-Przybył, Ewelina Ratajczak, Agata Obarska, Emilia Pers-Kamczyc</i> .	102
Jemioła pospolita – zagrożenie czy szansa? <i>Grzegorz Iszkuło, Marian J. Giertych, Mariola Rabska, Dominik Tomaszewski, Łukasz Walas</i>	104
Zmiany w reakcji przyrostowej limby (<i>Pinus cembra</i>) na czynniki klimatyczne w lasach urwiskowych Tatr <i>Katarzyna Izworska, Elżbieta Muter, Paweł Matulewski, Tomasz Zielonka</i>	105

Zmiana wskaźników ekochemicznych w wyniku wprowadzenia podrostu bukowego do drzewostanów sosnowych <i>Michał Jasiak, Klaudia Ziemblińska, Marek Urbaniak, Janusz Olejnik, Maciej Skorupski, Stanisław Małek</i>	107
Wpływ obecnych i prognozowanych krótkotrwałych okresów ocieplenia w czasie chłodnej stratyfikacji na ustępowanie spoczynku i kiełkowanie nasion daglezi zielonej (<i>Pseudotsuga menziesii</i>) <i>Szymon Jastrzębowski, Joanna Ukalska, Adam Guziejko, Radosław Puchałka</i>	108
Wykorzystanie sztucznych kryjówek do badań herpetofauny na obszarze pożarzyska Potrzebowice w Puszczy Noteckiej <i>Mikołaj Kaczmarski, Klaudia Ziemblińska, Janusz Olejnik, Piotr Tryjanowski</i>	109
Wpływ długotrwałej hodowli świerka pospolitego (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.) na różnicowanie gatunkowe mezofauny glebowej (Acari, Mesostigmata) <i>Jacek Kamczyc, Paweł Horodecki, Marcin K. Dyderski, Michał Smoczyk, Sylwia Wierzcholska, Andrzej M. Jagodziński</i>	111
Środowisko i genotyp drzew a mikrobiom topoli <i>Leszek Karliński</i>	113
Mapowanie systemu korzeniowego sosny zwyczajnej za pomocą metody GPR <i>Adrian Kasztelan</i>	115
Sosna zwyczajna – gatunek zagrożony? Charakterystyka biometryczna sosny w zależności od wieku i pozycji biosocjalnej na przykładzie wybranych drzewostanów Nadleśnictwa Jedwabno <i>Katarzyna Kaźmierczak, Piotr Roman</i>	116
Stopień porażenia sosny zwyczajnej (<i>Pinus sylvestris</i> L.) przez jemiolę pospolitą (<i>Viscum album</i> L.) w centralnej Polsce – studium przypadku <i>Wojciech Kędziora, Michał Małecki, Krzysztof Niewiński, Jacek Piętko</i>	117
W poszukiwaniu antidotum na suszę – wpływ akumulacji proliny na żywotność nasion wybranych gatunków drzew <i>Joanna Kijowska-Oberc, Łukasz Dylewski, Ewelina Ratajczak</i>	118
Jak aktywność oddechowa wpływa na długoterminowe przechowywanie nasion? <i>Joanna Kijowska-Oberc, Arleta Małecka, Aleksandra M. Staszak, Ewelina Ratajczak</i> .	121
Holocenska historia pożarów lasów w piętrze pogórza i regla dolnego w Karpatach Zachodnich <i>Piotr Kołaczek, Włodzimierz Margielewski, Katarzyna Marcisz, Krzysztof Buczek, Mariusz Gałka, Monika Karpińska-Kołaczek, Mariusz Lamentowicz</i>	122
Wczoraj, dzisiaj i jutro europejskich jeżyn <i>Piotr Kosiński, Łukasz Walas</i>	124
Funkcjonalna charakterystyka czynników regulujących wzrost korzenia palowego dębu szypułkowego (<i>Quercus robur</i>) <i>Paulina Kościelniak, Paulina Glazińska, Marcin Zadworny</i>	126

Zmienność genetyczna oraz stopień klonalności populacji jarzębu brekinii (<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz) w Polsce jako podstawa ochrony zasobów genowych gatunku Czesław Kozioł, Sandra Jankowska-Wróblewska, Jarosław Burczyk	127
Lasy dla klimatu. Czy las wielofunkcyjny jest najlepszym rozwiązaniem? Jan Kozłowski	128
Centrum Ochrony Bioróżnorodności „Syrenie Stawy” w Parku Leśnym Las Arkoński w Szczecinie jako forma ochrony rodzimej dendroflory i siedlisk Marcin Kubus, Grzegorz Nowak	129
Mykoryza arbuskularna wiązu szypułkowego (<i>Ulmus laevis</i> Pall.) w zróżnicowanych warunkach środowiskowych Marta Kujawska, Maria Rudawska, Tomasz Leski	132
Wpływ zmian klimatu na chemizm materii organicznej gleb drzewostanów świerkowych w świetle badań z wykorzystaniem doświadczenia symulacyjnego Dawid Kupka, Piotr Gruba	133
Czy zmienność morfologiczną ziarn pyłku z rodzaju <i>Rubus</i> L. można wytłumaczyć zmiennością klimatu? Kacper Lechowicz, Marcin K. Dyderski, Dorota Wrońska-Pilarek, Blanka Wiatrowska	135
Grzyby ektomykoryzowe Puszczy Białowieskiej Tomasz Leski, Robin Wilgan, Leszek Karliński, Marcin Pietras, Maria Rudawska	136
Wpływ metod detekcji koron pojedynczych drzew na dokładność identyfikacji gatunków Maciej Lisiewicz, Krzysztof Stereńczak, Agnieszka Kamińska	138
Wpływ gatunku drzewa oraz podtypu gleby na różnorodność gatunkową zgrupowań roztoczy glebowych (Acari, Mesostigmata) w warunkach gruntów porolnych i leśnych Jacek Malica, Grzegorz Rączka, Maciej Skorupski, Jacek Kamczyc	139
Formowanie członów naczyń ksylemu wtórnego w kontekście warunków mechanicznych w kambium waskularnym i strefie różnicowania pochodnych kambialnych Adam Miodek, Aldona Gizińska, Wiesław Włoch, Paweł Kojs	141
Współczesny stan i zmiany zasobów drzewnych Puszczy Białowieskiej Stanisław Miścicki, Łukasz Kuberski, Krzysztof Stereńczak	143
Strefowość reakcji przyrostowych dębu szypułkowego na czynniki hydroklimatyczne w dolinach rzecznych Bernard Okoński	144
Mechanizm adaptacji kiełkowania nasion drzew do zmiennego środowiska Tomasz A. Pawłowski, Jan Suszka, Daniel J. Chmura, Mikołaj K. Wawrzyniak, Paweł Chmielarz	146
Słodko-gorzkie życie kwiatów. Zmienność zawartości cukrów i fenoli w kwiatach drzew i krzewów strefy klimatu umiarkowanego Sonia Paż-Dyderska, Andrzej M. Jagodziński	147

Globalne zmiany środowiskowe a potencjał reprodukcyjny drzewiastych roślin dwupiennych na przykładzie cisę pospolitego i jałowca pospolitego <i>Emilia Pers-Kamczyc, Anna Kowalczyk, Ewelina Ratajczak, Jan Suszka, Ewa Mąderek, Jacek Kamczyc</i>	149
Występowanie kłokoczki południowej <i>Staphylea pinnata</i> L. w Polsce <i>Łukasz Piechnik, Przemysław Kurek, Tomasz Wójcik</i>	150
Modelowanie dostosowanego do klimatu rozmieszczenia gatunków drzew na terenie Niemiec na podstawie Federalnej Inwentaryzacji Lasów i Teledetekcji <i>Karolina Pietras-Couffignal, Sebastian Schnell, Maximilian Freudenberg, Paul Magdon</i>	151
Dynamika wymiany CO ₂ między torfowiskiem wysokim w Kusowie a atmosferą <i>Patryk Poczta, Kamila M. Harenda, Damian Józefczyk, Mariusz Lamentowicz, Maciej Gąbka, Małgorzata Kleniewska, Bogdan H. Chojnicki</i>	153
Różnice morfologiczne i ekofizjologiczne pomiędzy płciami u <i>Adriana tomentosa</i> <i>Mariola Rabska, Nigel Warwick, Grzegorz Iszkuło, Caroline Gross</i>	154
Tempo dekompozycji a strategia życiowa i cechy funkcjonalne roślin naczyniowych runa leśnego <i>Katarzyna Rawlik, Andrzej M. Jagodziński</i>	156
Skład gatunkowy drzewostanu jako najważniejszy czynnik kształtujący fitocenozy oraz warunki glebowe na rekultywowanych obszarach pogórnicznych <i>Mateusz Rawlik, Marek Kasprówicz, Andrzej M. Jagodziński, Cezary Kaźmierowski, Remigiusz Łukowiak, Witold Grzebisz</i>	157
Koncepcja, struktura oraz działanie ogólnopolskiej sieci obserwacji fenologicznych <i>Monika Różańska, Kamila M. Harenda, Patryk Poczta, Damian Józefczyk, Bogdan H. Chojnicki</i>	159
Od owocników przez ektomykoryzy do metagenomiki – porównanie różnych metod w badaniach zbiorowisk grzybów w kontynentalnym borze mieszanym (<i>Quercus robur-Pinetum</i>) <i>Maria Rudawska, Małgorzata Stasińska, Tomasz Leski, Marta Kujawska, Leszek Karliński, Robin Wilgan</i>	160
Ocena stanu zachowania i zmian wybranych zbiorowisk leśnych w Drawieńskim Parku Narodowym <i>Sebastian Rymaszewicz, Dorota Wrońska-Pilarek</i>	162
Regulacja anatomicznych i hydraulicznych cech liści w zależności od położenia w koronie na przykładzie <i>Populus tremula</i> × <i>P. tremuloides</i> <i>Arne Sellin, Meeli Alber, Anna K. Jasińska, Katrin Rosenvald</i>	163
Malakologiczne wskaźniki zmian zalesienia Podhala w epoce holocenu <i>Sylwia Skoczylas-Sniaz, Witold P. Alexandrowicz</i>	165
Wpływ gatunków fitomeliorycyjnych i pionierskich na frakcje fosforu organicznego w glebach industrioziemnych <i>Katarzyna Sroka, Marcin Chodak, Marcin Pietrzykowski</i>	166

Wpływ inwazyjnego <i>Quercus rubra</i> i rodzimego <i>Q. robur</i> na właściwości chemiczne i mikrobiologiczne gleby – eksperyment donicowy <i>Małgorzata Stanek, Paweł Kapusta, Anna M. Stefanowicz</i>	167
Wpływ silnych cięć korony lipy drobnolistnej (<i>Tilia cordata</i> Mill.) na wzrost, wydajność fotosyntetyczną i bezpieczeństwo w ruchu drogowym <i>Marzena Suchocka, Tatiana Swoczyna, Joanna Kosno-Jończy, Hazem M. Kalaji</i>	169
Przewyciężanie spoczynku nasion wybranych gatunków drzewiastych w ujemnej temperaturze <i>Jan Suszka</i>	171
Digitalizacja kolekcji Zielnika Instytutu Dendrologii PAN <i>Dominik Tomaszewski</i>	172
Betonowe zbiorniki retencyjne jako siedlisko fauny glebowej na rekultywowanych obszarach pokopalnianych <i>Cezary K. Urbanowski, Paweł Horodecki, Marcin K. Dyderski, Jacek Kamczyc, Andrzej M. Jagodziński</i>	173
Sukcesja roztoczy (Acari, Mesostigmata) na rozkładających się liściach drzew w drzewostanach mieszanych rosnących na rekultywowanym zwałowisku pokopalnianym <i>Cezary K. Urbanowski, Paweł Horodecki, Jacek Kamczyc, Maciej Skorupski, Andrzej M. Jagodziński</i>	175
Relacje genetyczne pomiędzy populacjami i procesy selekcji w zasięgu sosny zwyczajnej <i>Witold Wachowiak, Julia Zaborowska, Bartosz Łabiszak</i>	177
Olsza szara (<i>Alnus incana</i>) w Bieszczadach – zasoby i oddziaływanie <i>Tomasz Wanic, Robert Zygmunt</i>	178
Jak zmiany klimatu wpływają na nasiona? Długoterminowe przechowywanie nasion jesionu wyniosłego (<i>Fraxinus excelsior</i> L.) <i>Mikołaj K. Wawrzyniak, Paweł Chmielarz, Jan Suszka</i>	179
Puch na wietrze – zachowanie zasobów genowych krótkowiecznych nasion z rodzaju <i>Salix</i> <i>Mikołaj K. Wawrzyniak, Ewelina Ratajczak, Juan Manuel Ley-López, Paweł Chmielarz</i>	181
Wpływ właściwości gleb na rozmieszczenie populacji inwazyjnej tawuły kutnerowatej (<i>Spiraea tomentosa</i> L.) w Borach Dolnośląskich <i>Blanka Wiatrowska, Władysław Danielewicz, Mirosław Nowiński, Kacper Lechowicz</i> .	182
Mszaki jako wskaźniki zmian w lasach <i>Sylvia Wierzcholska, Marcin K. Dyderski, Andrzej M. Jagodziński</i>	184
Jak zmiany klimatu wpłyną na występowanie trufli w Europie? <i>Robin Wilgan, Marcin K. Dyderski, Marcin Pietras, Łukasz Walas, Marta Kolanowska, Tomasz Leski</i>	185

Wpływ składu gatunkowego drzewostanów na zawartość węgla i makroelementów w glebach pożarzyskowych po wykonaniu zalesień <i>Bartłomiej Woś, Marcin Chodak, Agnieszka Józefowska, Marcin Pietrzykowski</i>	187
Czy lasy rosnące na hałdach można uznać za tzw. novel ecosystems? <i>Gabriela Woźniak, Damian Chmura, Marcin K. Dyderski, Andrzej M. Jagodziński, Agnieszka Błońska, Quadri A. Anibaba</i>	188
Ocena stopnia zagrożenia drzewostanów sosnowych przez jemiolę w Puszczy Kozienickiej <i>Roman Wójcik, Wojciech Kędziora</i>	189
Ile warte jest zaniechanie gospodarki leśnej w lasach prywatnych? <i>Emilia Wysocka-Fijorek, Piotr Gołos</i>	190
Długofalowy bilans węgla upraw sosnowych założonych na powierzchni po wiatrołomach przy użyciu dwóch różnych technik odnowienia <i>Klaudia Ziemblińska, Michał Jasik, Stanisław Małek, Marek Pająk, Bartłomiej Woś, Janusz Olejnik</i>	192
Zmienność genetyczna i pochodzenie sosny zwyczajnej (<i>Pinus sylvestris</i> L.) w Europie Środkowej i Północnej na podstawie analizy jądrowych markerów mikrosatelitarnych <i>Weronika B. Żukowska, Błażej Wójkiewicz, Andrzej Lewandowski, Witold Wachowiak</i>	193
Ochrona topoli czarnej (<i>Populus nigra</i> L.) w Wielkopolskim Parku Narodowym <i>Weronika B. Żukowska, Błażej Wójkiewicz, Andrzej Purcel, Andrzej Lewandowski</i> . .	195
Indeks autorów	197

Wprowadzenie

Istotą nauki jest odkrywanie prawdy, co samo w sobie jest już celem niezwykle ambitnym. Dzięki nauce powiększamy dostępną nam wiedzę o różnych aspektach rzeczywistości, która nas otacza i w której żyjemy. Śmiało można rzec, że u podstaw nauki leży ludzka ciekawość. Naukowcy zaspokajają ją, korzystając z różnych metod, w tym bogatej palety narzędzi i dobrze zaplanowanych badań. W szeroko rozumianych naukach przyrodniczych bardzo często korzystamy z obserwacji – to metoda, w której nie wywieramy zaplanowanego wpływu na poznawany obiekt lub zjawisko. Równie istotne w procesie poznawania przyrody są eksperymenty – tutaj z kolei świadomie oddziałujemy na badany obiekt lub proces i sprawdzamy, jakie są tego skutki.

Żyjemy w okresie wielkich przemian zachodzących w otaczającym nas środowisku. Pandemia, wywołana koronawirusem SARS-CoV-2 i powodująca chorobę COVID-19, zmieniła nasze życie. W znacznym stopniu ograniczyła, a przynajmniej zmieniła naszą dotychczasową aktywność, w tym naukową. Konferencje, które obok publikacji są jedną z najważniejszych form prezentowania i omawiania aktualnych wyników badań naukowych, sposobem na poszerzenie wiedzy, źródłem inspiracji oraz sposobem nawiązania wielu wartościowych kontaktów, zmieniły swoją formułę. Konferencja „Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku”, organizowana po raz drugi przez Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w Kórniku oraz Komisję Nauk Leśnych i Drzewnych Oddziału Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu, również dotknięta została tą zmianą i odbywa się w trybie zdalnym.

Jej tematyka, zaproponowana pięć lat temu, niezmiennie budzi żywe zainteresowanie zarówno naukowców, jak i praktyków, którzy zdobytą w jej trakcie wiedzę mogą wykorzystać w codziennych działaniach. Środowisko, w którym funkcjonują drzewa i lasy, ulega przeobrażeniom na naszych oczach. Szczególną inspiracją dla badań prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych w Polsce i na świecie jest globalna zmiana klimatu. Naukowcy analizują jej wpływ nie tylko na drzewa, ale i na całe ekosystemy leśne, co wyraźnie wybrzmi w wielu wystąpieniach konferencyjnych. Badacze z troską pochylają się nad zrozumieniem zachodzących w środowisku zmian wywołanych działalnością człowieka, analizują ich potencjalne długoterminowe konsekwencje, a także formułują praktyczne wskazówki, które mogą pomóc w łagodzeniu ich negatywnych następstw.

Podczas tegorocznej konferencji „Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku” zaprezentowanych zostanie łącznie ponad 80 referatów, plakatów oraz krótkich doniesień naukowych. Szczególnie cieszą nas liczne zgłoszenia młodych naukowców, którzy wyrazili chęć przedstawienia wyników swoich badań na sesjach konkursowych w formie krótkich wystąpień. Na autorów wyróżniających się doniesień czekają nagrody – Dyrektora Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwo-

wych w Poznaniu, Przewodniczącego Zarządu Oddziału Wielkopolskiego Polskiego Towarzystwa Leśnego oraz Dyrektora Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w Kórniku. Za młodych naukowców niezmiennie trzymamy kciuki! A wszystkim uczestnikom konferencji, których w tym roku jest ponad 200, życzymy zaspokojenia ciekawości.

Dyrektor
Instytutu Dendrologii
Polskiej Akademii Nauk



prof. dr hab. inż.
Andrzej M. Jagodziński

Przewodniczący
Komitetu Nauk Leśnych i Technologii Drewna
Polskiej Akademii Nauk



prof. dr hab. inż.
Tomasz Zawila-Niedzwiecki

Kórnik, 11 października 2021 r.

Sesja plenarna

Additive stressors call for Adaptive Forest Management

Andreas Bolte, Tanja Sanders

Thünen Institute of Forest Ecosystems, A.-Möller-Straße 1, H. 41/42, 16225 Eberswalde, Germany

Abstract

Extreme weather events in the years 2018, 2019, and 2020 account to approximately more than 300 million m³ of damaged wood in Central Europe. Storm, fire, heat and drought, accompanied by bark beetle outbreaks impacted particularly Norway spruce forests in Germany and the Czech Republic, followed by Austria, Poland, Slovakia, Switzerland, and Northern Italy. However, other major tree species like Scots pine (Poland, Germany) and European beech (Germany, Switzerland, France) were also affected. This will likely increase under climate change with more frequent and severe weather events urging forest managers to adapt forests to increase resilience to future growing conditions.

This keynote presents the concept of Adaptive Forest Management (AFM) based on the assessment of varying environmental stressors and their interactions. Adaptive potential connected to different stressors is analysed in various case studies. Drought susceptibility of seedlings shows the potential of adaptation by provenance selection. Dendroecological studies provide a valuable tool to understand changing climate-growth correlations and differences between provenances, resulting in vulnerability maps. Bringing these results together we discuss the options and limitations of Assisted Migration as the core element of AFM, taking ecological and political aspects at a national and international scale into account.

Introduction

Forest adaptation covers a wide range of aspects and has to take the vulnerability of forest ecosystems and their possible thresholds or tipping points into account as well as tree individual potential of resilience and recovery. However, one of the main questions we always have to ask is: What do we want from our forests? What are we willing to sacrifice? But especially it asks whether passive adaptation is enough or whether active adaptive measures are needed. Therefore, future active forest management will have to address not only changing environmental conditions, but also the societal, economic, and technical dynamics of global change (cf. Spathelf et al. 2018).

During and after the second world war the need to produce timber in large quantities led in many regions to the planting of coniferous monocultures (Johann 2006) thus resulting in the degradation of some forest ecosystems. Today climate change causes increasing concern (sensu Bonan 2008; Allen et al. 2010). The integration of human activities into risk assessments to account for anthro-

pogenic influences as proposed by (McAfee, Shapiro 2010) and seems a necessary step in order to capture adaptation needs. A dimension is added by integrating the socio-economic component in modelling future forest distribution. Talking about adaptation, resilience is always around the corner of the discussion and it is here that the in-cooperation becomes even more difficult. All ecosystems are continuously changing (if you want to speak of systems in this context) they are open and dynamic. It is their ability to adapt and change, driving and facilitating the development of different living organisms to the environment we know now. Holling (1987) sketched the succession and re-organisation of ecosystems in four stages (1) exploitation, (2) conservation, (3) release, and (4) reorganisation. Ecosystems are pictured to pass continuously through these different stages. There is no steady-state. Individuals within the ecotone are ageing and dying, new life develops and ages again. To slice a piece at random out of this process and call every variation of it negative. However, today's societies are dependent on continuous ecosystem services (after Groot et al. 2010) asking for the preservation of forests in a form usable for human society. The question remains whether forests have to adapt to direct and indirect drivers or whether the management and ecosystem usage have to be altered and become more flexible.

In this keynote, we present the concept of Adaptive Forest Management (AFM) related to the increasing pressure of stressors like heat, drought, and accompanying biotic threats. This is linked to the recent extensive forest damages in Central Europe.

Forest damages in Central Europe from 2018 to 2020

The extreme heatwaves and drought years 2018, 2019 and 2020 in many parts of Central Europe accompanied and followed by pathogen attacks induced extensive forest damages mainly linked to Norway spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.) dominated forests with a regional focus in Germany, the Czech Republic, and Austria. In particular, bark beetles like *Ips typographus* L., *Pityogenes chalcographus* L., and *Ips duplicatus* (Sahlberg) were able to overcome the resin defensive system of spruces under drought and were able to perform an extensive outbreak due to high supply of breeding material and optimal climatic conditions during the heat years. Besides spruce also other tree species suffered from damages like Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Poland (*Ips acuminatus* Gyllenhal) and Germany (insects, fungi, partly forest fire) as well as European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Germany, Switzerland, and France (drought, sunburn, heat, beech bark beetle and fungi). In total, more than 300 million m³ of damaged wood were assessed throughout Central Europe and more than 170 million m³ for Germany alone (Fig. 1). However, the damaged wood volume comprises only 10% of the total wood volume in Central Europe and 15% of those in Germany. This indicates that the vast majority of Norway spruce forests are still living but are at high damage risk due to ongoing climate change exacerbating heat and drought impact. For Germany, around 70% of the forest area dominated by spruce (i.e. 2.2 million ha), and 30% of beech dominated forest area (0.6 million ha) has been recently projected as

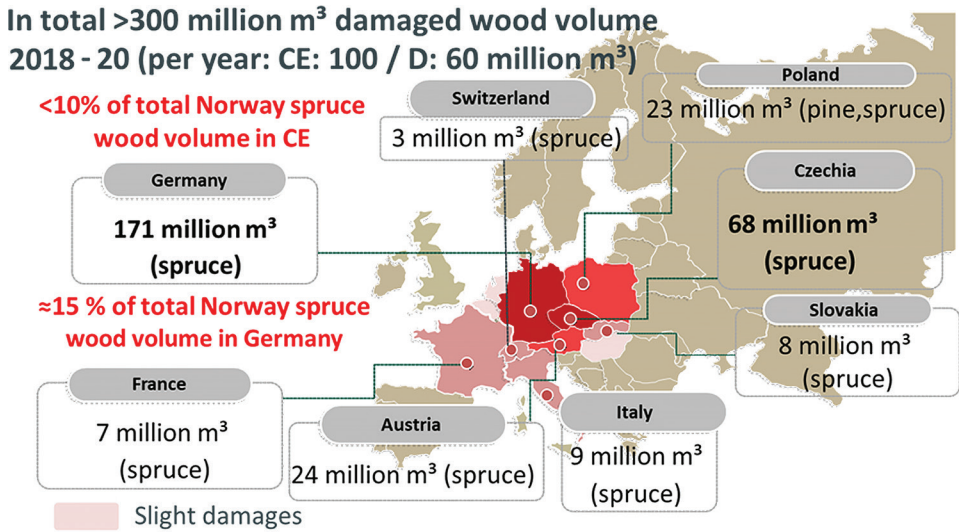


Fig. 1. Forest damages 2018–2020 (and main tree species affected); estimated damaged wood volume (m³) (Data compiled from (BMEL 2020; Ebner 2020; FAO-UNECE 2020; Jabłoński et al. 2019))

risk forest area in the next 30 years. This urges for forest and forestry adaptation with up to 100,000 ha of forest transformation area in order to increase forest resilience, amounting total costs of up 42 billion € until 2050 (Bolte et al. 2021).

Adaptive potentials of forests to environmental change impacts

Adaptation of forest ecosystems to environmental change is often limited to the static today's potential of selected species to thrive in a certain (predicted) climate and vulnerability assessment is consequently limited to impacts of climate change. Based on this assumption bioclimatic envelope models predict for example a complete diminishing of spruce in central Europe by the year 2100 (Hanewinkel et al. 2013). Successful forest management for the future, however, has to envisage all dynamics of a changing environment; including climate but not neglecting deposition and soil changes with all their interactions. This side can be seen as the adaptation to direct drivers, which can nevertheless have an anthropogenic component (Tab. 1). These direct drivers are covered by numerous studies e.g. on tree specific adaptation processes (Sanders et al. 2016). The indirect drivers, the ecosystem services are again covered excessively (overview in Lamarque et al. 2011).

A major adaptive potential of trees is linked to both their phenotypic plasticity and genotypic adaptation through evolutionary adaptation (Bolte et al. 2009; Spathelf et al. 2015; Muffler et al. 2021). Experimental studies applying extreme lethal drought to seedlings of European beech and Norway spruce revealed a dif-

ferent drought tolerance of provenances from different origins in the central and marginal range (Fig. 2, Bolte et al. 2016, 2021). This adaptive variation, however, is much larger for beech compared to spruce. In general, this information can be used for selecting and transfer more tolerant trees from mostly marginal populations to increase forest adaptive capacity without changing tree composition. However, more adaptive provenances have to be tested in their adaptation to the varying and interacting growth conditions at the target sites before its general use.

Investigating adult spruce trees, the variability between the provenances becomes more apparent. However, the variance between the individuals at the same site becomes apparent. We investigated six different spruce provenances growing on one dry (Hohenleipisch) and one moist site (Borstendorf) in Saxonia, Germany using dendroecological methods. The tree-ring chronologies were correlated to the climate on site and cumulating growth deviation for future climate scenarios calculated. Using a prediction period from 2012 to 2055, the differences between the potential growth of the provenances at the contrasting sites become apparent. Thus providing an indication of the future performance potential under the varying site conditions and ongoing climate warming. The maximum difference in growth between provenances at any given site is reaching 12% (Fig. 3 top). Growth deviations for the scenario period of the six provenances on the two sites indicate the positive response of all provenances on the moist site (Borstendorf) to a warmer climate. On the drier site (Hohenleipisch), however, only one provenance shows a growth increase while all others show a decline under warmer conditions. The relative change of radial growth between the calibration period (1986 to 2010) and the scenario (2012 to 2055) shows Nemenčinė to be the least productive on the intermediate site (Hohenleipisch) as well as on the

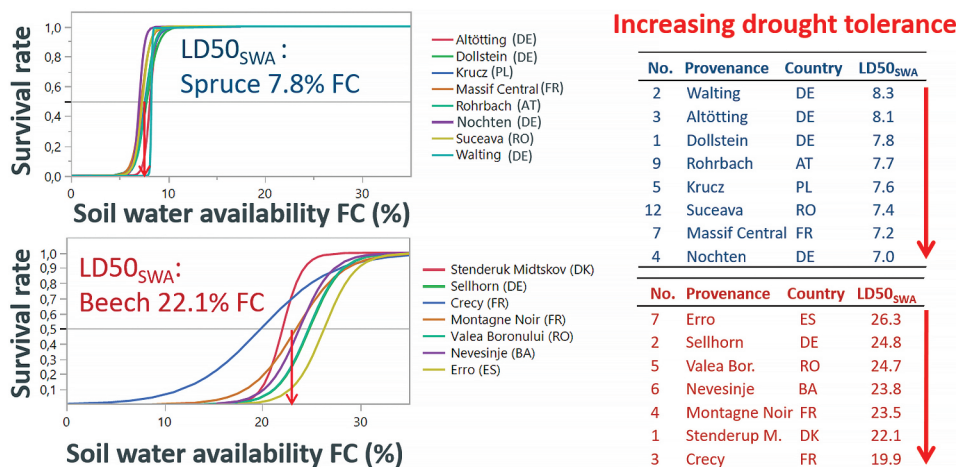


Fig. 2. Varying drought tolerance of different provenances of European beech and Norway spruce. Remaining soil water availability (% of field capacity, FC) at 50% survival rate (LD50_{SWA}) of different provenances

moist site (Borstendorf). The highest growth in Borstendorf showed Reinhardtsdorf and Tschepelare in Hohenleipisch. On the moist site, we find only positive relative growth variations between the individual trees, while on the moist site all but for the provenance Reinhardtsdorf show a growth deficiency. The local adaptation difference between the provenances is nearly 10% in Borstendorf and above 11% in Hohenleipisch.

Using these provenance trials in combination with climate scenarios provides a first idea about potential planting material. The results can be clearly linked to the climate-growth response and is a general pattern found in German tree-ring studies (Fig. 4).

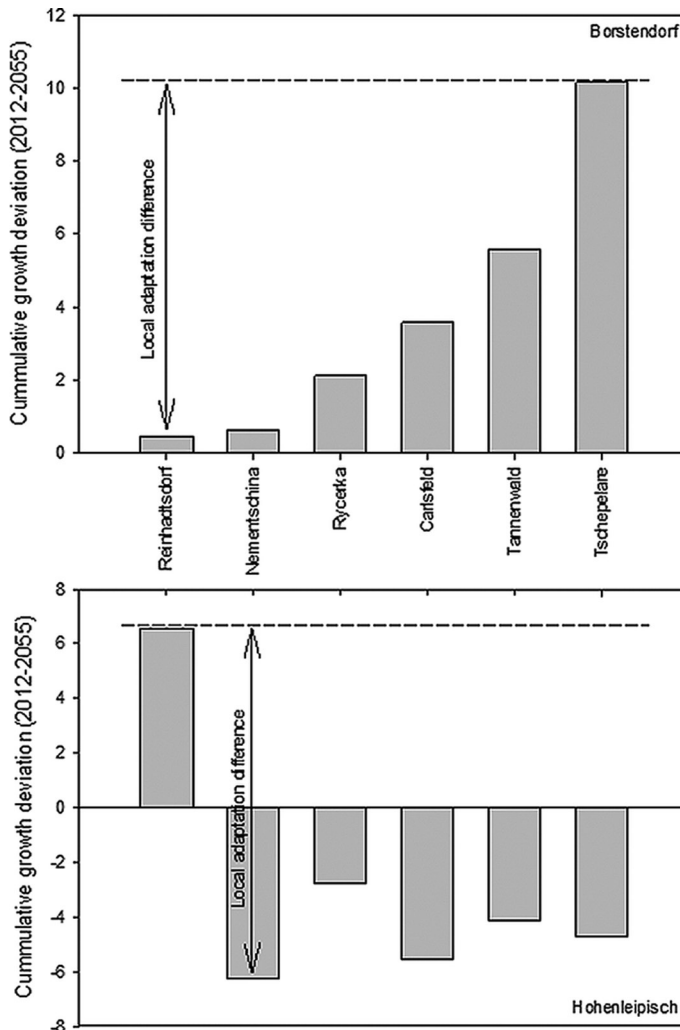


Fig. 3. Depiction of the local cumulative growth difference for the individual provenances at the two contrasting sites Borstendorf (top) and Hohenleipisch (bottom)

The response of individual trees is strongly determined by the soil conditions, namely the effective water balance and trees on moist sites still show the potential to increased growth under drier climate conditions (Fig. 4 bottom), while dry conditions become limiting.

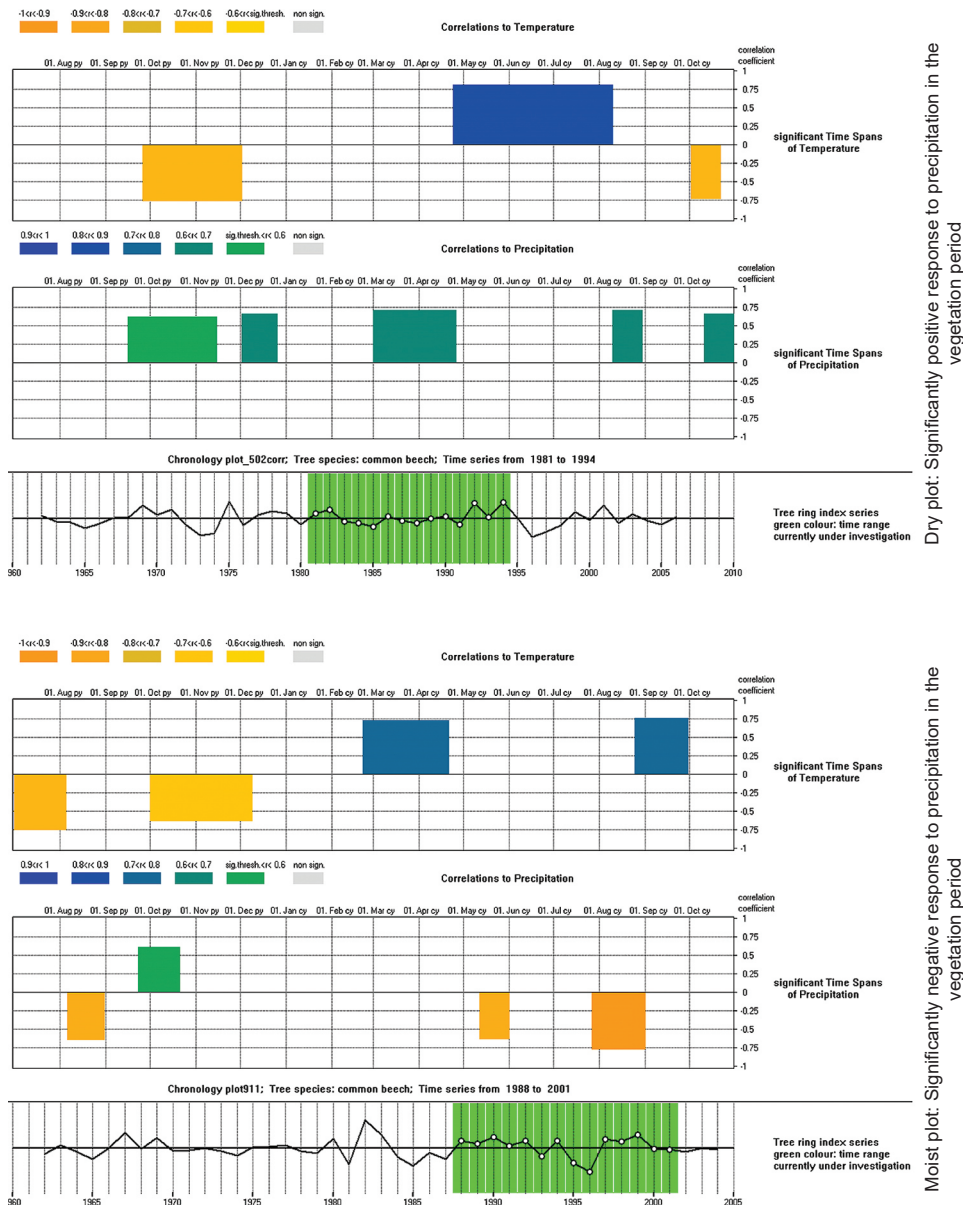


Fig. 4. Climate-growth response based on tree-ring chronologies from two contrasting sites and analysed with the program CLIMTREG (cf. Beck et al. 2013)

This can be used to map potential vulnerabilities of specific species. Here species occurrence for each NFI plot was combined with the effective water balance of the main growing season (May – August, EWB_{5-8}) using the plot coordinates for the three scenarios, respectively. Distribution of each species within the EWB_{5-8} was calculated (Tab. 1). The full range of EWB_{5-8} was combined into seven categories. Growth was calculated between the two NFIs as the total gain in cubic meters per hectare and year for each species and plot.

Distribution of species was mapped using the categorized EWB_{5-8} data (Fig. 5). From the maps, it becomes apparent that under both scenarios wetter and drier conditions are expected to occur than experienced in the reference period. We, therefore, distinguish between trees currently growing on sites with likely optimum conditions (category 4) not moving to another category or just shifting up by or down by one category and those where the scenarios predict a change of a minimum of two categories. Furthermore, those trees are predicted to grow on sites outside their current distribution.

Growth of all three species is significantly correlated ($p < 0.0001$) to the EWB_{5-8} at the respective plots (Fig. 4) also not explaining a large amount of variability.

The concept of Adaptive Forest Management (AFM)

One core principle of AFM is the “improving of management [...] by learning of their outcomes” (Ellis et al. 1997). A core element is a frequent feedback loop adjusting management to changing forest ecosystem status or structure and varying goals (e.g. “goal-structure management loop”, Fig. 6, Wagner et al. 2014). This loop is meant to be flexible in time, but loop frequencies may be aligned

Table 1. Number of national forest inventories included in the study and their main features relevant for the study. EWB_{5-8} : Effective Water Balance during the growing season (May to August), 15Perc: mean of 15 percentile, 85Perc: mean of 85 percentile

	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Picea abies</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
Number of plots	2089	2414	1967
Mean EWB_{5-8} (1961–1990)	110.09	136.52	67.23
Mean EWB_{5-8} (2021–2050 15Perc)	39.73	77.30	16.36
Mean EWB_{5-8} (2021–2050 85Perc)	68.62	112.25	33.13

Table 2. Percentage of plots with increasing, stagnant, and decreasing EWB_{5-8} in the scenario from 2012 until 2050, compared to the reference period 1961–1990, respectively

	Increasing EWB_{5-8}	Stagnant EWB_{5-8}	Decreasing EWB_{5-8}
<i>F. sylvatica</i>	3.92	25.45	70.63
<i>P. abies</i>	5.12	29.23	65.65
<i>P. sylvestris</i>	3.83	35.05	61.12

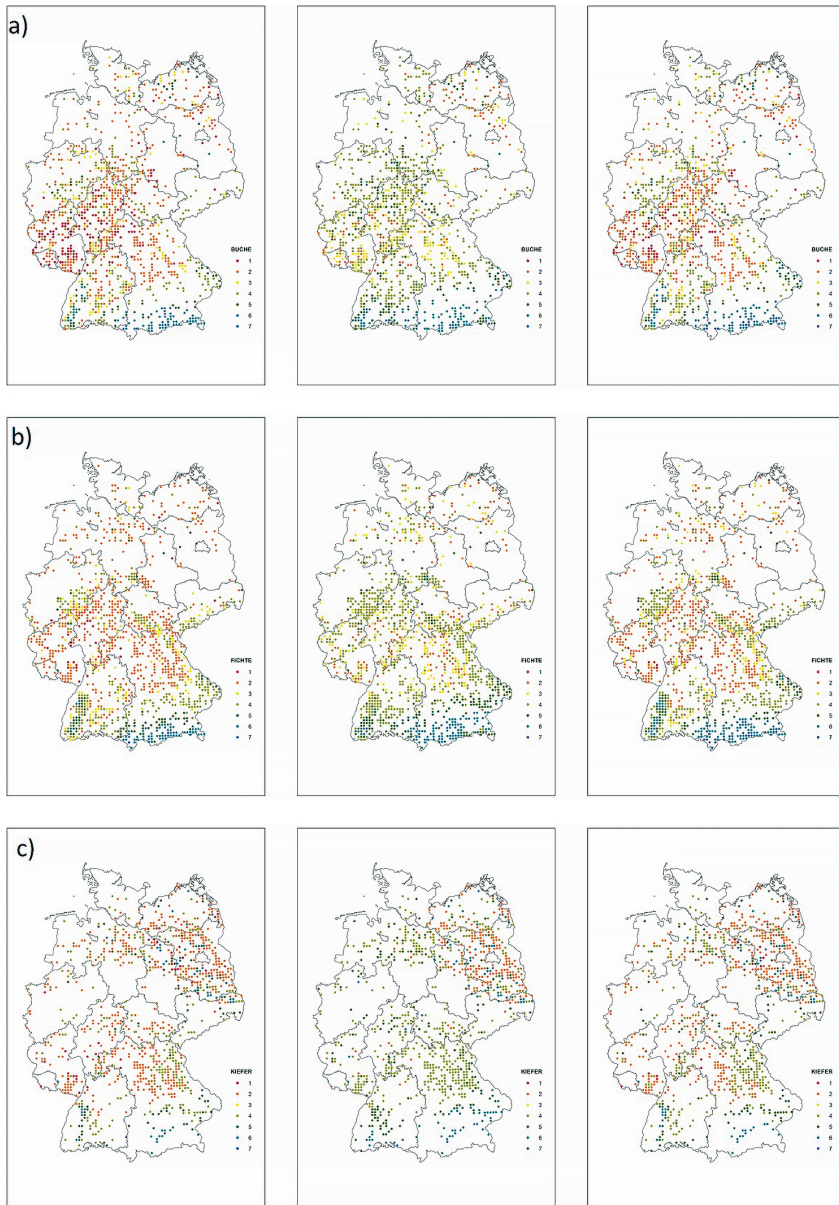


Fig. 5. The maps show the distribution of (a) *Fagus sylvatica*, (b) *Picea abies*, and (c) *Pinus sylvestris* in Germany based on the National Forest Inventory. Colours indicate available water capacity on the respective sites. The left column showing the reference period 1961–1990, the middle column the Q1 and the right column the Q99 scenario for the years 2012–2050. Class 1 starts with a negative EWB below -100 mm with conditions to dry and therefore not currently stocked in the reference period with the respective species, while class 7 comprises plots with EWB above 400 mm in the vegetation period. Each class increases by 100 mm

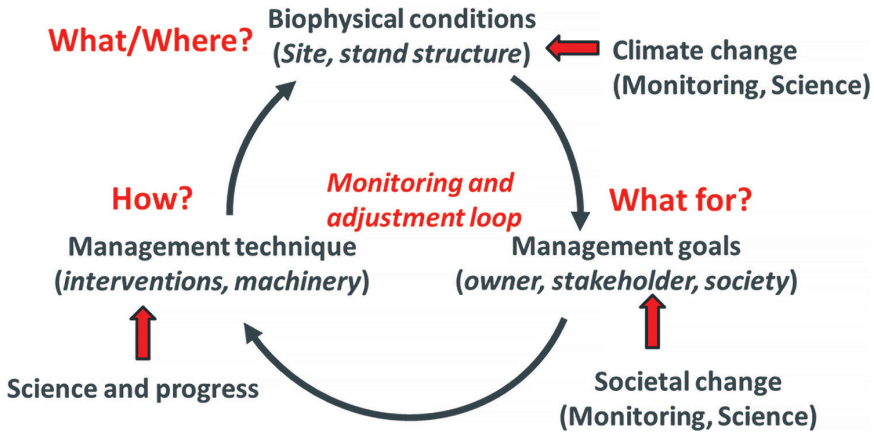


Fig. 6. Adaptive Forest Management (AFM) scheme (Spathelf, Bolte 2020, modified)

with typical planning horizons, i.e., between five years and 20 years. We maintain that AFM efforts must include frequent monitoring and adjustments of three components (1) biophysical conditions (“what?”), (2) management goals (“what for?/why?”), and (3) management techniques (“how?”, Fig. 1). All three components are not static, but dynamic and variable. The biophysical conditions include monitoring approaches focusing on environmental conditions for growth, survival and reproduction of the forest ecosystems and the forest composition and structure themselves; climate change is a major factor leading to increased variability of these conditions. The management goals are determined by forest owners, stakeholders, and society.

An important corresponding concept to AFM is “Assisted Migration (AM)” that tries to support and mimic the spontaneous migration of tree species and populations following their shifting habitats due to climate change (Williams, Dumroese 2013). In practice, AM has three different elements: (1) transfer of seeds of a tree species within its range that would include e.g. the use of marginal European beech provenances in the centre and north of its range (cf. previous chapter), (2) polewards expansion of species ranges, e.g. transfer of European beech to central Scandinavia out of its recent range, and (3) the introduction of exotic tree species from other continents like e.g. Libanon or Atlantic cedar (Fig. 7, Williams, Dumroese 2014). This follows the idea to manage entire species ranges rather than stands and forest landscapes and needs international collaboration.

Conclusions

The adaptation of forests to climate and environmental change is one of the key challenges in this century to maintain intact forest ecosystems and their contributions to important ecosystem services. Adaptive forest management (AFM) that includes the varying adaptive potentials of trees and forest ecosystems sup-

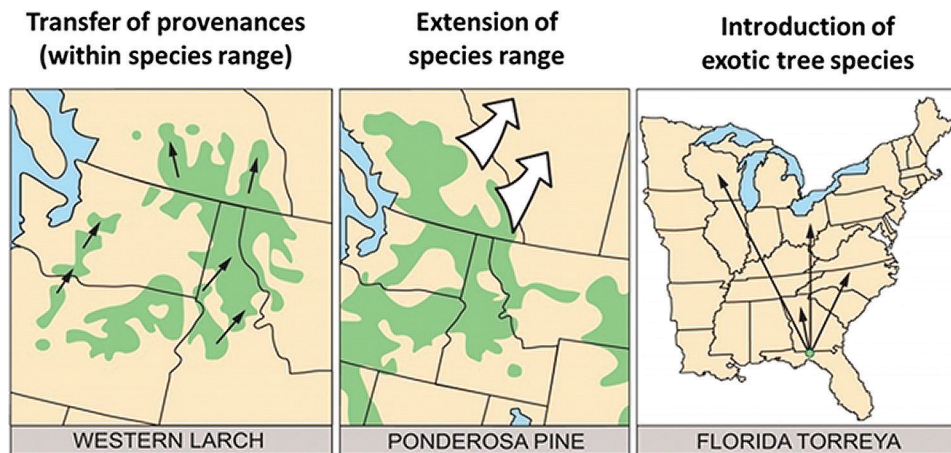


Fig. 7. Elements of Assisted Migration (Williams, Dumroese 2014)

ports forest transformation and forest (management) adaptation to the ongoing climate, societal, and technical change. Assisted migration is a key element of AFM to increase forests adaptive potential to future growing conditions. International collaboration throughout Europe and beyond is needed to step from only local management of stands to regional and international management of species ranges in migration.

Literature

- Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzeberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660–684.
- Beck W., Sanders T.G.M., Pofahl U. 2013. CLIMTREG: detecting temporal changes in climate-growth reactions – a computer program using intra-annual daily and yearly moving time intervals of variable width. *Dendrochronologia* 31: 232–241.
- BMEL 2020. Massive Schäden – Einsatz für die Wälder (<https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html;jsessionid=331DCF8BAAA3366903C09162F0794B9B.live842>; accessed: 14.09.2021).
- Bolte A., Ammer C., Löf M., Madsen P., Nabuurs G.-J., Schall P., Spathelf P., Rock J. 2009. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24: 473–482.
- Bolte A., Czajkowski T., Cocozza C., Tognetti R., Miguel M., Psidova E., Ditmarova L., Dinca L., Delzon S., Cochard H., Raebild A., Luis M., Cvjetkovic B., Heiri C., Muller J. 2016. Desiccation and mortality dynamics in seedlings of different European beech (*Fagus sylvatica* L.) populations under extreme drought conditions. *Frontiers in Plant Science* 7: 751.
- Bolte A., Sanders T., Natkhin M., Czajkowski T., Chakraborty T., Liesebach H., Kersten B., Mader M., Liesebach M., Lenz C., Lautner S., Löffler S., Kätzel R. 2021. Coming from dry regions Norway spruce seedlings suffer less under drought. Thünen Project

- brief 2021/16a (https://www.thuenen.de/media/publikationen/project_brief/Project_brief_2021_16a.pdf; accessed: 14.09.2021).
- Bonan G.B. 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* 320: 1444–1449.
- Ebner G. 2020. Erschreckendes Schadausmaß (<https://www.holzkurier.com/rundholz/2020/06/erschreckendes-schadausmass.html>; accessed: 14.09.2021).
- Ellis R., Kremsater L.L., Taylor B. 1997. Adaptive management of forests in British Columbia. Ministry of Forests, Forest Practices Branch, Victoria
- FAO-UNECE 2020. Forest Products Annual Market Review 2019–2020 (<https://unece.org/forests/publications/forest-products-annual-market-review-2019-2020>; accessed: 14.09.2021).
- Groot R.S. de, Fisher B., Christie M., Aronson J., Braat L., Haines-Young R., Gowdy J., Maltby E., Neuville A., Polasky S. 2010. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. [In:] P. Kumar (ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB): Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, Routledge, London and Washington, pp. 9–40.
- Hanewinkel M., Cullmann D.A., Schelhaas M.-J., Nabuurs G.-J., Zimmermann N.E. 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change* 3: 203–207.
- Holling C.S. 1987. Simplifying the complex: The paradigms of ecological function and structure. *European Journal of Operational Research* 30: 139–146.
- Jabłoński T., Tarwacki G., Sukovata L. 2019. Pine forest conditions in Poland in 2015–2018. [In:] V. Tkach, V. Meshkova, N. Vysotska, O. Kobets, I. Obolonyk, D. Tsapenko (eds.), *Pine forests: current status, existing challenges and ways forward*. Proceedings of International Scientific and Practical Conference 12–13 June 2019 (Kyiv, Ukraine), Planeta, Kharkiv, pp. 83–88.
- Johann E. 2006. Historical development of nature-based forestry in Central Europe. [In:] *Nature-based forestry in Central Europe. Alternatives to industrial forestry and strict preservation*. *Studia Forestalia Slovenica* 126: 1–17.
- Lamarque P., Quétier F., Lavorel S. 2011. The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. *Comptes Rendus Biologies* 334: 441–449.
- McAfee K., Shapiro E.N. 2010. Payments for ecosystem services in Mexico: Nature, neoliberalism, social movements, and the state. *Annals of the Association of American Geographers* 100: 579–599.
- Muffler L., Schmeddes J., Weigel R., Barbeta A., Beil I., Bolte A., Buhk C., Holm S., Klein G., Klisz M., Löf M., Peñuelas J., Schneider L., Vitasse Y., Kreyling J. 2021. High plasticity in germination and establishment success in the dominant forest tree *Fagus sylvatica* across Europe. *Global Ecology and Biogeography* 30: 1583–1596.
- Sanders T.G.M., Heinrich I., Günther B., Beck W. 2016. Increasing water use efficiency comes at a cost for Norway spruce. *Forests* 7: 296.
- Spathelf P., Bolte A. 2020. Naturgemäße Waldwirtschaft und Klimawandelanpassung – Kohärenz oder Widerspruch? *Nationalpark-Jahrbuch Unteres Odertal* 17: 17–27.
- Spathelf P., Bolte A., van der Maaten E. 2015. Is Close-to-Nature Silviculture (CNS) an adequate concept to adapt forests to climate change? *Landbauforschung* 65: 161–170.
- Spathelf P., Stanturf J., Kleine M., Jandl R., Chiatante D., Bolte A. 2018. Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration. *Annals of Forest Science* 75: 271.

- Wagner S., Nocentini S., Huth F., Hoogstra-Klein M. 2014. Forest management approaches for coping with the uncertainty of climate change: Trade-offs in service provisioning and adaptability. *Ecology & Society* 19: 32.
- Williams M.I., Dumroese R.K. 2013. Preparing for climate change: Forestry and assisted migration. *Journal of Forestry* 111: 287–297.
- Williams M.I., Dumroese R.K. 2014. Planning the future's forests with assisted migration. *USDA Forest Service RMRS-P-71*: 133–144.

Znaczenie torfowisk dla bilansu węgla w lasach w kontekście globalnego ocieplenia i kryzysu ekologicznego

Mariusz Lamentowicz^{1*}, Bogdan H. Chojnicki², Katarzyna Marcisz¹,
Michał Słowiński³, Piotr Kołaczek¹, Wiktor Kotowski⁴

¹Pracownia Ekologii Zmian Klimatu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań, *mariuszl@amu.edu.pl

²Pracownia Bioklimatologii, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań

³Zespół Dynamiki Krajobrazów Minionych, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyńskiego PAN w Warszawie, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

⁴Zakład Ekologii i Ochrony Środowiska, Instytut Biologii Środowiskowej, Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 10, 02-089 Warszawa

Wstęp

Tysiąc lat temu Polskę pokrywała pierwotna puszcza, w której znaczne obszary pokrywały mokradła – lasy bagienne, otwarte torfowiska i tereny zalewowe rzek. Wraz z rozwojem państwa polskiego utracie drzew z krajobrazu towarzyszyła coraz większa presja na torfowiska (Czerwiński et al. 2019). Zwiększona utrata i transformacja mokradeł rozpoczęła się już 700 lat temu, w efekcie wylesień obniżył się poziom wody w jeziorach, co w niektórych przypadkach przyspieszyło ich przekształcenie się w torfowiska (Lamentowicz i in. 2020; Czerwiński i in. 2021). Od średniowiecza do współczesności lasy wraz z mokradłami przeszły przez wiele etapów presji, która szczególnie wzrosła w ciągu ostatnich 200 lat (Swindles i in. 2019), a melioracje odwadniające oraz sadzenie monokultur sosnowych zmieniły strukturę lasów na zawsze (Słowiński i in. 2019). Intensywna gospodarka leśna miała także wpływ na zasoby wodne oraz stan zachowania cennych siedlisk, do jakich należą torfowiska. Jednocześnie antropogeniczne globalne ocieplenie zastało lasy i siedliska mokradłowe nieprzygotowane na zwiększoną utratę wody oraz zjawiska katastroficzne, takie jak wiatry (Loisel i in. 2021). Wskutek wzrastającego deficytu wody gruntowej drzewostany stały się bardziej podatne na gradacje szkodników (np. kornika drukarza, brudnicy mniszki czy strzygoni chojnowki) oraz coraz częstsze i bardziej intensywne pożary (Biedermann i in. 2019). Mokradła, a szczególnie torfowiska, są ważnymi archiwami zmian klimatu, warunków hydrologicznych oraz regionalnej roślinności, w tym struktury i składu gatunkowego lasu. Dane paleoekologiczne, zwłaszcza pyłek i szczątki makroskopowe roślin, odzwierciedlają transformację lasu w plantację oraz inne zaburzenia związane z gospodarką leśną. Zestawienie danych historycznych (w tym trendów zmian poziomu wody w torfowiskach) oraz prognoz zmian klimatu sugeruje, że lasy będą narażone na postępujące susze oraz większe

prawdopodobieństwo pożarów (Seidl i in. 2014). Na szczególną uwagę zasługują więc torfowiska na obszarach leśnych, nie tylko dlatego że są ważnymi zbiornikami wody, ale i dlatego że gromadzą węgiel, który przechowują od wielu tysięcy lat. Jednakże bilans węgla torfowisk w polskich lasach jest słabo znany i wymaga bardziej szczegółowych estymacji. Ochrona i restytucja torfowisk w lasach w kontekście adaptacji do zmian klimatu ma dwa podstawowe cele: retencję wody, akumulację węgla i redukcję emisji węgla, a do tego potrzebny jest efektywny, ciągły system obserwacji/monitoringu torfowisk w lasach oraz dokładne rozpoznanie zasobów węgla w torfowiskach (miąższości i rodzaju torfu oraz stopnia jego rozkładu). Losy torfowisk i lasu są ze sobą ściśle powiązane, efektywna ochrona zasobów wodnych w mokradłach będzie sprzyjać także adaptacji lasów do zmian klimatu m.in. poprzez łagodzenie wynikające z zagrożeń niedoborami wody. Celem niniejszej publikacji jest prezentacja wzajemnych zależności mokradeł i lasu ze szczególnym uwzględnieniem obecności torfowisk i ich znaczenia dla adaptacji do zmian klimatu i ochrony przyrody. Na zakończenie zamieścimy nasze rekomendacje dla poprawy zarządzania torfowiskami w lasach.

Historia lasu i torfowisk

Wraz z rozwojem gospodarki presja na pierwotne ekosystemy zaczęła wzrastać (Ellis i in. 2020). Jednocześnie naturalne archiwa, takie jak torfowiska i jeziora, rejestrowały antropogeniczne zmiany użytkowania ziemi na przestrzeni ostatnich tysięcy lat (Charman 2002). Jednym z najbardziej narażonych na antropopresję ekosystemów był las. Wraz z rozwojem rolnictwa postępowały wylesienia, które w średniowieczu przybrały charakter wielkopowierzchniowy (Kaplan i in. 2009). W Polsce ludzie korzystali z lasu już ponad 5000 lat temu, choć dopiero w średniowieczu wylesienia zaczęły nabierać masowego charakteru (Kończak i in. 2010). Pierwotny las zamieszkiwany przez Słowian zaczął zanikać wraz z ich kulturą (Hildebrandt-Radke, Makohonienko 2011). W tymże krajobrazie zlokalizowanych było wiele mokradeł, występujących pod parasolem lasów, które zabezpieczały je przed bezpośrednią ingerencją człowieka. W konsekwencji wylesień zanikająca pierwotna puszcza odsłoniła ekosystemy mokradeł. W bezpośrednim sąsiedztwie odsłonięte gleby zaczęły podlegać erozji i wpływać na stan troficzny mokradeł, a także ich zasoby wodne (Lamentowicz i in. 2017; Kończak i in. 2020).

Pierwszym z punktów zwrotnych w narastającej presji człowieka na obszary leśne, w tym mokradła, było wprowadzenie kolonizacji na prawie niemieckim w Europie Środkowowschodniej (XII–XIV w.) (Lamentowicz i in. 2020; Czerwiński i in. 2021). Jednym z założeń kolonizacji na prawie niemieckim była możliwość wprowadzenia trójpolówki, co przyspieszało odlesienia na potrzeby rolne. Równoległe lasy przylegające do obszarów rolnych stanowiły miejsce wypasu bydła domowego. Rozwój człowieka generował coraz większe zapotrzebowanie na drewno jako surowiec i półsurowiec. Ciągłe niedoszacowane, lecz o ogromnym wpływie na transformację terenów leśnych, było wzrastające zapotrzebowanie na produkty leśne, takie jak węgiel drzewny, potaż czy smoła (Samojlik i in. 2013;

Latałowa i in. 2015; Słowiński i in. 2021). Skala przestrzenna oraz towarzyszący jej zakres transformacji ekosystemów leśnych i mokradłowych, wynikający z funkcjonowania tzw. mielerzy, są jeszcze mało poznane (Słowiński i in. 2021), natomiast ilość reliktowych pozostałości przemysłowych wskazuje na ich znaczący wpływ (Słowiński i in. 2021; Szewczyk i in. 2021). Jednak kluczowym momentem w transformacji szeroko rozumianych ekosystemów leśnych i współistniejących obszarów podmokłych był początek XIX w. (Broda 2000). Mianowicie wprowadzono gospodarkę leśną polegającą na zrębach zupełnych (całkowitych) oraz sadzeniu monokultur sosnowych i świerkowych w miejsce naturalnych drzewostanów mieszanych i liściastych. Niestety w ramach intensywnej gospodarki leśnej polegającej na unifikacji siedlisk dochodziło do całkowitej degradacji ekosystemów leśnych i torfowiskowych, czego konsekwencją było obniżenie ich odporności na różnego typu zaburzenia, takie jak: susze, pożary, patogeny czy atak owadów (Pretzsch i in. 2013; Ratcliffe i in. 2017; Seidl, Rammer, 2017; Słowiński i in. 2019; Seidl i in. 2020; Senf, Seidl 2021). Dodatkowo przy przebudowie naturalnych lasów prowadzono na szeroką skalę prace melioracyjne na obszarach leśnych w celu powiększania plantacji, w tym przypadku monokultur świerkowych (Ilnicki 2002; Tobolski 2003, 2007). Rowy melioracyjne i odwodnienia obszarów podmokłych miały sprzyjać szybszemu odprowadzaniu wody z obszarów leśnych (np. roztopowych wczesnowiosennych), czego konsekwencją było gwałtowne obniżanie i zachwianie regionalnymi poziomami wód gruntowych (Holden i in. 2006; Słowińska i in. 2010; Price i in. 2016; Bartczak i in. 2018). Niestety prowadziło to do obniżania się zwierciadła wody gruntowej na mokradłach, murszenia wierzchniej warstwy oraz wkraczania nalotu drzew na powierzchnie torfowisk. Odwodnienia te miały negatywny wpływ również na dużą liczbę płytkich zbiorników wodnych, przyspieszając ich zarastanie (ryc. 1). Niestety wiele decyzji podjętych w przeszłości nieodwracalnie zmieniło hydrologię terenów podmokłych na obszarach leśnych, doprowadzając do ich degradacji, a w konsekwencji osłabiając ekosystemy. Jak podkreśla Wiśniewski (1996), w okresie 1951–1991 na obszarach Lasów Państwowych osuszono 845 495 ha terenów podmokłych.

W całej Polsce bardzo często drzewostany charakteryzujące się różnowiekowym oraz przede wszystkim różnogatunkowym składem były przekształca-



Ryc. 1. Postępujące zarastanie jeziora na przykładzie torfowiska Krzewiny w Borach Tucholskich

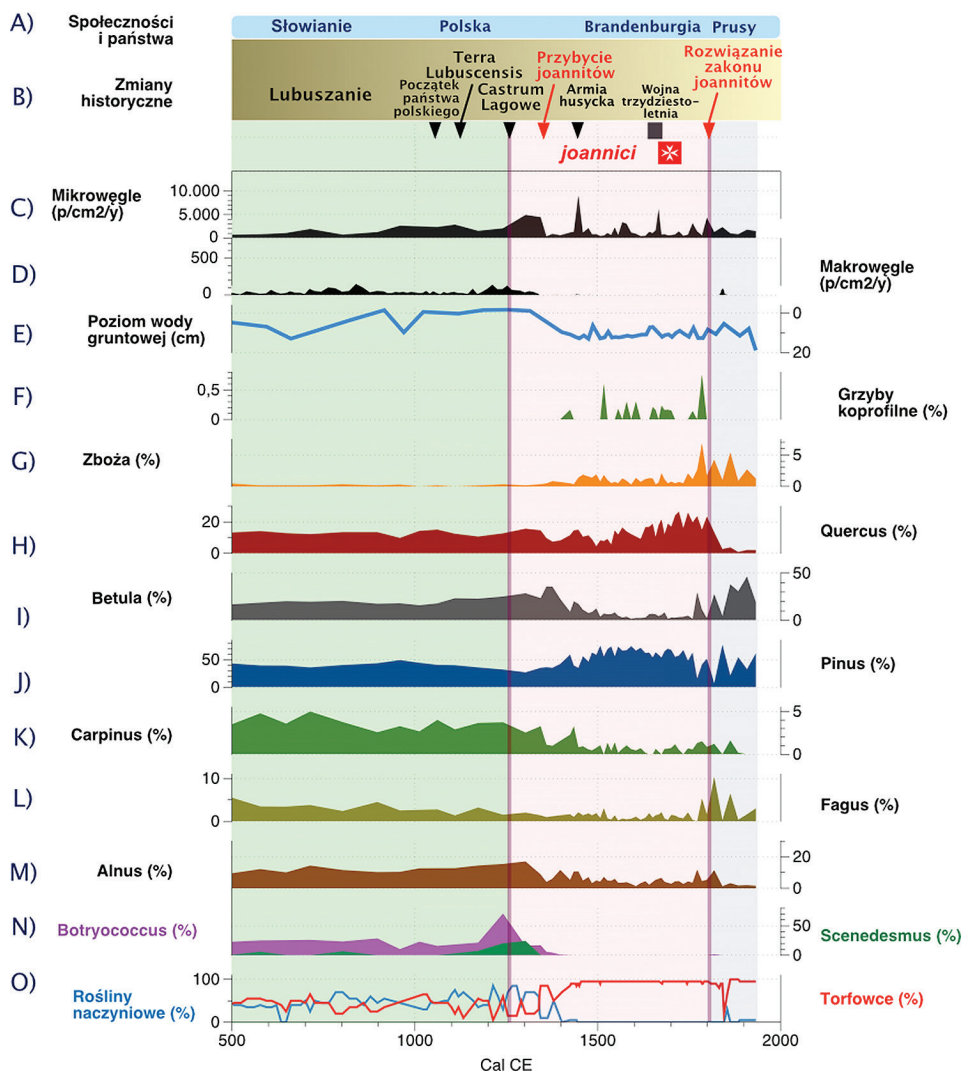
ne w wielkoobszarowe jednogatunkowe i jednowiekowe bory sosnowe (Broda 2000), tylko punktowo możemy mówić o pierwotnych kompleksach (Sabatini i in. 2021). Konsekwencje prowadzenia „uprawy” monokultur sosny czy świerkowych odbijają się również negatywnie na ekosystemie gleby (Biały 1999; Jankowski 2014). Mianowicie następuje jej degradacja, pinetyzacja objawia się zakwaszeniem wierzchniej warstwy gleby (Biały 1999). Problematyka ta jest podnoszona i obserwowana nawet na obszarach sandrowych (piaszczystych), gdzie przed wprowadzaniem monokultur sosnowych występował bór mieszany. Na terenach tych dochodzi do bielcowania gleb rdzawych (Jankowski 2014). W ostatnim stuleciu obserwujemy nakładanie się, synergii, negatywnych sprzężeń dodatnich, takich jak przedłużająca się susza czy zjawiska ekstremalne (van Loon i in. 2016; Seidl i in. 2017), które sprzyjają pożarom, gradacom owadów czy też rozwojowi patogenów w monokulturach (Jactel i in. 2009; Pretzsch i in. 2013; Sierota i in. 2019; Senf, Seidl 2021).

Badania paleoekologiczne pozwalają nam zrozumieć obecny stan mokradeł w kontekście historii ich rozwoju i wyżej wymienionych zaburzeń oraz relacji z lasem (Chambers 1993; Ireland, Booth 2012; Booth i in. 2016). Skala czasowa rozwoju tych ekosystemów sięga tysięcy lat, ale dzięki temu istnieje możliwość lepszego zrozumienia ich genezy i sukcesji w relacji do zmian klimatu i krajobrazu (Lamentowicz 2005). W szczególności osady biogeniczne w torfowiskach dostarczają unikatowych danych na temat zmian użytkowania terenu oraz pokazują wpływ wylesień na same torfowiska (Ireland, Booth 2012). Badania z wykorzystaniem pyłku, szczątków roślin i ameb skorupkowych, poparte datowaniami radiowęglowymi (w celu określenia czasu zmian), dostarczają unikatowych danych na temat historii lasów i torfowisk (Czerwiński i in. 2019; Lamentowicz i in. 2019c). Losy torfowisk (i innych mokradeł) i lasu były ze sobą ściśle powiązane i dotąd są słabo poznane. Przykłady z obszaru ziemi lubuskiej, Wielkopolski, Pomorza i Polski centralnej pokazują, jak gwałtowne przeobrażenia następowały w torfowiskach podczas wylesień. W efekcie wycinki lasu w zlewni torfowisk następowały w nich nieodwracalne zmiany. Dotyczy to także późniejszych zalesień w postaci np. monokultur sosnowych, mających wpływ na odczyn torfowisk (Słowiński i in. 2019).

W tym kontekście warto przytoczyć kilka przykładów pokazujących synchronizację transformacji torfowisk i lasu. Rdzeń torfowy z torfowiska Pawski Ług (k. Łagowa) okazał się niezwykle cennym źródłem informacji na temat oddziaływania wylesień na stan troficzny i hydrologię tego torfowiska, które do roku 1300 było bardzo wilgotnym torfowiskiem przejściowym (ryc. 2) (Lamentowicz i in. 2020). W czasie postępujących średniowiecznych wylesień poziom wody spadł i obiekt przekształcił się w kwaśne torfowisko zdominowane przez mchy torfowce. W tym stanie pozostaje do dziś. Historia tego obiektu jest przykładem ścisłej synchronizacji wylesienia ze zmianą stanu troficznego i hydrologicznego. Przekształcenia takie zaczęły zachodzić wraz z rozwojem ekonomicznym regionu wywołanym przez rozwój gospodarki zakonu joannitów w pobliskim Łagowie, który intensywnie postępował od roku 1350. Proces wylesiania doprowadził w szybkim tempie do utraty lasów pierwotnych. Podobna sytuacja miała miejsce w Wielko-

polisce w torfowisku Kazanie (k. Pobiedzisk), gdzie rozwój ekonomiczny Polski Piastów prowadził do stopniowego wylesienia (Czerwiński i in. 2021). Odsłonięte gleby i mokradła zaczęły się także zmieniać, synchronicznie doprowadzając do przyspieszonego łądowienia jeziora, które w efekcie w XVI w. przekształciło się w torfowisko alkaliczne. Pojawił się nowy ważny ekosystem, ale jednocześnie doszło do spadku poziomu wody gruntowej i łądowienia powierzchni wodnej.

Gwałtowne zmiany hydrologiczne w mokradłach w trakcie średniowiecznych wylesień mogą być zaskakujące. Jednocześnie utrata pierwotnego lasu, który rozwijał się przez wiele tysięcy lat, oraz stopniowe niszczenie gleby doprowadziły



Ryc. 2. Diagram syntetyczny prezentujący proces wylesiania zapisany w torfowisku Pawski Ług (Lamentowicz i in. 2020)

do utraty wody zgromadzonej w zlewni oraz zwiększonej dostępności promieniowania słonecznego i wiatru do otwartych torfowisk (szczególnie tych o małej powierzchni). Dodatkowym elementem jest dopływ materii mineralnej będący efektem rolniczego wykorzystania gleb. Taka sytuacja została zaobserwowana w torfowisku zlokalizowanym niedaleko Łodzi (Lamentowicz i in. 2009). Wylesienia, osadnictwo i rozwój rolnictwa około 700 lat temu doprowadziły do całkowitego zaniku torfowiska mszarowego, z którego w ostatnim stuleciu wydobywano torf.

Las stanowił osłonę dla torfowisk w ostatnich tysiącach, jednakże rozwój ekonomiczny związany z jego wykorzystaniem bardzo intensywnie wzrastał. Las pierwotny został przekształcony w gospodarczy, którego wpływ zaznaczał się na obszarach intensywnych zalesień (Stanturf, Madsen 2005; Słowiński i in. 2019). Przykłady wpływu gospodarki leśnej na torfowiska znajdują się w Borach Tucholskich. Torfowisko Jelenia Wyspa w Nadleśnictwie Tuchola dokumentuje historię zakwaszania siedliska mokradłowego i łądowania zbiornika wodnego, które z dużym prawdopodobieństwem spowodowane były wprowadzeniem monokultur sosnowych (Lamentowicz i in. 2007). Jednocześnie przepływowe jezioro zlokalizowane w dolinie rzeki Stażki zaczęło przekształcać się w torfowisko we wczesnym średniowieczu (Lamentowicz i in. 2013). Poza samą zmianą stanu troficznego w trakcie badań torfowisk doliny Stażki stwierdzono warstwy piasku dokumentujące lokalne wylesienia, co sugeruje transport materiału mineralnego z wylesionej zlewni. Obecnie trwają szeroko zakrojone badania torfowisk Borów Tucholskich, które mogą odpowiedzieć na pytanie, jak gospodarka leśna wpływała na torfowiska tego obszaru w ostatnich 200 latach (Łuców i in. 2018).

Opisując historię relacji zmian struktury lasów i funkcjonowania torfowisk, nie sposób nie wspomnieć o torfowiskach niskich uformowanych na obszarach górskich. Te często bardzo niewielkie torfowiska funkcjonowały lub dalej funkcjonują w zagłębieniach na zboczach stoków powstałych na skutek ruchów osuwiskowych. Szczególnym obszarem występowania takich torfowisk są Karpaty Zachodnie, gdzie bardzo często tego typu obiekty stanowią jedyne źródło danych paleoekologicznych (Margielewski 2006). Lasy na tym obszarze uległy gwałtownym przekształceniom w wyniku osadnictwa wołoskiego zapoczątkowanego w XIII w. Ludność ta, przybyła z południa Europy, dokonywała gwałtownych wylesień, często przy użyciu ognia, w celu pozyskiwania gruntów pod gospodarkę pasterską i rolnictwo (Czajka 1987). Wylesienia doprowadzały do wzmożenia procesów spłukiwania i akumulacji osadu mineralnego na powierzchniach torfowisk znajdujących się w zagłębieniach osuwiskowych. W ten sposób dochodziło do spowolnienia, a nawet zablokowania akumulacji torfu (Margielewski 2006; Margielewski i in. 2010, 2011; Michczyński i in. 2013; Bucala-Hrabia 2018; Czerwiński i in. 2020). Doskonałym przykładem takiego stanowiska jest Bogdanówka-Beło (Beskid Makowski, piętro regła dolnego), gdzie akumulacja materiału mineralnego doprowadziła do wstrzymania akumulacji torfu i uformowania się zbiorowisk roślinnych o charakterze łąkowym (Kołaczek i in. 2020). Co ciekawe, nieprzepuszczalna warstwa mineralna przyczyniła się do tego, że wypełnione torfami zagłębienie w wyniku gwałtownych opadów może zmieniać się w okre-

sowe jezioro (Margielewski 2006). Przykład tego stanowiska doskonale ilustruje, jak antropogeniczna deforestacja w przeszłości może uruchomić kaskadę procesów mogących zmienić stosunki hydrologiczne i doprowadzić do przekształceń w morfologii terenu (Kapustová i in. 2018; Wistuba i in. 2018). Innym przykładem wpływu deforestacji na zlewnie torfowisk i same torfowiska może być stanowisko Zbludza położone w Beskidzie Wyspowym w piętrze pogórza (Kołaczek i in., w druku), które oprócz wyżej wymienionej deforestacji pokazuje, że w wyniku degradacji gleb powrót do stanu naturalności lasu nie jest możliwy lub jest bardzo mocno utrudniony. Badania palinologiczne tego torfowiska wykazały, że w tamtejszych lasach powinny dominować *Fagus sylvatica* i *Abies alba*, natomiast zniszczenie gleb w wyniku rolnictwa i pasterstwa sprawia, że głównymi gatunkami w pobliżu tego stanowiska są *Pinus sylvestris*, *Picea abies* i *Larix decidua* wprowadzone przez człowieka w celu ograniczenia dalszej erozji. Podobnie zbiorowiska leśne na samym torfowisku nie zregenerowały się do stanu wyjściowego pomimo znaczącego osłabienia antropopresji w ostatnich dziesięcioleciach.

Leśnictwo torfowiskowe

Ostatnie 200 lat to czas odwodnień i eksploatacji torfowisk na terenach leśnych i nieleśnych (Paavilainen, Päivänen 1995). To też czas, kiedy zaczęło rozwijać się leśnictwo na torfowiskach. Aby poprawić produktywność lasu, odwadniano torfowiska w celu obniżenia poziomu lustra wody gruntowej, a w rezultacie swo-



Ryc. 3. Zastawka na rowie melioracyjnym na torfowisku wysokim Bagno Kusowo (fot. M. Lamentowicz)

bodny wzrost drzew na torfowiskach stawał się możliwy. Większość torfowisk została odwodniona w okresie zaborów, a nowoczesne technologie melioracyjne przyczyniły się do tego po II wojnie światowej. Liderem w melioracjach torfowisk w kierunku rozwoju leśnictwa torfowiskowego jest Finlandia (Paavilainen, Päivänen 1995). W Polsce w latach 70. XX w. odwodniono w celu zalesienia około 120 tys. ha torfowisk (Okruszko 1976; Paavilainen, Päivänen 1995). Obecnie większość torfowisk w polskich lasach ma ślady melioracji w postaci rowów melioracyjnych (ryc. 3). Efektem odwodnień był proces naturalnej sukcesji lasu, bardzo dobrze widoczny na dużych torfowiskach wysokich typu bałtyckiego. Przykładem jest torfowisko Bagno Kusowo porośnięte borem bagiennym, który rozprzestrzenił się na obiekcie wskutek odwodnień realizowanych podczas wydobycia torfu. Szczęśliwie torfowisko nie zostało w całości zniszczone i pozostała część zachowała się w relatywnie dobrym, bezleśnym stanie.

Zmeliorowane torfowiska w lasach to nie tylko zniszczone ekosystemy. To także utracona retencja wodna krajobrazu, która jest szczególnie potrzebna w czasie zmiany klimatu. Torfowiska są powiązane z lasem siecią zależności ekologicznych; pełnią one rolę zbiorników wody podpowierzchniowej niezbędnej do prawidłowego funkcjonowania okalających je lasów. Innymi słowy, są „gąbkami” zabezpieczającymi zasoby wodne w krajobrazie. Ważne są tu co najmniej trzy mechanizmy hydrologiczne. Po pierwsze, występowanie torfowisk w krajobrazie leśnym znacząco spowalnia spływ wody przez zlewnię i jej infiltrację do wód podziemnych, buforując w ten sposób ilość dostępnej wody pomiędzy okresami opadów. Po drugie, obecność wypełnionych wodą torfowisk wywiera znaczący nacisk na wody podziemne i blokuje ich wypływ, podnosząc zwierciadło wód podziemnych w okolicy. W ten sposób rozwój torfowisk przez tysiące lat może podnieść zwierciadło wód na rozległych przyległych obszarach. Po trzecie, woda zgromadzona w torfowiskach paruje, wpływając na lokalny mikroklimat – zwiększając wilgotność powietrza i obniżając temperaturę. Ma to znaczenie zwłaszcza w okresach letnich upałów, ponieważ zmniejsza się zagrożenie suszą na obszarach leśnych czy rolniczych.

Zdrowe torfowiska gromadzą węgiel, który w postaci szczątków roślin (np. mchów i korzeni roślin naczyniowych) odkładany jest przez tysiące lat. Niestety w ostatnich 200 latach potencjał gromadzenia węgla w śródleśnych torfowiskach został znacznie nadwyrężony poprzez odwodnienia, kopanie torfu oraz zalesienia torfowisk. Taka sytuacja ma miejsce na tle trendu spadkowego wód gruntowych w torfowiskach europejskich w ostatnich dwóch stuleciach. Postępujące osuszenie torfowisk jest efektem działalności gospodarczej związanej z eksploatacją torfowisk i rozwojem rolnictwa, a także antropogenicznym globalnym ociepleniem, które prowadzi do utraty zasobów wodnych w krajobrazie.

Bardzo ważnym aspektem jest zrozumienie kontekstu przestrzennego procesów, które prowadzą do pozytywnych i negatywnych reakcji torfowisk na obecność lub nieobecność lasu. Należy tu odróżnić wylesienia zlewni torfowisk (wpływ bardzo negatywny na zasoby wodne) od ekspansji lasu na powierzchni torfowiska wynikającej z osuszania (wpływ bardzo negatywny na zasoby wodne). Jednocześnie istnieją formy lasów torfowiskowych, takie jak olsy czy łęgi, gdzie

drzewa stanowią integralny i naturalny element struktury torfowiska, a wysoki poziom wód gruntowych jest typowy dla tego rodzaju siedlisk.

Pożary lasu zapisane w torfowiskach

Stany ekologiczne lasów oraz torfowisk występujących w obrębie kompleksów leśnych są ze sobą ściśle powiązane. Kondycja lasu jest w dużej mierze zależna od warunków hydrologicznych panujących na danym obszarze. Ze względu na obserwowane ocieplenie klimatu oraz coraz częściej występujące fale ciepła ochrona dużych kompleksów leśnych przed negatywnymi skutkami zmian klimatu jest coraz trudniejsza (Seidl i in. 2017).

Jednym z głównych problemów związanych z wpływem ocieplenia klimatu na lasy są coraz dłuższe okresy suche (Gillson i in. 2019). Susze wraz z coraz częściej obserwowanymi falami ciepła prowadzą do katastrofalnych pożarów w wielu miejscach na świecie, takich jak np. te obserwowane w ostatnich latach w basenie Morza Śródziemnego, w Kalifornii czy w borealnych rejonach Kanady i Rosji. Podobne katastrofalne pożary oraz inne zaburzenia lasów mogą wystąpić także na Niżu Środkowoeuropejskim (Seidl i in. 2014), w tym w Polsce.

Jednymi z kluczowych ekosystemów, które mogą pomóc w walce z lokalnymi osuszeniami, chroniąc lasy przed pożarami, są torfowiska na terenach leśnych. Dodatkowo odpowiednie warunki hydrologiczne panujące na określonym obszarze tworzą ochronę przed negatywnymi czynnikami pogodowymi, zaburzeniami funkcjonowania ekosystemów czy długofalowymi skutkami zmian klimatu, w tym przed pożarami.

Jednak w przypadku długotrwałej suszy lub na skutek drenażu torfowisk przez człowieka, gdy lokalne torfowiska są mocno odwodnione, zwiększa się niebezpieczeństwo zapłonu lasu i szybkiego rozprzestrzeniania się pożaru. Osuszony torf pogarsza tę sytuację, ponieważ duże pokłady materii organicznej stosunkowo łatwo ulegają zapłonowi (Kettridge i in. 2015), umożliwiając bardzo długie tlenie się ognia i zagrażając bezpieczeństwu całego ekosystemu. Tak zwane „zombie fires”, czyli tłące się pod powierzchnią torfu pożary, które mogą utrzymywać się przez kilka miesięcy, były obserwowane w ostatnich latach w lasach Syberii (Witze 2020), Indonezji (Harris i in. 2015; Dunne 2020) oraz Alaski i Kanady (Scholten i in. 2021). Pożary powodują emisję ogromnych ilości dwutlenku węgla do atmosfery, uwalniając węgiel zakumulowany w przeciągu ostatnich kilkudziesięciu czy kilkuset (drzewa) albo nawet kilku tysięcy lat (torfowiska) (Turetsky i in. 2015). Z tego względu ochrona torfowisk w lasach oraz zachowanie ich dobrego stanu hydrologicznego (Lamentowicz i in. 2019a) są niezbędne, aby utrzymać obszary leśne w dobrej kondycji.

W Europie centralnej w okresie holocenu aktywność pożarowa zmieniała się wraz ze zmianami klimatycznymi i działalnością człowieka (Dietze i in. 2018; Feurdean i in. 2020). Dzięki badaniom paleoekologicznym i analizie fosylnych szczątków roślin, mikroorganizmów i węgla drzewnych zakumulowanych w osadach możemy określić, jak w przeszłości następowały m.in. zmiany roślinności, zmiany hydrologiczne, jak zmieniała się aktywność pożarowa oraz częstotliwość

i typy zaburzeń torfowisk i lasów (Lamentowicz i in. 2017). W Polsce, ze względu na lokalne uwarunkowania klimatyczne, aktywność pożarowa może mieć inny charakter na wschodzie i zachodzie kraju, w zależności od tego, czy obserwujemy dominację klimatu kontynentalnego czy oceanicznego. Także aktywność lokalnej ludności w poszczególnych regionach kraju miała duży wpływ na zagrożenie pożarami. W ostatnich kilku tysiącach lat w Polsce zauważono dużą zmienność przestrzenną w aktywności pożarowej, jednak badań paleoekologicznych podejmujących ten temat jest wciąż stosunkowo niewiele. Badania porównujące wpływ klimatu kontynentalnego i oceanicznego na aktywność pożarową w północnej Polsce wykazały, że w przeszłości pożary występowały częściej na obszarach zdominowanych przez klimat kontynentalny, jednak na wszystkich badanych terenach zaobserwowano wzrost aktywności pożarowej w ostatnich 400 latach, który był związany ze wzrostem działalności człowieka (Marcisz i in. 2017). Inne prace z obszaru Polski również wykazały związek pomiędzy zwiększoną aktywnością pożarową a spadkiem poziomu wody (Gałka i in. 2013; Lamentowicz i in. 2015, 2019b, 2020; Marcisz i in. 2015, 2019; Milecka i in. 2017) oraz działalnością człowieka, m.in. rolnictwem czy zarządzaniem lasem (Dietze i in. 2019; Lamentowicz i in. 2019b, 2020; Marcisz i in. 2019; Słowiński i in. 2019).

Metody badań emisji węgla z torfowisk w kontekście antropogenicznych zmian klimatu

Jak wspomniano, torfowiska stanowią jedno z największych zbiorników węgla w biosferze, a jego zasoby w nich zgromadzone są skutkiem dynamicznej wymiany tego pierwiastka z otoczeniem (głównie atmosferą) (Roulet i in. 2007). Bilans węgla torfowiska składa się z następujących elementów:

$$F_{n_C} = F_{n_{CO_2}} + F_{n_{CH_4}} + F_{n_{VOC}} + F_{n_{DOC}}$$

gdzie:

F_{n_C} – saldo węgla torfowiska;

$F_{n_{CO_2}}$ – saldo wymiany węgla w formie dwutlenku węgla;

$F_{n_{CH_4}}$ – saldo wymiany węgla w formie metanu;

$F_{n_{VOC}}$ – saldo wymiany węgla w formie lotnych związków organicznych;

$F_{n_{DOC}}$ – saldo wymiany węgla rozpuszczonego w wodzie.

Kluczowym elementem kształtującym bilans węgla torfowiska jest saldo wymiany dwutlenku węgla ($F_{n_{CO_2}}$), które jest efektem dwóch przeciwstawnych procesów: pochłaniania, wynikającego z procesu fotosyntezy, oraz emisji, będącej skutkiem oddychania roślin (autotrofów), zwierząt oraz mikroorganizmów – w szczególności tych przyczyniających się do rozkładu biomasy organicznej w torfie.

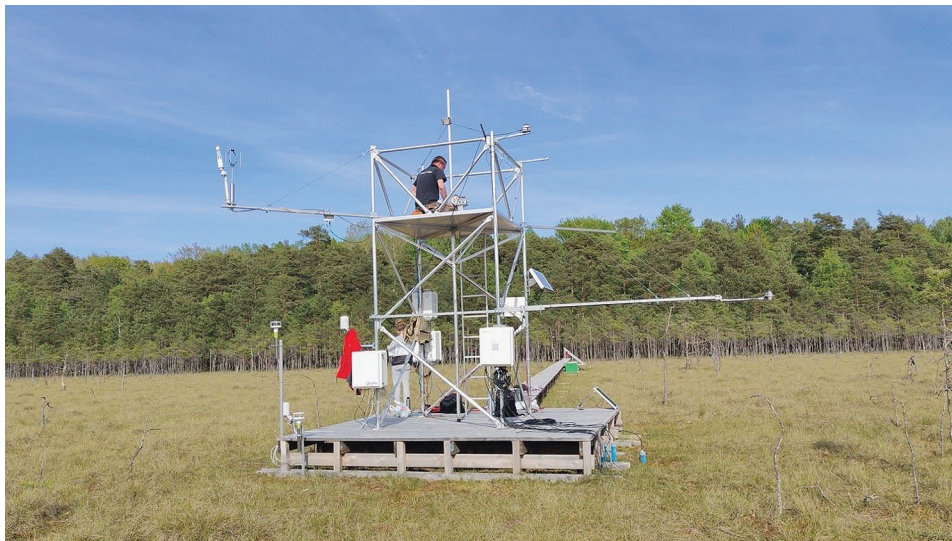
Drugim procesem, ważnym pod względem ilościowym, jest wymiana CH_4 między torfowiskiem a atmosferą. Procesy rozkładu materii organicznej w beztlenowych warunkach katotelmu (strefa nasycona wodą) prowadzą do produk-

cji CH_4 , podczas gdy w warstwie napowietrzanej (akrotelm) dochodzić może do rozkładu (utleniania) tego gazu przez bakterie metanotroficzne. W ten sposób emisja netto metanu ($F_{n_{\text{CH}_4}}$) jest różnicą między intensywnością opisanych powyżej procesów. Mianem „lotne związki organiczne” (LZO, ang. VOC) określana jest grupa setek związków, których składnikiem jest węgiel, a ich powstawanie oraz emisja są skutkiem złożonych przemian biochemicznych zarówno w podłożu, jak i w roślinach. Wielkość salda wymiany LZO ($F_{n_{\text{VOC}}}$) zależy od warunków termicznych i wilgotnościowych panujących na torfowisku (Seco i in. 2020). Jednocześnie należy pamiętać, że wielkość strumieni tych gazów jest niezwykle mała i nie tworzy ważnego ilościowo komponentu bilansu węgla torfowiska.

Piątym w przedstawionym równaniu elementem bilansu węgla torfowiska jest saldo węgla rozpuszczonego w wodzie podziemnej docierającej i opuszczającej ekosystem. Na przykład zaburzenie funkcjonowania torfowiska, polegające na radykalnym obniżeniu zwierciadła wody gruntowej w profilu torfowym, spowoduje emisję netto CO_2 oraz znaczącą redukcję emisji netto CH_4 . Wywołany w ten sposób proces mineralizacji biomasy powoduje także zwiększonym odpływem związków organicznych zawierających węgiel rozpuszczony (DOC) w wodzie odpływającej z torfu. Wielkość tego strumienia w dużej mierze wynika z zaburzenia stosunków wodnych w ekosystemie. Z drugiej strony, sytuacja, w której torfowisko jest silnie uwilgotnione, powoduje pochłanianie CO_2 (dodatnie saldo), emisję netto CH_4 , a odpływ DOC maleje. Tak więc odpowiedni, kontrolowany poziom uwilgotnienia w kontekście metod odtwarzania torfowiska jest gwarancją stabilności struktury bilansu węgla tego ekosystemu (ciągłości procesu torfotwórczego).

Opisany wyżej bilans węgla torfowiska definiuje dwie grupy technik służących do oceny wielkości wymiany C między torfowiskiem a jego otoczeniem. Pomiary strumieni związków węgla, które torfowisko wymienia z atmosferą (CO_2 , CH_4 i VOC), realizowane są za pomocą różnych technik, jednak najczęściej (w warunkach polowych) stosowane są metoda kowariancji wirów (EC, ang. Eddy Covariance) oraz komorowa (CH). Pierwsza polega na jednoczesnych szybkich pomiarach pionowych fluktuacji ruchów powietrza i stężeń interesujących gazów, podczas gdy druga opiera się na zamykaniu porcji powietrza znajdującej się nad badaną powierzchnią, w której wykonywane są pomiary stężeń badanych gazów. Obie techniki mają określone wady i zalety, np. metoda kowariancji wirów pozwala na oszacowanie wymiany netto w skali przestrzennej całego ekosystemu (kilkaset metrów kwadratowych), natomiast metoda komorowa służy do określania wymiany w skali niewielkich powierzchni (poniżej 1 m^2). W ten sposób wielkość badanego obiektu warunkuje rodzaj zastosowanej metody pomiarowej. Pomiary salda wymiany węgla rozpuszczonego w wodzie polegają na monitoringu przepływu wody przez torfowisko oraz badaniu zawartości węgla (Strack, Zuback 2013).

Badania bilansu węgla torfowisk w Polsce mają stosunkowo krótką historię. Obecnie wykonywane są ciągle pomiary wymiany ciepła i masy na trzech stanowiskach pomiarowych ulokowanych na następujących torfowiskach:



Ryc. 4. Pomiary przepływu CO₂ metodą kowariancji wirów na torfowisku Bagno Kusowo (fot. B. Chojnicki)

- Rzecin – na terenie Puszczy Noteckiej (woj. wielkopolskie). Jest to torfowisko przejściowe powstałe w wyniku procesu zarastania jeziora (Chojnicki i in. 2010). Na tym obiekcie od 2004 r. prowadzone są pomiary wymiany CO₂ i CH₄ zarówno metodą kowariancji wirów, jak i metodą komorową (Juszczak i in. 2012).
- Kopytkowo – na terenie Biebrzańskiego Parku Narodowego (woj. podlaskie) w środowowej części doliny Biebrzy. Jest to nieco przesuszone torfowisko niskie. Od 2013 r. prowadzone są na nim obserwacje CO₂ i CH₄ metodą kowariancji wirów (Siedlecki i in. 2016).
- Kusowo – na terenie rezerwatu Bagno Kusowo (woj. zachodniopomorskie). W obrębie tego wysokiego torfowiska bałtyckiego realizowane są obserwacje wymiany netto CO₂ (od 2019 r.) metodą kowariancji wirów (ryc. 4).

Pomiary komorowe odbywały się na kilku stanowiskach w Polsce. Przykładowo od 2013 do 2015 r. prowadzone były pomiary emisji netto CO₂ metodą komorową na zdegradowanym torfowisku wysokim w okolicach wsi Linje w województwie kujawsko-pomorskim (Lamentowicz i in. 2016). Uzyskane wyniki wskazują na dużą czułość ekosystemów podmokłych zarówno na zmiany temperatury oraz głębokości zalegania poziomu wody (Samson i in. 2018; Fortuniak i in. 2020), jak i zmiany parametrów optycznych atmosfery (Harenda i in. 2021). Zastosowane techniki pomiarowe pozwalają na nieinwazyjny i skuteczny monitoring wymiany związków węgla między torfowiskami a atmosferą, jednak skala przeprowadzonych badań jest wciąż niewystarczająca do efektywnego opisu reakcji torfowisk na obserwowaną obecnie zmianę klimatu.

Emisja węgla z torfowisk w lasach i perspektywy restytucji

Torfowiska zachowane w stanie naturalnym (bagiennym) mają z zasady ujemny bilans węgla, ponieważ emisja metanu, ze średnią dla torfowisk półkuli północnej wynoszącą 90 kg CH₄-C ha/rok (Abdalla i in. 2016), jest z nadkładem kompensowana przez absorpcję dwutlenku węgla na średnim poziomie 300 kg CO₂-C ha/rok (Frolking i in. 2011). Efekt klimatyczny jest jednak bardziej skomplikowany niż prosty bilans wymiany węgla między torfowiskiem a atmosferą, ponieważ, z jednej strony, metan jest znacznie silniejszym gazem cieplarnianym niż dwutlenek węgla, ale z drugiej, jego czas utrzymywania się w atmosferze jest stosunkowo krótki i po około dziewięciu latach utlenia się do CO₂. Przelicznik wymuszenia radiacyjnego metanu na dwutlenek węgla zależy więc od rozpatrywanego okresu – im jest on dłuższy, tym mniejsza jest przewaga CH₄ nad CO₂. Dlatego wpływ naturalnych torfowisk na efekt cieplarniany (ich wymuszenie radiacyjne) zależy od długości rozpatrywanego okresu. W krótkich oknach czasowych torfowiska mają dodatkowo wymuszenie radiacyjne (działają ogrzewająco), w średnich (kilkuletnich do kilkudziesięcioletnich) – są neutralne, a przy rozpatrywaniu okresów dłuższych niż kilkadziesiąt lat mają ujemne wymuszenie radiacyjne, czyli mogą być traktowane jako ochładzające klimat. Oznacza to, że dla właściwej oceny wpływu emisji z torfowisk na efekt cieplarniany musimy znać nie tylko aktualny bilans gazów cieplarnianych, ale również przyjąć scenariusze co do stabilności lub zmian torfowiska. Z powyższego wynika, że aby potraktować restytucję torfowisk przez ponowne nawodnienie jako łagodzenie zmian klimatu, musimy zagwarantować trwałość projektu co najmniej przez dziesiątki lat, a w praktyce – nieodwracalność.

O ile więc niezaburzone torfowiska powinniśmy traktować jako naturalną część ziemskiego systemu klimatycznego, o tyle wszelkie zmiany w bilansie gazów cieplarnianych spowodowane działalnością człowieka powinny być uwzględniane w bilansowaniu emisji antropogenicznych. Dotyczy to zarówno znaczącego wzrostu emisji spowodowanego osuszeniem i gospodarką rolniczą lub leśną oraz wydobyciem torfu, jak i – z drugiej strony – restytucją przyrodniczą (renaturyzacją) torfowisk, która powoduje spadek emisji. Raportowanie tych emisji oraz ich redukcji powinno być ujmowane w raportach państw stron Konwencji Klimatycznej. Międzyrządowy Panel do spraw Zmiany Klimatu (IPCC) opublikował wytyczne dotyczące sposobów uwzględniania emisji wynikających z gospodarowania mokradłami w ramach tzw. „Wetland Supplement” (Hiraishi i in. 2014), który zawiera m.in. standardowe wskaźniki emisji gazów cieplarnianych z osuszonych torfowisk w zależności od regionu klimatycznego i sposobu ich zagospodarowania. Dla obejmującej większą część Polski strefy kontynentalnej klimatu umiarkowanego średnie emisje dwutlenku węgla kształtują się na poziomie mniej więcej od 10 do nawet 30 t CO₂ z hektara rocznie (czyli 2,5–8 t węgla CO₂-C) (tab. 1). Oznacza to, że tempo emisji węgla z torfowisk odwodnionych jest o rząd lub dwa rzędy wielkości wyższe niż tempo jego akumulacji w bagnach naturalnych.

Według wskaźników IPCC lasy jako forma użytkowania odwodnionych torfowisk mają znacząco niższe średnie emisje dwutlenku węgla niż wysoko produk-

Tabela 1. Zestawienie wartości współczynników emisji gazów cieplarnianych z odwodnionych torfowisk według IPCC (2014) dla różnych kategorii użytkowania gruntów w strefie miarkowanej. Emisje metanu uwzględniają emisje z rowów. Kalkulację całkowitego współczynnika ocieplenia globalnego (GPW = global warming potential) oparto na przeliczniku 28 dla CH₄. Na podstawie Kotowskiego (2021)

Kategoria użytkowania gruntów	t CO ₂	t DOC [ha ⁻¹ rok ⁻¹]	kg CH ₄	GWP (t ekw. CO ₂)
Lasy	9,53	1,14	7,9	12,1
Grunty orne	29,0	1,14	58,3	37,2
Łąki, mało zasobne w biogeny	19,4	1,14	60,0	24,0
Łąki, zasobne w biogeny, głęboko odwodnione	22,4	1,14	73,5	29,0
Łąki, zasobne w biogeny, płytko odwodnione	13,2	1,14	63,4	16,8
Obszary wydobycia torfu	10,3	1,14	33,2	12,4

tywne łąki czy pola orne (tab. 1). Wynika to z dość konserwatywnego oszacowania: przyjęto tu wartości średnie dla różnych ekosystemów leśnych na odwodnionych torfowiskach w umiarkowanej części Europy. Już wskaźniki wyliczone dla Niemiec są ponad dwa i pół razy wyższe i wynoszą 25,9 t CO₂ ha/rok (Tiemeyer i in. 2020). Trudno powiedzieć, które wartości są bardziej właściwe dla zalesionych torfowisk Polski, a z braku wystarczającej puli badań najbezpieczniej jest przyjąć konserwatywne wskaźniki IPCC. Ale to nie jedyne źródło niepewności, jeśli chodzi o oszacowanie emisji węgla (w postaci CO₂ i CH₄) z pokrytych lasem torfowisk Polski. W tym celu musimy znać precyzyjnie ich powierzchnię i stopień odwodnienia – niestety, w skali kraju brak jest dokładnych danych na ten temat. Baza danych GIS mokradła (Piórkowski 2007) dotyczy głównie obszarów nieleśnych. Dlatego powierzchnię torfowisk pokrytych lasami lepiej oszacować z wykorzystaniem Banku Danych o Lasach (www.bdl.lasy.gov.pl/portal/), identyfikując torfowiska na podstawie typów siedliskowych lasu (na torfie lub murszu występują bory bagienne, bory mieszane bagienne, lasy mieszane bagienne i olsy nizinne oraz górskie; częściowo zapewne również lasy i bory wilgotne). Stosując to kryterium, można oszacować powierzchnię torfowisk pokrytych lasem na 350 400 ha (Kotowski i in. 2017). Nie mając wiedzy o tym, jaka ich część jest osuszona (za pomocą czynnych systemów melioracyjnych lub wskutek regionalnego obniżenia zwierciadła wód podziemnych), można przyjąć założenie, że skala odwodnienia w lasach jest taka sama jak na obszarach nieleśnych i wynosi 90%. Przy takich założeniach pokryte lasami torfowiska Polski emitują około 2,8 mln t CO₂ i 2300 t metanu rocznie (oraz dodatkowo ok. 335 tys. t ekwiwalentów CO₂ jako rozpuszczony węgiel organiczny, czyli DOC), a ich całkowity potencjał wpływu na efekt cieplarniany (uwzględniający dodatkowo podtlenek azotu) wynosi 3,5 mln t ekw. CO₂ (Kotowski 2021, tab. 2). Jest to około 10% całkowitych emisji gazów cieplarnianych z torfowisk Polski; pozostałe około 30 Mt ekw. CO₂ pocho-

Tabela 2. Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych z torfowisk leśnych Polski przy założeniu skali odwodnienia równej torfowiskom nieleśnym (84%). Wyliczone dla powierzchni 294 336 ha

	t CO ₂	DOC t ekw. CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O	GWP t ekw. CO ₂
Standardowe współczynniki emisji z hektara	9,53	1,14	7,9	4,4	12,1
Całkowita roczna emisja z lasów (×1000)	2 805,0	335,5	2 325,3	1 295,0	3 561,5

dzi z torfowisk użytkowanych rolniczo. Pamiętajmy jednak, że do tego oszacowania przyjęto dość niskie uśrednione wskaźniki dla umiarkowanej strefy kontynentalnej, a zatem w rzeczywistości emisje te mogą być jeszcze wyższe.

Z perspektywy ochrony klimatu najważniejszą informacją jest to, że wysokie emisje gazów cieplarnianych z odwodnionych torfowisk są odwracalne. Niestety ponownie nawodnione, a wcześniej osuszone torfowiska są ekologicznie znacząco odmienne od tych, które osuszaliśmy, z reguły mają wyższą trofę, zaś dawny poziom różnorodności biologicznej i rzadkie gatunki są trudne do przywrócenia. Odtwarzanie zdegradowanych torfowisk może trwać dziesiątki, a nawet setki lat.

Trwałe podniesienie poziomu wody w pobliżu powierzchni gruntu pozwala bardzo znacznie ograniczyć mineralizację torfu, redukując emisje dwutlenku węgla nawet o 90–100%. Emisje metanu wprawdzie wzrastają, szczególnie w ciągu kilku lat po ponownym uwodnieniu torfowisk, ale pod względem ilościowym ich wpływ jest wciąż znacznie mniejszy niż efekt zahamowania emisji CO₂. Biorąc pod uwagę standardowe wskaźniki redukcji emisji po ponownym uwodnieniu, łatwo obliczyć, że nawadniając osuszone torfowiska w Polsce, można zredukować emisje gazów cieplarnianych prawie o 22 Mt ekw. CO₂ rocznie, przy czym 88% potencjalnych redukcji (12,1 Mt ekw. CO₂ rocznie) przypada na obszary rolnicze, a 11,7% (2,53 Mt ekw. CO₂ rocznie) na lasy (wyliczenia za Kotowskim (2021)). Osiągnięcie tych redukcji wymaga z reguły zrezygnowania lub znaczącej ekstenzyfikacji gospodarki leśnej na odtwarzanych terenach, ale jeśli uwzględnić zyski z działań mitygujących – przeliczane choćby na ceny dwutlenku węgla na rynku handlu emisjami albo w schematach wolontaryjnych offsetów klimatycznych – okaże się, że warto podjąć tę decyzję. A lasy bagienne, poza funkcją ochrony zasobów węgla, staną się jednym z największych obszarów retencji wody i odzyskają ogromne znaczenie jako ostoje bioróżnorodności.

Rekomendacje dla ochrony torfowisk w lasach

Torfowiskowe zasoby węgla w ekosystemach leśnych stanowią integralny zbiornik i pochłaniacz netto CO₂ z powietrza. Z tego powodu niezbędne są działania, które będą służyć nie tylko ochronie, ale także poprawieniu potencjału pochłaniania węgla lasów w Polsce. Jednocześnie należy zauważyć, że działania służące

ochronie i restytucji torfowisk w lasach wzmacniają odporność ekosystemów leśnych na zmiany klimatu.

W związku z tym proponowane są następujące działania:

1. Inwentaryzacja zasobów węgla w torfowiskach oraz oszacowanie zagrożeń tych ekosystemów wynikających zarówno ze strony człowieka, jak i zmiany klimatu. Opracowanie takie zrealizowane w skali całego kraju będzie stanowić podstawę do przygotowania ogólnych oraz szczegółowych zasad ochrony torfowisk.
2. Ochrona węgla, który jest zabezpieczony w torfowiskach – każde torfowisko w lesie powinno podlegać wyjątkowej ochronie, węgiel zawarty w torfie jest istotną wartością w kontekście adaptacji do zmian klimatu.
3. Opracowanie planu odtwarzania torfowisk w lasach – jedną z głównych zasad strategii odtwarzania torfowisk powinno być założenie priorytetu naturalnej restytucji torfowisk (odwołanie się do rozwiązań opartych na zasobach przyrody – ang. nature-based solutions).
4. Należy wprowadzić zakaz kopania zbiorników wodnych w torfowiskach oraz nakaz pozostawienia jeszcze istniejących mokradeł w nienaruszonym stanie jako podejścia bardziej efektywnego zarówno pod względem przyrodniczym, jak i ekonomicznym. Torfowiska są zbiornikami wody, choć często nie widać jej na powierzchni.
4. Wytypowanie i inwentaryzacja obszarów stanowiących potencjał retencji naturalnej (obszary podmokłe, naturalne niecki retencyjne, mokradła itp.) wraz z analizą możliwości ich wykorzystania oraz rekomendacjami zagospodarowania i ochrony.
6. Opracowanie ogólnopolskiego systemu ciągłej obserwacji torfowisk w lasach – monitoring przepływu węgla i dynamiki hydrologicznej.

Podziękowania

Opisane wyniki i dyskusja są efektem finansowania z grantów Narodowego Centrum Nauki nr: 2020/39/D/ST10/00641, 2017/27/B/ST10/02228, 2015/17/B/ST10/03430 i 2018/31/B/ST10/02498 oraz projektu „Ochrona cennych ekosystemów Borów Tucholskich” finansowanego z Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego na lata 2014–2021 w ramach Programu „Środowisko, Energia i Zmiany Klimatu”.

Literatura

- Abdalla M., Hastings A., Truu J., Espenberg M., Mander Ü., Smith P. 2016. Emissions of methane from northern peatlands: a review of management impacts and implications for future management options. *Ecology and Evolution* 6: 7080–7102.
- Bartczak A., Słowińska S., Tyszkowski S., Kramkowski M., Kaczmarek H., Kordowski J., Słowiński M. 2018. Ecohydrological changes and resilience of a shallow lake ecosystem under intense human pressure and recent climate change. *Water* 11(1): 32.

- Biały K. 1999. Dowolność wyróżniania typów siedliskowych lasu i projektowania składów docelowych drzewostanów w obrębie gleb bielicoziemnych. *Sylwan* 143(5): 65–72.
- Biedermann P.H.W., Müller J., Grégoire J.-C., Gruppe A., Hage J., Hammerbacher A., Hofstetter R.W., Kandasamy D., Kolarik M., Kostovcik M., Krokene P., Sallé A., Six D.L., Turrini T., Vanderpool D., Wingfield M.J., Bässler C. 2019. Bark beetle population dynamics in the Anthropocene: Challenges and solutions. *Trends in Ecology & Evolution* 34: 914–924.
- Booth R.K., Ireland A.W., LeBoeuf K., Hessel A. 2016. Late Holocene climate-induced forest transformation and peatland establishment in the central Appalachians. *Quaternary Research* 85(2): 204–210.
- Broda J. 2000. *Historia leśnictwa w Polsce*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań.
- Bucała-Hrabia A. 2018. Land use changes and their catchment-scale environmental impact in the Polish Western Carpathians during transition from centrally planned to free-market economics. *Geographia Polonica* 91(2): 171–196.
- Chambers F.M. (red.) 1993. *Climate change and human impact on the landscape: studies in palaeoecology and environmental archaeology*. Chapman & Hall, London–New York.
- Charman D. 2002. *Peatlands and environmental change*. Wiley, Chichester.
- Chojnicki B.H., Michalak M., Acosta M., Juszcak R., Augustin J., Drösler M., Olejnik J. 2010. Measurements of carbon dioxide fluxes by chamber method at the Rzecin wetland ecosystem, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies* 19(2): 283–291.
- Czajka S. 1987. *Ochotnica – dzieje gorczańskiej wsi 1416–1986*. Wydawnictwo Karkonoskie Towarzystwo Naukowe, Jelenia Góra.
- Czerwiński S., Guzowski P., Karpińska-Kołaczek M., Lamentowicz M., Gałka M., Kołaczek P., Izdebski A., Poniat R. 2019. Znaczenie wspólnych badań historycznych i paleoekologicznych nad wpływem człowieka na środowisko. Przykład ze stanowiska Kazanie we wschodniej Wielkopolsce. *Studia Geohistorica* 7: 56.
- Czerwiński S., Guzowski P., Lamentowicz M., Gałka M., Karpińska-Kołaczek M., Poniat R., Łokas E., Diaconu A.-C., Schwarzer J., Miecznik M., Kołaczek P. 2021. Environmental implications of past socioeconomic events in Greater Poland during the last 1200 years. Synthesis of paleoecological and historical data. *Quaternary Science Reviews* 259: 106902.
- Czerwiński S., Margielewski W., Gałka M., Kołaczek P. 2020. Late Holocene transformations of lower montane forest in the Beskid Wyspowy Mountains (Western Carpathians, Central Europe): a case study from Mount Mogielica. *Palynology* 44(2): 355–368.
- Dietze E., Brykała D., Schreuder L.T., Jażdżewski K., Blarquez O., Brauer A., Dietze M., Obremska M., Ott F., Pieńczewska A., Schouten S., Hopmans E.C., Słowiński M. 2019. Human-induced fire regime shifts during 19th century industrialization: A robust fire regime reconstruction using northern Polish lake sediments. *PLOS ONE* 14: e0222011.
- Dietze E., Theuerkauf M., Bloom K., Brauer A., Dörfler W., Feeser I., Feurdean A., Gedminienė L., Giesecke T., Jahns S., Karpińska-Kołaczek M., Kołaczek P., Lamentowicz M., Latałowa M., Marcisz K., Obremska M., Pędziszewska A., Poska A., Rehfeld K., Stančikaitė M., Stivrins N., Święta-Musznicka J., Szal M., Vassiljev J., Veski S., Wacnik A., Weisbrodt D., Wiethold J., Vannièrè B., Słowiński M. 2018. Holocene fire activity during low-natural flammability periods reveals scale-dependent cultural human-fire relationships in Europe. *Quaternary Science Reviews* 201: 44–56.
- Dunne D. 2020. *Explainer: How climate change is affecting wildfires around the world*. Carbon Brief (<https://www.carbonbrief.org/explainer-how-climate-change-is-affecting-wildfires-around-the-world>).

- Ellis E.C., Beusen A.H.W., Goldewijk K.K. 2020. Anthropogenic biomes: 10,000 BCE to 2015 CE. *Land* 9(5): 129.
- Feurdean A., Vanni re B., Finsinger W., Warren D., Connor S.C., Forrest M., Liakka J., Panait A., Werner C., Andri  M., Bobek P., Carter V.A., Davis B., Diaconu A.-C., Dietze E., Feeser I., Florescu G., Ga ka M., Giesecke T., Jahns S., Jamrichov E., Kajuka o K., Kaplan J., Karpi nska-Ko aczek M., Ko aczek P., Kuneš P., Kupriyanov D., Lamentowicz M., Lemmen C., Magyari E.K., Marcisz K., Marinova E., Niamir A., Novenko E., Obremaska M., P dziszewska A., Pfeiffer M., Poska A., R sch M., S owi nski M., Stan ikait  M., Szal M., Świ ta-Musznicka J., Tan au I., Theuerkauf M., Tonkov S., Valk  O., Vassiljev J., Veski S., Vincze I., Wacnik A., Wiethold J., Hickler T. 2020. Fire hazard modulation by long-term dynamics in land cover and dominant forest type in eastern and central Europe. *Biogeosciences* 17: 1213–1230.
- Fortuniak K., Pawlak W., Siedlecki M., Chambers S., Bednorz L. 2021. Temperate mire fluctuations from carbon sink to carbon source following changes in water table. *Science of the Total Environment* 756: 144071.
- 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: 371–396.
- Ga ka M., Miotk-Szpiganowicz G., Goslar T., Je sko 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.
- Gillson L., Whitlock C., Humphrey G. 2019. Resilience and fire management in the Anthropocene. *Ecology and Society* 24(3): 14.
- Harenda K.M., Samson M., Juszczak R., Markowicz K.M., Stachlewska I.S., Kleniewska M., MacArthur A., Sch ttemeyer D., Chojnicki B.H. 2021. Impact of Atmospheric Optical Properties on Net Ecosystem Productivity of Peatland in Poland. *Remote Sensing* 13: 2124.
- Harris N., Minnemeyer S., Stolle F. 2015. Indonesia’s fire outbreaks producing more daily emissions than entire US Economy (<https://www.wri.org/insights/indonesias-fire-outbreaks-producing-more-daily-emissions-entire-us-economy>).
- Hildebrandt-Radke I., Makohonienko M. 2011. Krajobraz kulturowy Wielkopolski w prazdiejach i czasach historycznych: wprowadzenie. *Landform Analysis* 16: 17–19.
- Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M., Troxler T.G. (red.) 2014. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. IPCC.
- Holden J., Chapman P.J., Lane S.N., Brookes C. 2006. Impacts of artificial drainage of peatlands on runoff production and water quality. [W:] I.P. Martini, A. Martínez Cortizas, W. Chesworth (red.), *Developments in Earth Surface Processes*. Elsevier, s. 501–528.
- Ilnicki P. 2002. Torfowiska i torf. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Pozna .
- Ireland A.W., Booth R.K. 2012. Upland deforestation triggered an ecosystem state-shift in a kettle peatland. *Journal of Ecology* 100(3): 586–596.
- Jactel H., Nicoll B.C., Branco M., Gonzalez-Olabarria J.R., Grodzki W., Langstr m B., Moreira F., Netherer S., Orazio C., Piou D., Santos H., Schelhaas M.J., Tojic K., Vode F. 2009. The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Annals of Forest Science* 66: 701–701.
- Jankowski M. 2014. Biellicowanie jako wtórny proces w glebach rdzawych Brodnickiego Parku Krajobrazowego. [W:] M. Świtoniak, M. Jankowski, R. Bednarek R. (red.), An-

- tropogeniczne przekształcenia pokrywy glebowej Brodnickiego Parku Krajobrazowego. Wyd. Naukowe UMK, Toruń, s. 9–24.
- Juszczak R., Acosta M., Olejnik J. 2012. Comparison of daytime and nighttime ecosystem respiration measured by the closed chamber technique on a temperate mire in Poland. *Polish Journal of Environmental Studies* 21(3): 643–658.
- Kaplan J.O., Krumhardt K.M., Zimmermann N. 2009. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews* 28(27–28): 3016–3034.
- Kapustová V., Pánek T., Hradecký J., Zernitskaya V., Hutchinson S.M., Mulková M., Sedláček J., Bajer V. 2018. Peat bog and alluvial deposits reveal land degradation during 16th- and 17th-century colonisation of the Western Carpathians (Czech Republic). *Land Degradation & Development* 29(4): 894–906.
- Kettridge N., Turetsky M.R., Sherwood J.H., Thompson D.K., Miller C.A., Benscoter B.W., Flannigan M.D., Wotton B.M., Waddington J.M. 2015. Moderate drop in water table increases peatland vulnerability to post-fire regime shift. *Scientific Reports* 5: 8063.
- Kołaczek P., Fiałkiewicz-Kozieł B., Karpińska-Kołaczek M., Gałka M. 2010. The last two millennia of vegetation development and human activity in the Orawa-Nowy Targ Basin (south-eastern Poland). *Acta Palaeobotanica* 50: 133–148.
- Kołaczek P., Margielewski W., Gałka M., Karpińska-Kołaczek M., Buczek K., Lamentowicz M., Borek A., Zernitskaya V., Marcisz K. 2020. Towards the understanding the impact of fire on the lower montane forest in the Polish Western Carpathians during the Holocene. *Quaternary Science Reviews* 229: 106137.
- Kotowski W. 2021. Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych z użytkowania gleb organicznych w Polsce oraz potencjału ich redukcji. Fundacja WWF, Polska.
- Kotowski W., Dembek W., Pawlikowski P. 2017. Poland. [W:] H. Joosten, F. Tanneberger, A. Moen (red.), *European Mires*. Schweizerbart Science, Stuttgart, s. 549–671.
- Lamentowicz M. 2005. Geneza torfowisk naturalnych i seminaturalnych w Nadleśnictwie Tuchola. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Lamentowicz M., Balwierz Z., Forysiak J., Płóciennik M., Kittel P., Kloss M., Twardy J., Żurek S., Pawlyta J. 2009. Multiproxy study of anthropogenic and climatic changes in the last two millennia from a small mire in central Poland. *Hydrobiologia* 631(1): 213–230.
- Lamentowicz M., Gałka M., Marcisz K., Słowiński M., Kajukało-Drygalska K., Dayras M.D., Jassey V.E.J. 2019a. Unveiling tipping points in long-term ecological records from Sphagnum-dominated peatlands. *Biology Letters* 15(4): 20190043.
- Lamentowicz M., Gałka M., Milecka K., Tobolski K., Lamentowicz Ł., Fiałkiewicz-Kozieł B., Blaauw M. 2013. A 1300-year multi-proxy, high-resolution record from a rich fen in northern Poland: reconstructing hydrology, land use and climate change. *Journal of Quaternary Science* 28(6): 582–594.
- Lamentowicz M., Karpińska-Kołaczek M., Guzowski P., Izdebski A., Czerwiński S., Marcisz K., Gałka M., Łuców D., Słowiński M., Kołaczek P. 2019c. Znaczenie wysokorozdzielczych wielowskaźnikowych (multi-proxy) badań paleoekologicznych dla geografii historycznej i historii gospodarczej. *Studia Geohistorica* 30–55.
- Lamentowicz M., Kołaczek P., Mauquoy D., Kittel P., Łokas E., Słowiński M., Jassey V.E.J., Niedziółka K., Kajukało-Drygalska K., Marcisz K. 2019b. Always on the tipping point – A search for signals of past societies and related peatland ecosystem critical transitions during the last 6500 years in N Poland. *Quaternary Science Reviews* 225: 105954.
- Lamentowicz M., Marcisz K., Guzowski P., Gałka M., Diaconu A.C., Kołaczek P. 2020. How Joannites' economy eradicated primeval forest and created anthroecosystems in medieval Central Europe. *Scientific Reports* 10(1): 18775.

- Lamentowicz M., Mueller M., Gałka M., Barabach J., Milecka K., Goslar T., Binkowski M. 2015. 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., Jasse V., Chojnicki B., Reczuga M., Zielińska M., Marcisz K., Lamentowicz Ł., Barabach J., Samson M., Kołaczek P., Buttler A. 2016. Combining short-term manipulative experiments with long-term paleoecological investigations at high resolution to assess the response of Sphagnum peatlands to drought, fire and warming. *Mires and Peat* 18: 1–17.
- Lamentowicz M., Słowińska S., Słowiński M., Marcisz K., Buttler A., Chojnicki B.H., Jasse V.E.J., Juszczak R., Kajukało K., Kołaczek P., Lamentowicz Ł., Łuców D., Reczuga M.K., Samson M., Zielińska M., Harenda K., Barabach J., Tobolski K., Gałka M. 2017. Znaczenie badań interdyscyplinarnych dla zrozumienia zaburzeń torfowisk w lasach. *Studia i Materiały CEPL* 19, 51 (2): 77–92.
- Lamentowicz M., Tobolski K., Mitchell E.A.D. 2007. Palaeoecological evidence for anthropogenic acidification of a kettle-hole peatland in northern Poland. *The Holocene* 17(8): 1185–1196.
- Latałowa M., Zimny M., Jędrzejewska B., Samojlik T. 2015. Białowieża Primeval Forest: A 2000-year interplay of environmental and cultural forces in Europe's best preserved temperate woodland. [W:] K.J. Kirby, C. Watkins (red.), *Europe's Changing Woods and Forests: From Wildwood to Managed Landscapes*. CABI, Wallingford, s. 243–264.
- Loisel J., Gallego-Sala A.V., Amesbury M.J., Magnan G., Anshari G., Beilman D.W., Benavides J.C., Blewett J., Camill P., Charman D.J., Chawchai S., Hedgpeth A., Kleinen T., Korhola A., Large D., Mansilla C.A., Müller J., van Bellen S., West J.B., Yu Z., Bubier J.L., Garneau M., Moore T., Sannel A.B.K., Page S., Väiliranta M., Bechtold M., Brovkin V., Cole L.E.S., Chanton J.P., Christensen T.R., Davies M.A., De Vleeschouwer F., Finckelstein S.A., Frolking S., Gałka M., Gandois L., Girkin N., Harris L.I., Heinemeyer A., Hoyt A.M., Jones M.C., Joos F., Juutinen S., Kaiser K., Lacourse T., Lamentowicz M., Larmola T., Leifeld J., Lohila A., Milner A.M., Minkinen K., Moss P., Naafs B.D.A., Nichols J., O'Donnell J., Payne R., Philben M., Piilo S., Quillet A., Ratnayake A.S., Roland T.P., Sjögersten S., Sonnentag O., Swindles G.T., Swinnen W., Talbot J., Treat C., Valach A.C., Wu J. 2021. Expert assessment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. *Nature Climate Change* 11: 70–77.
- Łuców D., Lamentowicz M., Kołaczek P., Łokas E., Lane C., Tjallingii R., Słowiński M. 2018. An impact of past catastrophic deforestations on the hydrology of Sphagnum peatland in Northern Poland. *Geophysical Research Abstracts* 20.
- Marcisz K., Gałka M., Pietrala P., Miotk-Szpiganowicz G., Obremska M., Tobolski K., Lamentowicz M. 2017. Fire activity and hydrological dynamics in the past 5700 years reconstructed from Sphagnum peatlands along the oceanic–continental climatic gradient in northern Poland. *Quaternary Science Reviews* 177: 145–157.
- Marcisz K., Lamentowicz M., Gałka M., Colombaroli D., Adolf C., Tinner W. 2019. Responses of vegetation and testate amoeba trait composition to fire disturbances in and around a bog in central European lowlands (northern Poland). *Quaternary Science Reviews* 208: 129–139.
- Marcisz K., Tinner W., Colombaroli D., Kołaczek P., Słowiński M., Fiałkiewicz-Kozieł B., Łokas E., Lamentowicz M. 2015. Long-term hydrological dynamics and fire history over the last 2000 years in CE Europe reconstructed from a high-resolution peat archive. *Quaternary Science Reviews* 112: 138–152.

- Margielewski M. 2006. Records of the Late Glacial-Holocene palaeoenvironmental changes in landslide forms and deposits of the Beskid Makowski and Beskid Wyspowy Mts. Area (Polish Outer Carpathians). *Folia Quaternaria* 76: 1–149.
- Margielewski W., Kołaczek P., Michczyński A., Obidowicz A., Pazdur A. 2011. Record of the meso- and neoholocene palaeoenvironmental changes in the Jesionowa landslide peat bog (Beskid Sądecki Mts. Polish Outer Carpathians). *Geochronometria* 38(2): 138–154.
- Margielewski W., Michczyński A., Obidowicz A. 2010. Records of the Middle – and Late Holocene palaeoenvironmental changes in the Pcim-Sucha landslide peat bogs (Beskid Makowski Mts., Polish Outer Carpathians). *Geochronometria* 35: 11–23.
- Michczyński A., Kołaczek P., Margielewski W., Michczyńska D., Obidowicz A. 2013. Radiocarbon age-depth modeling prevents misinterpretation of past vegetation dynamics: Case study of Wierchomla Mire (Polish Outer Carpathians). *Radiocarbon* 55(3): 1724–1734.
- Milecka K., Kowalewski G., Fiałkiewicz-Kozieł B., Gałka M., Lamentowicz M., Chojnicki B.H., Goslar T., Barabach J. 2017. Hydrological changes in the Rzecin peatland (Central Europe) induced by anthropogenic factors: implications for carbon sequestration. *The Holocene* 27: 651–664.
- Okruszko H. 1976. Wpływ melioracji wodnych na gleby organiczne w warunkach Polski. *Zeszyty Problemów Postępów Nauk Rolniczych* 177: 159–204.
- Paavilainen E., Päivänen J. 1995. Peatland forestry: ecology and principles. *Ecological Studies* 111. Springer Science & Business Media.
- Piórkowski H., Oświecimska-Piasko Z., Dembek W., Ostrowski J. 2007. System informacji przestrzennej o mokradłach w Polsce i możliwości jego wykorzystania. *Roczniki Geomatyki – Annals of Geomatics* 5: 69–79.
- Pretzsch H., Schütze G., Uhl E. 2013. Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology* 15(3): 483–495.
- Price J., Evans C., Evans M., Allott T., Shuttleworth E. 2016. Peatland restoration and hydrology. [W:] A. Bonn, T. Allott, M. Evans, H. Joosten, R. Stoneman (red.), *Peatland Restoration and Ecosystem Services*. Cambridge University Press, Cambridge, s. 77–94.
- Ratcliffe S., Wirth C., Jucker T., van der Plas F., Scherer-Lorenzen M., Verheyen K., Allan E., Benavides R., Bruelheide H., Ohse B., Paquette A., Ampoorter E., Bastias C.C., Bauhus J., Bonal D., Bouriaud O., Bussotti F., Carnol M., Castagnyrol B., Češko E., Dawud S.M., Wandeler H.D., Domisch T., Finér L., Fischer M., Fotelli M., Gessler A., Granier A., Grossiord C., Guyot V., Haase J., Hättenschwiler S., Jactel H., Jaroszewicz B., Joly F.-X., Kambach S., Kolb S., Koricheva J., Liebergesell M., Milligan H., Müller S., Muys B., Nguyen D., Nock C., Pollastrini M., Purschke O., Radoglou K., Raulund-Rasmussen K., Roger F., Ruiz-Benito P., Seidl R., Selvi F., Seiferling I., Stenlid J., Valla-dares F., Vesterdal L., Baeten L. 2017. Biodiversity and ecosystem functioning relations in European forests depend on environmental context. *Ecology Letters* 20: 1414–1426.
- Roulet N.T., Lafleur P.M., Richard P.J.H., Moore T.R., Humphreys E.R., Bubier J. 2007. Contemporary carbon balance and late Holocene carbon accumulation in a northern peatland. *Global Change Biology* 13(2): 397–411.
- Sabatini F.M., Bluhm H., Kun Z., Aksenov D., Atauri J.A., Buchwald E., Burrascano S., Cateau E., Diku A., Duarte I.M., Fernández López Á.B., Garbarino M., Grigoriadis N., Horváth F., Keren S., Kitenberga M., Kiš A., Kraut A., Ibisch P.L., Larrieu L., Lombardi F., Matovic B., Melu R.N., Meyer P., Midteng R., Mikac S., Mikoláš M., Mozgeris G., Panayotov M., Pisek R., Nunes L., Ruete A., Schickhofer M., Simovski B., Stillhard J., Stojanovic D., Szwagrzyk J., Tikkanen O.-P., Toromani E., Volosyanchuk R., Vrška T.,

- Waldherr M., Yermokhin M., Zlatanov T., Zagidullina A., Kuemmerle T. 2021. European primary forest database v2.0. *Scientific Data* 8: 220.
- Samojlik T., Rotherham I.D., Jędrzejewska B. 2013. Quantifying historic human impacts on forest environments: A case study in Białowieża Forest, Poland. *Environmental History* 18(3): 576–602.
- Samson M., Słowińska S., Słowiński M., Lamentowicz M., Barabach J., Harenda K., Zielińska M., Robroek B.J.M., Jassey V.E.J., Buttler A., Chojnicki B.H. 2018. The impact of experimental temperature and water level manipulation on carbon dioxide release in a poor fen in Northern Poland. *Wetlands* 38: 551–563.
- Scholten R.C., Jandt R., Miller E.A., Rogers B.M., Veraverbeke S. 2021. Overwintering fires in boreal forests. *Nature* 593(7859): 399–404.
- Seco R., Holst T., Matzen M.S., Westergaard-Nielsen A., Li T., Simin T., Jansen J., Crill P., Friborg T., Rinne J., Rinnan R. 2020. Volatile organic compound fluxes in a subarctic peatland and lake. *Atmospheric Chemistry and Physics* 20: 13399–13416.
- Seidl R., Honkaniemi J., Aakala T., Aleinikov A., Angelstam P., Bouchard M., Boulanger Y., Burton P.J., De Grandpré L., Gauthier S., Hansen W.D., Jepsen J.U., Jögiste K., Kneeshaw D.D., Kuuluvainen T., Lisitsyna O., Makoto K., Mori A.S., Pureswaran D.S., Shorohova E., Shubnitsina E., Taylor A.R., Vladimirova N., Vodde F., Senf C. 2020. Globally consistent climate sensitivity of natural disturbances across boreal and temperate forest ecosystems. *Ecography* 43: 967–978.
- Seidl R., Rammer W. 2017. Climate change amplifies the interactions between wind and bark beetle disturbances in forest landscapes. *Landscape Ecology* 32(7): 1485–1498.
- Seidl R., Schelhaas M.-J., Rammer W., Verkerk P.J. 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change* 4: 806–810.
- Senf C., Seidl R. 2021. Storm and fire disturbances in Europe: Distribution and trends. *Global Change Biology* 27(15): 3605–3619.
- Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., Wild J., Ascoli D., Petr M., Honkaniemi J., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel T.A., Reyer C.P.O. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7: 395–402.
- Siedlecki M., Pawlak W., Fortuniak K., Zieliński M. 2016. Wetland evapotranspiration: Eddy covariance measurement in the Biebrza Valley, Poland. *Wetlands* 36(6): 1055–1067.
- Sierota Z., Grodzki W., Szczepkowski A. 2019. Abiotic and biotic disturbances affecting forest health in Poland over the past 30 years: impacts of climate and forest management. *Forests* 10(1): 75.
- 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(4): 779–787.
- Słowiński M., Lamentowicz M., Łuców D., Barabach J., Brykała D., Tyszkowski S., Pieńczewska A., Śnieszko Z., Dietze E., Jażdżewski K., Obremska M., Ott F., Brauer A., Marcisz K. 2019. Paleocological and historical data as an important tool in ecosystem management. *Journal of Environmental Management* 236: 755–768.
- Słowiński M., Szewczyk K., Halaś A., Jonczak J., Mroczkowska A., Łuców D. i in. 2021. Underestimated impact of charcoal hearths on environmental and landscape transformation in Northern European Lowland. AGU Fall Meeting 2021, New Orleans.
- Stanturf J.A., Madsen P. (red.) 2005. Restoration of boreal and temperate forests. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington.

- Strack M., Zuback Y.C.A. 2013. Annual carbon balance of a peatland 10 yr following restoration. *Biogeosciences* 10(5): 2885–2896.
- Swindles G.T., Morris P.J., Mullan D.J., Payne R.J., Roland T.P., Amesbury M.J., Lamentowicz M., Turner T.E., Gallego-Sala A., Sim T., Barr I.D., Blaauw M., Blundell A., Chambers F.M., Charman D.J., Feurdean A., Galloway J.M., Gałka M., Green S.M., Kajukała K., Karofeld E., Korhola A., Lamentowicz Ł., Langdon P., Marcisz K., Mauquoy D., Mazei Y.A., McKeown M.M., Mitchell E.A.D., Novenko E., Plunkett G., Roe H.M., Schoning K., Sillasoo Ü., Tsyganov A.N., van der Linden M., Väliranta M., Warner B. 2019. Widespread drying of European peatlands in recent centuries. *Nature Geoscience* 12: 922–928.
- Szewczyk K., Halaś A., Tyszkowski S., Łuców D., Jonczak J., Mroczkowska A. i in. 2021. Charcoal hearths – mapping and spatial distribution in northern Poland. AGU Fall Meeting 2021, New Orleans.
- Tiemeyer B., Freibauer A., Borraz E.A., Augustin J., Bechtold M., Beetz S., Beyer C., Ebli M., Eickenscheidt T., Fiedler S., Förster C., Gensior A., Giebels M., Glatzel S., Heinrichen J., Hoffmann M., Höper H., Jurasinski G., Lagner A., Leiber-Sauheitl K., Peichl-Brak M., Drösler M. 2020. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 109: 105838.
- Tobolski K. 2003. Torfowiska, na przykładzie Ziemi Świeckiej. Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły, Świecie.
- Tobolski K. 2007. Problematyka torfowisk na obszarach leśnych. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* 9(2–3 [16]): 541–549.
- 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 Geoscience* 8: 11–14.
- van Loon A.F., Gleeson T., Clark J., van Dijk A.I.J.M., Stahl K., Hannaford J., Di Baldassarre G., Teuling A.J., Tallaksen L.M., Uijlenhoet R., Hannah D.M., Sheffield J., Svoboda M., Verbeiren B., Wagener T., Rangaecroft S., Wanders N., van Lanen H.A.J. 2016. Drought in the Anthropocene. *Nature Geoscience* 9: 89–91.
- Wiśniewski S. 1996. Dotychczasowe metody regulacji stosunków wodnych w lasach i ich efekty. *Sylwan* 140(11): 75–83.
- Wistuba M., Sady A., Poręba G. 2018. The impact of Wallachian settlement on relief and alluvia composition in small valleys of the Carpathian Mts. (Czech Republic). *Catena* 160: 10–23.
- Witze A. 2020. Why arctic fires are bad news for climate change. *Nature* 585: 336–337.

We need more resilient forestry to cope with climatic extreme events and disturbances

Marcus Lindner

European Forest Institute, Platz der Vereinten Nationen 7, 53113 Bonn, Germany

Recent observations prove that extreme climatic events and associated disturbances are affecting forests across different bioclimatic regions in Europe. Rising atmospheric CO₂ concentration, higher temperatures, changes in precipitation, flooding, drought duration and frequency have significant impacts on forests. Increased disturbances from wildfires, windstorms and large-scale bark beetle outbreaks demonstrate that business as usual management is no longer possible in many European forests. A paradigm shift is needed to develop more resilient forests and to adapt our forest management and forest value chains to better cope with the changing environment.

The lecture will summarize the state of our knowledge on climate change impacts on European forests and present pathways towards resilient forestry. New strategies are needed that would change the focus from reacting after a disturbance occurs to a stronger emphasis on pro-active adaptive management to prevent or at least mitigate disturbance impacts. Better preparedness to cope with future disturbances requires a solid understanding of the disturbance risk, improved monitoring to rapidly detect and respond to disturbances as well as investments into infrastructure and management capacities (including training of staff). The present rate and magnitude of climate change exceed the natural migration and adaptation capacities of forest tree species. Measures to enhance the adaptive capacity of natural forest ecosystems (e.g. by increasing genetic diversity in forest regeneration or adopting silvicultural systems favouring structural diversity) therefore need to be complemented with planned active adaptation measures such as artificial regeneration of species that are expected to better cope with changing temperatures and intensified drought regimes to establish mixed-species stands and change species composition.

Czy zmiana klimatu i przyspieszony wzrost drzew zwiększają ryzyko zamierania lasów?

Jarosław Socha^{1,2}, Tomasz Zawila-Niedźwiecki¹

¹Komitet Nauk Leśnych i Technologii Drewna, Polska Akademia Nauk, Pałac Kultury i Nauki, pl. Defilad 1, 00-901 Warszawa

²Katedra Zarządzania Zasobami Leśnymi, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-421 Kraków

Zmiany klimatyczne i depozycja azotu w istotny sposób wpływają na lasy, zwiększając produktywność siedlisk leśnych, modyfikując dynamikę wzrostu drzew oraz alokację biomasy i strukturę drzewostanów, co z kolei wpływa na funkcjonowanie i stabilność ekosystemów leśnych. W ciągu ostatnich dziesięcioleci produktywność siedlisk leśnych istotnie wzrosła, co wpłynęło na znaczne przyspieszenie dynamiki wzrostu drzewostanów, szczególnie w strefie umiarkowanej i borealnej. Za najważniejsze czynniki przyspieszające wzrost drzewostanów uznawane są: nasilająca się depozycja azotu, związane ze zmianą klimatu wydłużanie się okresu wegetacyjnego oraz wzrost koncentracji CO₂ w atmosferze. Liczne badania wskazują, że trend ten będzie się utrzymywał również w przyszłości lub będzie jeszcze silniejszy. Obserwowana rosnąca dynamika wzrostu drzewostanów może mieć różne, często przeciwstawne konsekwencje. Z jednej strony przyspieszony przyrost przyczynia się do większej sekwestracji CO₂ i produkcji biomasy. Zmiany klimatu powodują jednak zwiększoną częstotliwość suszy i roczne anomalie wilgotności gleby. Z drugiej strony przyspieszony wzrost może mieć jednak również poważne negatywne skutki, przyczyniając się do skrócenia żywotności drzew oraz nierównowagi między wskaźnikami ich wzrostu i śmiertelności. Zwiększenie produktywności siedlisk i przyspieszenie wzrostu zwiększają zagęszczenie drzewostanów i zmieniają alokację biomasy. Zaobserwowano, że alokacja biomasy do części nadziemnej rośnie kosztem redukcji systemów korzeniowych, szczególnie na siedliskach bogatych w azot, natomiast naturalnym przystosowaniem drzew do suszy jest ograniczenie wzrostu biomasy nadziemnej i rozbudowa systemów korzeniowych.

Przyspieszony wzrost i większe zagęszczenie drzewostanów powoduje również większe zapotrzebowanie na wodę, co przy ograniczonym wroście korzeni może skutkować zwiększoną podatnością drzewostanów na suszę. Ponadto szybciej przyrastające drzewa mają szerokie kanały przewodzące wodę, które są bardziej podatne na zatory blokujące przewodzenie. Zwłaszcza wysokie drzewa na obszarach wcześniej wilgotnych są wrażliwsze, ponieważ ich szerokie kanały są szczególnie nieodporne na nowe warunki suszy. Dlatego paradoksalnie najbardziej zagrożone mogą być drzewa i drzewostany na żyzniejszych siedliskach i osiagające największe rozmiary, w tym wysokość. Zarówno Stoval i in. (2019), jak i Bennett i in. (2015) stwierdzili, że susze zwiększają wskaźniki śmiertelności większych drzew, a większe drzewa bardziej cierpią z powodu suszy. Z kolei drzewostany osłabione przez suszę są mniej odporne na czynniki biotyczne, w tym na gradację owadów i choroby grzybowe oraz inne czynniki biotyczne i abiotyczne.

Może to być kolejny efekt uboczny zwiększonego wzrostu drzew. Dlatego istnieje poważna obawa, że negatywne konsekwencje zmian klimatu i przyspieszonego wzrostu mogą znacznie przeważać nad pozytywnymi. Zmiany klimatu, wzrost depozycji azotu i zmiany produktywności siedlisk mają kluczowe znaczenie dla trwałości ekosystemów leśnych, zachowania bioróżnorodności oraz usług ekosystemowych pełnionych przez lasy.

Literatura

- Bennett A.C., McDowell N.G., Allen C.D., Anderson-Teixeira K.J. 2015. Larger trees suffer most during drought in forests worldwide. *Nature Plants* 1: 15139.
- Stovall A.E.L., Shugart H., Yang X. 2019. Tree height explains mortality risk during an intense drought. *Nature Communications* 10: 4385.

Rola lasów w bilansie węglowym oraz utrzymaniu bioróżnorodności i dobrostanu człowieka

Jerzy Szwagrzyk^{1,2}, Anna Orczewska^{1,3}, Bogdan Jaroszewicz^{1,4}

¹*Komitet Biologii Środowiskowej i Ewolucyjnej PAN, Polska Akademia Nauk,
Pałac Kultury i Nauki, pl. Defilad 1, 00-901 Warszawa*

²*Katedra Bioróżnorodności Leśnej, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja
w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, jerzy.szwagrzyk@urk.edu.pl*

³*Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska, Wydział Nauk Przyrodniczych,
Uniwersytet Śląski, ul. Bankowa 9, 40-007 Katowice, anna.orczewska@us.edu.pl*

⁴*Białowieża Stacja Geobotaniczna, Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Sportowa 19,
17-230 Białowieża, b.jaroszewicz@uw.edu.pl*

Wstęp

Profesjonalne leśnictwo powstało w Europie niemal dwieście pięćdziesiąt lat temu w odpowiedzi na nasilające się braki drewna. Głównym celem gospodarowania w lesie stała się maksymalizacja produkcji surowca drzewnego przy stale kurczącym się wówczas areale lasów. Trzeba przyznać, że leśnictwo osiągnęło na tym polu znaczne sukcesy; z czasem obok funkcji produkcji drewna zaczęto akcentować także inne funkcje lasu i wprowadzać różnego rodzaju modyfikacje. Jednak sam rdzeń zasad gospodarowania w lesie pozostał niezmienny; wszystkie zabiegi są prowadzone pod kątem wyhodowania zdrowych, prawidłowo ukształtowanych drzew, które mają dostarczyć surowca dobrej jakości. W ciągu kilku ostatnich dekad sytuacja lasów oraz ich otoczenia zmieniła się radykalnie; pojawiły się nowe wyzwania, którym coraz trudniej będzie sprostać, nie naruszając zasad hodowli czy instrukcji ochrony lasu.

Wybraliśmy trzy tematy, które skupiają w sobie dużą część problemów stojących przed współczesną gospodarką leśną: sekwestracja węgla, zachowanie bioróżnorodności oraz wpływ lasu na dobrostan człowieka. Poniżej odnosimy się kolejno do tych zagadnień.

Rola lasów w bilansie węglowym

W toczonych od wielu lat dyskusjach na temat roli lasów w bilansie węglowym biosfery przedstawiane są argumenty odnoszące się do różnych okresów, od dziesięcioleci po tysiąclecia. Prowadzi to niekiedy do sprzecznych diagnoz i prognoz. Te sprzeczności wynikają w dużej mierze z faktu, że przedstawiane argumenty odnoszą się do różnych skal przestrzennych i czasowych. Lasy są bardzo zróżnicowane w skali globalnej; dotyczy to również takich aspektów ich funkcjonowania, jak produktywność czy bilans węglowy. Są też bardzo dynamiczne; w kolejnych latach czy dekadach wiele parametrów ich funkcjonowania się zmienia (Anderegg i in. 2020), a niektóre z tych zmian zachodzą nie tylko w skali lokalnej.

W przypadku lasów niepodlegających eksploatacji tradycyjnie zakładano, że bilans pochłaniania i wydzielania dwutlenku węgla jest w nich zerowy, czyli że procesy rozkładu równoważą proces asymilacji (Odum 1969). Takie opinie spotyka się w literaturze nawet współcześnie; jednak badania przeprowadzone w lasach nieużytkowanych wskazują na przewagę asymilacji dwutlenku węgla nad jego uwalnianiem; pierwsze informacje na ten temat pojawiły się w latach 90. XX w., a późniejsze publikacje przyniosły pełniejszy obraz tego zjawiska (Luyssaert i in. 2008). Jego mechanizm nie jest dokładnie wyjaśniony i wciąż prowadzone są badania naukowe nad tym zagadnieniem. Być może jest to spowodowane zwiększeniem tempa przyrostu drzew wynikającym ze wzrostu ilości dwutlenku węgla w atmosferze (Bellassen, Luyssaert 2014) oraz wzrostu temperatury i zwiększonej depozycji związków azotu, które są uznawane za przyczyny dobrze udokumentowanego przyspieszenia tempa produkcji biomasy w lasach gospodarczych (Pretsch i in. 2014).

Interpretacja wyników tych badań jest podważana (Gundersen i in. 2021); pomiary i wyliczenia dotyczące funkcjonowania starych lasów mogą być niedokładne, a tempo akumulacji węgla w nich może być przeszacowane, jednak zjawisko to ma miejsce (Gundersen i in. 2021). Pojawiające się w polskiej prasie leśnej informacje, że przewaga akumulacji dwutlenku węgla nad jego emisją w nieeksploatowanych starych lasach jest „obaloną hipotezą” (Talarczyk 2021), są błędne; to raczej stwierdzenie, że w miarę wzrostu wieku drzew w drzewostanach musi z czasem dojść do przewagi emisji nad pochłanianiem dwutlenku węgla (Talarczyk 2021), jest hipotezą nieopartą na wynikach badań. Rzetelne pomiary przeprowadzone na dziesiątkach stałych powierzchni badawczych wskazują na to, że stare i potężne drzewa mają decydujący wpływ na akumulację biomasy w ekosystemach leśnych (Lutz i in. 2018), a dokładna analiza starych danych wykazała, że powszechne wśród leśników przekonanie o nieuchronnym spadku możliwości przyrostowych u bardzo starych drzew nie jest poparte faktami (Pretsch 2020). Lasy świata są ogromnie zróżnicowane i lokalnie, w wyniku naturalnych zaburzeń, emisja dwutlenku węgla w naturalnych drzewostanach może przeważać nad jego pochłanianiem; jednak w dyskusji na temat roli lasów w łagodzeniu zmian klimatu ważny jest ogólny bilans, a nie poszczególne przypadki. Badania nad tą problematyką są nadal zbyt mało liczne, ich wyniki niespójne, a wiele ważnych aspektów pozostało zupełnie niezbadanych (Luyssaert i in. 2021).

To, że lasy zagospodarowane w trakcie swojego cyklu rozwojowego pochłaniają znaczne ilości dwutlenku węgla, jest dobrze udokumentowane i nie budzi wątpliwości. Bardziej kontrowersyjny jest bilans węglowy całej gospodarki leśnej, znaczne ilości dwutlenku węgla są bowiem emitowane w następstwie cięć jako wynik rozkładu drobnych gałęzi oraz materii organicznej w glebie (Hudiburg i in. 2019). To drugie występuje ze szczególnym nasileniem tam, gdzie lasy odnawia się sztucznie poprzez sadzenie poprzedzone przygotowaniem gleby, które przyspiesza rozkład materii organicznej zmagazynowanej w próchnicy. Podczas tych zabiegów zniszczeniu ulega m.in. fauna glebowa, wspomagająca proces gromadzenia węgla w glebie (Watson i in. 2018). Dodatkowo sprzęt użyty do pozyska-

nia i transportu drewna znacząco pogarsza bilans CO₂ gospodarki leśnej, gdyż emituje go w ogromnych ilościach.

Lasy w skali świata są silnie zróżnicowane (Lutz i in. 2018) pod względem nie tylko przyrodniczym, ale i sposobu zagospodarowania. O ile w skali światowej nadal dominuje podejście eksploatacyjne i procesy wylesiania przeważają nad zalesianiem (Hansen i in. 2003), o tyle w Europie od dawna jest odwrotnie: lasów przybywa, rośnie ich produktywność i zasobność, a co za tym idzie – także ilość węgla zmagazynowanego w biomasie (Houghton, Nassikas 2017). Daje to impuls do prób przedstawiania intensywnej produkcji drewna jako jednego ze sposobów na poprawę bilansu węglowego. Bywa też używane jako argument przeciwko biernej ochronie ekosystemów leśnych.

Badania w starszych drzewostanach gospodarczych, które w pewnym momencie zostały objęte ochroną ścisłą w formie rezerwatów wykazały, że nadal akumulują one węgiel, chociaż tempo tej akumulacji jest niewielkie (Meyer i in. 2021). Pula węgla zakumulowanego w ich biomasie i glebie jest jednak bardzo duża, znacznie przewyższa wartości odnotowywane w lasach gospodarczych. W perspektywie kilku dziesięcioleci próba „odmłodzenia” takich drzewostanów nieuchronnie pogorszy bilans węglowy, ponieważ dla zrównoważenia emisji będącej wynikiem wycinania starych drzewostanów potrzeba długiego czasu. Analizy przeprowadzone dla lasów Australii wykazały, że w skali obecnego stulecia najlepszą strategią z punktu widzenia sekwestracji węgla w biomasie byłoby zaprzestanie eksploatacji wszystkich lasów naturalnych (Keith i in. 2015). Warto pamiętać, że znaczną część surowca drzewnego w Australii produkuje się jednak na plantacjach drzew szybkorosnących. W odniesieniu do lasów Europy szczególne badania wskazują, że lasy nieeksploatowane mają przewagę w akumulacji węgla nad lasami użytkowanymi w okresie kilkudziesięciu lat, po czym sytuacja stopniowo się zmienia i lasy zagospodarowane uzyskują z czasem lepszy bilans węglowy. W lasach Finlandii dzieje się to po 30 latach (Pukkala 2017), w Bawarii po 80 latach (Klein i in. 2013). Oczywiście zależy to od trwałości produktów wytworzonych z drewna pozyskanego w lasach gospodarczych; oszacowania tej trwałości różnią się bardzo mocno, a większość badań na ten temat wykonano w USA (Law i in. 2018; Hudiburg i in. 2019). Niestety nie ma porównywalnych pod względem dokładności informacji z Europy.

Wobec przyjęcia przez Unię Europejską strategii Zielonego Ładu perspektywa czasowa, przynajmniej w Europie, została skonkretyzowana do trzech dziesięcioleci. Nie ma już zatem wielkiego znaczenia rozpatrywanie problemu, na ile stuleci pozostanie związany w biomasie dwutlenek węgla; ważne jest, czy pozostanie tam przez najbliższe dziesięciolecia, w czasie których ma nastąpić transformacja gospodarki. Stawia to w innym świetle argumenty odnoszące się do tego, czy dla poprawy bilansu węglowego w skali biosfery lepiej jest pozostawiać stare lasy bez ingerencji, czy też może lepiej wycinać je i zastępować młodymi. Wycinanie starych lasów po to, żeby poprawić bilans węglowy, w trzydziestoletniej perspektywie nie ma w ogóle sensu. Młode lasy pochłoną to, co zostało wyemitowane przy wycinaniu starych, dopiero po kilku dziesięcioleciach (Law i in. 2018; Waring i in. 2020), a i to przy założeniu, że duża część drewna pozyskanego przy wyci-

naniu starych lasów zostanie wbudowana w produkty o długim czasie trwania (Hudiburg i in. 2019), co współcześnie nie ma miejsca.

Wzrost pochłaniania można zatem osiągnąć głównie poprzez zalesianie terenów obecnie bezleśnych (Bastin i in. 2019). W perspektywie europejskiej czy polskiej nie musi to wcale oznaczać sadzenia nowych drzew, ponieważ wzrost lesistości odbywa się w dużej mierze na drodze naturalnej sukcesji; porzucone przez rolnictwo tereny zarastają lasem bez potrzeby inwestowania w szkółki leśne i produkcję sadzonek. Jednak większość programów opiera się na sadzeniu drzew i próbuje imponować liczbami. Trzy miliardy nowych drzew planowanych do posadzenia w Europie może robić wrażenie na laikach. Warto im może uświadomić, że corocznie znacznie więcej młodych drzew kiełkuje i wyrasta w lasach, zaroślach i na opuszczonych przez gospodarkę terenach nieleśnych. Wystarczyłoby dać im szansę na dalszy wzrost. Sadzenie drzew jest spektakularne, daje ludziom poczucie uczestnictwa w czymś ważnym. Jednak dla funkcjonowania ekosystemów leśnych i poprawy bilansu węglowego to procesy naturalnego odradzania się lasów, kiełkowania i wzrostu drzew mają do odegrania znacznie większą rolę. Fakt, że zjawisko naturalnej sukcesji leśnej pozostaje niemal nieznaną opinii publicznej i nie pojawia się w statystykach, wiele mówi o podejściu do rozwiązywania problemów kryzysu klimatycznego. Planujemy robić nadal to samo, tylko „lepiej”. Na prawdziwe zmiany przyjdzie zatem jeszcze trochę poczekać.

Rola lasów w zachowaniu bioróżnorodności

Lasy, w tym przede wszystkim te o cechach pierwotnych lub naturalnych, należą do najbogatszych gatunkowo ekosystemów lądowych świata. Niekwestionowanym tygłem różnorodności biologicznej są lasy klimatu tropikalnego, a w szczególności te o roślinności najdzikszej, najlepiej zachowanej w skali globu. Przykładem mogą być ikoniczne lasy Nowej Gwinei, ogłoszonej w roku 2020 najbogatszą w gatunki roślin wyspą świata (Cámara-Leret i in. 2020). Lasy klimatu umiarkowanego, z racji odmiennej historii i warunków środowiskowych, nie są tak spektakularne pod względem surowych liczb, choć też mają swoje ikony różnorodności biologicznej. W Europie jest nią Puszcza Białowieska, uważana za najlepiej zachowany las Niżu Środkowoeuropejskiego (Kujawa i in. 2016; Sabatini i in. 2018; Jaroszewicz i in. 2019). Bogactwo gatunkowe tego kompleksu leśnego oraz innych lasów klimatu umiarkowanego, na które człowiek miał relatywnie niewielki wpływ, manifestuje się obecnością grup gatunków wymagających do życia specyficznych nisz ekologicznych, rzadkich w lasach poddanych silnej presji człowieka lub przez niego posadzonych. Do tych specyficznych elementów należą zwłaszcza duże, sędziwe drzewa (Cholewińska i in. 2021) oraz martwe drewno w różnych formach i stadiach rozkładu (Preikša i in. 2015), których zazwyczaj brak w lasach gospodarczych.

Lasy pełnią kluczową rolę w utrzymaniu globalnej różnorodności biologicznej nie tylko na poziomie gatunkowym, ale także genetycznym, populacyjnym, ekosystemowym i wreszcie krajobrazowym. Konwencja o różnorodności biologicznej podkreśla, że różnorodność biologiczna lasów w skali globalnej jest rezul-

tatem procesów ewolucyjnych toczących się w nich przez tysiące, a nieraz miliony lat, pod wpływem klimatu, ognia, konkurencji oraz zaburzeń (www.cbd.int/convention/). Rozległe, zróżnicowane strukturalnie lasy pozwalają organizmom na adaptację do stale zmieniających się warunków środowiskowych i zapewniają ciągłość procesów ekologicznych, gwarantujących trwałość ekosystemów leśnych (Watson i in. 2018). Okazuje się jednak, że ową ciągłość złożoności strukturalnej oraz ciągłość przestrzenną zagwarantować mogą przede wszystkim te lasy, które nie uległy fragmentacji, a przede wszystkim stare lasy o cechach naturalnych (Vellend 2003). Tymczasem w ciągu ostatnich ośmiu tysięcy lat z powierzchni Ziemi zniknęło blisko 45% pierwotnej pokrywy leśnej, z tego większość w ciągu ostatniego stulecia (www.cbd.int/forest/problem.shtml). Na przestrzeni ostatnich 30 lat w skali globalnej wskutek deforestacji straciliśmy 420 mln ha lasów i choć tempo utraty lasów w latach 2015–2020 zmalało w stosunku do okresu 2010–2015 (odpowiednio 10 i 12 mln ha), procesu deforestacji, czyli zamiany terenów leśnych na inne formy użytkowania gruntu, nie zatrzymaliśmy (FAO 2020a). Według Global Forest Watch średnio każdego roku tracimy blisko 13 mln ha światowych obszarów leśnych wyłącznie z powodu cięć komercyjnych. Proces odlesienia najdrastyczniej przebiega w klimatach tropikalnych, szczególnie w Afryce i Ameryce Południowej.

Deforestacji (utracie siedlisk leśnych na rzecz innych form użytkowania terenu) towarzyszy postępujący proces fragmentacji lasów, a w konsekwencji izolacji tych z nich, które przetrwały w krajobrazie. Wskutek fragmentacji rośnie też długość brzegów leśnych, czyli stref kontaktu lasu z siedliskami nieleśnymi. Rosnący stosunek obwodu lasu do jego powierzchni niesie ze sobą wiele niekorzystnych zmian w strefie brzegowej (ekotonowej) lasu, które manifestują się m.in. modyfikacją mikroklimatu, tj. wyższą temperaturą i insolacją, a niższą wilgotnością, eutrofizacją i wreszcie ilościowymi oraz jakościowymi zmianami bogactwa gatunkowego (przede wszystkim wzrostem znaczenia gatunków obcych dla siedlisk leśnych, w tym gatunków ekspansywnych i inwazyjnych). Wszystkie wymienione skutki deforestacji, tj. utrata siedlisk, wzrost izolacji przestrzennej lasów oraz długości brzegów leśnych, stwarzają zagrożenie dla trwałej egzystencji gatunków wnętrza lasu i ich swobodnej migracji między powierzchniami leśnymi, jakie ocalały w krajobrazie. Globalne analizy pokazują (Haddad i in. 2015), że prawie 70% powierzchni lasów świata leży w odległości nie większej niż kilometr od linii brzegowej lasu, w otoczeniu terenów rolniczych lub innych środowisk wywierających negatywny wpływ na las, a przynajmniej 20% w odległości do 100 m i udział ten stale rośnie (Haddad i in. 2015). W Europie linia brzegowa lasów liściastych wynosi 9,4 bln m (Meeussen i in. 2021). Większość lasów świata, w tym także Europy, pozostaje zatem pod negatywnym wpływem człowieka, zmienionego mikroklimatu oraz gatunków nieleśnych.

Zwarte kompleksy leśne, zwłaszcza te o charakterze naturalnym, są zatem nieocenione w ochronie globalnej różnorodności biologicznej, gwarantują ochronę naturalnych procesów ekologicznych oraz większą różnorodność funkcjonalną i genetyczną (Watson i in. 2018). Nie tylko zapewniają one wyspecjalizowanym gatunkom leśnym istnienie różnorodnych siedlisk i nisz ekologicznych, a tym sa-

mym warunki do trwałej egzystencji, ale też wydatnie zwiększają ich szanse na swobodne przemieszczanie się pomiędzy lasami (Peterken 2000; Vellend 2003; Orczewska 2015; Watson i in. 2018). Możliwość migracji gatunków nabiera szczególnego znaczenia w dobie ocieplenia klimatu, albowiem już teraz wymusza ono wędrówki gatunków na chłodniejszą północ, a w górach na wyżej położone tereny. W zwartych kompleksach leśnych będzie to możliwe, podczas gdy na terenach, na których pokrywa leśna uległa skurczeniu i rozproszeniu, kluczowa dla procesu migracji będzie obecność łączników między wyspowymi lasami, czyli efektywnych korytarzy ekologicznych.

Rola lasów dla dobrostanu człowieka

Przyspieszająca urbanizacja przekłada się w sferze publicznej, naukowej i politycznej na coraz większe zainteresowanie zależnościami pomiędzy zdrowiem i dobrostanem człowieka a różnorodnością biologiczną oraz ochroną i zrównoważonym zarządzaniem przyrodą (Naeem i in. 2016). Społeczne zapotrzebowanie na kontakt z przyrodą, w tym zwłaszcza z lasami, nasiliło się w ostatnich dwóch latach z powodu ograniczeń związanych z pandemią (np. O'Brien, Forster 2020; Stanturf, Mansuy 2021; Weinbrenner i in. 2021). Zakaz wstępu do lasów i parków narodowych wprowadzony w Polsce wiosną 2020 r. wywołał bardzo duże niezadowolenie społeczne oraz m.in. interwencję w tej sprawie Rzecznika Praw Obywatelskich (RPO 2020). Rozwój świadomości ekologicznej społeczeństwa powoduje, że coraz większe znaczenie przypisuje się pozaprodukcyjnym funkcjom lasu, ważnym dla fizycznego (magazynowanie i cyrkulacja wody, regulacja klimatu i występowania czynników chorobotwórczych) i mentalnego zdrowia człowieka (psychiczne, duchowe, rekreacyjne i intelektualne interakcje z przyrodą). Odgrywają one bardzo dużą rolę zwłaszcza w otoczeniu większych miast.

Różnorodność biologiczna lasów ma głęboki wpływ na ich funkcjonowanie i liczbę oraz intensywność świadczonych przez nie usług ekosystemowych (Hooper i in. 2012). Właśnie dzięki tym usługom lasy wywierają pozytywny wpływ na zdrowie ludzkie, gdyż zapewniają (m.in.) oczyszczanie powietrza, pochłanianie dwutlenku węgla, ocienienie, regulację temperatury, wzmocnienie fizycznych i mentalnych zdolności regeneracyjnych (Methorst i in. 2021). Z tego punktu widzenia różnorodność biologiczna lasów odgrywa bardzo istotną rolę, ponieważ bardziej zróżnicowane biologicznie ekosystemy leśne sprawniej eliminują zanieczyszczenia powietrza, rozrzedzają wektory chorób oraz dostarczają ludziom i zwierzętom żywności i lekarstw (Wertz-Kanounnikoff, Rodina 2020). Różnorodne lasy i zadrzewienia mają również olbrzymie znaczenie terapeutyczne i profilaktyczne: zmniejszają stres w wymiarze fizjologicznym, regulując tętno, ciśnienie krwi, poziom kortyzolu i adrenaliny oraz w wymiarze psychologicznym, zmniejszając ryzyko zaburzeń psychicznych, w tym depresji (Engemann i in. 2019; Marselle i in. 2020). Wiele medycznych badań naukowych wykazało, że spędzanie czasu w lasach, parkach lub po prostu patrzenie na drzewa pomaga wzmocnić układ odpornościowy, redukuje stres, obniża ciśnienie krwi, poprawia nastrój i relaksuje. W Japonii praktyka „kąpeli leśnych” (Shinrin-yoku) jest czę-

ścią krajowego systemu opieki zdrowotnej i jest uważana za formę terapii profilaktycznej (Simonienko 2021).

Nawet krótka wizyta w lesie zwiększa odporność na przyszły stresor i wspiera szybszą regenerację po takim doświadczeniu (Annerstedt i in. 2013), przy czym potencjał krajobrazu leśnego do odnawiania osobistych zdolności poznawczych nie zanika nawet po zamarcu drzewostanu (Kortmann i in. 2021). Tak zwane choroby nietransmisyjne, takie jak zaburzenia psychiczne, nowotwory, choroby układu krążenia i przewlekłe choroby układu oddechowego, są przyczyną 85% zgonów w Europie (WHO 2017). Odpowiednie udostępnienie ekosystemów leśnych może pomóc w zapobieżeniu przynajmniej części z nich. Silne pozytywne powiązanie różnorodności biologicznej i pokrywy leśnej ze zdrowiem psychicznym wykazano w skali krajowej w Niemczech (Methorst i in. 2021). Wiele innych badań również wskazuje, że kontakt z terenami zieleni lub środowiskiem naturalnym poprawia zdrowie człowieka i zapewnia poprawę samopoczucia (Bowler i in. 2010; Haluza i in. 2014; Hartig i in. 2014), jednak wciąż wpływ różnorodności biologicznej na zdrowie i dobre samopoczucie jest niedostatecznie zbadany (Bowler i in. 2010; Aerts i in. 2018).

W kontekście wciąż trwającej pandemii warto podkreślić, że np. we Włoszech śmiertelność, liczba zgonów i liczba chorych na COVID-19 była mniejsza na obszarach o największej powierzchni lasów na mieszkańca, co powiązano z jakością powietrza i obecnością w nim bioaktywnych lotnych związków organicznych (np. terpeny), które wzmacniają odporność organizmu (Roviello, Roviello 2021). Również w USA liczba infekcji wirusem SARS-CoV-2 była niższa w regionach o wysokiej lesistości (Jiang i in. 2021, preprint). Wzmocnienie układu odpornościowego i wzrost odporności na choroby zakaźne dzięki przebywaniu w lesie wykazano też wcześniej (Li i in. 2006). Oczywiście znaczenie lasów w opanowaniu pandemii nie polegało wyłącznie na ich pośrednim wpływie na zdrowie ludzi. Wiele podstawowych artykułów, na których opierają się systemy zdrowia publicznego, pochodzi z produktów leśnych: jednorazowe artykuły higieniczno-sanitarne, ale także część środków odkażających (etanol). Również w produkcji środków ochrony osobistej, takich jak maski i odzież ochronna dla pracowników medycznych, wykorzystuje się pulpę drzewną i rozpuszczalne włókna celulozowe (FAO 2020b).

Należy przyznać, że ekosystemy leśne oprócz zapewniania szeregu korzyści dla zdrowia ludzkiego mogą też zwiększać ryzyko chorób. W fazie kwitnienia określonych gatunków roślin lasy mogą być źródłem alergenów, a ich struktura i skład gatunkowy mogą sprzyjać występowaniu wektorów chorób, np. kleszczy i komarów (Karjalainen i in. 2010; Aerts i in. 2018). Stąd rola właściwego zarządzania lasami, biorącego pod uwagę również wpływ różnorodności biologicznej na zagrożenia i korzyści dla zdrowia człowieka, jest nie do przecenienia.

Konkluzje

Gospodarując w lesie, kształtując jego strukturę i skład gatunkowy, wpływamy zarówno na liczbę, jak i na intensywność produkcyjnych i pozaprodukcyjnych

funkcji lasu. Połączenie ochrony różnorodności biologicznej z zarządzaniem ekosystemami w sposób optymalizujący świadczenie przez las różnorodnych usług ekosystemowych przyniesie dodatkowe korzyści dla społeczeństwa. Oczywiście potrzebujemy i będziemy potrzebować drewna, gdyż jest ono bardzo ważnym surowcem. Lepiej jednak nie pozyskiwać go w starych lasach o wysokiej różnorodności biologicznej, tylko w drzewostanach młodszych, a zwłaszcza plantacjach zakładanych na terenach użytkowanych rolniczo w niedalekiej przeszłości. Plany Komisji Europejskiej, będące próbą zahamowania tempa globalnego ocieplenia i globalnego, masowego spadku różnorodności biologicznej, zmierzające do objęcia ochroną 30% obszaru Unii Europejskiej, w tym 10% ochroną ścisłą (European Commission 2020), są naszym zdaniem milowym krokiem w kierunku efektywnej ochrony ekosystemów leśnych Europy, w tym najlepiej zachowanych starych lasów. Żyjemy w czasach pełnych problemów środowiskowych, które nabrały już wymiaru globalnego. Dysponujemy jednocześnie szeroką wiedzą na temat roli lasów, szczególnie tych najstarszych i najlepiej zachowanych, w utrzymaniu różnorodności biologicznej i w łagodzeniu zmian klimatycznych, bo przecież, obok torfowisk, są one największym rezerwuarem węgla, zdeponowanego w biomasie roślin i w leśnej glebie. Coraz więcej wiemy też na temat ich usług ekosystemowych i wymiaru finansowego tego aspektu. W ostatnich latach w naszym kraju zmieniają się oczekiwania społeczne co do zasad korzystania z lasu. To wszystko sprawia, że potrzebujemy nowego podejścia do zarządzania lasami, które zminimalizuje rosnącą liczbę konfliktów na styku gospodarki leśnej i społeczeństwa, zaspokoi współczesne zapotrzebowanie społeczne na kontakt z przyrodą i wreszcie pozwoli na trwałą i efektywną ochronę najcenniejszych lasów, jakie nadal mamy. Te lasy to nasze wspólne dziedzictwo, jakiego wiele europejskich krajów nie ma już od dawna.

Podziękowania

Niniejszy artykuł powstał dzięki wsparciu Narodowego Centrum Nauki udzielonemu B. Jaroszewiczowi w ramach projektu badawczego nr 2019/31/Z/NZ8/04032 „Dr. FOREST – Różnorodność biologiczna lasów a zdrowie i dobre samopoczucie społeczeństwa”.

Literatura

- Aerts R., Honnay O., van Nieuwenhuyse A. 2018. Biodiversity and human health: mechanisms and evidence of the positive health effects of diversity in nature and green spaces. *British Medical Bulletin* 127: 5–22.
- Anderegg W.R.L., Trugman A.T., Badgley G., Anderson C.M., Bartuska A., Ciais P., Cullenward D., Field C.B., Freeman J., Goetz S.J., Hicke J.A., Huntzinger D., Jackson R.B., Nickerson J., Pacala S., Randerson J.T. 2020. Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science* 368: eaaz7005.
- Annerstedt M., Jönsson P., Wallergård M., Johansson G., Karlson B., Grahn P., Hansen Å.M., Währborg P. 2013. Inducing physiological stress recovery with sounds of natu-

- re in a virtual reality forest – Results from a pilot study. *Physiology & Behavior* 118: 240–250.
- Bastin J.-F., Finegold Y., Garcia C., Mollicone D., Rezende M., Routh D., Zohner C.M., Crowther T.W. 2019. The global tree restoration potential. *Science* 365: 76–79.
- Bellassen V., Luyssaert S. 2014. Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times. *Nature* 506: 153–155.
- Bennett A.C., Mcdowell N.G., Allen C.D., Anderson-Teixeira K.J., 2015. Larger trees suffer most during drought in forests worldwide. *Nature Plants* 1: 15139.
- Bowler D.E., Buyung-Ali L.M., Knight T.M., Pullin A.S. 2010. A systematic review of evidence for the added benefits to health of exposure to natural environments. *BMC Public Health* 10: 456.
- Cámara-Leret R., Frodin D.G., Adema F. i in. 2020. New Guinea has the world's richest island flora. *Nature* 584: 579–583.
- Cholewińska O., Keczyński A., Kusińska B., Jaroszewicz B. 2021. Species identity of large trees affects the composition and the spatial structure of adjacent trees. *Forests* 12: 1162.
- Engemann K., Pedersen C.B., Arge L., Tsirogiannis C., Mortensen P.B., Svenning J.-C. 2019. Residential green space in childhood is associated with lower risk of psychiatric disorders from adolescence into adulthood. *PNAS* 116(11): 5188–5193.
- European Commission 2020. Biodiversity Strategy for 2030. Bringing nature back into our lives (https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030_pl).
- FAO 2020a. Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Rome. DOI: 10.4060/ca8753en.
- FAO 2020b. Impacts of COVID-19 on wood value chains and forest sector response: Results from a global survey 2020. Rome. DOI: 10.4060/cb1987en.
- Gundersen P., Thybring E.E., Nord-Larsen T., Vesterdal L., Nadelhoffer K.J., Johannsen V.K. 2021. Old-growth forest carbon sinks overestimated. *Nature* 591: E21–E23.
- Haddad N.M., Brudvig L.A., Clobert J., Davies K.F., Gonzalez A., Holt R.D., Lovejoy T.E., Sexton J.O., Austin M.P., Collins C.D., Cook W.M., Damschen E.I., Ewers R.M., Foster B.L., Jenkins C.N., King A.J., Laurance W.F., Levey D.J., Margules C.R., Melbourne B.A., Nicholls A.O., Orrock J.L., Song D.-X., Townshend J.R. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances* 1(2): e1500052.
- Haluza D., Schönbauer R., Cervinka R. 2014. Green perspectives for public health: A narrative review on the physiological effects of experiencing outdoor nature. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11: 5445–5461.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. 2003. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* 342: 850–853.
- Hartig T., Mitchell R., de Vries S., Frumkin H. 2014. Nature and health. *Annual Review of Public Health* 35: 207–228.
- Hooper D., Adair E.C., Cardinale B.J., Byrnes J.E.K., Hungate B.A., Matulich K.L., Gonzalez A., Duffy J.E., Gamfeldt L., O'Connor M.I. 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature* 486: 105–108.
- Houghton R., Nassikas A.A. 2017. Global and regional fluxes of carbon from land use and land cover change 1850–2015. *Global Biogeochemical Cycles* 31: 456–472.
- Hudiburg T.W., Law B.E., Moomaw W.R., Harmon M.E., Stenzel J.E. 2019. Meeting GHG reduction targets requires accounting for all forest sector emissions. *Environmental Research Letters* 14: 095005.

- Jaroszewicz B., Cholewińska O., Gutowski J.M., Samojlik T., Zimny M., Latałowa M. 2019. Białowieża forest – a relic of the high naturalness of European forests. *Forests* 10: 849.
- Jiang B., Yang Y., Chen L., Liu X., Wu X., Chen B., Webster C., Sullivan W.C., W.J.J., Lu Y. Green spaces, especially forest, linked to lower SARS-CoV-2 infection rates: A one-year nationwide study. medRxiv preprint DOI: 10.1101/2021.08.04.21261420; wersja z 8.08.2021.
- Karjalainen E., Sarjala T., Raitio H. 2010. Promoting human health through forests: overview and major challenges. *Environmental Health and Preventive Medicine* 15: 1–8.
- Keith H., Lindenmayer D., Macintosh A., Mackey B. 2015. Under What Circumstances Do Wood Products from Native Forests Benefit Climate Change Mitigation? *PLOS ONE* 10(10): e0139640.
- Klein D., Höllerl S., Blaschke M., Schulz C. 2013. The Contribution of Managed and Unmanaged Forests to Climate Change Mitigation – A Model Approach at Stand Level for the Main Tree Species in Bavaria. *Forests* 4: 43–69.
- Kortmann M., Müller J.C., Baier R., Bässler C., Buse J., Cholewińska O., Förchler M.I., Georgiev K.B., Hilszczański J., Jaroszewicz B., Jaworski T., Kaufmann S., Kuijper D., Lorz J., Lotz A., Łubek A., Mayer M., Mayerhofer S., Meyer S., Morinière J., Popa F., Reith H., Roth N., Seibold S., Seidl R., Stengel E., Wolski G.J., Thorn S. 2021. Ecology versus society: a multi-perspective view on the impacts of bark beetle infestations in protected areas of Central Europe. *Biological Conservation* 254: 108931.
- Kujawa A., Orczewska A., Falkowski M., Blicharska M., Bohdan A., Buchholz L., Chylarecki P., Gutowski J.M., Latałowa M., Mysłajek R.W., Nowak S., Walankiewicz W., Zalewska A. 2016. The Białowieża Forest – a UNESCO Natural Heritage Site – protection priorities. *Leśne Prace Badawcze* 77: 302–323.
- Law B.E., Hudiburg T.W., Berner L.T., Kent J.J., Buotte P.C., Harmon M.E. 2018. Land use strategies to mitigate climate change in carbon dense temperate forests. *PNAS* 115(14): 3663–3668.
- Li Q., Nakadai A., Matsushima H., Miyazaki Y., Krensky A.M., Kawada T., Morimoto K. 2006. Phytoncides (wood essential oils) induce human natural killer cell activity. *Immunopharmacology and Immunotoxicology* 28: 319–333.
- Lutz J.A., Furniss T.J., Johnson D.J. i in. 2018. Global importance of large-diameter trees. *Global Ecology and Biogeography* 27: 849–864.
- Luyssaert S., Schulze E.-D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B.E., Ciais P., Grace J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213–215.
- Luyssaert S., Schulze E.-D., Knohl A., Law B.E., Ciais P., Grace J. 2021. Reply to: Old-growth forest carbon sinks overestimated. *Nature* 591: E24–E25.
- Marselle M., Bowler D.E., Watzema J., Eichenberg D., Kirsten T., Bonn A. 2020. Urban street tree biodiversity and antidepressant prescriptions. *Scientific Reports* 10: 22445.
- Meeussen C., Govaert S., Vanneste T., Haesen S., Meerbeek K.V., Bollmann K., Brunet J., Calders K., Cousins S., Diekmann M., Graae B., Iacopetti G., Lenoir J., Orczewska A., Ponette Q., Plue J., Selvi F., Spicher F., Sørensen M.V., Verbeeck H., Vermeir P., Verheyen K., Vangansbeke P., Frenne P.D. 2021. Drivers of carbon stocks in forest edges across Europe. *Science of the Total Environment* 759: 143497.
- Methorst J., Bonn A., Marselle M., Böhning-Gaese K., Rehdanz K. 2021. Species richness is positively related to mental health – A study for Germany. *Landscape and Urban Planning* 211: 104084.
- Meyer P., Nagel R., Feldmann E. 2021. Limited sink but large storage: Biomass dynamics in naturally developing beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur*, *Quercus petraea*) forests of north-western Germany. *Journal of Ecology* DOI: 10.1111/1365-2745.13740.

- Naeem S., Chazdon R., Duffy J.E., Prager C., Worm B. 2016. Biodiversity and human well-being: an essential link for sustainable development. *Proceedings of the Royal Society, B: Biological Sciences* 283: 20162091.
- O'Brien L., Forster J. 2020. Engagement with nature and Covid-19 restrictions. *Quantitative analysis 2020*. The Research Agency of the Forestry Commission, UK.
- Odum E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262–270.
- Orczewska A. 2015. Czynniki i procesy determinujące długoterminowe zmiany rozmieszczenia gatunków leśnych w krajobrazie. *Problemy Ekologii Krajobrazu* 39: 59–70.
- Peterken G.F. 2000. Rebuilding networks of forest habitats in lowland England. *Landscape Research* 25: 291–303.
- Preikša Ž., Brazaitis G., Marozas V., Jaroszewicz B. 2015. Dead wood quality influences diversity of rare cryptogams in temperate broadleaved forests. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 9: 276–285.
- Pretzsch H. 2020. The course of tree growth. *Theory and reality. Forest Ecology and Management* 478: 118508.
- Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Uhl E., Rötzer T. 2014. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications* 5: 4967.
- Pukkala T. 2017. Does management improve the carbon balance of forestry? *Forestry* 90: 125–135.
- Roviello V., Roviello G.N. 2021. Lower COVID-19 mortality in Italian forested areas suggests immunoprotection by Mediterranean plants. *Environmental Chemistry Letters* 19: 699–710.
- RPO 2020. Interwencja Rzecznika Praw Obywatelskich w Ministerstwie Środowiska, w związku z zakazem wstępu do lasów (<https://www.rpo.gov.pl/sites/default/files/RPO%20do%20Ministra%20%C5%9Arodowiska%20ws%20wst%C4%99pu%20do%20las%C3%B3w%2C%207.04.2020.pdf>).
- Sabatini F.M., Burrascano S., Keeton W.S., Levers C., Lindner M., Pötzschner F., Verkerk P.J., Bauhus J., Buchwald E., Chaskovsky O., Debaive N., Horváth F., Garbarino M., Grigoriadis N., Lombardi F., Marques Duarte I., Meyer P., Midteng R., Mikac S., Mikołáš M., Motta R., Mozgeris G., Nunes L., Panayotov M., Ódor P., Ruete A., Simovski B., Stillhard J., Svoboda M., Szwagrzyk J., Tikkanen O.-P., Volosyanchuk R., Vrska T., Zlatanov T., Kuemmerle T. 2018. Where are Europe's last primary forests? *Diversity and Distributions* 24: 1426–1439.
- Simonienko K. 2021. *Terapia lasem w badaniach i praktyce*. Wydawnictwo Naukowe Silva Rerum, Poznań.
- Stanturf J.A., Mansuy N. 2021. COVID-19 and Forests in Canada and the United States: Initial assessment and beyond. *Frontiers in Forests and Global Change* 4: 666960.
- Stovall A.E.L., Shugart H., Yang X., 2019. Tree height explains mortality risk during an intense drought. *Nature Communications* 10: 4385.
- Talarczyk A. 2021. Stary las i pochłanianie węgla – upadek hipotezy. *Głos Lasu* 7–8: 40–43.
- Vellend M. 2003. Habitat loss inhibits recovery of plant diversity as forests regrow. *Ecology* 84: 1158–1164.
- Waring B., Neumann M., Prentice I.C., Adams M., Smith P., Siebert M. 2020. Forests and decarbonization – roles of natural and planted forests. *Frontiers in Forests and Global Change* 3: 58.
- Watson J.E.M., Evans T., Venter O., Williams B., Tulloch A., Stewart C., Thompson I., Ray J.C., Murray K., Salazar A., McAlpine C., Potapov P., Walston J., Robinson J.G., Painter M., Wilkie D., Filardi C., Laurance W.F., Houghton R.A., Maxwell S., Grantham H., Samper C., Wang S., Laestadius L., Runtting R.K., Silva-Chávez G.A., Ervin J., Linden-

- mayer D. 2018. The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nature Ecology & Evolution* 2: 599–610.
- Weinbrenner H., Breithut J., Hebermehl W., Kaufmann A., Klinger T., Palm T., Wirth K. 2021. „The forest has become our new living room” – The critical importance of urban forests during the COVID-19 pandemic. *Frontiers in Forests and Global Change* 4: 672909.
- Wertz-Kanounnikoff S., Rodina K. 2020. Saving forests can protect public health. *Landscape News* (<https://news.globallandscapesforum.org/viewpoint/saving-forests-can-protect-public-health/>).
- WHO. 2017. Noncommunicable Diseases. *Progress Monitor 2017*. World Health Organization (<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258940/9789241513029-eng.pdf;sequence=1>).

Lasu szum, ptaków śpiew – kontakt z przyrodą a zdrowie psychiczne

Piotr Tryjanowski^{1*}, Sławomir Murawiec²

¹Katedra Zoologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań, *piotr.tryjanowski@gmail.com

²Centrum Medyczne Psychomedica Allenort, ul. Nabelaka 6 lok. 2, 00-743 Warszawa

Wprowadzenie

Aktualnie mamy do czynienia z wieloma kryzysami, i to o takim charakterze, że wręcz nadano im charakter megatrendów. Dwa z nich – z racji naszych zainteresowań i kompetencji właśnie nimi się zajmujemy – mają szczególny charakter: kryzys zdrowia psychicznego i kryzys bioróżnorodności. Ten drugi ma związek ze zmniejszaniem się liczebności populacji wielu gatunków roślin i zwierząt. To on powoduje, że na pierwsze strony poczytnych magazynów i witryn internetowych trafiają smutne zdjęcia pokazujące niedźwiedzia na krze, palący się busz, nadmierną wycinkę lasów. Ze zdrowiem psychicznym wcale nie jest lepiej. Problemy związane z depresją także przykuwają uwagę opinii publicznej. W sporej części to efekt tego, że świat dynamicznie i dramatycznie przyspieszył. Choć słowa te brzmią zapewne nieco patetycznie, widać, że wiele sektorów gospodarki – rolnictwo, budownictwo, ale i leśnictwo, a nawet medycyna – znajdują się w punkcie krytycznym. Poszukują własnej tożsamości. Dotyczy to też psychiatrii, która otwiera się na nowe sposoby oddziaływań terapeutycznych i profilaktycznych w zakresie zdrowia psychicznego. Jednym z takich nowatorskich kierunków są badania dotyczące interwencji opartych na kontakcie z naturą (ang. nature-based interventions).

Dotychczas, przynajmniej w znacznej części, zainteresowanie różnymi aspektami natury, precyzyjniej rzecz ujmując – kontaktem z przyrodą, ograniczało się do prywatnych zainteresowań poszczególnych lekarzy-psychiatrów. Jednak na naszych oczach zachodzi olbrzymia zmiana, być może nawet rewolucja, bo relacje natura–zdrowie psychiczne badają naukowcy i lekarze-praktycy z najlepszych ośrodków naukowych i klinik na świecie, wykonywane są badania eksperymentalne i obserwacyjne oraz przeprowadzane pierwsze metaanalizy. W sporej części te prace dotyczą drzew, zadrzewień i lasów.

Od ogółu do szczegółu

Nieco upraszczając, można powiedzieć, że pojawiają się dwa podejścia – ogólne, promujące kontakt z szeroko rozumianą przyrodą, i szczegółowe – sugerujące dokładniejszy kontakt z wybranymi obiektami. Najlepszym przykładem pierwszego podejścia jest leczenie lasem, a tego drugiego – wykorzystanie ptaków jako obiektów pomagających w terapii. Znalazło to odzwierciedlenie w tytule naszego artykułu, ale, co warto podkreślić, jest ono zbieżne z trendami światowymi.

Terapia lasem, często nazywana sylwoterapią albo w odniesieniu do japońskiego pierwowzoru „shirin-yoku”, przez długie lata była raczej kojarzona z amatorskimi lub nawet ezoterycznymi korzeniami, i dzisiejsza „forest therapy” to całkiem poważna gałąź psychiatrii, z wieloma pracami pojawiającymi się w porządnym czasopiśmie naukowym. W bazie PubMed znajdziemy już ponad 150 prac o kąpielach leśnych i ich wpływie na odporność, ból, aspekty emocjonalne, astmę, alergię, a nawet na stymulację układu przywspółczulnego w cukrzycy typu 2.

Gdy jednak przyjrzymy się sprawie dokładniej i zadamy pytanie: cóż w tym lesie działa?, to odpowiedź bywa złożona. Działa cały zestaw czynników; to oczywiście kolory, smaki, zapachy, widoki, no i śpiew ptaków. Ten ostatni pełni funkcję sygnału atawistycznego, bo skoro ptak śpiewa, to znaczy, że jest bezpiecznie, a teren jest wolny od drapieżników. Ptaki trafiły do naszej kultury nie tylko jako symbol piękna, elegancji, wolności, ale i mądrości, bo wszak sowa to mądra głowa (choć to akurat nie jest specjalnie prawdziwe, szczególnie gdy porównamy sowy z prawdziwą ptasią inteligencją – papugami czy krukowatymi). Skojarzenie to jest jednak na tyle silne, że nie warto z nim walczyć, lepiej je sensownie zaadaptować. Zwłaszcza że całość terapii opartej na obserwacjach ptaków chętnie wykorzystuje odwołania kulturowe. To pewien paradoks, bo z jednej strony – patrząc na psychiatrię jako przedmiot dynamicznych zmian – dostrzegamy silny kierunek technologiczny, wykorzystanie sztucznej inteligencji, a nawet powstawanie botów psychiatrycznych i terapeutycznych systemów VR (ang. virtual reality), z drugiej zaś – będą to proste wyjścia do lasu czy nad rzekę. Nie ukrywamy, że jednym z naszych marzeń badawczych jest połączenie obu tych wizji i sprawdzenie, jak działa mózg podczas obserwacji ptaków, właśnie z wykorzystaniem najnowszych zdobyczy techniki. Przymiarki do takich badań już na świecie mają miejsce. Jednak nawet bez zaawansowanych narzędzi, a opierając się na wywiadach, badaniach tętna, ciśnienia krwi oraz zawartości kortyzolu, i tak wiemy, że obserwacje ptaków przywracają zdolności poznawcze, zmniejszają agresję i łagodzą zachowania konfliktowe. W przypadku badań nad otępieniem wykazano, że choć nie hamują samego procesu, to jednak dają silną pozytywną odpowiedź emocjonalną, zmniejszają dysfориę, zachowania konfliktowe i inne negatywne emocje. Kontakt z ptakami (zauważmy, że to szczególnie rodzaj zooterapii z dystansu) umożliwia spojrzenie z innej perspektywy na sprawy dnia codziennego, a nie tylko reakcję i uwikłanie w bieżące problemy. W konsekwencji obniża on poziom przeładowania bodźcowego, a poprawia dobrostan. Wielu osób nic tak nie przekonuje jak pieniądze, warto więc wspomnieć o całkiem niedawno wykonanych badaniach. Niemieccy naukowcy przeanalizowali poziom życiowej satysfакcji 26 tys. badanych i doszli do zaskakujących wniosków. Okazało się, że obecność ptaków w otoczeniu może być dla ludzi źródłem większej satysfакcji niż podwyżka pensji.

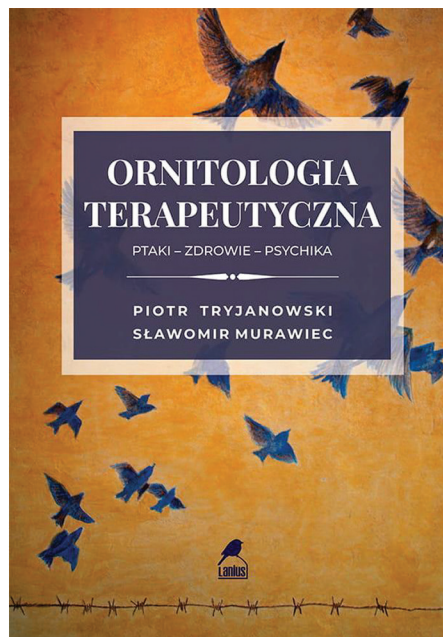
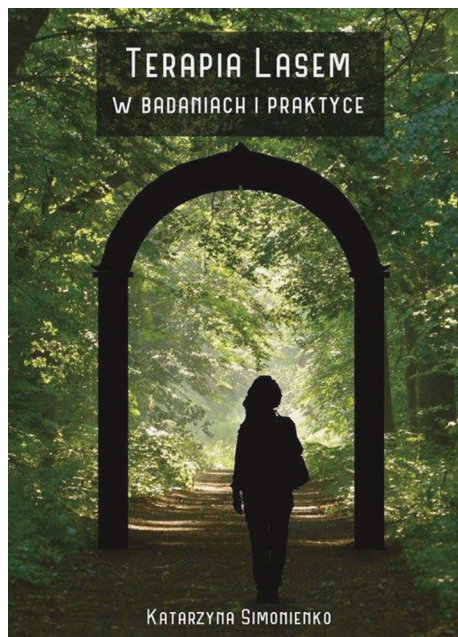
Kto potrzebuje ornitoterapii?

Aspektem wartym podkreślenia jest to, że ornitoterapia, stosowana jako narzędzie terapeutyczne, ważna jest nie tylko dla pacjentów, ale i dla profesjonalistów: lekarzy, pielęgniarek, innych przedstawicieli personelu medycznego, a także psy-

chiatrów i psychologów. W dyskusji nad korzyściami płynącymi z obserwacji ptaków i innych elementów przyrody świetnie się sprawdza zasada: lekarzu ulecz najpierw siebie. Obserwacja pomaga bowiem zwłaszcza w uważności, koncentracji uwagi, poprawie funkcji poznawczych i wreszcie przeciwdziała wypaleniu zawodowemu. Czyż nie są to czynniki istotne w realizowanej praktyce medycznej?

O ile wyjścia do lasu, ptasie obserwacje nad zbiornikami wodnymi, w parkach narodowych i rezerwatach przyrody nie budzą wątpliwości co do ich niemal relaksującego charakteru, to pozostaje pytanie, jak te techniki sprawdzają się w mieście? Zagadnienie to jest o tyle interesujące, że coraz większa część populacji *Homo sapiens* podlega radykalnemu procesowi urbanizacji, a ponadto przynajmniej z perspektywy zdrowia psychicznego miasto, albo sporo jego komponentów, to środowisko niemal patologiczne. Ciągłe oglądanie innych osób, hałas, sztuczne oświetlenie, smog, relatywnie niski kontakt z zielenią – to czynniki bardzo negatywnie wpływające na samopoczucie i inne elementy zdrowia psychicznego. Nie dziwi więc, że to wśród mieszkańców miast szczególnie mocno widoczna jest nostalgia za straconym wiejskim życiem, pamiętanym z dzieciństwa, spędzonym często u dziadków na wsi albo, w sensie ewolucyjnym, na półotwartej sawannie. To postawa nazywana biofilia, a więc umiłowaniem przyrody i chęcią zwiększenia z nią kontaktów. W najróżniejszy sposób. Od planowania przestrzennego, poprzez stosowny układ parków i skwerów, dzielnic czy budynków, powstawanie zielonych tarasów, pionowych zielonych ścian budynków obsadzonych roślinnością i zaopatrzonych w sztuczne wodospady, aż po naprawdę mikrorozwiązania – zielone balkony z pojnnikami dla owadów i budkami lęgowymi dla ptaków.

Pozytywny wpływ terenów zielonych, aktywności na zewnątrz, połączonej choćby z obserwacjami ptaków, odnotowano zwłaszcza w okresie pandemii COVID-19, a światowe dane mówią wręcz o masowym powrocie do przyrody. Nowe dane, szereg badań i poważne metaanalizy jasno wskazują na pozytywny związek pomiędzy bioróżnorodnością a zdrowiem psychicznym. Jednak gdy sprawie przyjrzeć się bliżej, to po raz kolejny zresztą okazuje się, że diabeł tkwi w szczegółach. Zdecydowanie największa część prac ma charakter obserwacyjny i korelacyjny, bez próby zrozumienia mechanizmów wzajemnych relacji i powiązań. Poziom oceny bioróżnorodności opiera się tylko na bardzo dobrze znanych, choć zgrubnych wskaźnikach, takich jak różnorodność i naturalność krajobrazu czy liczba występujących w okolicy gatunków ptaków. Tymczasem olbrzymie znaczenie może mieć tzw. bioróżnorodność ukryta, widoczna tylko dla wąskiej grupy specjalistów, a wyrażona składem i liczebnością zgrupowań bakterii czy wazonkowców. Problemem jest także olbrzymia nadreprezentacja danych z okresu wiosennego (u nas to też sezon lęgowy ptaków), kiedy i tak sezonowe wskaźniki samopoczucia są znacząco lepsze. Nie wiemy, jak bioróżnorodność działa w innych okresach fenologicznych, np. jesienią, kiedy to efekt warunków pogodowych może diametralnie zmieniać sytuację. Pociuszające są jednak i nowe informacje, oparte nie tylko na obserwacjach, rozmowach z pacjentami, ankietach, badaniach poziomu kortyzolu we krwi lub ślinie, ale wykonywane z wykorzystywaniem najnowszych technik rezonansu magnetycznego. Przyroda naprawdę dobrze stymuluje nasze mózgi. Nie zaskakuje więc, że powstają silne ruchy rewitalizacji miast



Ryc. 1. Przykłady książek niedawno opublikowanych w języku polskim, które wywołały ożywczą dyskusję na temat stosowania metod naturalnych

i sprowadzania dzikiej przyrody nad miejskie rzeki, do parków i na skwery. Będzie zdecydowanie więcej miejsca na bliskie wędrówki i obserwacje ptaków. Dla zdrowia fizycznego i psychicznego.

Zamiast zakończenia

Rozpoznawanie drzew, ptaków, grzybów czy owadów to hobby realizowane głównie podczas wypraw i spacerów. Warto być jednak przygotowanym teoretycznie do obserwacji – przejrzeć atlasy, poszperać w Internecie, poczytać o niekonwencjonalnych miejscach występowania i zachowaniach. Zatem dwa w jednym. Ruch i wypoczynek na świeżym powietrzu, a mózg przełączony na inne rodzaje aktywności niż te wykonywane w pracy. Tak więc podglądanie przyrody to rozwiązanie niemal idealne, a badań opisujących zależności pomiędzy dobrym samopoczuciem a uczestnictwem w wycieczkach przyrodniczych są już dziesiątki. Najwięcej przykładów pochodzi z krajów o długiej tradycji prac naturalistycznych – z Anglii, USA, Holandii i Niemiec, ale pojawiają się i w Polsce. Warto przy tym podkreślić, że to nie tylko wyprawy z lupą, lornetką i aparatem fotograficznym, ale i budowanie karmników, domków dla owadów czy budek lęgowych, to świetne odprężenie i czas na refleksję. Jednak jak z każdym hobby, ba, z każdą ludzką aktywnością, trzeba uważać, by pasja nie przekształciła się w uzależnienie behawioralne. Po prostu należy zachować zdrowy rozsądek, a i tutaj świetnie pasuje klasyczna wypowiedź Paracelsusa: „Wszystko jest trucizną i nic nie jest trucizną, bo tylko dawka czyni truciznę”.

Stare medyczne powiedzenie głosi, że dobry szpital ma wielu specjalistów. Zatem dołożenie kontaktu z naturą zaowocuje lepszym, kompleksowym wpływem na nasze zdrowie. By efekt ten był możliwie najlepszy, powinniśmy także pamiętać o lasach i ich biologicznym zróżnicowaniu. W tej różnorodności tkwi siła i, przy odrobinie dobrych chęci, niemal każdy znajdzie coś dla siebie. Smak jagód i grzybów, sok brzozy, zapach sosny, szum wiatru w koronach drzew, wycie wilka i śpiew ptaków – wszystkie te elementy działają razem, nierozdzielnie i dobrze wpływają na nasze zdrowie. Ileż to wody musi upłynąć w rzekach, byśmy na nowo odkryli prawdy znane naszym babciom i dziadkom? Sporo! I najważniejszy, a czasami najtrudniejszy element związany z terapiami naturalnymi: czasem trzeba przestać poszukiwać kolejnych dowodów, zaprzestać czytania i analizowania publikacji. Po prostu zamknąć książkę, wyłączyć komputer, zabrać lornetkę i odpowiedni strój i wyruszyć na spacer do lasu. Po zdrowie!

Literatura

Z racji charakteru niniejszego tekstu zrezygnowaliśmy z klasycznego przywołania źródeł naukowych. Poza wskazanymi książkami w języku polskim istnieją setki artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych. Część z nich została zacytowana we wskazanych pracach. Poniżej zaś zamieszczamy krótką listę publikacji, najczęściej o charakterze przeglądowym, w których można znaleźć nie tylko wyniki badań, ale także szerszy kontekst metodologiczny i terapeutyczny.

- Bratman G.N., Anderson C.B., Berman M.G., Cochran B., de Vries S., Flanders J., Folke C., Frumkin H., Gross J.J., Hartig T., Kahn P.H., Kuo M., Lawler J.J., Levin P.S., Lindahl T., Meyer-Lindenberg A., Mitchell R., Ouyang Z., Roe J., Scarlett L., Smith J.R., van den Bosch M., Wheeler B.W., White M.P., Zheng H., Daily G.C. 2019. Nature and mental health: An ecosystem service perspective. *Science Advances* 5: eaax0903.
- Czeszczewik D., Ginter A., Mikusiński G., Pawłowska A., Kałuża H., Smithers R.J., Walankiewicz W. 2019. Birdwatching, logging and the local economy in the Białowieża Forest, Poland. *Biodiversity and Conservation* 28: 2967–2975.
- Lee I., Choi H., Bang K.-S., Kim S., Song M., Lee B. 2017. Effects of forest therapy on depressive symptoms among adults: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14: 321.
- Maes M.J.A., Pirani M., Booth E.R., Shen C., Milligan B., Jones K.E., Toledano M.B. 2021. Benefit of woodland and other natural environments for adolescents' cognition and mental health. *Nature Sustainability* 1–8.
- Murawiec S., Tryjanowski P. 2020. Psychiatra patrzy na ptaki w czasie pandemii COVID-19: obserwacje, introspekcje, interpretacje. *Psychiatria i Psychologia Kliniczna* 20: 94–97.
- Rogowski M. 2016. The Multi-sensory landscape as an inspiration in the creation of a tourism product. *Turyzm/Tourism* 26: 23–32.
- Staniewska A. 2015. Zagrożenia parków i ogrodów towarzyszących historycznym szpitalom psychiatrycznym w Polsce. *Przestrzeń Urbanistyka Architektura* 1: 103–120.
- Tryjanowski P., Murawiec S. 2020. Terapeutyczna moc podpatrywania ptaków. *Psychologia w Praktyce* 20: 63–68.
- van den Bosch M., Meyer-Lindenberg A. 2019. Environmental exposures and depression: Biological mechanisms and epidemiological evidence. *Annual Review of Public Health* 40: 239–259.

Sesja referatowa i plakatowa

Strategie redoks podczas kiełkowania nasion reprezentujących przeciwstawne kategorie: *orthodox* (klon zwyczajny) i *recalcitrant* (klon jawor)

Shirin Alipour¹, Natalia Wojciechowska^{1,2}, Ewa M. Kalemba^{1*}

¹Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik, kalemba@man.poznan.pl

²Zakład Botaniki Ogólnej, Instytut Biologii Eksperymentalnej, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań

Nasiona to swego rodzaju bogactwo naturalne naszej planety utrzymujące różnorodność gatunkową ekosystemów. Nasiona genetycznie podobne z rodzaju *Acer* są fizjologicznie zróżnicowane i reprezentują dwie przeciwstawne kategorie. Klon zwyczajny wytwarza nasiona odporne na desykcję (*orthodox*), a jawor – na nią wrażliwe (*recalcitrant*). Niezależnie od kategorii regulacja komórkowego środowiska redoks pełni ważną rolę podczas wszystkich etapów rozwoju nasion, w tym kiełkowania.

Reaktywne formy tlenu (RFT) wykazują właściwości utleniające, dlatego dla zachowania homeostazy muszą zachodzić reakcje redukcji. Metionina (Met) to aminokwas występujący w białkach, szczególnie podatny na utlenianie; wtedy przekształcana jest do sulfotlenku metioniny (MetO). Jest to modyfikacja odwracalna. Enzymy przywracające formę zredukowaną to reduktazy sulfotlenku metioniny typu A oraz B (MsrA, MsrB) występujące w wielu izoformach.

Wykazaliśmy, że kiełkujące nasiona klonu zwyczajnego i klonu jaworu różnią się ilością RFT, poziomem MetO w białkach oraz ilością MsrB1 i MsrB2. Dowiedliśmy, że białko MsrB2 ma związek z odpornością na desykcję. Wyłącznie w nasionach klonu zwyczajnego stwierdziliśmy występowanie zależności pomiędzy ilością RFT, MetO i MsrB2 obrazującej sprawny system regulacji redoks na poziomie metioniny.

Analizy proteomiczne wykazały istnienie grup białek, których ilość jest odmiennie regulowana w skiełkowanych nasionach obu gatunków. Ilość 149 białek znacząco rosła, a malała dla 223 białek nasion klonu zwyczajnego. Całkowicie odwrotna sytuacja występowała w nasionach klonu jaworu. Dodatkowo zidentyfikowano białka zawierające MetO – modyfikację, która zmienia strukturę i aktywność białek w ten sposób, że zwykle tracą one swoją funkcję. Zidentyfikowano 44 białka, w których ilość MetO znacząco rosła w nasionach klonu zwyczajnego, a malała w nasionach klonu jaworu, oraz 108 białek, w których ilość MetO znacząco malała w nasionach klonu zwyczajnego, a rosła w nasionach jaworu.

Pomimo że regulacja statusu redoks jest całkowicie odmienna w nasionach klonu zwyczajnego i jaworu, ich zdolność kiełkowania i wytwarzania siewek jest w obu przypadkach bardzo wysoka. Podczas kiełkowania nasiona te wykazują również odmiennie strategie redoks w przypadku regulacji ilości i stosunku form zredukowanych i utlenionych askorbinianu, glutationu, dinukleotydu nikotynamidoadeninowego i jego formy ufosforylowanej. Co więcej, zaobserwowane róż-

nicowanie jest nadal obecne w liściach i korzeniach siewek powstających z tych nasion.

Wyniki te dostarczają argumentów do dyskusji nad tym, która strategia jest korzystniejsza w zmieniającym się środowisku w odniesieniu do długowieczności nasion i zachowania bioróżnorodności ekosystemów leśnych.

Badania były finansowane przez Narodowe Centrum Nauki, projekt nr 2015/18/E/NZ9/00729.

Bioróżnorodność zbiorowisk mikroorganizmów glebowych w drzewostanach górskich

Marta Belka¹, Jacek Kamczyc²

*¹Katedra Entomologii i Fitopatologii Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań, marta.belka@up.poznan.pl*

*²Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań, jacek.kamczyc@gmail.com*

Rola grzybów jest nie do przecenienia. Poprzez rozkład materii regulują równowagę węgla i składników odżywczych w podłożu, fizycznie wiążą cząsteczki gleby, tworząc stabilne agregaty zwiększające infiltrację wody i zdolność jej zatrzymywania w glebie. Odpowiadają za modyfikację siedlisk poprzez regulację dynamiki procesów fizjologicznych zachodzących w środowisku glebowym, pozostając jednak pod silnym wpływem różnorodności i składu zbiorowisk roślinnych, a w zamian oddziałują na wzrost roślin poprzez mutualizm, patogeniczność i ich wpływ na dostępność oraz obieg składników odżywczych. Uczestniczą w wiązaniu azotu, produkcji hormonów, biologicznej ochronie przed patogenami korzeni, wchodzą w relacje symbiotyczne i patogeniczne z innymi organizmami.

Bakterie są kolejną ważną, choć mniej zbadaną częścią społeczności drobnoustrojów w glebach leśnych. Niektóre gatunki znacząco przyczyniają się do rozkładu materii organicznej. Ponadto bakterie są głównymi naturalnymi czynnikami odpowiedzialnymi za wiązanie azotu w ekosystemach leśnych oraz za wietrzenie minerałów, które prowadzi do uwalniania nieorganicznych składników odżywczych.

Rola bakterii i grzybów nie powinna być jednak postrzegana oddzielnie. Duża liczebność biomasy grzybowej w glebach ma wielorakie konsekwencje dla bakterii, w tym tworzenie specyficznych nisz w płatach gleby skolonizowanych przez grzyby, dostarczanie składników odżywczych poprzez rozkład materii oraz sam wzrost grzybni umożliwiające bakteriom przemieszczanie się w środowisku. Odwrotnie funkcjonowanie mykoryz jest często modulowane przez współwystępujące bakterie.

Badania zrealizowano na terenie Nadleśnictwa Zdroje (Sudety Środkowe). Z 40 powierzchni badawczych o powierzchni 200 m², z równolicznymi grupami

drzewostanów młodszych (do 60 lat) oraz starszych (powyżej 100 lat) świerkowych i liściastych (z dominującym udziałem buka i jaworu) pobrano próby gleby do analizy struktury zgrupowań mikroorganizmów. Ekstrakcję DNA przeprowadzono z uśrednionych prób przy użyciu zestawu DNeasy PowerSoil Kit (QIAGEN). W celu identyfikacji grzybów analizie poddano region ITS1, 5.8rDNA, a bakterii – 16S. Sekwencjonowanie przeprowadzono w technologii Illumina. Analizę bioinformatyczną wykonano na podstawie bazy sekwencji referencyjnych.

W próbach pobranych z drzewostanów świerkowych młodszych i starszych opisano dla obu zbiorowisk łącznie prawie 60 taksonów. Liczba taksonów, których nie udało się zidentyfikować, stanowiła powyżej 20% na poszczególnych powierzchniach badawczych. Badania pozwoliły stwierdzić, że 34% rozpoznanych taksonów było wspólnych dla obu grup wiekowych drzewostanów. W badaniach wykazano mniejszą liczbę taksonów unikatowych w drzewostanach młodszych w porównaniu z drzewostanami starszymi. Najczęściej występującym gatunkiem w młodszych drzewostanach była *Mortierella macrocystis*, znajdująca w 80% prób. W starszych drzewostanach odnotowana została jedynie na dwóch powierzchniach badawczych.

Ogólnie 36% taksonów z prób pochodzących z drzewostanów liściastych młodszych i starszych nie udało się zidentyfikować. Łącznie opisano ponad 60 taksonów, spośród których 20% stanowiły gatunki wspólne dla młodszych i starszych drzewostanów. Badania wykazały mniejszą liczbę taksonów unikatowych w drzewostanach młodszych w porównaniu ze starszymi. Na wielu powierzchniach opisano takie taksony, jak: *Mortierella* spp., *Entoloma versatile*, *Russula cyanoxantha* czy *Tomentella badia*.

Porównując sekwencje bakteryjne z referencyjnymi, zidentyfikowano ogólnie 13 taksonów, m.in. Acidobacteria, Proteobacteria, Actinobacteria, Verrucomicrobia, Planctomycetes czy Alphaproteobacteria. Wśród rodzajów, których odpowiedniki były zdeponowane w bazie sekwencji referencyjnych, a które zaobserwowano w większości badanych prób, znalazły się: *Stenotrophomonas* (z najwyższym udziałem w badanych próbach), *Mycobacterium* czy *Burholderia*. W niniejszych badaniach znaleziono niedawno odkrytą w górskich lasach alpejskich *Edaphobacter modestum*, a także *Sphingomonas wittichii* – bakterię, której szczepy służą w walce z zanieczyszczeniami środowiska.

W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wiek oraz skład gatunkowy drzewostanu wpływają na bogactwo gatunkowe grzybów. Ze względu na małą liczbę sekwencji referencyjnych bakterii zdeponowanych w bazach danych nie można potwierdzić tej zależności dla wspomnianych organizmów.

Badania sfinansowano w ramach działania naukowego Miniatura 3 pt. „Zgrupowania mikrostawonogów glebowych (Acari, Mesostigmata) w drzewostanach górskich” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (2019/03/X/NZ9/01242).

Wpływ wylesienia o różnej genezie na zróżnicowanie czasowo-przestrzenne cech i składu chemicznego wód w zlewniach elementarnych Doliny Kościeliskiej

Anna Biernacka

Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Przyrodniczych, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gołębia 24, 31-007 Kraków, anna.biernacka@doctoral.uj.edu.pl

Gwałtowny wiatrołom w grudniu 2013 r. w Tatrzańskim Parku Narodowym w Dolinie Kościeliskiej spowodował całkowite wylesienie niektórych stoków, a w kolejnych latach obserwowano silną gradację kornika. Celem badań było określenie wpływu wylesienia o różnej genezie na zróżnicowanie czasowo-przestrzenne cech i składu chemicznego wód. Przebadano dziewięć zlewni elementarnych o różnym stopniu pokrycia terenu – od niemal całkowicie wylesionych do leśnych. W trakcie sezonowych badań terenowych (listopad 2019 r., luty, lipiec oraz wrzesień 2020 r.) pobrano 100 próbek wody oraz zmierzono temperaturę, odczyn i przewodność elektrolityczną. W Laboratorium Hydrologiczno-Chemicznym IGIGP UJ oznaczono skład chemiczny wód metodą chromatografii jonowej (DIONEX 2000) w zakresie jonów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Li^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , F^- i Br^- .

Badania wykazały, że skład chemiczny wód jest silniej zmodyfikowany na skutek wylesienia powiatrołomowego w czlonie anionowym niż w kationowym. Anionem silnie reagującym na zmianę w pokryciu terenu są, zgodnie z oczekiwaniem, jony azotanowe. Bezpośrednio po wiatrołomie z 2013 r. obserwowano w czasie kilku lat wysokie stężenia NO_3^- w wodach. Na przykład w wylesionej w 90% zlewni Pośredniej Kopki ich stężenie przed wiatrołomem wynosiło $3,40 \text{ mg/dm}^3$ (badania z lat 2007–2009), natomiast po wiatrołomie $9,80 \text{ mg/dm}^3$ (2015 r.), jednak po kilku latach są one kilkakrotnie niższe – $1,25 \text{ mg/dm}^3$ (badania autorki z lat 2019–2020), co jest spowodowane intensywną sukcesją roślinności. Warto podkreślić, że sezonowa zmienność stężenia NO_3^- była obserwowana bez względu na stopień wylesienia, niemniej była ona silnie zróżnicowana. W zlewni Pośredniej Kopki w sezonie pozawegetacyjnym (listopad 2019 i luty 2020) średnie stężenie NO_3^- wynosiło $1,85 \text{ mg/dm}^3$, natomiast w sezonie wegetacyjnym (lipiec i wrzesień 2020), w czasie intensywnego wzrostu roślin – $0,65 \text{ mg/dm}^3$. W zalesionej zlewni Małego Regła w sezonie pozawegetacyjnym średnie stężenie NO_3^- wyniosło $10,84 \text{ mg/dm}^3$, zaś w wegetacyjnym $6,75 \text{ mg/dm}^3$. Badania wskazują ponadto na wysokie stężenia azotanów w kilku zlewniach północnej części Doliny Kościeliskiej, co świadczy o dalszym rozpadzie drzewostanu.

Skład chemiczny drewna i kory czeremchy amerykańskiej (*Prunus serotina* Ehrh.)

Jakub Brózdowski¹, Bogusława Waliszewska¹, Oskar Szczepaniak²

¹Katedra Chemicznej Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, jakub.brozdowski@up.poznan.pl,
boguslawa.waliszewska@up.poznan.pl

²Katedra Technologii Gastronomicznej i Żywności Funkcjonalnej, Uniwersytet Przyrodniczy
w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, oskar.szczepaniak@up.poznan.pl

Czeremcha amerykańska jest gatunkiem inwazyjnym, który dobrze zadomowił się już w naszych lasach. Może ona osiągnąć wysokość do 25 m, a jej korona jest okrągłojajowata ze zwisającymi ciemnobrązowymi pędami. Pełną wysokość krzewy osiągają w wieku 100 lat. Rośnie ona w lasach iglastych, ale sadi się ją również w parkach i ogrodach. Na ziemi polskie została introdukowana w 1813 r. i stopniowo wprowadzana była do lasów gospodarczych jako gatunek podszytowy, któremu przypisywano wiele walorów biocenotycznych. Dzisiaj jest powszechnie spotykana w lasach Polski. Badania nad sposobami jej eliminacji z ekosystemów leśnych trwają od wielu lat i wskazują na to, że nie uda się jej w całości usunąć, a co najwyżej kontrolować jej rozprzestrzenianie się. Kontrola polega głównie na wycinaniu osobników, co powoduje powstawanie odpadów, które możemy przeznaczyć na cele energetyczne (spalanie) lub spróbować wykorzystać w inny sposób.

Pierwszym krokiem do znalezienia sposobu wykorzystania wycinanych osobników czeremchy jest zbadanie właściwości poszczególnych elementów anatomicznych drzewa. Obecnie obserwuje się powrót do naturalnych związków chemicznych, które mogą mieć szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Prowadzone są badania związków fenolowych, które są znane ze swojej biologicznej aktywności. W celu określenia pełnych możliwości użycia biomasy czeremchy amerykańskiej warto też poznać podstawowy skład chemiczny zarówno drewna, jak i kory.

Aktualne wyniki badań potwierdzają antyseptyczne i prozdrowotne właściwości różnych części anatomicznych tego gatunku. Kora i owoce czeremchy zawierają glikozydy cyjanogenne, takie jak prunazyna i amigdalina, które mogą być toksyczne w przypadku spożycia w dużych ilościach ze względu na uwalnianie jonów cyjankowych. Ekstrakty z owoców *P. serotina* zawierają polarne i niepolarne metabolity, które mogą rozszerzać naczynia krwionośne. Zawartość związków fenolowych w czeremchsze amerykańskiej jest bardzo wysoka w porównaniu z innymi gatunkami drzewiastymi, np. wiązem czy sosną. Polifenole mogą być wykorzystywane w produktach do ochrony przeciwślonecznej, mogą być stosowane w leczeniu stanów zapalnych wywołanych promieniowaniem UV, a także w celu ochrony i zapobiegania uszkodzeniom skóry spowodowanym stresem oksydacyjnym lub uszkodzeniem DNA. Kora czeremchy zawiera garbniki, cerebrozydy i polifenole, przez co może być ona surowcem do produkcji kosmetyków naturalnych. Wszystkie wymienione substancje przyczyniają się do hamowania rozwoju

wielu chorobotwórczych mikroorganizmów, działają przeciwwzpalnie i ściągająco oraz wzmacniają odporność.

W prezentowanych badaniach określono podstawowy skład chemiczny kory i drewna *Prunus serotina* oraz zidentyfikowano związki fenolowe wyekstrahowane z kory. Zawartość podstawowego składnika biomasy, jakim jest celuloza, wskazuje na możliwość wykorzystania drewna czeremchy w chemicznym przerobie. Cennym składnikiem mogą być również substancje ekstrakcyjne zawarte w korze i drewnie omawianego gatunku.

Wkraczanie inwazyjnej czeremchy amerykańskiej (*Prunus serotina* Ehrh.) na grunt polny na przykładzie Puszczy Zielonki

Bartosz Bułaj*, Kamila Woźniecka

Katedra Hodowli Lasu, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71E, 60-625 Poznań, *bartosz.bulaj@up.poznan.pl

Gatunki obce to takie, które występują poza swoim naturalnym zasięgiem i zostały tam świadomie bądź nieświadomie introdukowane przez człowieka. Wiele z nich ma status zadomowionych, co oznacza, że w nowym środowisku tworzą stabilne populacje. Niektóre opanowały zdolność masowej reprodukcji i szybko kolonizowania nowych obszarów, zagrażając tym samym rodzimym układom biologicznym. Takie gatunki nazywamy inwazyjnymi. Jednym z gatunków roślin drzewiastych, który ma obecnie status gatunku inwazyjnego w naszym kraju, jest czeremcha amerykańska (*Prunus serotina*). Została ona sprowadzona do Europy w XVII w., a do Polski trafiła w wieku XIX. W drugiej połowie XX w. była masowo wprowadzana do drzewostanów sosnowych, gdzie miała pełnić funkcje fitomelioryacyjne i glebochronne. Małe wymagania ekologiczne oraz znaczna dynamika rozwoju spowodowały szerokie i niekontrolowane rozprzestrzenianie się tego gatunku głównie w ekosystemach leśnych. Od lat obserwujemy również wkraczanie czeremchy do ekosystemów silnie przekształconych przez człowieka, jakimi są grunty polne, czyli tereny, które przez wiele lat były użytkowane rolniczo i na skutek zaprzestania tej działalności często podlegają procesowi wtórnej sukcesji ekologicznej.

Głównym celem naszych badań było określenie liczebności i podstawowych cech biometrycznych, takich jak wysokość i średnica młodych czeremch amerykańskich rosnących w różnych warunkach świetlnych na gruncie polnym w Puszczy Zielonce (woj. wielkopolskie).

Na przełomie sierpnia i września 2018 r. na badanym obszarze wyznaczono trzydzieści kwadratowych powierzchni próbnych o wielkości 100 m² (1 ar). Dziesięć z nich zostało zlokalizowanych na otwartej przestrzeni gruntu polnego, pokrytego wyłącznie roślinnością zielną. Po dziesięć powierzchni wyznaczono we-

wnątrz umiarkowanie i silnie zwartych biogrup kilkunastoletnich samosiewów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), które porastały niemal 50% obszaru badanego gruntu porolnego. Umiarkowanie zwarte biogrupy charakteryzowały się mniejszym ocienieniem, dominacją roślinności zielnej w warstwie runa i mniejszą ilością ścioly złożonej z igieł sosnowych w porównaniu z silnie zwartymi biogrupami, wewnątrz których panowało większe ocienienie, a w warstwie runa roślinności zielnej prawie nie było. Na wszystkich trzydziestu powierzchniach próbnych określono zagęszczenie czeremchy oraz wykonano pomiary wysokości i średnicy osobników. Na powierzchniach zlokalizowanych wewnątrz biogrup dodatkowo określono zagęszczenie sosen.

Najwięcej czeremchy stwierdzono na powierzchniach próbnych wyznaczonych pod okapem umiarkowanie zwartych biogrup samosiewów sosnowych – ich liczba była niemal trzykrotnie większa niż w przypadku silnie zwartych biogrup i ponaddwudziestokrotnie większa niż w przypadku przestrzeni otwartej, gdzie czeremchy charakteryzowały się największą wysokością i średnicą. Wysokości i średnice czeremch rosnących pod okapem umiarkowanie i silnie zwartych biogrup samosiewów sosnowych były zbliżone i trzykrotnie mniejsze niż osobników na otwartej przestrzeni.

Na badanym gruncie porolnym młode czeremchy amerykańskie znajdowały niekorzystne warunki do kiełkowania zarówno w warunkach dużego zacielenia (silnie zwarte biogrupy), jak i w świetle pełnym (przestrzeń otwarta), gdzie były narażone na silną konkurencję ze strony roślin zielnych. Pod okapem umiarkowanie zwartych biogrup samosiewów sosnowych liczba młodych czeremch była największa, co oznacza, że panowały tam najkorzystniejsze dla tego gatunku warunki świetlne (półcień) i mniejsza konkurencja ze strony roślin zielnych niż na otwartej przestrzeni. W przyszłości zmieni się to, gdy umiarkowanie zwarte biogrupy, na skutek przyrostu sosen na wysokość i grubość, staną się silnie zwarte, co znacznie pogorszy warunki świetlne dla czeremch. Będą one wówczas zmuszone do zastosowania jednej ze strategii życiowych tego gatunku, polegającej na wydłużaniu młodocianej fazy rozwojowej. Z drugiej strony wiele będzie zależało od tempa procesu wydzielania się sosen na skutek konkurencji osobniczej, stymulowanej stopniowo zwiększającym się zwarciem. W powstałych lukach mogą tworzyć się korzystne warunki świetlne dla wzrostu zarówno młodych czeremch, jak i roślin zielnych.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają, że kolonizacja nowych obszarów przez czeremchę amerykańską jest w znacznej mierze uzależniona od dostępności światła oraz konkurencji ze strony innych gatunków roślin.

Przyrosty roczne i zależności przyrost–klimat u cyprysika groszkowego (*Chamaecyparis pisifera* Endl.) w Polsce

Anna Cedro^{1*}, Grzegorz Nowak², Halina Kowalewska-Kalkowska¹

¹Institut Nauk o Morzu i Środowisku, Uniwersytet Szczeciński, ul. Adama Mickiewicza 16, 70-383 Szczecin, *anna.cedro@usz.edu.pl

²Katedra Architektury Krajobrazu, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Papieża Pawła VI 3A, 71-459 Szczecin

Cyprysik groszkowy (*Chamaecyparis pisifera* Endl.) ma naturalne stanowiska w Japonii. Do Europy introdukowany został w drugiej połowie XIX w. – do Anglii i Holandii w 1861 r., a do Polski w 1864 r. Celem opracowania było zbadanie wpływu warunków klimatycznych na szerokość przyrostu rocznego cyprysika groszkowego w Polsce. Dodatkowo szukano innych wskaźników (takich jak słoje fałszywe, wypadające czy mrozowe) określających zależności przyrost–klimat dla badanego gatunku drzewa. Do badań wytypowano pięć stanowisk w północno-zachodniej i centralnej Polsce. Próby pochodzące z 97 drzew pobierano świdrami Presslera na wysokości pierśnicy. Pomiar szerokości przyrostów rocznych wykonano z dokładnością do 0,01 mm. Dane klimatyczne pochodzą ze stacji meteorologicznych zlokalizowanych najbliżej badanej powierzchni.

Szerokość przyrostu rocznego badanych cyprysików groszkowych jest zróżnicowana (od 1,94 do 4,47 mm). Najstarsze cyprysiki groszkowe rosną w arboretum w Glinnej, mają blisko 130 lat, najmłodsze w arboretach w Rogowie (67 lat) i Wirtach (58 lat).

Dla chronologii lokalnych wyznaczono dziesięć regionalnych lat wskaźnikowych, w tym sześć negatywnych i cztery pozytywne. Negatywne lata wskaźnikowe związane są z wystąpieniem mroźnych zim oraz z niedoborem opadów w okresie letnim, pozytywne lata wskaźnikowe z kolei to okresy najczęściej z ciepłą zimą, wczesną i ciepłą wiosną oraz z wysokimi sumami opadów w miesiącach letnich. Analiza korelacji i funkcji odpowiedzi potwierdza wyniki uzyskane dla lat wskaźnikowych. Występowanie fałszywych przyrostów niesie dodatkową informację o warunkach pluwialnych w lecie, a słoje mrozowe pomagają w datowaniu ciągów dendrochronologicznych oraz świadczą o wystąpieniu bardzo mroźnych zim i długotrwałych przymrozków wiosną.

Cyprysik groszkowy w porównaniu z rodzimymi drzewami iglastymi zaliczyć można do gatunków szybkorosnących. Znajomość aklimatyzacji, szybkości przyrostu czy zależności przyrost–klimat może być przydatna, szczególnie w dobie szybko zmieniającego się klimatu, wzrostu antropopresji i bardzo nasilonej inwazji owadów i grzybów atakujących rodzime gatunki lasotwórcze.

Co jeśli nie nasiona w ochronie zasobów genowych drzew leśnych?

Paweł Chmielarz*, Mikołaj K. Wawrzyniak, Jan Suszka

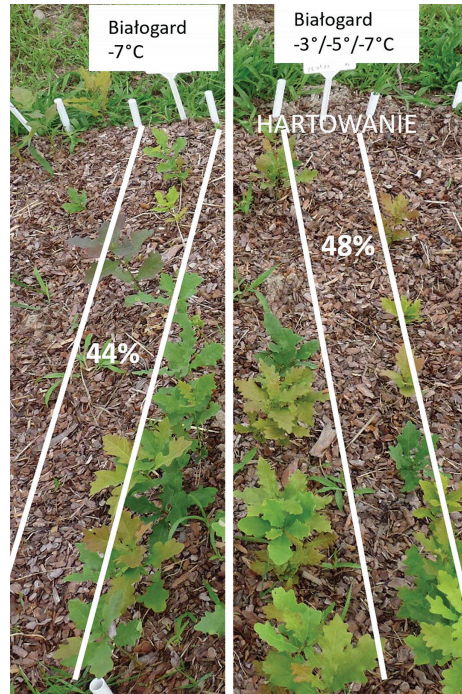
Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik, *pach@man.poznan.pl

Długoterminowe przechowywanie zasobów genowych roślin drzewiastych realizowane jest głównie poprzez gromadzenie nasion w bankach genów, jednak nasiona nie wszystkich gatunków roślin drzewiastych się do tego nadają. Predyspozycje nasion do takiego przechowywania zależą od tego, czy znoszą one silne podsuszenie, co z kolei pozwala im na skuteczne zabezpieczenie się przed szkodliwym oddziaływaniem ujemnej temperatury.

Nasiona większości gatunków drzew można podsuszać do bardzo niskiego poziomu wilgotności, tzn. 2–4% (sosna, olsza, grab czy brzoza) i przechowywać długo w klasycznych warunkach w temperaturze -18°C . Ale nawet w tej kategorii nasion mamy do czynienia z gatunkami nieco wrażliwymi na silne odwodnienie, np. jesionem wyniosłym, jabłonią pospolitą, lipą drobnolistną, wierzbami czy topolami (u tych nasion wilgotność krytyczna mieści się w granicach ok. 5–6%). Nasiona należące do kategorii *suborthodox*, np. buka pospolitego, w zależności od proveniencji, giną przy wilgotności orzeszków około 5–8%.

Dąb szypułkowy (*Quercus robur*) wytwarza nasiona jeszcze wrażliwsze na podsuszenie (z kategorii *recalcitrant*), które nie tolerują podsuszenia poniżej 40% i przechowywania w optymalnej temperaturze -3°C dłuższego niż przez jedną lub dwie zimy.

Wyniki naszych ostatnich badań nad odpornością mrozową nasion dębu oraz ich hartowaniem wykazały, że hartowanie zwiększa wschody nasion przechowywanych przez trzy miesiące w temperaturze -7°C (48%) w porównaniu z nasionami niehartowanymi (44%) (ryc. 1). Skuteczność hartowania żołądźki potwierdziły wyniki laboratoryjnej zdolności kiełkowa-



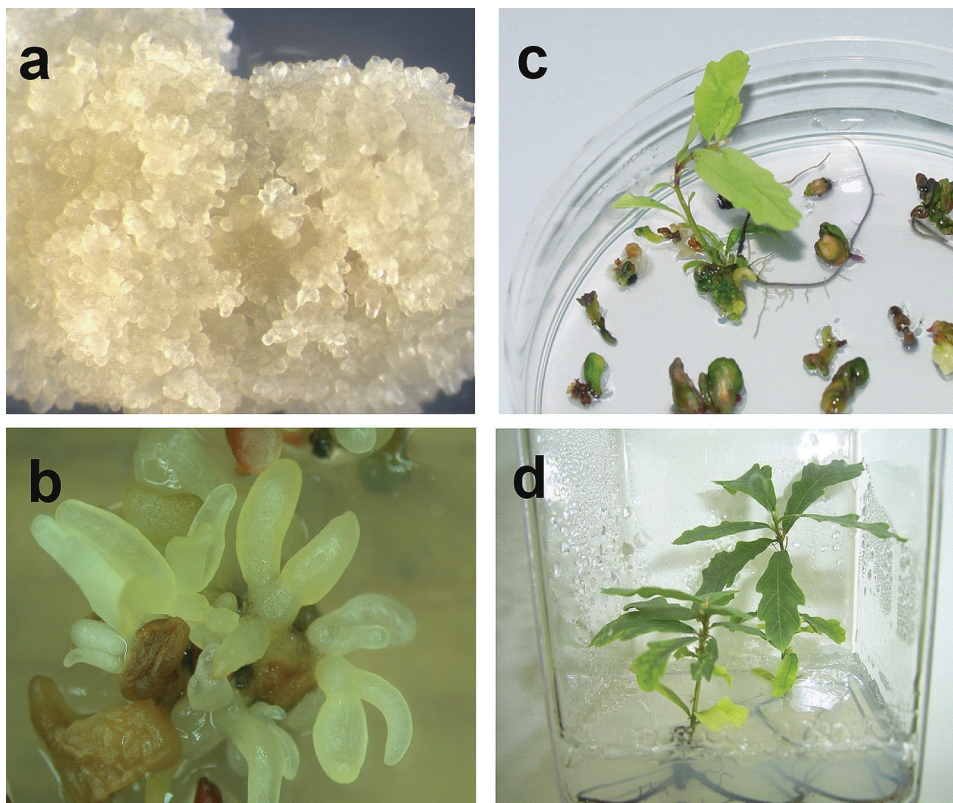
Ryc. 1. Trzymiesięczne siewki dębu szypułkowego rosnące w szkółce, otrzymane z nasion po przechowaniu przez trzy miesiące w temperaturze -7°C (po lewej: kontrola – bez hartowania; po prawej – po hartowaniu żołądźki, kolejno po miesiącu w temperaturze -3°C , -5°C i -7°C)

nia oraz wschody w szkółce, a także badania przepuszczalności błon komórkowych, mierzonej stopniem przewodnictwa elektrycznego (wpływ elektrolitów).

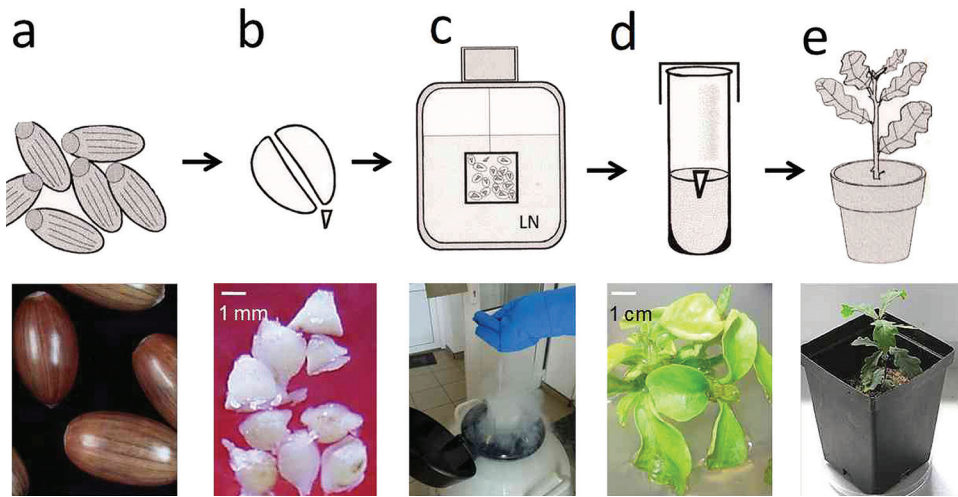
Przechowywanie żołądździ w kontrolowanych warunkach z zachowaniem ich pełnej żywotności możliwe jest do kilku lat i wykorzystywane jest w szkółkarstwie leśnym.

Jednak aby zachować zasoby genowe dębu szypułkowego bezpiecznie przez dziesięciolecia w bankach genów, musimy zastosować bardziej wyspecjalizowane techniki, takie jak przechowywanie tkanki embriogenicznej otrzymanej z niedojrzałych zarodków zygotycznych (ryc. 2) lub kriokonserwacja bardzo małych fragmentów nasion – plumul (merystemów wierzchołkowych osi zarodkowych), wielkości około 1 mm (ryc. 3). Z fragmentów tkanek kompletne rośliny regeneruje się z wykorzystaniem kultur *in vitro*.

W celu zachowania cennego genotypu starych dębów, które nie rozmnażają się wegetatywnie, hodujemy ich dokładne kopie – klony, z pędem i korzeniem,



Ryc. 2. Kriokonserwacja tkanki embriogenicznej: a) tkanka przed zamrożeniem w ciekłym azocie (LN), b) zarodki somatyczne regenerujące się z tkanki po rozmrożeniu z LN, c) kiełkowanie zarodków somatycznych, d) kompletne rośliny uzyskane z tkanki embriogenicznej przemrożonej w LN



Ryc. 3. Kriokonserwacja plumul dębu szypułkowego: a) żołędzie, b) plumule izolowane z nasion, c) zamrożenie plumul w ciekłym azocie (LN), d) regeneracja plumul w kulturach *in vitro*, e) przeniesienie roślin z warunków sterylnych w podłoże stałe

reprezentujące ten sam genotyp co drzewo mateczne. Tutaj również z pomocą przychodzą kultury *in vitro* (ryc. 4).

W przypadku pomnikowych dębów kultury *in vitro* inicjuje się z pędów odrosłowych otrzymanych w hodowli wazonowej z pąków śpiących zdrewniałych pędów (eksplantaty). Pędy rozwijające się *in vitro* z pąków takich eksplantatów namnaża się na specjalnych pożywkach agarowych z dodatkiem regulatorów wzrostu, a następnie ukorzenia się również *in vitro* na pożywce agarowej o zredukowanym składzie makro- i mikroelementów z dodatkiem auksyny oraz aktywnego węgla.

W czasach zmieniającego się klimatu metody zachowania zasobów genowych, opisane tutaj dla dębu szypułkowego, mogą być testowane dla innych zagrożonych gatunków dębów (w rodzaju *Quercus* jest ich na świecie około 430 i wszystkie produkują nasiona trudne do przechowywania). W Polsce w 2006 r. powstał w Leśnym Banku Genów Kostrzyca dział kriogenicznego przechowywania, gdzie przetrzymuje się już zasoby genowe dębu szypułkowego w postaci plumul. W Ar-



Ryc. 4. Klonowanie jednego z najstarszych dębów w Polsce, około 800-letniego dębu szypułkowego Rus z Rogalina, z wykorzystaniem metody *in vitro*. Przy posadżonym w Rogalinie klonie dębu umieszczono tablicę w języku polskim i angielskim z opisem metody. W 2021 r. okaz zakwitł i wytworzył nasiona

boretum Leśnego Banku Genów oraz w Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku sady się też wyhodowane w kulturach *in vitro* klony pomnikowych dębów.

Opracowane metody konserwacji zasobów genowych roślin w wykorzystaniem kultur *in vitro* oraz kriokonserwacji wraz z klasycznymi metodami przechowywania umożliwiają zabezpieczenie większej puli genów zagrożonych lub ważnych ekologicznie i gospodarczo gatunków roślin w bankach genów.

Aktywność fosfatyz i formy fosforu w glebach industrioziemnych pod gatunkami pionierskimi i fitomeliorycyjnymi

Marcin Chodak^{1*}, Katarzyna Sroka¹, Marcin Pietrzykowski²

¹Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, *chodak@agh.edu.pl

²Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Niska dostępność fosforu jest jednym z czynników mogących ograniczać rozwój ekosystemów na terenach przemysłowych zrehabilitowanych w kierunku leśnym. Wprowadzane w ramach rekultywacji gatunki drzew mogą w różnicowany sposób wpływać na dostępność tego pierwiastka. Celem badań było porównanie wpływu olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) i robinii akacjowej (*Robinia pseudoacacia* L.), reprezentujących gatunki fitomeliorycyjne, z gatunkami pionierskimi – sosną zwyczajną (*Pinus sylvestris* L.) i brzozą brodawkowatą (*Betula pendula* Roth), na aktywność fosfatyz kwaśnej (Fosf_{KW}), fosfatyz zasadowej (Fosf_{ZAS}) i pirofosfatyz nieorganicznej (PirFosf) oraz na stężenie fosforu dostępnego (fosfor labilny (P_{Lab}), Mehlicha 1 (P_{Mh1}), Mehlicha 3 (P_{Mh3}), Egnera-Riehma (P_{ER}), wymienny (P_{ex}), rozpuszczalny w wodzie (P_{H2O}), mikrobiologiczny (P_{mic})) w glebach industrioziemnych powstających ze zróżnicowanych substratów.

Badane gleby powstawały z substratów reprezentujących czwartorzędowe piaski, ubogie w składniki odżywcze (Szczakowa, Bełchatów), ily o odczynie kwaśnym (Turoszów) i zasadowym (Tarnobrzeg) oraz popioły ze spalania węgla brunatnego (Lubień). Próbkę gleb pobrano z głębokości 0–5 cm i 5–15 cm.

Stwierdzono, że gatunki fitomeliorycyjne zwiększały aktywność Fosf_{KW} w porównaniu z gatunkami pionierskimi. Gleby pod sosną wykazały istotnie niższą aktywność PirFosf, natomiast aktywność Fosf_{ZAS} nie zależała od dominującego gatunku drzewa. Po przeliczeniu aktywności fosfatyz na jednostkę glebowej biomasy mikrobiologicznej stwierdzono istotnie wyższe aktywności Fosf_{KW}, Fosf_{ZAS} i PirFosf pod robinią akacjową niż pod gatunkami pionierskimi. Wpływ gatunku drzewa zaobserwowano dla P_{mic} i P_{Lab}, których stężenia były istotnie niższe pod

sosną, oraz P_{Mh3} , którego istotnie niższe stężenia zmierzono pod olszą. Stężenia P_{Mh1} , P_{ex} i P_{E-R} zależały głównie od substratu glebowego.

Uzyskane wyniki wykazały, że badane gatunki mają zróżnicowany wpływ na obieg i dostępność P w industrioziemach. Gatunki fitomelioracyjne stymulowały aktywność $Fosf_{KW}$ w porównaniu z gatunkami pionierskimi. Ponadto gatunki te – w szczególności robinia akacjowa – przyczyniały się do intensywniejszego wydzielania fosfataz przez mikroorganizmy glebowe.

Przypuszczamy, że wysokie zapotrzebowanie gatunków fitomelioracyjnych na fosfor niezbędny m.in. do wiązania azotu atmosferycznego wywiera silną presję konkurencyjną na mikroorganizmy glebowe i powoduje intensywniejszą syntezę fosfataz przez mikroorganizmy, a tym samym stymuluje obieg fosforu w tworzących się ekosystemach. Gatunki fitomelioracyjne nie mają jednak istotnego wpływu na zwiększenie stężeń form fosforu przyswajalnych dla roślin. Spośród badanych gatunków sosna zwyczajna wykazała najmniej korzystne oddziaływanie na obieg i dostępność fosforu w glebach industrioziemnych, na co wskazują niskie aktywności fosfataz oraz niskie stężenia P_{mic} i P_{Lab} w glebach pod tym gatunkiem.

Praca sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach projektu badawczego nr 2018/31/B/ST10/01626.

Pandemia COVID-19 i jej wpływ na rekreacyjne wykorzystanie terenów leśnych

Mariusz Ciesielski¹, Karolina Taczanowska²

¹Zakład Geomatyki, Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, m.ciesielski@ibles.waw.pl

²Uniwersytet Przyrodniczy w Wiedniu, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wiedeń, Austria

Od ponad roku, gdy COVID-19 jest obecny na każdym kontynencie, zapewnienie dostępu do przestrzeni publicznych stało się wyzwaniem dla rządzących i ważnym tematem debat na arenie międzynarodowej. Na początku pandemii, podczas lockdownu, wiele krajów ograniczyło dostęp do miejsc rekreacyjnych na świeżym powietrzu, aby zredukować liczbę kontaktów międzyludzkich i zapobiec rozprzestrzenianiu się wirusa. Wybuch pandemii, wprowadzone ograniczenia i niepewna sytuacja miały poważny wpływ na emocje, samopoczucie psychiczne i fizyczne oraz zdrowie. Badania wskazują, że pandemia COVID-19 spowodowała liczne anomalie w codziennej rutynie człowieka, w tym w pracy, edukacji i spędzaniu czasu wolnego, a także w mobilności i aktywności fizycznej. Izolacja oraz środki zachowawcze znacząco wpłynęły na przebieg pracy i nauki, wymuszając ich podejmowanie z domu. Zmieniło się społeczne postrzeganie pobliskich miejsc rekreacji, w tym lasów. Stwierdzono jednoznacznie, że kontakt z naturą ma pozytywny wpływ na zdrowie i samopoczucie człowieka podczas epidemii. Lockdown w pierwszej fazie pandemii COVID-19 (#zostań w domu) pokazał, że ludzi nie da

się zamknąć w domach przez dłuższy czas bez negatywnych skutków ubocznych, a zatem znaczenie lokalnych i osiedlowych terenów otwartych oraz pobliskich miejsc rekreacji na świeżym powietrzu bardzo wzrosło.

Rola lasów w zaspokajaniu potrzeb społeczeństwa w zakresie kontaktu z naturą nie podlega dyskusji. Liczne badania sprzed okresu pandemii wskazywały, że tereny leśne są, głównie dla mieszkańców miast, miejscem codziennego wypoczynku. Najnowsze badania europejskie mówią, że lasy można uznać za infrastrukturę krytyczną, która podczas pandemii odgrywa niezwykle ważną rolę. Jak już wspomniano, pandemia COVID-19 spowodowała liczne zmiany w sposobie naszego życia, dlatego też zasadne stało się określenie, czy zaobserwowano zmiany również w zakresie rekreacji w polskich lasach.

Biorąc powyższe pod uwagę, celem pracy była kompleksowa analiza danych monitoringu ciągłego z trzech nadleśnictw (Browsk, Kozienice i Gdańsk), obejmujących okres przed pandemią i podczas jej trwania. W badaniach postawiono hipotezy badawcze mówiące, że podczas pandemii COVID-19:

- wzrosła liczba odwiedzających tereny leśne;
- zmieniła się tygodniowa dynamika rekreacji w lasach (szczyty weekendowe były niższe, podczas gdy liczba odwiedzających w dni powszednie wzrosła);
zmieniła się dynamika dobowa liczby odwiedzających lasy (większe obciążenie odwiedzających w godzinach porannych i wieczornych; mniejsze – w godzinach szczytu; bardziej wyrównana dystrybucja w celu uniknięcia tłumów oraz dzięki elastycznemu dysponowaniu czasem wolnym);
- nastąpił wzrost wykorzystania rekreacyjnego lasu w okresie wakacji letnich;
- wzrosło znaczenie rekreacji w najbliższej okolicy.

Należy pamiętać, że rekreacja jest jednym z czynników mających wpływ na stabilność ekosystemów leśnych. Niezwykle istotne jest zatem dostarczenie decydującym szczegółowej informacji o potrzebach społeczeństwa i realnym wykorzystaniu przestrzeni leśnej. Sytuacja pandemii jest szczególna i być może wymaga poznania na nowo potrzeb społeczeństwa.

Regeneracja lasu po wiatrołomie w Lesie Ochronnym Szast – czy dąb jest beneficjentem zaburzenia?

Dorota Dobrowolska^{1}, Hanna Lietz², Bogdan Pawlak¹*

¹*Institut Badawczy Leśnictwa, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, d.dobrowolska@ibles.waw.pl*
²*Eberswalde University for Sustainable Development, Schicklerstraße 5, 16225 Eberswalde, Niemcy*

Las Ochronny Szast w Puszczy Piskiej stanowi unikatowy obiekt badawczy nie tylko w Polsce, ale także w Europie ze względu na możliwość śledzenia naturalnych procesów regeneracji lasu po wiatrołomie, który miał miejsce w 2002 r. Celem badań było poznanie wpływu warunków świetlnych i obecności martwego drewna (nasilenie zaburzenia) na rozmieszczenie i parametry morfologiczne mło-

dego pokolenia drzew. Pomiary odnowienia przeprowadzono na 65 powierzchniach badawczych w latach 2013 i 2020 w drzewostanach charakteryzujących się różnym stopniem zaburzenia (niski, umiarkowany i silny w dwóch wariantach – pozostawione i usunięte drewno).

W 2020 r. stwierdzono 7,8-procentowy wzrost liczebności *Pinus sylvestris* i spadek udziału pozostałych gatunków drzew (np. *Betula pendula*, *Picea abies*, *Quercus robur* czy *Fagus sylvatica*) w odnowieniu w porównaniu z 2013 r. Nasilenie zaburzeń istotnie kształtowało rozmieszczenie, zamieranie i pojawianie się nowych drzew. Ponadto miało duży wpływ na żywotność odnowienia. W 2013 r. w drzewostanach słabo zaburzonych dominował świerk pospolity, w drzewostanach umiarkowanie i silnie zaburzonych z pozostawionym drewnem – sosna zwyczajna, a w drzewostanach silnie zaburzonych z usuniętym drewnem – brzoza brodawkowata. W 2020 r. zaobserwowano ten sam trend z wyjątkiem drzewostanów silnie zaburzonych, w których w obu wariantach dominowała sosna. Ubytek drzew w odnowieniu w latach 2013–2020 wynosił 10,8%. Najwięcej brakujących (48,9%) i nowych drzew (60,1%) stwierdzono w drzewostanach umiarkowanie zaburzonych. Natomiast w drzewostanach silnie zaburzonych udział brakujących drzew był niewielki (5,7% i 6,4%) i znacznie niższy niż nowych drzew (16,9% i 17,1%).

Odnotowano istotne różnice w rozkładzie klas witalności w latach 2013 i 2020 ($p=0,000$). W 2020 r. żywotność odnowienia była istotnie niższa niż w 2013 r. Udział drzew o najwyższej witalności obniżył się o 23,8%, natomiast udział odnowienia w klasach witalności od 2 do 5 znacznie wzrósł.

Nasilenie zaburzeń nie miało wpływu na częstość występowania uszkodzeń odnowienia powodowanego przez roślinożerców. Najczęściej zgryzonym gatunkiem był dąb szypułkowy. Dęby były najrzadziej zgryzane (40%) w drzewostanach lekko zaburzonych, natomiast odsetek zgryzanych dębów był prawie dwukrotnie większy (75,8%) w drzewostanach umiarkowanie zaburzonych. W silnie zaburzonych drzewostanach udział zgryzionych dębów był najwyższy (89,2% i 100%), szczególnie w drzewostanach silnie zaburzonych, w których pozyskano drewno. Udział zgryzanych sosen w badanych drzewostanach wahał się od 8,6% w drzewostanach umiarkowanie zaburzonych do 18,8% w drzewostanach silnie zaburzonych z pozyskanym drewnem, istotnie różniąc się jedynie pomiędzy drzewostanami umiarkowanie i silnie zaburzonymi z pozyskanym drewnem. Najwyższą presję roślinożerców na odnowienie brzozy zaobserwowano w drzewostanach lekko (17,6%) i umiarkowanie zaburzonych (7,5%). Najmniej zgryzanych brzoź odnotowano w silnie zaburzonych drzewostanach (2,1% i 1,2%).

Udział spałowanych sosen zwiększał się wraz ze wzrostem stopnia zaburzenia drzewostanu: w drzewostanach w niewielkim stopniu zaburzonych w ogóle nie stwierdzono spałowania, zaś w drzewostanach silnie zaburzonych (zwłaszcza z usuniętym drewnem) udział drzew spałowanych był największy (33,9%). Najwyższe sosny (począwszy od 2005 r.) rosły w drzewostanach silnie zaburzonych bez pozyskania drewna, natomiast najniższe w drzewostanach w niewielkim stopniu zaburzonych. Stwierdzono statystycznie istotne różnice wysokości sosny pomiędzy silnie zaburzonymi drzewostanami z pozostawionym martwym drewnem

a wszystkimi pozostałymi drzewostanami ($F=11,767$; $p<0,001$). Współczynnik smukłości H/D dla sosny różnił się istotnie między drzewostanami lekko i silnie zaburzonymi z pozyskanym ($F=5,633$; $p=0,005$) i pozostawionym drewnem ($F=5,633$; $p=0,007$). Odnowienie brzozy było istotnie niższe w drzewostanach lekko zaburzonych w porównaniu z pozostałymi drzewostanami ($F=11,582$; $p=0,000$), natomiast współczynnik smukłości dla brzozy nie zależał od stopnia zaburzenia.

Nasilenie zaburzeń miało istotny wpływ na rozmieszczenie, wzrost, zamieranie i pojawianie się odnowienia. Prawdopodobnie stopień zaburzenia drzewostanów będzie oddziaływać na nie w przyszłości. Być może wszystkie badane gatunki drzew, poza dębem szypułkowym, wejdą w skład przyszłych drzewostanów, a dzięki różnicom w ich rozmieszczeniu i wroście powstaną bardziej zróżnicowane, a przez to odporniejsze drzewostany niż przed zaburzeniem.

Oszacowanie przyrostu biomasy i efektywności wykorzystania węgla (CUE) 25-letniego drzewostanu sosnowego z wykorzystaniem metod kowariancji wirów i biometrycznej w zmiennych warunkach wilgotnościowych

Paulina Dukat^{1,2*}, Klaudia Ziemblińska¹, Janusz Olejnik¹,
Stanisław Małek³, Timo Vesala^{2,4,5}, Marek Urbaniak¹

¹Pracownia Meteorologii, Katedra Budownictwa i Geoinżynierii, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, *paulina.dukat05@gmail.com

²Institute for Atmospheric and Earth System Research/Physics, Faculty of Science, University of Helsinki, FI-00014 Helsinki, Finlandia

³Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

⁴Institute for Atmospheric and Earth System Research/Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, FI-00790 Helsinki, Finlandia

⁵Yugra State University, 628012, Khanty-Mansiysk, Rosja

Dokładne oszacowanie przyrostu biomasy drzewostanu jest niezwykle cenne nie tylko z uwagi na produkcję drewna, ale również ze względu na możliwości oceny wpływu na dany ekosystem czynników środowiskowych, w tym zmian klimatu. Tradycyjnie pomiary *in situ* wykonywane są poprzez inwentaryzację liczby drzew i ich parametrów biometrycznych, takich jak pierśnica i wysokość, czasami uzupełniane badaniami zawartości węgla (C) w poszczególnych komponentach biomasy drzew. W celu rozpoznania dynamiki przyrostów miesięcznych i sezonowych, a także efektywności wiązania węgla w biomasie drzew, oszacowano

produktywność pierwotną netto (NPP) w okresie 2019–2020 w 25-letnim drzewostanie sosnowym na stacji badawczej Mężyk. Wykonano to, opierając się na równaniach allometrycznych sporządzonych metodą bezpośredniej analizy biomasy (ekstrakcja drzew) oraz na oszacowaniu zawartości węgla w poszczególnych składnikach drzew w połączeniu z seriami przyrostów średnicy pni zarejestrowanych przez sieć dendrometrów. Równania allometryczne specyficzne dla miejsca pomiarów uzyskano przy użyciu dwóch podejść: odnosząc biomasę całego drzewa do pierśnicy (metoda M1) oraz całkowitą suchą biomasę wyprowadzoną jako sumę wyników z biomasy poszczególnych komponentów drzewa do pierśnicy (metoda M2). Jednocześnie na podstawie pomiarów metodą kowariancji wirów oszacowano strumień produkcji pierwotnej brutto (GPP = ilość dwutlenku węgla zaabsorbowana w procesie fotosyntezy). Wartości strumieni NPP i GPP zostały następnie użyte do obliczenia efektywności wykorzystania węgla ($CUE = NPP/GPP$).

Badania przeprowadzono w latach 2018–2020, które wyraźnie różniły się sumą i rozkładem opadów. Rok 2019 na tle wielolecia był umiarkowanie suchy, a nastąpił po skrajnie suchym 2018 i przed zbliżonym do średniego rokiem 2020. Zgodnie z przewidywaniami równania allometryczne oparte na danych *in situ* wskazały wyższy przyrost biomasy w 2020 r. w porównaniu z 2019 r. Roczne szacunki NPP w 2019 r. wyniosły około 2,0–2,1 t C/ha i 2,6–2,7 t C/ha w 2020 r., odpowiednio dla metody M1 i M2. Stosując równania oparte na badaniach nad zawartością i magazynowaniem węgla w dojrzałych drzewostanach sosnowych, wykonanych również w północno-zachodniej Polsce, uzyskano wartości około 2,0–2,1 t C/ha, czyli o 20–30% niższą NPP dla tego samego stanowiska. CUE była wyższa w 2020 r., co wynikało z wyższej sumy NPP niż w 2019 r., przy jednocześnie niższych letnich i wiosennych sumach GPP w 2020 r. Jednakże wartości CUE były niższe niż podawane w literaturze dla porównywalnych drzewostanów w strefie umiarkowanej.

Połączenie bezpośrednich pomiarów biomasy dla drzew modelowych, ciągłych pomiarów dendrometrycznych oraz rozpoznanie struktury drzewostanu na powierzchni pomiarowej Mężyk pozwoliło na wyprowadzenie równań allometrycznych specyficznych dla badanego obszaru. Obliczono też bezwzględne wartości przyrostu biomasy drzewnej w latach 2019 i 2020, które były bardziej wiarygodne i dokładne niż uzyskane z równań podawanych w literaturze.

Przedstawione wyniki są efektem badań w ramach projektu sfinansowanego ze środków Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych w Warszawie (projekt LAS III, nr OR-2717/27/11).

Konfliktogenność gospodarki leśnej w zmieniającym się środowisku społeczno-politycznym

Piotr Grygier

ul. Pozdawnicka 1, 60-187 Poznań, piotrlesnik.pg@gmail.com

„Homo est animal sociale” – „Człowiek jest zwierzęciem społecznym” (Cyceron, 106–43 p.n.e.). Pełniąc różne role w społeczeństwie, uwikłani jesteśmy w relacje z innymi ludźmi. Aby realizować swoje zamierzenia i oczekiwania, musimy z nimi współdziałać, a przynajmniej współistnieć. Lasy zapewniają ludziom liczne dobra, zarówno materialne, jak i duchowe, jednakże do wielu z nich dostęp jest ograniczony. Czasami ograniczenie to skutkuje racjonalnym współzawodnictwem, ale nierzadko może ono wywoływać konflikty w podejściu do sposobów prowadzenia gospodarki leśnej w podziale tych dóbr.

Zrozumienie roli konfliktu jest kwestią nie tylko jakiejś polityki, konflikty na tle środowiskowym mogą bowiem wpływać na wizerunek przedsiębiorstwa (organizacji, instytucji) w zależności od sposobów wykorzystywania przez nie zasobów naturalnych. Konflikty związane z zarządzaniem lasami charakteryzują się wielością i różnicowaniem ich uczestników, różnicowaniem oczekiwań ekonomicznych lub innych beneficjów użytkowania lasu, niejasnymi przepisami prawnymi oraz czasami stronniczością informacji o gospodarce leśnej w mediach.

Potencjalne i rzeczywiste sytuacje konfliktowe w obszarze las-otoczenie mogą występować w bardzo szerokim zakresie i dotyczyć np. ochrony starych drzew i drzewostanów, pozostawiania drzew martwych, ustalania wielkości pozyskania drewna (etat użytków rębnych), prowadzenia cięć międzyrębnych, sprzedaży drewna, wpływu ochrony przyrody na zatrudnienie i publiczne wykorzystanie lasu (tworzenie nowych rezerwatów, parków narodowych itp.). Oczywiście sytuacje konfliktowe występują także w samym leśnictwie i przykładowo mogą obejmować: wybór pryncypiów (ustawowe cele gospodarki leśnej – które ważniejsze?), wybór metod gospodarowania zasobami – regulacji (np. systemy określania etatu rębnego, tworzenie gospodarstw, przebudowa), metody planowania (monotematyczne czy ekosystemowe) itp.

Niepokojącym zjawiskiem, z jakim mamy w dalszym ciągu do czynienia w zarządzaniu lasami przez Lasy Państwowe, jest niewielki udział społeczeństwa w procesach decyzyjnych dotyczących gospodarki leśnej, czy to na poziomie krajowym, regionalnym, czy też lokalnym (nadleśnictwa) – i brak faktycznego postępu w tym zakresie. Uważa się, że podstawowym narzędziem do zapobiegania powstawaniu konfliktów jest udział społeczeństwa w tworzeniu wszelkiego rodzaju planów, projektów decyzji o znaczeniu lokalnym, regionalnym i krajowym. Udział ten winien być zapewniony przede wszystkim poprzez odpowiednie zapisy prawne, ale decydujące znaczenie ma także właściwe przygotowanie stron do prowadzenia dialogu.

Można stwierdzić, że rola leśnictwa oraz jego instytucjonalne zorganizowanie zostają poddane ponownej ocenie społecznej. Wiąże się to też z kryzy-

sem identyfikacji zawodu leśnika oraz z prawdopodobieństwem występowania licznych napięć społecznych wynikających z prowadzonej gospodarki leśnej. Krytyka leśnictwa jest jednakże dla leśników europejskich trudna do zrozumienia. Wszak praktyczna znajomość technik zarządzania, ciągle rosnąca wiedza o procesach zachodzących w ekosystemach czy dobre techniki hodowlane i inne objawiają się w poprawiających się warunkach wzrostu lasów. Można powiedzieć, że te fundamenty gospodarki leśnej gwarantują optymalne i zrównoważone zarządzanie lasami zarówno na poziomie operacyjnym, jak i strategicznym. Jednakże według Gerharda Oestena (2016) przyszłość leśnictwa zależy będzie od społecznego uznania, od wyników dyskusji ze społeczeństwem, a nie od samych leśników: „Leśnictwo jest osadzone w otaczającym je systemie społecznym, politycznym, kulturowym i technologicznym. Mając na względzie szereg sprzecznych i często nieprzewidywalnych wymagań społecznych (np. produkcja biomasy dla biogospodarki, żądanie uczestnictwa w podejmowaniu decyzji, certyfikacja), prawie nie jest możliwe sformułowanie pozbawionego sprzeczności, spójnego i harmonijnego zestawu celów gospodarki leśnej. W sytuacji ciągłych zmian społecznych pogląd, czym leśnictwo powinno być i co powinno osiągnąć, również stale się zmienia. Do dyskusji na temat trwałej gospodarki leśnej jest włączana coraz większa liczba interesariuszy z różnych warstw społeczeństwa, mających różne poglądy na ochronę przyrody i użytkowanie zasobów przyrodniczych, domagających się uczestnictwa w podejmowaniu decyzji i mających mniejszą lub większą możliwość narzucenia swoich poglądów. W ten sposób komunikacja, zarządzanie konfliktami i negocjacje z interesariuszami stały się bardzo ważnymi elementami zarządzania. Można by powiedzieć, że w leśnictwie trwa kryzys legitymizacji lub tożsamości”. To jest nowe wyzwanie dla leśnictwa europejskiego, a w tym i polskiego, z którym musimy się zmierzyć.

Morfologia młodych igieł w pąkach wybranych gatunków sosen

Marzenna Guzicka^{1*}, Dominik Tomaszewski¹, Sławomir W. Marek,
Magdalena Gawlak²

¹Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,

*guzicka@man.poznan.pl

²Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Władysława Węgorka 20,
60-318 Poznań

Za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) przeanalizowano morfologię igieł siedmiu gatunków sosny (*Pinus cembra*, *P. mugo*, *P. nigra*, *P. rigida*, *P. sylvestris*, *P. strobus* i *P. uncinata*) w dwóch fazach fenologicznych określonych

na podstawie morfologii pąków, tzn. B2 (zamknięty pąk) i B3 (rozchylone łuski pąkowe).

Pąki wierzchołkowe wybranych gatunków sosen zebrano w Arboretum Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku (52° 14' 40,2" N, 17° 05' 27,5" E). Bardzo młode igły wyizolowano z pąków krótkopędowych zlokalizowanych u podstawy zawiązków długopędów w pąkach zimowych. Obserwowano takie cechy, jak: kształt wierzchołka (zaokrąglony lub ostry), brzeg igły (gładki lub ząbkowany) i aparaty szparkowe, ze szczególnym uwzględnieniem pierścieni Florina. Pomimo znaczenia szparek i licznych badań nad rodzajem *Pinus* niewiele wiadomo na temat obecności aparatów szparkowych na igłach znajdujących się jeszcze w pąku. Według naszej wiedzy przedstawiony komunikat jest pierwszym dotyczącym morfologii igieł we wczesnych fazach fenologicznych u *Pinus*.

Wiadomo, że w spoczynkowych pąkach zimowych brak jest aparatów szparkowych na zawiązkach igieł, ale są one obecne na igłach intensywnie wydłużających się, już po pęknięciu pąka. Wiadomo także, że zawiązki igieł rozpoczynają wzrost wewnątrz pąka, przed jego wyraźnym nabrzmieniem i rozchyleniem łusek pąkowych. Na tym etapie analizowane cechy morfologiczne różniły się od obserwowanych u igieł dojrzałych. Różnicowanie się aparatów szparkowych z komórek epidermy rozpoczęło się jeszcze w pąku, po rozpoczęciu wzrostu igły, a zatem w późnej fazie B2. Wówczas pojedyncze aparaty szparkowe stwierdzaliśmy w wierzchołkowej części igły u trzech z wybranych gatunków, a ich rozmieszczenie w rzędach było już ustalone. W fazie B3 u sześciu gatunków morfologia wybranych cech epidermy młodych igieł była podobna do igieł dojrzałych; ustalone było już ząbkowanie brzegu igły i kształt jej wierzchołka, a aparaty szparkowe stwierdzono u wszystkich gatunków, przy czym dobrze wykształcone były tylko w strefie wierzchołkowej igły. Na tym etapie u niektórych gatunków widoczne były pierścienie Florina. Na szczególną uwagę zasługuje morfologia młodych igieł *Pinus strobus*, ponieważ w przeciwieństwie do pozostałych sześciu gatunków w fazie B3 młode igły różniły się od igieł dojrzałych pod względem analizowanych cech.

Dynamika parowania z torfowiska wysokiego Kusowo

Kamila M. Harenda^{1*}, Małgorzata Kleniewska², Patryk Poczta¹,
Damian Józefczyk¹, Mariusz Lamentowicz³, Maciej Gąbka⁴,
Bogdan H. Chojnicki¹

¹Pracownia Bioklimatologii, Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, *kamila.harenda@up.poznan.pl

²Katedra Teledetekcji i Badań Środowiska, Instytut Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

³Pracownia Ekologii Zmian Klimatu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

⁴Zakład Hydrobiologii, Instytut Biologii Środowiska, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań

Torfowiska to ekosystemy, których istnienie wynika z ciągłego lub okresowego wysokiego uwilgotnienia środowiska. Wysoka zawartość wody w torfie sprawia, że pełnią one wiele ważnych funkcji środowiskowych, tj. łagodzą skutki powodzi, chronią wybrzeża, retencjonują wodę i wpływają na poprawę jej jakości, zachowują bioróżnorodność oraz krajobrazy o wyjątkowych walorach przyrodniczych. Dodatkowo wyróżniają się niezwykleymi możliwościami akumulacji materii organicznej, które czynią z nich olbrzymie i długotrwałe rezerwuary węgla organicznego.

Szczególnie czułe na zmiany klimatu są torfowiska wysokie, których istnienie zależy głównie od opadów atmosferycznych. Jednak wyniki badań wskazują, że na skutek osuszania i globalnego ocieplenia zmieniają się one w emitory netto CO₂ do atmosfery, a warunki wodne panujące na ich obszarze są głównym czynnikiem determinującym sekwestrację węgla w tych ekosystemach. Sezonowe zmiany poziomu wody decydują również o rozmieszczeniu istniejących gatunków roślin, a widoczna strefowość flory jest wynikiem adaptacji tych ekosystemów do pojawiających się zalewów i okresów posusznych. Niezwykle istotne z punktu widzenia warunków wodnych torfowisk jest parowanie, którego wielkość oraz zmienność jest w głównej mierze determinowana przez lokalny klimat. Strumień parującej wody stanowi też element wspólny bilansów cieplnego i wodnego, dlatego ewapotranspiracja jest czynnikiem kształtującym warunki klimatyczne torfowisk.

Pomiary parowania, zwłaszcza w warunkach ekosystemów uwodnionych, są trudne, a jedynym bezpośrednim sposobem ich wykonania jest metoda kowariancji wirów. Wymaga ona jednak zastosowania zaawansowanych technik pomiarowych oraz obróbki danych. Mniej wymagająca jest metoda wskaźnika Bowena, a w przypadku dostępności tylko standardowych pomiarów meteorologicznych metoda Penmana-Monteitha.

W niniejszej pracy przedstawiono zmienność dobową, międzydobową oraz sezonową wielkości parowania uzyskanych trzema wymienionymi metodami. W przypadku metody Penmana-Monteitha niezbędna jest znajomość tzw. wskaź-

nika roślinnego k, który służy do obliczenia parowania na podstawie ewapotranspiracji wskaźnikowej. W literaturze brak informacji na temat tego wskaźnika dla torfowisk w Polsce, dlatego przedstawiono metodę jego wyznaczenia z pomiarów spektralnych. Wyniki pomiarów pochodzą z torfowiska Kusowo zlokalizowanego na obszarze leśnym, które jest najlepiej zachowanym dużym torfowiskiem kopułowym typu bałtyckiego, gdzie od 4000 lat za akumulację torfu (miąższość maks. 8 m) odpowiedzialne są mchy torfowce, a bór bagienny występuje w zaburzonej części torfowiska.

Praca została wykonana w ramach projektu nr UMO-2017/27/B/ST10/02228 pt. „Potencjał akumulacyjny dwutlenku węgla torfowisk mszarnych w kontekście zmian właściwości optycznych atmosfery i klimatu” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Oddziaływanie wybranych auksyn syntetycznych na poszczególne etapy rozwojowe somatycznych zarodków *Picea abies* i *P. omorika*

Teresa Hazubska-Przybył, Ewelina Ratajczak, Agata Obarska,
Emilia Pers-Kamczyc*

*Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
hazubska@man.poznan.pl

W obliczu wzrastającego globalnego zapotrzebowania na drewno i jednoczesnej redukcji powierzchni lasów naturalnych wskutek masowej wycinki drzew czy licznych pożarów wywołanych zmianami klimatycznymi przewiduje się, że znaczna część przyszłych dostaw drewna będzie pochodziła z plantacji leśnych. Zapewnienie wysokiej wydajności plantacji zdolnych do adaptacji do zmieniających się warunków środowiska będzie wiązało się z produkcją genetycznie ulepszonych odmian drzew. W leśnictwie najszybszym, najbardziej elastycznym i najskuteczniejszym sposobem na wyprodukowanie wystarczającej ilości genetycznie ulepszonych materiału sadzeniowego jest rozmnażanie wegetatywne. Aktualnie spośród dostępnych metod na szczególną uwagę zasługuje metoda somatycznej embriogenezy (SE), cechująca się najwyższym współczynnikiem mnożenia w porównaniu z innymi metodami rozmnażania wegetatywnego.

SE to bardzo złożony proces, wymagający kontroli kilku etapów, od inicjacji i namnażania tkanki embriogennej (TE; niedojrzałych zarodków somatycznych) poprzez produkcję zarodków dojrzałych i ich konwersję w rośliny somatyczne podobne do standardowych sadzonek. Za wykorzystaniem tej metody w przyszłych programach leśnych przemawia fakt, że TE można przechowywać w bardzo młodym stadium w ultraniskiej temperaturze ciekłego azotu (-196°C), podczas gdy jednocześnie rośliny uzyskane z tych tkanek poddaje się testom polowym. Po przeprowadzeniu oceny materiału roślinnego najlepsze drzewa różnych pochodzeń

można rozmnażać z krioprzechowywanych tkanek. Obecnie technologia SE umożliwia mnożenie niektórych gatunków drzew iglastych z rodzajów *Picea* i *Pinus*.

Wydajność SE zależy między innymi od regulatorów wzrostu podanych do pożywek na poszczególnych etapach rozwoju zarodków. Wybór regulatorów wzrostu został zoptymalizowany tylko dla niektórych odmian czy genotypów u drzew iglastych. Aby poprawić efektywność techniki SE, nadal konieczne jest wyeliminowanie licznych problemów, np. związanych z indukcją i namnażaniem TE czy dojrzewaniem zarodków somatycznych. Auksyny i cytokiny to jedne z głównych czynników determinujących indukcję TE, które warunkują nabycie totipotencji przez komórki eksplantatu. Mają one także wpływ na regulację podziałów oraz różnicowanie komórek w roślinach, prowadząc do formowania zarodków somatycznych na wczesnym etapie rozwoju.

Najszerzej badaną auksyną w różnych systemach embriogenicznych roślin, włączając SE drzew iglastych, jest 2,4-D (kwas 2,4-dichlorofenoksyoctowy). Inne syntetyczne auksyny, takie jak NAA (kwas 1-naftalenoctowy) czy pikloram (kwas 4-amino-3,5,6-trichloropikolinowy) są uważane za mniej efektywne. Jednak pozytywne wyniki dla obu tych związków uzyskano u niektórych gatunków świerka. Egzogennie podane auksyny regulują rozwój zarodków somatycznych np. poprzez zmianę stężenia auksyn endogennych takich jak IAA. Dlatego ważne jest określenie ich roli w przebiegu SE u gatunków drzew iglastych.

Ekspozycja komórek roślinnych na warunki *in vitro* wiąże się z różnymi rodzajami stresu (m.in. stresem oksydacyjnym czy stresem związanym z obecnością określonych regulatorów wzrostu w pożywkach). Stres oksydacyjny może pełnić rolę modulatora SE w roślinach. Reaktywne formy tlenu (ROS) są zaangażowane w procesy wzrostu i rozwoju komórek roślinnych, w tym w proces morfogenezy *in vitro*. Przy niskich stężeniach działają jako cząsteczki sygnałowe, inicjując zmiany metaboliczne lub stymulując regenerację roślin.

Celem prezentowanych badań było określenie wpływu trzech rodzajów auksyn syntetycznych (2,4-D, NAA i pikloramu; 9 μM) zastosowanych na etapie indukcji SE wraz z cytokininą (BA; 4,5 μM) na poszczególne etapy rozwojowe somatycznych zarodków świerka pospolitego (*Picea abies*) i serbskiego (*P. omorika*). Najwyższą częstotliwość indukcji SE uzyskano dla *P. omorika* (22,00%) po zastosowaniu 2,4-D, a dla *P. abies* (10,48%) po zastosowaniu pikloramu. NAA istotnie promował namnażanie TE u *P. abies*, natomiast 2,4-D je ograniczał. Wiązało się to z poziomem stresu oksydacyjnego, który był niższy w obecności NAA na pożywce namnażającej, a wyższy w przypadku 2,4-D. Obniżony poziom stresu oksydacyjnego po traktowaniu NAA sugeruje, że nadtlenek wodoru (H_2O_2) działał jako cząsteczka sygnałowa i promował proliferację TE. Z kolei NAA i pikloram dodane do pożywki namnażającej zmniejszyły dalszą produkcję i dojrzewanie *P. omorika* w porównaniu z 2,4-D. Jakość kiełkujących zarodków *P. abies* i ich rozwój w sadzonki zależały od rodzaju auksyny i były najwyższe w przypadku zarodków otrzymanych z NAA. Uzyskane wyniki wskazują, że różne rodzaje auksyn mogą generować odmienne odpowiedzi fizjologiczne w materiale roślinnym podczas SE u obu gatunków świerka.

Jemioła pospolita – zagrożenie czy szansa?

Grzegorz Iszkulo^{1,2*}, Marian J. Giertych^{1,2}, Mariola Rabska¹,
Dominik Tomaszewski¹, Łukasz Walas¹

¹*Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
iszkulo@man.poznan.pl

²*Institut Nauk Biologicznych, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Prof. Z. Szafrana 1,
65-516 Zielona Góra*

W ostatnich latach obserwowany jest wzrost liczebności jemioły pospolitej. Dotyczy to wszystkich jej podgatunków występujących naturalnie w Polsce, czyli *Viscum album* subsp. *album* (podgat. typowy), *V. album* subsp. *austriacum* (podgat. sosnowy) oraz *V. album* subsp. *abietis* (podgat. jodłowy). Sukces jemioły wynika z przekształcenia krajobrazu przez człowieka. Jemioła jest rośliną światłożądną i pojedyncze drzewa, aleje, luźno posadzone parki oraz w przeszłości sady to bardzo dobre warunki do jej wzrostu i rozwoju.

Jemioła pospolita w podgatunku typowym nie ma wyraźnego i bezpośredniego wpływu na gospodarkę leśną, w odróżnieniu od dwóch pozostałych podgatunków występujących głównie na sośnie oraz jodle. Szczególnie jemioła sosnowa staje się coraz większym problemem dla leśnictwa ze względu na dominację sosny w polskich lasach. Większość badań wskazuje, że obecność jemioły negatywnie oddziałuje na wzrost, możliwości obronne i reprodukcyjne drzew. Ze względu na rozrzućną gospodarkę wodną pasożyta porażone drzewa są szczególnie narażone na osłabienie w okresach suszy.

Jednocześnie jemioła może w pewnych warunkach być szansą dla całych ekosystemów leśnych. Zwiększa ona ażurowość drzew, przez co więcej światła dociera do dna lasu. Opad liści jemioły podnosi żyzność siedliska. Obecność ptaków żerujących na niej wpływa na zwiększenie liczebności innych gatunków ornitochorycznych. Występowanie jemioły może więc sprzyjać różnorodności biologicznej i przebudowie drzewostanów w kierunku składu gatunkowego lepiej przystosowanego do zmieniających się warunków siedliskowych, w tym klimatycznych. Otwarte pozostaje więc pytanie, w jaki sposób jemioła wpływa na wzrost i rozwój drzew i ekosystemów leśnych w warunkach polskich. Nie wiadomo również, jaki jest potencjalny zasięg jemioły oraz jak ten gatunek zareaguje na postępujące zmiany klimatyczne.

Aby odpowiedzieć na te pytania, wykonano badania przyrostów radialnych drzew, cech morfologicznych szyszek, nasion i siewek oraz modelowanie zasięgu. Badania przyrostów radialnych oraz morfologiczne przeprowadzono na materiale pochodzącym z wyłączonego drzewostanu nasiennego sosny zwyczajnej w Nadleśnictwie Bolewice (RDLP w Szczecinie). Do badań zostało wybranych 15 dominujących drzew wolnych od jemioły oraz 15 drzew porażonych. Posłużono się w nich metodyką stosowaną w analizach dendrochronologicznych oraz nasienictwie, a do modelowania zasięgu wykorzystano program MaxEnt. Dokonano jednocześnie próby oceny możliwości ograniczenia negatywnego wpływu jemioły na drzewostany sosnowe.

Badania potwierdziły negatywny wpływ porażenia jemiolą na przyrosty radialne sosen (do 35% mniejsza szerokość słoju rocznych). W przypadku nasion i szyszek pozyskanych z drzew porażonych wykazano również mniejszą ich masę i liczbę, a także mniejszą masę siewek w porównaniu z drzewami nieporażonymi przez jemiolę. Modelowanie zasięgu wskazuje, że cała Polska leży w obszarze potencjalnego zasięgu występowania jemioli, a parametrem decydującym jest amplituda roczna temperatury. Predykcje możliwych scenariuszy zmian klimatycznych sugerują, że zasięg występowania będzie się przesunął z południa na północ Europy.

Jemiola jest gatunkiem światłolubnym i zabiegi hodowli lasu można prowadzić pod kątem ograniczenia dostępności światła w koronach drzew. Na terenach zasiedlonych przez jemiolę należy zrezygnować z pozostawienia przestojów czy biogrup, które mogą być źródłem nasion dla inwazji do sąsiadujących drzewostanów. Najskuteczniejszym sposobem walki z jemiolą jest usuwanie porażonych drzew, jednak eliminacja pojedynczych drzew w drzewostanie może być trudna. Porażane są na ogół drzewa dominujące, które są najcenniejsze z punktu widzenia gospodarki leśnej. Jednocześnie jemiola jest najczęściej zauważana, kiedy liczba zaatakowanych drzew jest już bardzo duża i nie można ich usuwać bez szkody dla stabilności drzewostanu, dlatego istnieje pilna potrzeba opracowania metod monitorowania drzewostanów pod kątem wczesnego wykrywania zagrożenia. Bardzo użyteczne mogą się okazać metody teledetekcyjne. Jednocześnie niezbędne jest opracowanie sposobów postępowania z drzewostanami porażonymi przez jemiolę.

Zmiany w reakcji przyrostowej limby (*Pinus cembra*) na czynniki klimatyczne w lasach urwiskowych Tatr

Katarzyna Izworska^{1,2*}, Elżbieta Muter³, Paweł Matulewski⁴,
Tomasz Zielonka²

¹Instytut Botaniki im. Władysława Szafera Polskiej Akademii Nauk, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków, katarzynaizworska@gmail.com

²Instytut Biologii, Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków

³Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

⁴Instytut Geoeologii i Geoinformacji, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

Lasy urwiskowe to rodzaj unikalnego ekosystemu leśnego odznaczającego się wysokim stopniem naturalności oraz wyjątkowymi warunkami środowiska. Limitowane zasoby podłoża i silnie zmieniające się warunki pogodowe tworzą ekstremalne siedlisko dla wzrostu drzew.

Teren badań obejmował fragmenty tatrzańskich drzewostanów zdominowanych przez limbę (*Pinus cembra*) na stokach Czuby Roztockiej, Opalonego oraz

Żabiej Czuby w przedziale wysokości od 1300 do 1560 m n.p.m. Na obszarach tych limba dominuje na silnie nachylonych stokach, półkach skalnych i wychodniach. Lasy te można z całą pewnością uznać za jedyne w swoim rodzaju nie tylko w skali kraju, ale i całej Europy. Celem niniejszych badań było wykazanie, w jakim stopniu zmieniała się reakcja drzew wyrażona przyrostem rocznym na zmieniające się warunki klimatyczne w okresie ostatniego wieku. Badania prowadzono na podstawie wywiertów pobieranych z najokazalszych i prawdopodobnie najstarszych drzew.

Szerokości przyrostów rocznych pomierzono przy użyciu programu WinDendro, a poprawność pomiarów została zweryfikowana za pomocą procedury COFECHA. Analizy klimatyczne wykonano, wykorzystując wywierty pobrane ze 104 drzew. Po zindeksowaniu ciągów przyrostowych skonstruowano chronologię rezydualną, która posłużyła do obliczeń przyrostowej odpowiedzi (ang. growth response) na czynniki klimatyczne (średnie miesięczne temperatury powietrza i sumy opadów). Analiza funkcji odpowiedzi (ang. response function) pomiędzy wartościami przyrostów rocznych i danymi klimatycznymi została przeprowadzona za pomocą programu DendroClim 2002. Okres 30 lat był kolejno przesuwany od lat 1897–1926 do 1980–2009. W ten sposób udało się prześledzić reakcje przyrostowe drzew w czasie ostatnich 100 lat.

Przyrost limby najsilniej i pozytywnie skorelowany był z temperaturą miesięcy – czerwca i lipca. Potwierdza to ogólną prawidłowość, że przyrost drzew w wysokich położeniach górskich determinowany jest ciepłotą letnich miesięcy. W ostatnim czasie wzrost limby nie jest już limitowany wysokimi opadami w lecie. Takie zjawisko miało miejsce w pierwszych dekadach analizowanego okresu, kiedy to relatywnie wysokie opady czerwca i lipca negatywnie wpływały na przyrost limby. Przyrost radialny uzależniony jest również od warunków klimatycznych roku poprzedniego. Badania wykazały, że na początku okresu analiz temperatura sierpnia i października poprzedniego roku pozytywnie i istotnie wpływała na przyrost drzew.

Relatywnie długi, stuletni okres analiz pozwala stwierdzić, że reakcje przyrostowe limby na klimat nie są stabilne w czasie. Wysokogórskie lasy urwiskowe Tatr ze względu na ekstremalne warunki środowiskowe, w których rosną, wydają się niezwykle czułym indykatorem zmian klimatycznych. Limba jako długowieczny gatunek tworzący lasy urwiskowe jest doskonałym obiektem badawczym pozwalającym śledzić zdolności adaptacyjne drzew w zmieniającym się klimacie.

Zmiana wskaźników ekochemicznych w wyniku wprowadzenia podrostu bukowego do drzewostanów sosnowych

Michał Jasik^{1*}, Klaudia Ziemblińska², Marek Urbaniak², Janusz Olejnik²,
Maciej Skorupski³, Stanisław Małek¹

¹Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja
w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, michal.jasik@urk.edu.pl

²Pracownia Meteorologii, Katedra Budownictwa i Geoinżynierii, Wydział Inżynierii Środowiska
i Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań

³Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii DREWNA,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań

Głównym celem badań była ocena zmian wybranych wskaźników ekochemicznych w pionowym profilu opadów – wody opadowej przechodzącej przez koronę drzew i penetrującej wierzchnią warstwę gleby. Do porównania wytypowano dwa drzewostany sosnowe (na jednym z nich wprowadzono podrost bukowy) zlokalizowane w Tucznie w pobliżu istniejącej wieży do pomiaru strumieni masy i energii metodą kowariancji wirów. W pobranych próbkach wody zmierzono stężenie kationów i anionów oraz obliczono następujące wskaźniki: zdolność neutralizacji kwasów (ANCaq), zasadowość (ALK), stopień kwasowości (Ma%), nasycenie kationami zasadowymi (BS%), stosunek wapnia do glinu (Ca/Al), stosunek podstawowych kationów do glinu (BC/Al). Dodatkowo oszacowano współczynnik suchej depozycji (DDF) i tzw. Canopy Exchange dla kationów potasu, wapnia i magnezu (odpowiednio: CE_K+, CE_Ca2+ i CE_Mg2+).

Zaobserwowane zmiany wartości wskaźników w opadzie podkoronowym (TF) w porównaniu z opadem bezpośrednim w obu drzewostanach sosnowych w badanym okresie 2013–2015 wskazują, że woda opadowa została wzbogacona w prawie wszystkie analizowane jony po przejściu przez korony drzew. Ponadto średnia roczna depozycja wszystkich pierwiastków w opadzie podkoronowym była wyższa w przypadku drzewostanu sosnowego z podszytem bukowym (SP+Bch) niż na powierzchni z samą sosną zwyczajną (SP). Wykazano również, że wraz z głębokością profilu glebowego zmniejszał się wskaźnik neutralizacji kwasów (ANCaq) i zasadowości (ALK).

Do głównych wniosków należy stwierdzenie, że wprowadzenie podszytu bukowego w drzewostanie sosnowym spowodowało nagromadzenie większej ilości materii organicznej, a tym samym spowolnienie rozkładu, na co wskazuje wzrost zakwaszenia wierzchniej warstwy gleby (0–15 cm). Taki efekt nie był jednak widoczny w głębszych warstwach. Wyższe wartości zasadowości (ALK), zdolności neutralizacji kwasów (ANCaq) i wartości pH odnotowano w drzewostanie sosnowym z podrostem bukowym. Średnia wartość wskaźnika DDF była prawie trzykrotnie wyższa w drzewostanie sosnowym z podrostem bukowym niż w czystym drzewostanie sosnowym. Uzyskane wyniki wskazują na pozytywny wpływ podszytu bukowego na parametry fizykochemiczne gleby.

Wpływ obecnych i prognozowanych krótkotrwałych okresów ocieplenia w czasie chłodnej stratyfikacji na ustępowanie spoczynku i kiełkowanie nasion daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii*)

Szymon Jastrzębowski^{1*}, Joanna Ukalska², Adam Guziejko¹,
Radostaw Puchałka^{3,4}

¹Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Instytut Badawczy Leśnictwa, ul. Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05-090 Raszyn, *s.jastrzebowski@ibles.waw.pl

²Zakład Dendrometrii i Produkcyjności Lasu, Katedra Urządzania Lasu, Dendrometrii i Ekonomiki Leśnictwa, Instytut Nauk Leśnych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

³Katedra Ekologii i Biogeografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

⁴Centre for Climate Change Research, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

Zmiany klimatu, skutkujące wzrostem temperatury w okresie zimowym oraz zanikaniem pokrywy śnieżnej, mogą mieć poważne konsekwencje dla szeregu procesów biologicznych, w tym regeneracji roślin. Widoczne jest to w dynamice populacji różnych gatunków poprzez zwiększenie śmiertelności siewek i/lub całkowity brak możliwości odnawiania się roślin za pomocą diaspor. Problem ten dotyczy przede wszystkim gatunków wrażliwych na warunki pogodowe w czasie kwitnienia oraz zawiązywania się nasion i owoców, a także gatunków o nasionach spoczynkowych, wymagających chłodnej stratyfikacji.

Daglezia zielona, choć nie występuje naturalnie w europejskiej szacie roślinnej, jest obecna w naszych lasach od co najmniej 190 lat. W obliczu ustępowania świerka pospolitego może ona stanowić dla niego interesującą alternatywę. Aby odpowiedzialnie kształtować skład gatunkowy przyszłych lasów, przy podejmowaniu decyzji należy między innymi uwzględnić zdolność gatunku do reprodukcji w prognozowanych warunkach klimatycznych. Od lat 90. ubiegłego wieku obserwuje się w Polsce zmniejszanie się pokrywy śnieżnej oraz liczby dni śnieżnych, a także występowanie coraz wyższych wartości średniej temperatury powietrza w okresie zimy (w tym krótkotrwałych okresów ocieplenia, kiedy temperatura osiąga nawet od kilku do kilkunastu stopni powyżej zera). Jest to zjawisko bardzo niepokojące w kontekście ekologii kiełkowania nasion spoczynkowych. Poznanie reakcji nasion daglezi zielonej na niekorzystne czynniki temperaturowe w okresie ich spoczynku jest niezwykle istotne dla określenia potencjału reprodukcyjnego tego gatunku w warunkach prognozowanych zmian klimatu oraz może stać się przyczyną podjęcia badań nad innymi gatunkami drzewiastymi.

Jako możliwości praktycznego zastosowania uzyskanych wyników należy wskazać wykorzystanie zdobytej wiedzy przy podejmowaniu decyzji dotyczących

dalszego postępowania hodowlanego, w tym ustalenia stopnia inwazyjności oraz inicjowania (lub nie) odnowienia naturalnego daglezi zielonej na szerszą skalę.

Większość gatunków drzew z umiarkowanej strefy klimatycznej (w tym daglezi zielona) rozsiewa nasiona jesienią. Niektóre muszą być wystawione na działanie chłodu (0–10°C) i wilgoci (stratyfikacja zimna), aby przezwyciężyć stan spoczynku i doprowadzić do kiełkowania. Na półkuli północnej (od wschodniej Kanady po Europę) okresy ocieplenia występują zimą częściej i są dłuższe niż w ostatnich dziesięcioleciach.

Naszym głównym celem badawczym było zbadanie wpływu aktualnych (jeden lub trzy dni z temperaturą dzień/noc: 15/10°C) i przewidywanych w przyszłości (pięć dni przy temperaturze dzień/noc: 25/15°C) okresów ocieplenia na cechy związane z ekologią kiełkowania i przerywaniem spoczynku nasion daglezi zielonej (energia kiełkowania – GE; zdolność kiełkowania – GC; całkowita zdolność kiełkowania – FGC) z czterech drzewostanów w północnej Polsce. W tym celu przerwaliśmy stratyfikację chłodną nasion w różnych punktach czasowych, tj.: a) po 3 tygodniach; b) 6 tygodniach; c) 9 tygodniach lub d) po 3 i 6 tygodniach; e) 3 i 9 tygodniach; f) 6 i 9 tygodniach; g) 3, 6 i 9 tygodniach.

Stwierdziliśmy, że w przypadku GE i GC wszystkie efekty główne (populacje – P; długość trwania ocieplenia – D; czas trwania stratyfikacji – W) i ich interakcje były istotne (z wyjątkiem interakcji P×D). Natomiast na FGC znacząco wpływały efekty P i D oraz interakcje D×W i P×D×W. Stwierdzono ponadto, że prognozowane okresy ocieplenia w czasie zimy negatywnie oddziaływały na wczesną fazę kiełkowania (GE i GC) daglezi zielonej, choć jednocześnie zarówno obecne, jak i przewidywane warunki zimowe nie będą miały negatywnego wpływu na późne stadium kiełkowania (FGC).

Wykorzystanie sztucznych kryjówek do badań herpetofauny na obszarze pożarzyska Potrzebowice w Puszczy Noteckiej

Mikołaj Kaczmarski^{1*}, Klaudia Ziemblińska², Janusz Olejnik²,
Piotr Tryjanowski¹

¹Katedra Zoologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C,
60-625 Poznań, *traszka.com@gmail.com

²Pracownia Meteorologii, Katedra Budownictwa i Geoinżynierii, Wydział Inżynierii Środowiska
i Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94,
60-649 Poznań

Puszcza Notecka jest obszarem słabo rozpoznany w zakresie rozmieszczenia krajowej herpetofauny. Zgodnie z danymi zawartymi w „Atlasie płazów i gadów Polski” dla wielu kwadratów atlasowych obejmujących ten kompleks leśny brak nawet podstawowych informacji o występowaniu gatunków uchodzących za po-

spolite, takich jak m.in. padalec zwyczajny (*Anguis fragilis*) czy jaszczurka zwinka (*Lacerta agilis*). Jednak, co ciekawe, na omawianym terenie obserwowany był gniewosz plamisty (*Coronella austriaca*), czyli gatunek klasyfikowany w „Polskiej czerwonej księdze zwierząt” jako takson wysokiego ryzyka (ang. vulnerable) i bardzo rzadki w skali Wielkopolski. Dotychczas jego stanowiska znane były ze wschodniej części Puszczy Noteckiej (m.in. Sowią Góra) czy okolic Obornik i Biedruska.

Z uwagi na postępujące zmiany klimatu, wyższą temperaturę i częstsze susze pożary lasów staną się większym zagrożeniem niż dotychczas, dlatego zarządcy lasów powinni dysponować informacjami o występowaniu gatunków zagrożonych, a dane te należałoby uwzględnić podczas sporządzania planów urządzenia lasów. W przypadku ciepłolubnych gatunków, takich jak gniewosz plamisty czy jaszczurka zwinka, nagłe i wielkoskalowe przekształcenia zachodzące na obszarach leśnych (pożary, wiatrolomy, gradacje szkodników) mogą przyczynić się do znaczącego wzrostu liczebności ich populacji, jednak zagadnienie to do tej pory pozostaje słabo zbadane. Celem badań było określenie składu gatunkowego gadów w Nadleśnictwie Potrzebowice na terenie objętym pożarem wielkopowierzchniowym w latach 90. ubiegłego wieku.

W otoczeniu znajdującej się na badanym obszarze stacji pomiarowej Mężyk UP w Poznaniu wytypowano 25 stanowisk, obejmujących otwarte polany „referencyjne” wewnątrz odtworzonego drzewostanu (średnia wytypowanych powierzchni wyniosła: 0,28 ha, min. 0,05 ha, maks. 1,16 ha). Pierwsza faza prac terenowych trwała od 10 kwietnia do 10 czerwca. W tym czasie kontrole wykonywano mniej więcej co pięć dni w zależności od warunków pogodowych. W każdym punkcie rozmieszczono dwa arkusze blachy/sztuczne kryjówki (ACO, ang. artificial cover-objects) o wymiarze 50×100 cm. W drugiej fazie badań, tj. w okresie od 13 czerwca do 11 sierpnia, kontrole prowadzono co 10–14 dni. Wszystkie ACO użyte w pierwszej fazie zostały zastąpione mniejszymi arkuszami o wymiarach 50×50 cm. Dodatkowo rozmieszczono kolejne dwie kryjówki na każdym stanowisku w strefie ekotonu oraz w otaczającej uprawie (ok. 20 m od polan). W trakcie badań rejestrowano obecność wszystkich aktywnych gadów na badanych polanach oraz odławiano wszystkie osobniki znajdujące się pod ACO.

Podczas ponad 600 kontroli ACO wykryto 40 padalców: w tym 17 samców i 15 noworodków oraz 3 osobniki młodociane o nieokreślonej płci. Padalca stwierdzono na 13 z 21 polan, a w celu wykrycia tego gatunku należało wykonać średnio 2,3 kontroli na stanowisku (od 1 do 5). Sztuczne kryjówki pozwoliły na trzykrotne wykrycie gniewosza (w tym podwójna obserwacja tego samego osobnika), przy czym po raz pierwszy odnotowano go w trakcie trzeciej kontroli. W czasie przeszukiwania polan zaobserwowano 48 aktywnych jaszczurek zwinek oraz 1 aktywnego gniewosza. Łącznie odnotowano 54 osobniki padalca, 3 gniewosze w obrębie dwóch polan (w tym 2 samce i 1 samicę w widocznej ciąży) oraz zaskrońca zwyczajnego (*Natrix natrix*), choć był to osobnik martwy na drodze.

Większość padalców została odłowiona pod sztucznymi kryjówkami w ramach wytypowanych polan „referencyjnych”, tylko nieliczne osobniki w strefie ekotonu, jednocześnie nie wykryto ich pod ACO we wnętrzu lasu. Gady preferują siedliska umożliwiające aktywną termoregulację, stąd w granicach lasów

skupiają się w obrębie otwartych struktur, takich jak drogi, przecinki czy pasy przeciwpożarowe. Dobrze naświetlone polany leśne uznawane są za pierwotne miejsca występowania gniewosza plamistego w Europie Środkowej, zapewniające bogatą bazę pokarmową w postaci licznych jaszczurek, którymi ten gatunek się żywi. Nasze wyniki są zgodne z danymi z literatury i potwierdzają korzystny wpływ pozostawiania niezalesionych terenów w obrębie zwartych upraw leśnych na występowanie gadów. Przy zachowaniu mozaikowatej struktury intensywnie pielęgnowany las sosnowy na ubogich piaszczystych glebach może w długiej perspektywie stanowić stabilne siedlisko dla tych zwierząt nawet po intensywnych zaburzeniach takich jak wielkopowierzchniowy pożar.

Podsumujmy: teren pożarzyska w Nadleśnictwie Potrzebowice pomimo uproszczonej struktury lasu obecnie wydaje się siedliskiem heterogenicznym obejmującym otwarte przestrzenie preferowane przez gady. Obszar ten zamieszkuje na tyle liczna populacja jaszczurek, że stanowi wystarczającą bazę pokarmową dla populacji rzadkiego i zagrożonego w skali całego kraju gniewosza plamistego. Przeprowadzone przez nasz zespół pilotażowe badania populacji gadów z użyciem ACO mają duży potencjał, a użyta metoda pozwala efektywnie prowadzić badania terenowe.

Badania współfinansowano ze środków Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych w Warszawie (projekt LAS III, nr OR-2717/27/11).

Wpływ długotrwałej hodowli świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) H.Karst.) na zróżnicowanie gatunkowe mezofauny glebowej (Acari, Mesostigmata)

Jacek Kamczyc^{1*}, Paweł Horodecki², Marcin K. Dyderski²,
Michał Smoczyk³, Sylwia Wierzcholska⁴, Andrzej M. Jagodziński²

¹Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet
Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań,
*jacek.kamczyc@up.poznan.pl

²Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik
³ul. Wojska Polskiego 30/5, 69-110 Rzepin

⁴Zakład Biologii Roślin, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy
we Wrocławiu, ul. Kozuchowska 7, 51-631 Wrocław

W ostatnim czasie coraz więcej uwagi poświęcamy zamieraniu drzewostanów świerkowych na terenach górskich. Ich osłabienie, powodowane głównie przez suszę, sprzyja pojawieniu się i rozwojowi kornika drukarza. Zjawisko to może występować na znacznym obszarze, dotknąć bowiem może wielkopowierzchniowych monokultur świerkowych powstałych w ostatnich dwóch stuleciach w wy-

niku zastępowania nimi drzewostanów liściastych, co z kolei wiązało się z gospodarką leśną nastawioną na maksymalny zysk. Działanie takie doprowadziło do ukształtowania się m.in. na terenie Sudetów dużych kompleksów drzewostanów świerkowych, wśród których pojawiają się jedynie niewielkie fragmenty lasów liściastych.

Pomimo upływu czasu nasza wiedza na temat wpływu monokultur świerkowych na środowisko glebowe, a tym samym na edafon, jest wciąż niewystarczająca. Dlatego nadal aktualne pozostają pytania: W jakim zakresie długotrwała uprawa świerka wpływa na kondycję bioty glebowej, w tym roztoczy związanych z procesem obiegu materii w przyrodzie? Jaki jest potencjał odtworzeniowy zmienionych układów ekologicznych? Celem badań było porównanie zróżnicowania gatunkowego oraz liczebności zgrupowań roztoczy w dwóch typach drzewostanów (liściastych i iglastych) w różnym wieku (młodszych i starszych), rosnących na obszarze górskim.

Badania wykonano na terenie Nadleśnictwa Zdroje, gdzie założono 40 powierzchni badawczych o powierzchni 200 m² każda, reprezentujących fragmenty drzewostanów liściastych oraz monokultury świerkowe, z których łącznie pobrano 400 próbek glebowych. Wybrane drzewostany reprezentowały dwie grupy wiekowe, młodsze, w wieku około 60 lat, oraz starsze, w wieku 100–120 lat. Z zebranych próbek pozyskano, a następnie wyselekcjonowano, roztocze z rzędu Mesostigmata, będące uznanymi bioindykatorami stanu środowiska leśnego.

W trakcie badań wykazano łącznie 4608 roztoczy reprezentujących 69 gatunków. Nieznacznie wyższą liczebność roztoczy odnotowano w drzewostanach świerkowych (2391 osobników; 51,9%) w porównaniu z drzewostanami liściastymi (2217 osobników; 48,1%) przy tej samej liczbie analizowanych drzewostanów w każdej z grup. W drzewostanach młodszych stwierdzono nieznacznie wyższą liczebność roztoczy (2507 osobników; 54,4%) niż w drzewostanach starszych (2101 osobników; 45,6%). W drzewostanach świerkowych wykazano łącznie 64 gatunki roztoczy, podczas gdy w drzewostanach liściastych 60 gatunków. Drzewostany młodsze i starsze zasiedlone były przez taką samą liczbę gatunków (61 taksonów), a ponadto w obu grupach drzewostanów skład gatunkowy roztoczy różnił się nieznacznie. W grupie drzewostanów liściastych wyższą liczbę gatunków wykazano w drzewostanach młodszych (56 gatunków) w porównaniu ze starszymi (50 gatunków), natomiast w drzewostanach świerkowych nieznacznie wyższą liczbę gatunków odnotowano w starszych drzewostanach (55 gatunków) w porównaniu z młodszymi (53 gatunki).

Analiza struktury zgrupowań roztoczy z badanego rzędu pozwoliła stwierdzić znaczny udział w zgrupowaniu pięciu gatunków roztoczy. Do najliczniejszych gatunków zaliczono: *Veigaia nemorensis* (15,8% wszystkich okazów), *Zercon gurensis* (15,6%), *Paragamasus runcatellus* (9,2%), *Trachytes aegrota* (6,0%) oraz *Hypoaspis aculeifer* (5,9%). Zidentyfikowano bardzo dużą liczbę gatunków, które reprezentowane były przez pojedyncze okazy i których udział w zgrupowaniu był niższy niż 1% całkowitej liczebności. Udział *V. nemorensis* w analizowanych zgrupowaniach różnił się pomiędzy grupami drzewostanów. W świerczynach stanowił on 13,2%, a w lasach liściastych 18,7% wykazanych roztoczy. Drugim najliczniejszym ga-

tunkiem w drzewostanach liściastych był *Zercon gurensis*, zaś w drzewostanach świerkowych *Paragamasus runcatellus*.

Nasze badania wskazały na duże bogactwo gatunkowe zgrupowań roztoczy zasiedlających środowisko glebowe lasów górskich. Zbliżona liczebność i bogactwo gatunkowe w lasach liściastych i iglastych (świerkowych) potwierdza dużą stabilność ich zgrupowań w świerczynach.

Badania częściowo sfinansowano w ramach działania naukowego Miniatura 3 pt. „Zgrupowania mikrostawonogów glebowych (Acari, Mesostigmata) w drzewostanach górskich” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (2019/03/X/NZ9/01242).

Środowisko i genotyp drzew a mikrobiom topoli

Leszek Karliński

Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
leszekk@man.poznan.pl

Obserwowane od lat zmiany klimatyczne istotnie rzutują zarówno na otaczającą nas przyrodę, jak i na wiele aspektów życia oraz gospodarki człowieka. Większość niekorzystnych procesów wiąże się nierozzerwalnie z zaburzeniami szlaków przemiany materii w glebie. Stąd paląca konieczność głębszego poznania czynników kształtujących zbiorowiska mikroorganizmów glebowych i ich relacje z innymi grupami organizmów, w tym z drzewami.

Jednym z coraz chętniej analizowanych modeli badawczych interakcji mikroorganizmy–drzewo są topole należące do niezbyt licznej grupy roślin wchodzących w związki symbiotyczne z grzybami arbuskularnymi (AM) oraz ektomykoryzowymi (ECM). Łatwość krzyżowania tych drzew oraz ich wielowiekowa uprawa przez człowieka zaowocowała powstaniem szeregu klonów charakteryzujących się odmiennymi własnościami morfologicznymi i fizjologicznymi, co może rzutować istotnie na ich mikrobiom glebowy.

Celem badań było oszacowanie stopnia oddziaływania środowiska glebowego i genotypu drzew na zbiorowiska mikroorganizmów glebowych związane z topolą. Do analiz wytypowano cztery genotypy topoli (*Populus deltoides*, *P. deltoides* × *P. nigra*, *P. deltoides* × *P. trichocarpa* oraz *P. maximowiczii* × *P. trichocarpa*) rosnące na powierzchniach doświadczalnych typu „common-garden”, założonych w połowie lat 90. na obszarach skażonych metalami ciężkimi w strefie ochronnej huty miedzi Głogów oraz wolnych od zanieczyszczeń w Lesie Doświadczalnym „Zwierzyńiec” i na terenie Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku.

Próby korzeniowo-glebowe pobierane z górnej warstwy gleby (0–30 cm) skanowano w celu określenia cech morfologicznych korzeni drobnych. Stosując techniki mikroskopowe, molekularne i chromatograficzne, scharakteryzowano stopień kolonizacji korzeni drobnych przez grzyby mykoryzowe (ECM i AM) oraz grzybowe endofity korzeniowe (DSE). Określono także skład gatunkowy zbio-

rowisk grzybów ECM, biomasę oraz udział grzybów i innych mikroorganizmów (bakterie Gram-dodatnie i ujemne, promieniowce i pierwotniaki) w ryzosferze topoli, oszacowano produkcję biomasy grzybni ekstramatrykalnej grzybów ECM w glebie.

Analiza cech morfologicznych korzeni wykazała, że środowisko glebowe oraz głębokość, z jakiej pobierano próby, to istotne czynniki rzutujące na liczbę wierzchołków korzeni drobnych topoli. Skażenie gleb metalami ciężkimi (Cu, Cd, Pb, Zn) negatywnie wpływało na system korzeniowy topoli. Warunki stresowe uwydatniały jednak nieobserwowaną w przypadku stanowisk wolnych od zanieczyszczeń rolę genotypu drzew, generującego odmienne „strategie korzeniowe” poszczególnych topoli. W przypadku większości z nich korzenie drobne uciekały do głębszych warstw gleby zawierających niższe stężenia metali ciężkich w odróżnieniu od *P. nigra* × *P. trichocarpa*, dla której najwięcej korzeni drobnych odnotowano właśnie w wierzchniej, najsilniej skażonej warstwie gleby.

Stopień kolonizacji korzeni drobnych topoli przez grzyby AM, ECM i DSE warunkowany był zarówno przez lokalne warunki glebowe (czynnik dominujący), jak i przez genotyp drzew. Skażenie gleby negatywnie wpływało na stopień kolonizacji korzeni drobnych przez ECM i AM. Natomiast udział DSE w kolonizacji korzeni w Głogowie był istotnie wyższy. Sugeruje to przydatność tej grupy grzybów jako organizmów wskaźnikowych w przypadkach zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Drugi potencjalny marker stanowiła biomasa pierwotniaków w ryzosferze topoli, której wartości gwałtownie spadały w Głogowie. Oddziaływanie genotypu gospodarza najwyraźniej zaznaczało się dla AM, co zbieżne było również z ich udziałem w ryzosferze topoli. AM w stosunku do ECM charakteryzowały się też niższą tolerancją na skażenie gleby. Negatywna korelacja pomiędzy tymi dwoma grupami grzybów wskazuje na tendencję do zajmowania przez nie różnych nisz w systemie korzeniowym topoli. AM ustępują miejsca ECM w górnych warstwach gleby.

Czynnikiem decydującym o strukturze zbiorowisk grzybów ECM w dojrzałych drzewostanach topolowych były warunki glebowe oraz obecność w pobliżu źródeł inokulum grzybowego. Czynnikiem stresogennym, jakim było skażenie gleby metalami ciężkimi, wpływał na zróżnicowanie zbiorowisk ECM związanych z poszczególnymi genotypami topoli. Istotnie zaznaczał się wpływ genotypu drzew na produkcję grzybni ekstramatrykalnej w glebie, wskazując na zależności pomiędzy wielkością nadziemnego aparatu asymilacyjnego topoli a biomasą grzybni w glebie.

Warunki środowiskowe są głównym czynnikiem kształtującym na wielu poziomach relację drzewo–mikrobiom glebowy. Funkcja genotypu zaznacza się przede wszystkim w przypadku udziału poszczególnych grup mikroorganizmów w zbiorowiskach, uwydatniając się zwłaszcza w skrajnych warunkach środowiskowych. Trudno rozdzielić te dwa czynniki lub pominąć któryś z nich przy rozpatrywaniu związków pomiędzy drzewami a zbiorowiskami mikroorganizmów glebowych, szczególnie w obliczu zachodzących radykalnych zmian klimatycznych.

Mapowanie systemu korzeniowego sosny zwyczajnej za pomocą metody GPR

Adrian Kasztelan

Katedra Inżynierii Leśnej, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań, adrian.kasztelan@up.poznan.pl

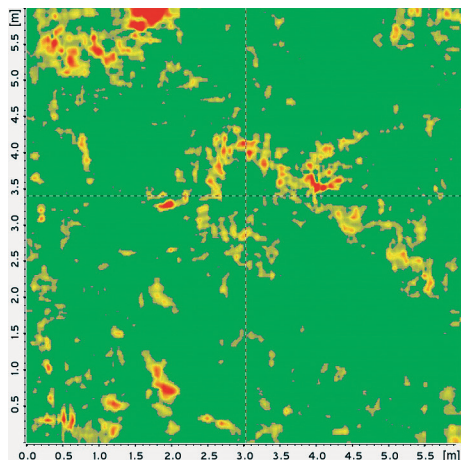
W związku z rolą, jaką odgrywają systemy korzeniowe drzew w ekosystemach łądowych, a także z ich znaczeniem dla samego drzewa, ważne jest ich wykrywanie, ilościowe oznaczanie oraz szacowanie biomasy i zdrowotności. W pracy zaprezentowano możliwości metody GPR (ang. Ground Penetrating Radar, ryc. 1) w odniesieniu do mapowania systemu korzeniowego. Badania georadarowe są znane i z powodzeniem stosowane w metodzie prospekcji utworów podpowierzchniowych. Georadar w odróżnieniu od tradycyjnych prac odkrywkowych, które są pracochłonne i destrukcyjne, jest nieinwazyjny i pozwala w krótkim czasie przeprowadzić pomiar. Głównym celem badań było użycie trójwymiarowego obrazu georadarowego do wizualizacji systemu korzeniowego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.).

Badania przeprowadzono w Ogrodzie Dendrologicznym Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, wybierając jeden z głównych gatunków lasotwórczych występujących na terenie Polski. Wokół drzewa założono punkty i linie bazowe, które tworzyły poletko o wymiarach 6×6 m. Linia bazowa Y była zlokalizowana na kierunku północ-południe, a linia X na kierunku zachód-wschód. Od linii bazowych wykonano linie pośrednie z interwałem co 0,10 m. Akwizycję danych georadarowych przeprowadzono z interwałem punktowym (ang. point interval) równym 0,02 m. W efekcie uzyskano wyniki obrazowania 3D systemu korzeniowego sosny. Do tego celu użyto anteny o rozdzielczości 750 MHz MALA Ground Explorer (GX) HDR. Post-processingu danych radarowych dokonano w oprogramowaniu MALA 3D Vision.

W ramach analizy uzyskanego obrazu 3D GPR wykonano poziome cięcia (ang. slices) z rozdzielczością co 0,05 m. Na uzyskanych obrazach elementy anomalne oznaczono kolorami fałszywymi (ciepłymi) dla miejsc występowania korzeni, przykład na rycinie 2. Z rozkładu anomalii zaobserwowano, że system korzeniowy



Ryc. 1. GPR podczas pomiaru



Ryc. 2. Przykładowe cięcie poziome obrazu 3D przedstawiające system korzeniowy sosny

układa się promieniście i zanika na pewnej głębokości. Analiza pozwoliła wyodrębnić korzenie najgrubsze. Oznaczono także zasięg występowania systemu korzeniowego w odniesieniu do pnia drzewa. Wysyłany impuls fali elektromagnetycznej został ustawiony z częstotliwością 0,02 m, co oznacza, że wykryto korzenie grubsze od 2 cm.

Badania magnetyczne GPR dają obraz systemu korzeniowego zarówno w przekroju poprzecznym, jak i w rzucie prostokątnym z góry. Dokładność wykrywanych anomalii zależy od założonego celu doświadczenia. Interwał punktowy można ustawić w zakresie od 0,002 do 1,00 m, co oznacza, że teoretycznie można odnotować anomalię nawet dwumilimetrową. Metodę GPR z powodzeniem można stosować

w celu oznaczania systemów korzeniowych drzew. Przeprowadzone badania są jednym z elementów zmierzających do uzupełnienia i powiększenia bazy danych dotyczących systemów korzeniowych drzew.

Sosna zwyczajna – gatunek zagrożony? Charakterystyka biometryczna sosny w zależności od wieku i pozycji biosocjalnej na przykładzie wybranych drzewostanów Nadleśnictwa Jedwabno

Katarzyna Kaźmierczak, Piotr Roman*

*Katedra Urządzania Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C,
60-625 Poznań, *katarzyna.kazmierczak@up.poznan.pl*

Postępujące zmiany klimatu, objawiające się długotrwałymi suszami, niosą ogromne zagrożenie dla lasów. Gospodarczo i przyrodniczo ważne gatunki drzew leśnych, w tym i sosna, według ocen szeregu naukowców, utracą tzw. optimum klimatyczne, czyli dogodne warunki do życia. Uчені twierdzą, że sosna, świerk, modrzew i brzoza w perspektywie najbliższych 50 lat będą w Polsce zanikać. Nie nastąpi to radykalnie z dnia na dzień, ale zmiany te obserwujemy już dziś. Według Głównego Urzędu Statystycznego (2019) sosna zajmuje ponad połowę terenów leśnych (58,1%).

Celem badań było opisanie podstawowych cech pnia i korony sosen różnych klas biosocjalnych. Pomiarów dokonano na powierzchniach kołowych w wybranych drzewostanach sosnowych kolejnych podklas wieku od IIa do Vb oraz VIIa, rosnących na siedlisku boru mieszanego świeżego na terenie Nadleśnictwa Jedwabno. Zmierzono takie cechy drzewa, jak: pierśnica (cm) i wysokość (m) oraz cechy korony: szerokość (m), wysokość osadzenia żywej korony (m) i wysokość położenia najszerszego miejsca korony (m). Ustalone na drzewach stojących wielkości pozwoliły na określenie cech korony: powierzchni rzutu, objętości, stopnia rozłożystości, stopnia wysunięcia, całkowitej i względnej długości, długości i udziału korony świetlistej i cienistej.

Cechy wymiarowe drzewa i korony istotnie zmieniają się z wiekiem. Pozycja biosocjalna także wpływa na ich kształtowanie się. Wielkość korony opisano wieloma cechami, gdyż aparat asymilacyjny jest ważnym elementem w akumulacji węgla. Dzięki cechom dendrometrycznym sosny kolejnych podklas wieku możliwe jest szybkie określenie biomasy drzewa.

Stopień porażenia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) przez jemiolę pospolitą (*Viscum album* L.) w centralnej Polsce – studium przypadku

Wojciech Kędziora^{1*}, Michał Małecki², Krzysztof Niewiński², Jacek Piętka³

¹Katedra Urządzania Lasu, Dendrometrii i Ekonomiki Leśnictwa, Instytut Nauk Leśnych,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159,
02-776 Warszawa, *wojciech.kedziora@wl.sggw.pl

²Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

³Katedra Ochrony Lasu, Instytut Nauk Leśnych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Występujące z coraz większym nasileniem zmiany klimatyczne w połączeniu ze zwiększoną urbanizacją powodują modyfikację wzorców pogodowych, szczególnie rozkładu czasowego i nasilenia opadów. Zjawiska te oddziałują niekorzystnie na poziom wód gruntowych i pośrednio na ekosystemy leśne, przyczyniając się do osłabiania kondycji rosnących w nich drzew. Wpływa to na ich podatność na zewnętrzne czynniki mogące prowadzić do zamierania lasów. Jednym z nich jest porażenie drzew przez jemiolę pospolitą (*Viscum album*), półpasożytniczą roślinę z rodziny sandałowcowatych mającą zdolność do fotosyntezy, jednak pobierającą substancje odżywcze od rośliny-żywiciela.

Jemiola pojawiła się na większą skalę w drzewostanach, w których do tej pory nie powodowała istotnego zagrożenia. Najniebezpieczniejsza jest jemiola pospolita rozpięchła (*Viscum album* ssp. *austriacum*), która atakuje przede wszystkim sosnę – główny lasotwórczy gatunek Polski. Uważa się ją za czynnik

sprzyjający osłabieniu drzew i zwiększający ich podatność na rozprzestrzenianie się patogenów.

W pracy zaprezentowano dane na temat występowania jemioli w drzewostanie sosnowym w centralnej Polsce. Na 193 sosnach rosnących w wydzielaniu 212c na terenie Leśnictwa Głuchów (Nadleśnictwo Rogów) określono z poziomu gruntu liczbę krzewów jemioli, procentowy udział jemioli w objętości korony oraz miejsce jej występowania. Dodatkowo 15 drzew zostało przeanalizowanych szczegółowo po ścięciu, w celu zweryfikowania uzyskanych wcześniej wyników. Mierzono wiek i średnicę krzewów, średnicę pędu sosny przed zgrubieniem z wyrastającą jemiolą i za nią.

Badania wykazały, że analizowany drzewostan sosnowy jest w znacznym stopniu porażony przez jemiolę. Stwierdzono ją na 89% przebadanych drzew. Ponad połowa charakteryzowała się porażeniem przez sześć lub więcej osobników. Porównano również obserwacje naziemne z liczebnością jemioli określoną po ścięciu drzewa, w którym to przypadku zaobserwowano duże rozbieżności. Wśród zmierzonych osobników największy udział mają jemioli w młodym wieku (od 3 do 6 lat), które zasiedlają najczęściej wierzchołkowe partie korony żywiciela. Obserwowane w ostatnich latach nasilenie występowania jemioli w lasach może stwarzać poważne zagrożenie dla drzewostanów sosnowych osłabionych przez czynniki abiotyczne.

W poszukiwaniu antidotum na suszę – wpływ akumulacji proliny na żywotność nasion wybranych gatunków drzew

Joanna Kijowska-Oberc^{1}, Łukasz Dylewski², Ewelina Ratajczak¹*

*¹Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
joberc@man.poznan.pl*

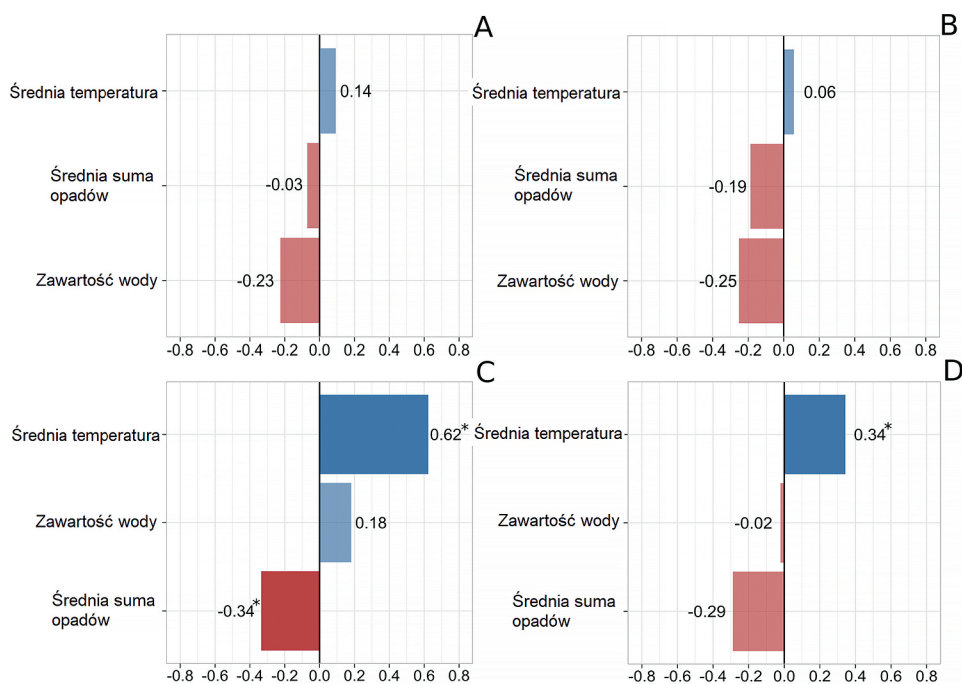
*²Katedra Zoologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C,
60-625 Poznań*

Konsekwencje globalnego ocieplenia w sposób szczególny dotyczą lasów – ekosystemów, których fundament stanowią drzewa. Susze nasilające się w związku ze wzrostem temperatury wzmagają śmiertelność tych długowiecznych organizmów na niespotykaną dotąd skalę. W zależności od lokalnych warunków klimatycznych oddziałujących długookresowo na drzewa rodzicielskie, a także na ich nasiona w czasie dojrzewania, może zostać wykształcona zdolność do przetrwania nowego pokolenia w niesprzyjającym środowisku. Jest to jeden z mechanizmów kształtujących zasięg występowania gatunków i populacji.

W niekorzystnych warunkach, takich jak niskie opady i wysoka temperatura powietrza, w komórkach nadmiernie gromadzą się toksyczne cząsteczki reaktywnych form tlenu (RFT). Uszkodzają one błony komórkowe i zaburzają funkcje

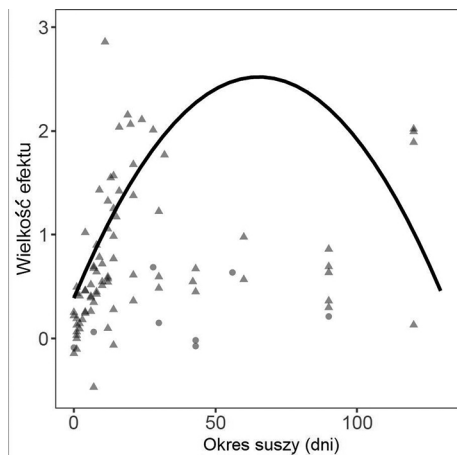
komórek, obniżając tym samym żywotność nasion. Akumulacja proliny jest mechanizmem uruchamianym przez rośliny w celu przeciwdziałania takim uszkodzeniom. Prolina usuwa nadmiar RFT, ograniczając wywoływane przez nie zaburzenia, oraz stabilizuje strukturę błon komórkowych i związanych z nimi białek. Aminokwas ten pełni ponadto rolę osmolitu ograniczającego utratę wody przez komórki, co ma istotne znaczenie w warunkach suszy. W obliczu zmian klimatu zyskuje na znaczeniu konieczność zidentyfikowania populacji charakteryzujących się wysoką żywotnością nasion, które dałyby początek lasom bardziej stabilnym i odpornym na nowe warunki. Taka identyfikacja może stać się możliwa dzięki zastosowaniu proliny.

W celu określenia zasadności wykorzystania proliny jako biochemicznego wskaźnika przemian metabolicznych związanych z globalnym ociepleniem (zmiany średniej temperatury i sumy opadów) zachodzących podczas rozwoju nasion zbadano pod tym kątem dwa gatunki drzew z rodzaju *Acer*, które różnią się tolerancją nasion na podsuszanie, tj. klon zwyczajny (*Acer platanoides* L.), którego nasiona należą do kategorii *orthodox* (odporne na podsuszanie), oraz klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), którego nasiona należą do kategorii *recalcitrant* (wraż-



Współczynnik korelacji

Ryc. 1. Korelacje zawartości proliny z badanymi parametrami: średnia dwutygodniowa temperatura, zawartość wody i dwutygodniowa średnia opadu dla osi zarodkowych (A) i liści (B) nasion klonu zwyczajnego oraz dla osi zarodkowych (C) i liści (D) nasion klonu jaworu. Wielkości oznaczone symbolem * wykazują istotną korelację przy wartości $p \leq 0,05$



Ryc. 2. Wielkość efektu wpływu czasu trwania suszy na kumulację proliny w nasionach i siewkach wybranych gatunków drzew. Punkty oznaczone symbolem ● oznaczają gatunki iglaste, natomiast ▲ – gatunki liściaste

ny metaboliczne zachodzące w nasionach różnych gatunków drzew, przeprowadzono metaanalizę na podstawie badań cech nasion oraz siewek roślin drzewiastych poddawanych stresowi suszy w powiązaniu z poziomem zawartej w nich proliny. Jest to pierwsza metaanaliza obejmująca rolę proliny w warunkach stresu, a jednocześnie dotycząca nasion drzew. Wyniki wskazują, że zależność między zawartością proliny w nasionach i siewkach drzew a warunkami stresowymi jest silniejsza w przypadku drzew liściastych, a słabsza u drzew iglastych (ryc. 2). Może to wynikać z faktu, że zdecydowana większość gatunków drzew iglastych wytwarza nasiona należące do kategorii *orthodox*, które znoszą nawet silne podsuszanie. Taki wniosek znajduje również odzwierciedlenie w badaniach przeprowadzonych wcześniej na nasionach klonów, z których wynika, że zależność między warunkami zewnętrznymi a zawartością proliny w nasionach jest istotna w przypadku kategorii *recalcitrant*.

Adaptacja lasotwórczych gatunków drzew do skutków zmian klimatu jest jednym z najważniejszych wyzwań, przed jakimi stoi współczesne leśnictwo. Zastosowanie proliny w identyfikacji populacji, których nasiona wykazują większą żywotność, może pomóc w łagodzeniu skutków globalnego ocieplenia. Nasiona z takich populacji będzie można wykorzystać w ramach migracji wspomaganiej, czyli umieszczenia na danym terenie osobników lepiej przystosowanych do prognozowanych zmian klimatycznych.

liwe na podsuszanie). Pomiary zawartości proliny wykonywano na dojrzejących nasionach pozyskiwanych w dwutygodniowych odstępach pomiędzy 11 a 23 tygodniem po kwitnieniu w trzech kolejnych latach (2017, 2018 i 2019). Wykazano, że zawartość proliny w nasionach *recalcitrant* była dodatnio skorelowana ze średnią dwutygodniową temperaturą, natomiast w nasionach *orthodox* nie stwierdzono takiej zależności (ryc. 1). Zawartość proliny okazuje się zatem zależna od warunków termiczno-wilgotnościowych, co czyni ją obiecującym biochemicznym markerem tolerancji nasion na utratę wody w zróżnicowanych warunkach klimatycznych.

Aby ocenić zależność między akumulacją proliny w nasionach a stresem suszy oraz wpływ proliny na przemiany

Jak aktywność oddechowa wpływa na długoterminowe przechowywanie nasion?

Joanna Kijowska-Oberc¹, Arleta Małeczka², Aleksandra M. Staszak³,
Ewelina Ratajczak^{*}

¹Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
^{*}eratajcz@man.poznan.pl

²Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6,
61-614 Poznań

³Wydział Biologii, Uniwersytet w Białymstoku, ul. Ciołkowskiego 1J, 15-245 Białystok

Wzrastająca obecnie częstotliwość ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak susze i fale upałów, niesie poważne konsekwencje dla możliwości zasiedlania nowych obszarów przez gatunki drzew. Zjawiska te wpływają niekorzystnie na jakość nasion, które zapewniają lasom zachowanie trwałości i bioróżnorodności. Nasiona już w trakcie dojrzewania w zmiennych warunkach ulegają trwałym uszkodzeniom. Zaburzenia, jakie zachodzą w nich w czasie dojrzewania, skutkują na przykład obniżeniem ich odporności na podsuszanie, a także wpływają na fizjologię spoczynku. Co istotne, mogą nasilać proces starzenia się nasion, który zachodzi podczas ich przechowywania.

Oddychanie i inne procesy metaboliczne, które są kontrolowane przez układy oksydacyjno-redukcyjne (tzw. układy redoks), wywierają istotny wpływ na jakość nasion. Komórkowy stan redoks wrażliwy jest na każde zachwianie równowagi metabolicznej i wysyła sygnały na poziomie transkrypcji i translacji, aby roślina mogła zaadaptować się do zmieniających się warunków środowiskowych. Organellami odpowiedzialnymi za prawidłowe funkcjonowanie metabolizmu komórkowego i produkcję energii na drodze fosforylacji oksydacyjnej są mitochondria. Ponadto uczestniczą one w sygnalizacji wewnątrzkomórkowej, utrzymywaniu homeostazy redoks oraz w apoptozie. Jednak najnowsze badania wskazują, że pełnią one istotną rolę również w procesie starzenia się nasion. Są głównym miejscem generowania reaktywnych form tlenu (RFT) w procesie metabolizmu tlenowego. Nadmierna produkcja tych cząsteczek w czasie przechowywania nasion powoduje uszkodzenie struktury mitochondriów i jest powodem ich dysfunkcji. RFT, pogarszając działanie mechanizmów antyoksydacyjnych, powodują uszkodzenia nie tylko samych organelli, ale również głównych składników komórkowych: lipidów, białek czy kwasów nukleinowych. Nieprawidłowości te kumulują się podczas długotrwałego przechowywania nasion, obniżając ich jakość i żywotność.

Zmiany takie obserwowano podczas długoterminowego przechowywania nasion buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) przez 8, 11 i 17 lat. Zaobserwowano wzrost poziomu markerów stresu oksydacyjnego, takich jak nadtlenek wodoru i aldehyd dimalonowy. Wzrost ten był proporcjonalny do czasu przechowywania nasion, co świadczy o możliwości wystąpienia uszkodzeń oksydacyjnych. Jednocześnie za pomocą aparatu Seahorse odnotowano zdecydowanie najniższy (ok. 100 pmol/min) wskaźnik zużycia tlenu (OCR) w nasionach najdłużej przechowywanych (17 lat), natomiast w krócej przechowywanych wskaźnik ten utrzymywał

się na podobnym, niskim poziomie (ok. 300 pmol/min). Na podstawie takich obserwacji można wnioskować, że w nasionach starzejących się wydajność fosforylacji oksydacyjnej obniża się, w wyniku czego pula ATP się zmniejsza. Badania wskaźnika zakwaszenia wewnątrzkomórkowego (ECAR) wykonane w starzejących się nasionach wykazały spadek zakwaszania komórkowego podczas przechowywania, co potwierdza spadek metabolizowania glukozy w procesie glikolizy. Najwyższy poziom ECAR obserwowano w świeżo kiełkujących nasionach, w których na skutek stresu tlenowego dochodzi do wzrostu zużycia glukozy związanej z zapotrzebowaniem na ATP i do zwiększenia poziomu zakwaszenia zewnątrzkomórkowego. Uzyskane wyniki parametrów OCR i ECAR jednoznacznie wskazują na spadek aktywności metabolicznej na skutek uszkodzeń oksydacyjnych w starzejących się nasionach.

Stres wywołany zmianami warunków klimatycznych oraz nieprawidłowymi sposobami przechowywania nasion powoduje obniżenie aktywności mitochondrialnej, a tym samym syntezy energii. W konsekwencji nasiona tracą żywotność i zdolność do kiełkowania. W obliczu globalnego ocieplenia gromadzenie wysokiej jakości materiału siewnego jest jednym z najważniejszych wyzwań stojących przed współczesnym leśnictwem. Przechowywanie nasion w sposób zapewniający ograniczenie spadku ich aktywności oddechowej jest więc kluczem do zachowania trwałości ekosystemów leśnych oraz wysokiej produktywności lasów gospodarczych.

Badania są finansowane przez Narodowe Centrum Nauki (nr projektu 2018/31/B/NZ9/01548) oraz przez Instytut Dendrologii PAN.

Holocenna historia pożarów lasów w piętrze pogórza i regła dolnego w Karpatach Zachodnich

Piotr Kołaczek^{1}, Włodzimierz Margielewski², Katarzyna Marcisz¹,
Krzysztof Buczek², Mariusz Gałka³, Monika Karpińska-Kołaczek¹,
Mariusz Lamentowicz¹*

¹Pracownia Ekologii Zmian Klimatu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań, *pkolacz@amu.edu.pl

²Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk, al. Adama Mickiewicza 33, 31-120 Kraków

³Katedra Biogeografii, Paleoekologii i Ochrony Przyrody, Uniwersytet Łódzki, ul. Stefana Banacha 12/16, 90-237 Łódź

Obszary górskie, dzięki różnicowanemu klimatowi i podłożu geologicznemu, są centrami zwiększonej bioróżnorodności. Ogień, oddziałując na ekosystemy górskie, zwiększa heterogeniczność krajobrazu i generuje nowe nisze ekologiczne, co dodatkowo sprzyja zwiększaniu różnorodności organizmów. Z kolei klimat, zwarcie koron drzew i skład gatunkowy kontrolują reżimy pożarowe w ekosys-

temach lądowych. Użycie metod paleoekologicznych pozwala na rekonstrukcję funkcjonowania ekosystemów w długich skalach czasowych (od pojedynczych lat po tysiąclecia). Dzięki mikro- i makroszczątkom roślin i zwierząt deponowanym w osadach i torfach oraz sygnaturze geochemicznej tychże osadów i torfów (archiwów paleoekologicznych) możliwe jest odtwarzanie elementów dawnych ekosystemów, w tym zmian roślinności, klimatu czy aktywności pożarowej.

Celem prezentowanych badań paleoekologicznych było odtworzenie holocenijskiej historii pożarów i rozwoju zbiorowisk leśnych w otoczeniu torfowisk niskich rozwiniętych w niszach osuwiskowych. Analizowane torfowiska znajdują się w Beskidzie Makowskim (regiel dolny, stanowisko Bogdanówka) i w Beskidzie Wyspowym (piętro pogórza, stanowisko Zbludza). W badaniach wykorzystano rdzenie torfowe datowane metodą radiowęglową z dużą rozdzielczością oraz wykonano analizę palinologiczną (pyłku, zarodników i mikrofosyliów pozapyłkowych) i makroskopowych szczątków roślin, co pozwoliło odtworzyć zmiany lokalnej roślinności w czasie. Analiza mikroskopijnych węgli (frakcja wielkości do 0,1 mm) oraz wykonana pierwszy raz dla polskiej części Karpat Zachodnich analiza węgli makroskopowych (frakcja wielkości >0,1 mm) w ciągłym próbkowaniu umożliwiły rekonstrukcję aktywności pożarowej oraz częstotliwości pożarów.

Stanowiska wybrane do badań, ze względu na ich niewielką powierzchnię (<1 ha), mogły rejestrować głównie zmiany roślinności na powierzchni samych torfowisk oraz w ich bardzo bliskim sąsiedztwie, a tylko w małym stopniu sygnał zmian regionalnych. Mimo to główne wzorce holocenijskiego rozwoju lasów nie różniły się od większości stanowisk w polskiej części Karpat Zachodnich. Wyniki pokazały, że stanowisko z regła dolnego w Beskidzie Makowskim (zapis mniej więcej od 10730 kal. BP; kal. BP = lat kalibrowanych przed 1950 r.) zarejestrowało największą częstotliwość (paleo-)pożarów w okresach: (i) około 10730–9680 kal. BP (4 epizody/1000 lat) w czasie dominacji lasów z *Pinus*, *Betula* i *Ulmus* oraz (ii) około 7600–6700 kal. BP, kiedy dominowały *Picea abies* i *Corylus avellana* (6 epizodów/1000 lat). Najwyższa aktywność pożarowa została stwierdzona w stropie osadów (ostatnie 400 lat), a została ona zapoczątkowana wylesieniami związanymi z ekspansją Wołochów.

Na stanowisku z piętra pogórza w Beskidzie Wyspowym (stanowisko Zbludza) zapisały się następujące okresy zwiększonej aktywności (paleo-)pożarowej: (i) mniej więcej przed 8540 kal. BP, kiedy dominowała *C. avellana*, (ii) około 3320–3030 kal. BP – początek dominacji *Abies alba* oraz (iii) mniej więcej od 740 cal. BP – antropogeniczne deforestacje lasów z *Fagus sylvatica* i *A. alba*. W przypadku stanowiska z piętra pogórza stwierdzono powiązanie pomiędzy liczniejszym występowaniem patogenu grzybowego *Kretzschmaria deusta* a zwiększoną aktywnością pożarową około 6000 kal. BP. W tym okresie swoje optimum w lasach miała lipa drobnolistna (*Tilia cordata*), której populacja zwiększyła się po początkowym wycofaniu się z lasów na skutek pożarów. Ostatecznie *T. cordata* została wyparta z lasów przez *F. sylvatica* i *A. alba* około 3000 kal. BP i od tej pory stanowiła tylko domieszkę w drzewostanie. Podobnie jak w przypadku stanowiska z regła górnego (Bogdanówka), początek ekspansji *A. alba* powiązany był ze wzrostem aktywności pożarowej. Oba te przykłady pokazują, że odpowiednio zwiększona

aktywność pożarowa może pozytywnie wpływać na ekspansję gatunków drzew o niskiej tolerancji na ogień.

Badania paleoekologiczne mogą być istotnym źródłem zarówno wiedzy o roślinności potencjalnej, jak i cennych wskazówek co do gospodarowania lasami. W przypadku badanych stanowisk w piętrze pogórza i regla dolnego zbiorowiskiem, które dominowało przed intensyfikacją antropogenicznych deforestacji, były lasy z dominacją jodły i buka.

Prace zostały sfinansowane ze środków budżetowych na naukę w latach 2016–2019 nr projektu 0342/IP1/2016/74.

Wczoraj, dzisiaj i jutro europejskich jeżyn

Piotr Kosiński^{1,2*}, Łukasz Walas¹

¹Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,

*kosinski@man.poznan.pl

²Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

Rodzaj *Rubus* jest uważany za jedną z najbardziej skomplikowanych pod względem taksonomicznym grup roślin naczyniowych. Liczy on 400–500 gatunków płciowych i jeszcze więcej gatunków agamicznych. Europejskich gatunków jeżyn (*Rubus* L. subgen. *Rubus*) jest ponad 750 i prawie wszystkie są poliploidalnymi apomiktami, które rozmnażają się na drodze pseudogamicznej aposporii. Nie są to więc prawdziwe gatunki biologiczne, ale raczej klony o zdolności propagacji przez nasiona. Apomiksja jeżyn jest fakultatywna, co umożliwia hybrydyzację i powstawanie nowych linii apomiktycznych. Zaledwie cztery gatunki jeżyn występujących w Europie są diploidami rozmnażającymi się na drodze płciowej (kolejne cztery występują na Kaukazie i w Makaronezji).

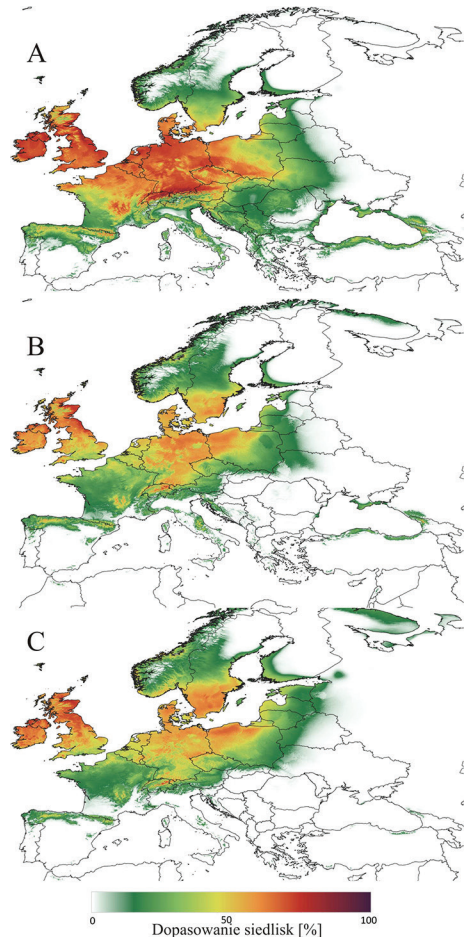
Niewątpliwie klimat jest najważniejszym czynnikiem decydującym o rozmieszczeniu roślin w skali globalnej, wywierającym wpływ na ich fenologię i wzrost poprzez modyfikację interakcji z całą gamą czynników biotycznych i abiotycznych środowiska. Centra zasięgowe większości europejskich jeżyn znajdują się obecnie w regionach Europy poddanych wyraźnym wpływom klimatu oceanicznego, który charakteryzuje się łagodnymi zimami i długim umiarkowanie ciepłym okresem wegetacyjnym. Przeważająca część polskiej batoflory ma centrum swojego zasięgu w tej części kontynentu, a wielu jej przedstawicieli to rośliny częściowo zimozielone, co jest wyrazem ich przystosowania do takich właśnie warunków klimatycznych. Przez Polskę przechodzi północno-wschodnia granica zasięgu europejskiego kompleksu agamicznego jeżyn ujętego jako całość i zaledwie kilka gatunków o najszerzych zasięgach dociera dalej na wschód.

Po okresie średniowiecznego optimum klimatycznego nastąpiło ochłodzenie (tzw. mała epoka lodowa), które zakończyło się mniej więcej w połowie XIX w. Od tego czasu następuje wyraźny wzrost temperatury, nasilający się w ostatnich

latach, a wysokie tempo zmian klimatycznych z czasem powinno przełożyć się na zmiany granic zasięgowych roślin.

Na podstawie „Atlas Florae Europaeae” (15) wytypowano obszary o największej bioróżnorodności jeżyn. Do modelowania potencjalnych zasięgów jeżyn wykorzystano dwa zestawy danych: (1) pola z sieci AFE, w których potwierdzono występowanie przynajmniej dziesięciu gatunków, oraz (2) takie, z których podawano ponad 24 gatunki. Analizy przeprowadzono przy użyciu programu MaxEnt w wersji 3.3.2. Rastry ze średnimi wartościami zmiennych bioklimatycznych o rozdzielczości 30” zostały pobrane z bazy danych CHELSA. Siedem z dziewiętnastu zmiennych zostało wykluczonych z powodu silnej wzajemnej korelacji. Modelowaniem objęto cztery okresy: przeszłość (rok 1000 – średniowieczne optimum klimatyczne, i rok 1700 – mała epoka lodowa), teraźniejszość oraz przyszłość (rok 2070) z uwzględnieniem dwóch scenariuszy: RCP 4.5 oraz RCP 8.5, zakładających wzrost temperatury przed 2065 r. o odpowiednio: 1,4°C i 2°C.

Na podstawie otrzymanych wyników okazało się, że obecne warunki klimatyczne są najbardziej korzystne dla występowania jeżyn spośród wszystkich rozpatrywanych. Potencjalnie mogą one zajmować znaczną część Europy Środkowej (przede wszystkim północna Francja, kraje Beneluksu, Niemcy, Czechy, zachodnia i południowa Polska, północne Szwajcaria i Austria) i Wyspy Brytyjskie. Stosunkowo korzystne siedliska dla jeżyn występowały także w przeszłości, przy czym dopasowanie siedlisk na poziomie powyżej 50% przebiegało na zachód od obecnych granic Polski. W małej epoce lodowej (1700 r.) nastąpiło prawdopodobnie dość wyraźne przesunięcie wschodniej granicy zasięgu jeszcze bardziej na zachód, a jednocześnie korzystniejsze warunki dla ich występowania pojawiły się na obszarach na północ od Alp. Oba scenariusze dotyczące występowania jeżyn w przyszłości wskazują na potencjalne skurczenie się całego zasięgu kompleksu agamicznego jeżyn i jednocześnie przesunięcie się na wschód i północ. Co ciekawe, jednym



Ryc. 1. Potencjalne rozmieszczenie siedlisk obfitego występowania jeżyn obecnie (A) i w przyszłości: wariant optymistyczny (B) i pesymistyczny (C)

z centrów bioróżnorodności jeżyn w kontynentalnej Europie stałaby się północna Polska i południowa Szwecja, szczególnie gdy pod uwagę weźmiemy pesymistyczny scenariusz modelowania klimatu, zakładający wyższy wzrost temperatury.

Z punktu widzenia badań batoflorystycznych prowadzonych w Polsce interesująca jest też rozbieżność między niewielką liczbą gatunków jeżyn podawanych z północno-zachodniej Polski z istnieniem tam dla nich korzystnych siedlisk. Świadczyć to może zarówno o słabym stanie zbadania tej części kraju pod tym kątem oraz niewystarczającym czasie, by potencjał migracyjny mógł zostać zrealizowany i przełożyć się na wzrost liczby gatunków i ich stanowisk.

Funkcjonalna charakterystyka czynników regulujących wzrost korzenia palowego dębu szypułkowego (*Quercus robur*)

Paulina Kościelniak^{1*}, Paulina Glazińska², Marcin Zadworny¹

¹Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
*pkoscielniak@man.poznan.pl

²Uniwersytet Mikołaja Kopernika, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

Wykształcenie długich korzeni palowych jest przystosowaniem pozwalającym dębom pozyskiwać wodę z głębokich pokładów, zwłaszcza podczas długich i nasilonych okresów suszy, tj. wtedy, gdy dostępność wody w przypowierzchniowych warstwach gleby jest ograniczona. Produkcja sadzonek w szkółkach kontenerowych, uszkadzając korzeń palowy dębów działaniem „noża powietrznego”, może zwiększać wrażliwość zarówno sadzonek, jak i dojrzałych drzew na chroniczne lub okresowe epizody dotkliwej suszy. Pomimo znacznej roli, jaką odgrywa korzeń palowy, niewiele jednak wiadomo na temat specyficznych genów, czynników transkrypcyjnych, hormonów oraz małych cząsteczek RNA regulujących jego rozwój u siewek dębu.

Celem naszych badań było zatem określenie funkcjonalnych regulatorów wzrostu korzenia palowego. Pełen obraz transkryptomu ustalono na podstawie sekwencjonowania nowej generacji (NGS) oraz analiz *in silico* dla różnych stref wzrostu korzenia palowego oraz korzeni bocznych w siewkach uprawianych zarówno w kontenerach, jak i w ryzotronie. Wykazano, że geny zaangażowane we wzrost i różnicowanie korzenia palowego, np. GRF (ang. growth-regulating factor), charakteryzują się odmiennym profilem ekspresji w zależności od rodzaju uprawy. Zakładamy, że białko GRF może brać udział w kontrolowaniu elongacji korzeni palowych, aż do osiągnięcia przez nie głębokich warstw gleby. Wiedza o czynnikach regulujących wzrost korzeni palowych może być zatem kluczowa w procesie dostosowania produkcji drzew w szkółkach leśnych do zmieniających się warunków klimatycznych.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu nr 2018/29/B/NZ9/00272.

Zmienność genetyczna oraz stopień klonalności populacji jarzębu brekinii (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) w Polsce jako podstawa ochrony zasobów genowych gatunku

Czesław Koziol¹*, Sandra Jankowska-Wróblewska², Jarosław Burczyk²

¹Leśny Bank Genów Kostrzyca, Miłków nr 300, 58-535 Miłków, *Czeslaw.Koziol@lbg.lasy.gov.pl

²Katedra Genetyki, Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, ul. Chodkiewicza 30, 85-064 Bydgoszcz

Zmienność genetyczna jako komponent różnorodności biologicznej odgrywa zasadniczą rolę w przetrwaniu gatunków i populacji w zmieniającym się środowisku. Zachowanie wysokiej zmienności genetycznej na poziomie populacji oraz całego gatunku ma kluczowe znaczenie w kontekście obserwowanych zmian klimatu i fragmentacji siedlisk powodowanych głównie działalnością człowieka. Na zmienność genetyczną wpływ ma wiele czynników biotycznych i abiotycznych, a ich rozpoznanie ma duże znaczenie przy opracowywaniu strategii ochrony zasobów genowych, szczególnie gatunków rzadkich i chronionych.

Jarząb brekinia (*Sorbus torminalis*), nazywany również brekinią lub brzękiem, należy do najrzadszych rodzimych drzew leśnych. Jest gatunkiem domieszkowym, cennym biocenotycznie, gdyż przyczynia się do wzrostu bioróżnorodności lasów. Brząk osiąga w Polsce północno-wschodnią granicę zasięgu i tworzy na ogół mało liczne, pofragmentowane, rozproszone oraz izolowane populacje. Zmienność genetyczna brekinii została stosunkowo dobrze poznana w skali lokalnej w wielu krajach Europy, jednak badania wykonane dotychczas w Polsce obejmowały z reguły ograniczoną liczbę populacji i prowadzone były zazwyczaj przy użyciu markerów izoenzymowych.

Celem badań była ocena zmienności genetycznej i stopnia klonalności populacji brekinii w Polsce. Materiał badawczy wykorzystany w niniejszej pracy obejmował łącznie 1812 osobników pogrupowanych w 43 populacje lub grupy drzew. Na podstawie analiz klonalności do badań zmienności genetycznej wybrano 24 populacje składające się co najmniej z 14 genotów, obejmujące łącznie 1401 osobników. Dla wszystkich osobników określono genotypy na podstawie 13 jądrowych loci mikrosatelitarnych.

W wyniku przeprowadzonych analiz odnotowano dużą zmienność stopnia klonalności w poszczególnych populacjach (od 0 do 1, średnia 0,305), jednak znaczna liczba populacji charakteryzowała się niskim poziomem klonalności. Stopień klonalności był negatywnie skorelowany z liczbą genotów obserwowaną w badanych populacjach. Wykazano wysoki poziom zmienności genetycznej $H_e=0,732$. Odnotowano niewielki nadmiar heterozygot i brak wsobności u badanego gatunku ($F_{is}=-0,033$). Liczebność populacji nie miała istotnego wpływu na parametry opisujące różnorodność genetyczną badanych populacji, takie jak A_e , AR i H_e . Jednakże wykazano, że różnorodność genetyczna (H_e) była istotnie powiązana z efektywną wielkością populacji. Zaobserwowano stosunkowo wysoki

poziom zróżnicowania genetycznego między populacjami ($F_{ST}=0,091$), przy czym odnotowano wysoce istotną korelację pomiędzy wartościami współczynnika zróżnicowania genetycznego F_{ST} obliczonymi dla par populacji a fizyczną odległością między nimi ($r=0,5264$; $p<0,0001$; $r^2=0,2770$), co potwierdza istnienie izolacji genetycznej powiązanej z odległością geograficzną między populacjami brekinii w Polsce. Nie wykazano jednak, by zmienność genetyczna populacji peryferyjnych brzęku w Polsce była niższa niż zmienność populacji centralnych w Polsce.

Na podstawie analiz struktury genetycznej populacji zaproponowano dla celów ochrony zasobów genowych *in situ* utworzenie pięciu regionów nasiennych (zachodniopomorski, pomorski, wielkopolsko-śląski, śląski oraz małopolski), a w ich ramach sześć regionów matecznych dla ochrony odmiennych linii genetycznych populacji (Bielinek, Bytyń, Babiak, Potarzyca, Miedziana i Łososina Dolna).

Badania sfinansowano w ramach grantu NCN (nr grantu: 2011/03/B/NZ9/03139).

Lasy dla klimatu. Czy las wielofunkcyjny jest najlepszym rozwiązaniem?

Jan Kozłowski

*Instytut Nauk o Środowisku, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków,
jan.kozlowski@uj.edu.pl*

Ponieważ całkowita eliminacja emisji dwutlenku węgla jest niemożliwa, konieczne będzie usunięcie znacznej jego ilości z atmosfery. Lasy powinny odegrać w tym procesie ogromną, być może decydującą rolę. Mechanizm usuwania CO_2 z atmosfery przebiegać musi dwutorowo. Po pierwsze, lasy powinny pochłaniać dwutlenek węgla, a następnie gromadzić go w biomase i wprowadzać do gleby, olbrzymiego magazynu w dojrzałych lasach. Po drugie, węgiel zgromadzony w drewnie powinien jak najdłużej w nim pozostać w trwałych konstrukcjach i wyrobach drzewnych o długim okresie trwania. Maksymalizacja tempa obu procesów równocześnie jest niemożliwa, dlatego należy porzucić paradygmat lasu wielofunkcyjnego i stopniowo rozdzielać przestrzennie oba te procesy.

Lasy naturalne magazynują w biomase, martwym drewnie i glebie niemal dwukrotnie więcej węgla niż lasy wielofunkcyjne, dlatego część lasów powinna być poddana procesowi naturalizacji, co wymagać będzie zmiany paradygmatu niezbędności pielęgnacji lasu dla jego prawidłowego funkcjonowania. Poza wiązaniem dwutlenku węgla ta kategoria lasów będzie chronić bioróżnorodność i służyć potrzebom rekreacyjnym. Druga kategoria, którą umownie można nazwać lasami produkcyjnymi, to ogromna część obecnych lasów wielofunkcyjnych, często jednogatunkowych i pozbawionych naturalnej struktury wiekowej. Gospodarka w tej kategorii mogłaby przebiegać w sposób zbliżony do obecnego, z ewentualnym przesunięciem akcentów na produkcję drewna i z uwzględnieniem więk-

szego niż w przeszłości tempa wzrostu drzew. Trzecia kategoria, która powinna zostać stworzona, to plantacje leśne, podporządkowane całkowicie produkcji drewna, powstające na obecnych nieużytkach i ubogich gruntach rolniczych. W tej kategorii dopuszczalne powinny być wszelkie metody, takie jak wprowadzanie gatunków obcych, nawożenie, zabiegi chemiczne czy pełna mechanizacja produkcji. Podział lasów na takie kategorie nie tylko sprzyjałby ochronie klimatu, ale powinien też zwiększyć niską rentowność gospodarki leśnej.

Centrum Ochrony Bioróżnorodności „Syrenie Stawy” w Parku Leśnym Las Arkoński w Szczecinie jako forma ochrony rodzimej dendroflory i siedlisk

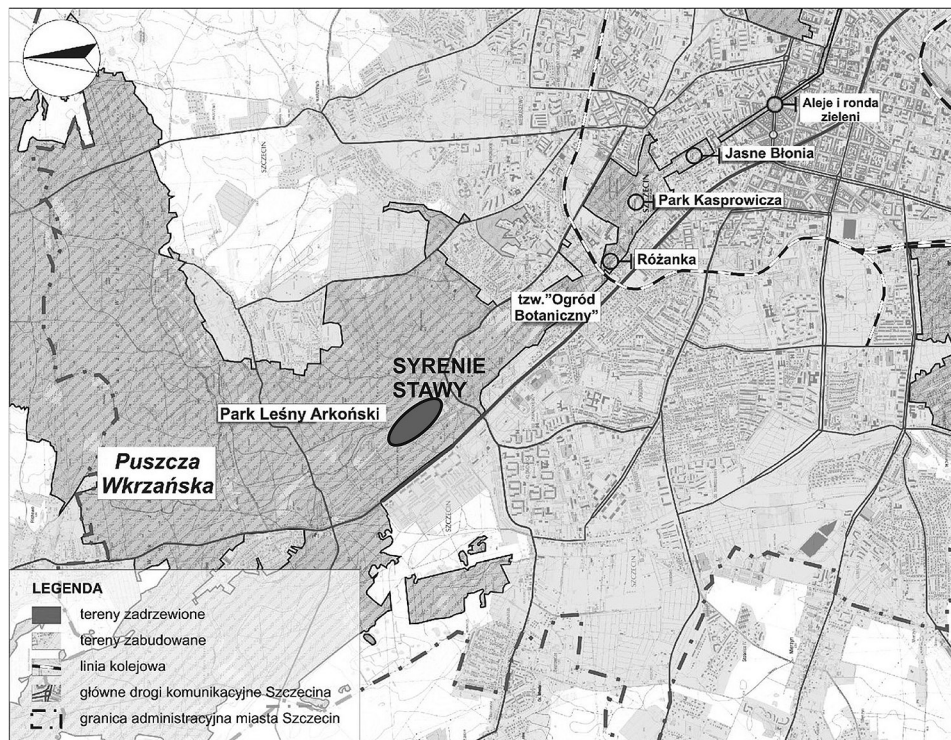
Marcin Kubus, Grzegorz Nowak*

*Katedra Architektury Krajobrazu, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
ul. Papieża Pawła VI 3A, 71-459 Szczecin, *Marcin.Kubus@zut.edu.pl*

Centrum Ochrony Bioróżnorodności „Syrenie Stawy” powstało na terenie Parku Leśnego Las Arkoński w Szczecinie w 2018 r. po uzyskaniu środków unijnych. Teren założenia, będący częścią północno-zachodniego klina zieleni Szczecina i łączący się z reprezentacyjnymi terenami zieleni miasta (ryc. 1, 2), był od dziesięcioleci zaniedbany i podlegał naturalnej sukcesji roślinnej. Od wielu lat obszar ten był wskazywany przez naukowców i praktyków jako miejsce właściwe do utworzenia ogrodu botanicznego w Szczecinie.

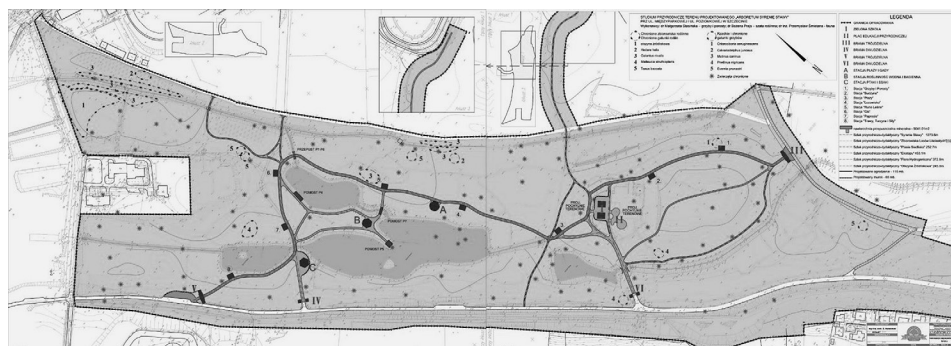
Na powierzchni 27,3 ha znajdują się cztery zbiorniki wodne o łącznej powierzchni 1,79 ha (ryc. 3). Bioróżnorodność terenu tworzą m.in.: 53 gatunki roślin drzewiastych (w tym 15 drzew rodzimych o wymiarach kwalifikujących je na pomniki przyrody), 5 gatunków porostów, 172 – grzybów oraz liczni przedstawiciele fauny (np. 62 gatunki ptaków, 5 – płazów, 1 – gada, 12 – ssaków, 2 – ryb, 3 – mięczaków oraz 28 gatunków ważek). Ze względu na cenne walory przyrodnicze obszaru (stanowiska gatunków chronionych flory i fauny) nadzór merytoryczny oraz badania naukowe prowadzą naukowcy szczecińskich uczelni. Z powodu obecnego ciągłego i intensywnego użytkowania turystycznego dla zapewnienia bezpieczeństwa prowadzony jest monitoring stanu zachowania drzew, włącznie z badaniem ich budowy wewnętrznej i statyki.

Infrastrukturę turystyczną i edukacyjną terenu tworzą m.in.: obiekt edukacyjny, tzw. „Zielona Szkoła”, stacje przyrodnicze, altany wypoczynkowe i edukacyjne, pomosty, tablice edukacyjne i interaktywne, a łączna długość wykonanych sześciu szlaków przyrodniczo-dydaktycznych („Syrenie Stawy”, „Zbiorowiska Lasów Liściastych”, „Ptasie Siedlisko”, „Ekotop”, „Flora Hydrogeniczna” i „Olszyna Źródłiskowa”) wynosi ponad 2,8 km.



Ryc. 1. Lokalizacja COB „Syrenie Stawy” w klinie zieleni lewobrzeżnej części Szczecina (Kubus 2020)

Zgodnie z założeniami programowymi na terenie „Syrenich Stawów” wprowadzane będą rośliny rodzimych taksonów, w tym szczególnie takie, które mają naturalne stanowiska na Pomorzu Zachodnim i podlegają ochronie prawnej. Za zgodą Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Szczecinie posadzono tam m.in. cisy pospolite (*Taxus baccata*), jarzęby brekinie (*Sorbus torminalis*), kłokocz-



Ryc. 2. Projekt zagospodarowania Centrum Ochrony Bioróżnorodności „Syrenie Stawy” w Parku Leśnym Las Arkoński w Szczecinie (Adrabiński 2018)



Ryc. 3. Widok na fragment „Syrénich Stawów” z lotu ptaka (Podlasiński 2020)

ki południowe (*Staphylea pinnata*). Równolegle prowadzona jest ochrona czynna terenu poprzez usuwanie roślin inwazyjnych i ruderalnych, tj. podagrycznika pospolitego (*Aegopodium podagraria*), przytulii czepnej (*Galium aparine*), pokrzywy zwyczajnej (*Urtica dioica*), niecierpka drobnokwiatowego (*Impatiens parviflora*) i niecierpka Roylego (*I. glandulifera*). Wśród ekspansywnych roślin drzewiastych wymienić należy: śnieguliczkę białą (*Symphoricarpos albus*), dereń rozłogowy (*Cornus stolonifera*), karaganę syberyjską (*Caragana arborescens*), czeremchę amerykańską (*Prunus serotina*), klon jesionolistny (*Acer negundo*) i robinie akacjową (*Robinia pseudoacacia*). Łączna powierzchnia opanowana przez gatunki inwazyjne wynosi 3,1 ha.

Na kolejnych etapach rozwoju obiektu podejmowane są działania projektowe związane m.in. z zakładaniem łąk kwietnych w części południowej terenu pomiędzy ciekim wodnym a ciągiem komunikacyjnym ul. Spacerowej, promocją małej retencji wodnej i tworzeniem mikrosiedlisk – siedlisk hydrogenicznych dla roślin strefy bagiennej i wodnej.

Mykoryza arbuskularna wiązu szypułkowego (*Ulmus laevis* Pall.) w zróżnicowanych warunkach środowiskowych

Marta Kujawska*, Maria Rudawska, Tomasz Leski

Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,

*mkowalska@man.poznan.pl

Obecność mikroorganizmów glebowych, a w szczególności grzybów, warunkuje prawidłowy przebieg wielu ważnych procesów w przyrodzie. Grzyby odpowiedzialne są m.in. za rozkład materii organicznej, prawidłowy obieg pierwiastków czy uwalnianie składników pokarmowych z trudno dostępnych źródeł. Jednymi z najbardziej rozpowszechnionych grzybów glebowych, o kluczowym znaczeniu dla wzrostu i rozwoju roślin, w tym również niektórych drzew, są grzyby arbuskularne. Wykazują one zdolność do tworzenia obligatoryjnej symbiozy z co najmniej 80% wszystkich roślin na kuli ziemskiej. Partnerami tych symbiotycznych grzybów w strefie klimatu umiarkowanego są przede wszystkim rośliny zielne, ale również niektóre ważne domieszkowe gatunki drzew, np. jesion, klon czy wiąz. Strzępki grzybni stanowią łącznik pomiędzy glebą a korzeniem, tworząc tzw. grzybnię ekstramatrykalną, pełniącą ważną rolę w procesach pobierania i transportu składników pokarmowych. Fragmenty grzybni wnikają również bezpośrednio do wnętrza komórek kory pierwotnej korzenia, w wyniku czego powstają charakterystyczne drzewkowate rozgałęzienia zwane arbuskulami. Obok tych struktur przy użyciu mikroskopu świetlnego obserwować można także obecność zwojów oraz pęcherzyków będących miejscem m.in. gromadzenia związków zapasowych. Jednak to właśnie arbuskule, od których pochodzi nazwa omawianej relacji, są najważniejszym elementem symbiozy – miejscem wymiany składników pokarmowych pomiędzy partnerem roślinnym a grzybem. W zamian za dostęp do wody i soli mineralnych roślina przekazuje partnerowi grzybowemu związki węgla uzyskane na drodze fotosyntezy. Dla grzybów arbuskularnych nawiązana relacja symbiotyczna z korzeniami roślin jest jedynym źródłem pozyskania związków węgla, gdyż grzyby te nie mają zdolności do funkcjonowania jako organizmy saprobiontyczne.

Obecność grzybów arbuskularnych wpływa także na aktywność innych mikroorganizmów glebowych. Poprzez wydzielanie specyficznych związków chemicznych do otaczającej gleby hamują działalność patogenów, tym samym chroniąc roślinę przed ich atakiem. Wykazano również pozytywny wpływ symbiozy arbuskularnej na tolerancję roślin na metale ciężkie, silne zasolenie gleby, a także stres związany z nadmiarem lub niedoborem wody. Ochrona roślin przed patogenami oraz czynnikami środowiskowymi uważana jest więc za jedną z najbardziej kluczowych ról ekologicznych grzybów arbuskularnych w zmieniającym się środowisku.

Od lat jesteśmy świadkami występowania wielu chorób roślin, w tym również drzew, osiagających często charakter epidemii. Przykładem jednej z nich jest holenderska choroba wiązów (zwana też grafiozą) wywoływana przez grzyby *Ophiostoma ulmi* i *O. novo-ulmi*, których zarodniki przenoszone są przez ogłódki żerujące na

osłabionych drzewach. W wyniku tej choroby wiązy dotychczas cenione ze względów zarówno estetycznych, gospodarczych, jak i środowiskowych (wysoka tolerancja na zanieczyszczenia miejskie i suszę), odeszły na margines, tracąc na znaczeniu w świadomości leśników czy ogrodników. Zanim jednak grafioza na trwałe odcisnęła swoje piętno, wiązy były jednymi z najbardziej znanych gatunków drzew liściastych, wchodzących w skład lasów łęgowych, alei przydrożnych i miejskich parków.

Spośród trzech rodzimych gatunków wiązów: szypułkowego (*Ulmus laevis* Pall), polnego (*U. minor* Mill.) i górskiego (*U. glabra* Huds.), najbardziej odporny na grafiozę okazał się pierwszy z nich. Jako gatunek domieszkowy występuje na siedliskach o charakterze nizinnych łąk, lasu łęgowego i lasu wilgotnego. Zamieranie innych „łęgowych” drzew (jesionu czy dębu szypułkowego) sprawiło, że wiąz jako ważny gatunek w najbliższych dekadach może ponownie zyskać na znaczeniu.

Ze względu na kluczową rolę grzybów arbuskularnych w funkcjonowaniu drzew celem badań jest ocena stopnia kolonizacji mykoryzowej i obfitości tworzenia arbuskul w korzeniach wiązu pospolitego rosnącego w zróżnicowanych warunkach środowiskowych uwzględniająca aspekt wieku drzew oraz ich żywotności. Hipoteza robocza zakłada, że stopień kolonizacji mykoryzowej będzie odmienny w wybranych typach siedlisk (tereny przemysłowe, lasy łęgowe i łąkowe, aleje przydrożne i tereny zieleni miejskiej). Tego rodzaju badania nie zostały do tej pory przeprowadzone w Europie w odniesieniu do wiązów. W opracowaniu zaprezentowano wstępne wyniki dotyczące stopnia kolonizacji mykoryzowej korzeni pobranych wiosną roku 2021 spod wybranych okazów wiązu rosnących na terenie strefy ochronnej Huty Miedzi Głogów, wśród alei przydrożnych oraz na obszarach leśnych.

Projekt realizowany dzięki wsparciu finansowemu Narodowego Centrum Nauki, w ramach projektu Preludium nr 2020/37/N/NZ9/01915.

Wpływ zmian klimatu na chemizm materii organicznej gleb drzewostanów świerkowych w świetle badań z wykorzystaniem doświadczenia symulacyjnego

Dawid Kupka, Piotr Gruba*

*Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie,
al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, *dawid.kupka@student.urk.edu.pl*

Zmiany klimatu są realnym zagrożeniem dla stabilności funkcjonowania ekosystemów leśnych. Wzrost temperatury powierzchni Ziemi od roku 1970 jest szybszy niż w jakimkolwiek innym pięćdziesięcioleciu w ciągu ostatnich 2 tys. lat. Postępujące przeobrażenia przyczynią się do wzrostu częstotliwości i długo-

ści okresów suszy, zmieniając tym samym lokalny klimat i warunki siedliskowe. Równolegle w ostatnich dekadach w Polsce obserwuje się zaburzenia stabilności drzewostanów, m.in. świerkowych w Beskidach. Przyczyny zmian upatruje się, obok szkodliwych emisji przemysłowych, również w zmieniających się warunkach klimatycznych. Zamieranie świerka jest szczególnie niepokojące ze względu na znaczny udział tego gatunku w powierzchni lasów beskidzkich. O ile problematyka reakcji drzewostanów świerkowych na zmiany klimatu jest przedmiotem licznych badań, relatywnie mało uwagi poświęcono dotychczas glebie i glebowej materii organicznej tych drzewostanów. Ukierunkowanie badań na relację gleba–klimat jest tym ważniejsze, że gleba stanowi istotny rezerwuuar węgla, podatny na zwiększone uwalnianie dwutlenku węgla w wyższej temperaturze.

Celem badań jest stworzenie scenariusza zmian glebowej materii organicznej górskich drzewostanów świerkowych w odpowiedzi na zmiany klimatu, tj. suszę oraz zwiększoną temperaturę. W badaniach przeprowadzono symulację wspomnianych warunków, wykorzystując metodę pasywnego ocieplania gleby kloszami OTC (ang. Open Top Chamber). Powierzchnia badawcza została założona w Beskidzie Śląskim, w Nadleśnictwie Wisła. W grudniu 2019 r. w 80-letnim drzewostanie świerkowym założono piętnaście poletek. Na dziesięciu umieszczono wykonane z pleksiglasu sześciokątne klosze OTC z otwartym wierzchołkiem, natomiast pięć poletek tworzyło grupę kontrolną. W celu śledzenia parametrów mikroklimatycznych gleby pod kloszem oraz na poletku kontrolnym umieszczono czujniki temperatury i wilgotności na głębokości 5 cm, wykonujące pomiar co 15 minut. Od momentu założenia poletek co trzy miesiące pobierano próbki z wierzchniej warstwy gleby (poziom O) oraz pierwszych 10 cm warstwy mineralnej (poziom A). Analizą objęto serię początkową (pobraną w momencie zakładania powierzchni) oraz cztery kolejne serie pomiarowe, w okresie od grudnia 2019 do marca 2021 r. W materiale oznaczono między innymi: całkowitą zawartość węgla (C_t) i azotu (N_t), rozpuszczony węgiel organiczny (RWO), rozpuszczony azot organiczny (RAO), zawartości jonu amonowego (NH_4^+) i azotanowego (NO_3^-). Wykonano również fizyczne frakcjonowanie glebowej materii organicznej, wyodrębniając frakcje: lekką (LF), okludowaną (OF) i ciężką (MAF). We frakcjach oznaczono całkowitą zawartość węgla i azotu.

Dzięki metodzie kloszy OTC uzyskano istotnie wyższą temperaturę gleby oraz niższą wilgotność. Największe zmiany zostały zaobserwowane w przypadku jonu NH_4^+ , którego zawartość w poziomie O była znacznie większa w glebie poddanej ociepleniu w stosunku do próby kontrolnej. Zawartość jonu NO_3^- w poziomie O była okresowo niższa w ocieplonej glebie. Nie wykazano istotnych różnic pomiędzy grupami w zawartościach C_t , N_t , RWO i RAO. Stwierdzono również okresowe różnice w zawartości węgla i azotu we frakcji LF (niższe wartości w ogrzewanej glebie) oraz zawartości azotu we frakcji OF (wyższe wartości w ogrzewanej glebie). Analiza wariancji potwierdziła istotny wpływ wyższej temperatury gleby na większość badanych parametrów chemicznych, jednak połączony efekt czasu trwania doświadczenia i ogrzewania okazał się istotny jedynie w przypadku jonów NH_4^+ i NO_3^- w poziomie O.

Przedstawione wyniki dowodzą zarówno skuteczności zastosowanej metody symulacji, jak i stopniowo słabnącej stabilności glebowej materii organicznej drzewostanów świerkowych pod wpływem zmian klimatycznych. Ocieplenie gleby i spadek jej wilgotności zwiększają tempo amonifikacji, jednak nie wpływają istotnie na nityfikację. Okresowo niższa zawartość węgla i azotu we frakcji LF gleb poddanych ociepleniu wskazuje na szybsze tempo mineralizacji glebowej materii organicznej. Kontynuacja eksperymentu oraz szerszy zakres analiz laboratoryjnych pozwolą na dokładniejsze ujęcie problematyki. Uzyskane wyniki mogą być przydatne w określaniu kierunku zmian warunków siedliskowych i planowaniu hodowli na tle wyzwań klimatycznych.

Niniejsze badania stanowią część projektu „Zależności pomiędzy glebową siecią troficzną a aktywnością β -glukozydazy i ich reakcja na ocieplenie i suszę: badania porównawcze gleb zróżnicowanych drzewostanów świerkowych w Polsce i Chinach”, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (kierownik: prof. dr hab. inż. Piotr Gruba).

Czy zmienność morfologiczną ziarn pyłku z rodzaju *Rubus* L. można wytłumaczyć zmiennością klimatu?

Kacper Lechowicz^{1*}, Marcin K. Dyderski²,
Dorota Wrońska-Pilarek¹, Blanka Wiatrowska¹

¹Katedra Botaniki i Siedliskoznawstwa Leśnego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań, *kacper.lechowicz@up.poznan.pl

²Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

Czynniki środowiskowe wpływające na wzrost roślin dzielimy na abiotyczne i biotyczne. Czynniki abiotyczne, które oddziałują na cechy roślin, to: topografia terenu, warunki glebowe oraz warunki klimatyczne (światło, temperatura, wilgotność itp.). Produkcja pyłku może być silnie ograniczona przez czynniki środowiskowe, w tym klimat. Najważniejszymi czynnikami klimatycznymi wywierającymi wpływ na wzrost i rozwój pyłku są temperatura i wilgotność powietrza. Ponadto ziarna pyłku są wrażliwe na różne typy stresu abiotycznego, takie jak wysoka temperatura.

Celem pracy była ocena wpływu 19 czynników klimatycznych analizowanych w okresie kwitnienia roślin na cechy morfologiczne pyłku z najliczniejszego w krajowej florze, bardzo trudnego pod względem taksonomicznym rodzaju jeżyna i malina – *Rubus* L., który obejmuje aż 108 gatunków o często niewielkich zasięgach naturalnego występowania.

Postawiono hipotezę, że ze względu na konserwatyzm cech pyłku, związany ze wspólną historią ewolucyjną, na morfologię pyłku będą silniej wpływać efekty pokrewieństwa systematycznego niż zmienne klimatyczne. Analizy wykazały, że zmienność klimatyczna może wyjaśniać 2,5–14,0% zmienności morfologii pyłku. Większość modelowanych cech pyłku nie była skorelowana z badanymi czynni-

kami bioklimatycznymi, z wyjątkiem wskaźnika P/E, który był skorelowany dodatnio, i E, który był skorelowany ujemnie z PC3 (sezonowy gradient zmienności od klimatu morskiego do kontynentalnego). Jednak większość zmienności tłumaczono efektami losowymi związanymi z przynależnością taksonomiczną badanych gatunków. Nasze badania wykazały zatem, że stosunkowo niewiele dodatkowej międzygatunkowej zmienności w morfologii pyłku można wyjaśnić zmiennością klimatu.

Grzyby ektomykoryzowe Puszczy Białowieskiej

Tomasz Leski, Robin Wilgan, Leszek Karliński, Marcin Pietras,
Maria Rudawska*

*Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
tleski@man.poznan.pl

Puszcza Białowieska jest niewątpliwie jednym z najcenniejszych i równocześnie najlepiej poznanych pod względem mykologicznym obszarów Polski. Pierwsze istotne doniesienia literaturowe na temat grzybów wielkoowocnikowych Puszczy Białowieskiej pochodzą z końca XIX w. Od tego czasu teren puszczy był obiektem wielu badań mykologicznych, prowadzonych zarówno systematycznie, jak i okazjonalnie. Do najbardziej znanych należą badania w ramach projektu CRYPTO z lat 1987–1991, obejmujące oddział 256 zlokalizowany w Białowieskim Parku Narodowym (BPN). Pozwoliły one wykazać występowanie 1380 gatunków, w tym 913 gatunków grzybów wielkoowocnikowych. Na szczególne podkreślenie zasługują wyniki uzyskiwane w trakcie prac związanych z przygotowywaniem corocznych wystaw mykologicznych organizowanych od 1993 r. przez Ośrodek Edukacji Przyrodniczej BPN. W zbiorze materiału biorą udział mykolodzy z różnych ośrodków naukowych i mykolodzy amatorzy. Dzięki wszystkim dotychczasowym badaniom w Puszczy Białowieskiej stwierdzono występowanie 2048 gatunków grzybów wielkoowocnikowych, czyli ponad 40% wszystkich gatunków znanych z terenu Polski. Należy jednak podkreślić, że znaczna część rekordów składających się na listę grzybów wielkoowocnikowych Puszczy Białowieskiej pochodzi z BPN oraz rezerwatów przyrody. Dlatego też podstawowym celem projektu realizowanego na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych było pogłębienie wiedzy o bogactwie gatunkowym grzybów występujących w całej Puszczy Białowieskiej, nie tylko na terenach objętych ochroną prawną.

W trakcie prezentacji przedstawiono część wyników dotyczącą grzybów ektomykoryzowych. Jest to niezwykle istotna grupa grzybów obligatoryjnie związana z korzeniami drzew, odgrywająca fundamentalną rolę w prawidłowym wzroście drzew i funkcjonowaniu ekosystemów leśnych. Badania prowadzono od września 2017 r. do kwietnia 2020 r. na 120 powierzchniach kołowych założonych w roku 2016 dla celów inwentaryzacji przyrodniczej Puszczy Białowieskiej. Lista

gatunków powstała na podstawie obserwacji, zbioru i identyfikacji owocników grzybów, a także molekularnej identyfikacji grzybów tworzących ektomykoryzy wyizolowane z pobranych prób korzeniowych. W trakcie badań owocnikowych skoncentrowano się na grzybach wytwarzających owocniki nadziemne, nie prowadzono poszukiwań owocników podziemnych.

Łącznie na terenie całej Puszczy Białowieskiej w trakcie trwania projektu na podstawie występowania owocników i identyfikacji grzybów tworzących ektomykoryzy zidentyfikowano 351 gatunków grzybów ektomykoryzowych, w tym 111 wyłącznie w formie owocników, 135 wyłącznie w formie ektomykoryz, a 105 stwierdzono zarówno jako owocniki, jak i ektomykoryzy. Zidentyfikowane grzyby ektomykoryzowe reprezentowały 39 odrębnych linii filogenetycznych. Do najbogatszych pod względem liczby gatunków należały linie: /*cortinarius* (72 gatunki), /*russula-lactarius* (68 gatunków), /*tomentella-thelephora* (48 gatunków) oraz /*hebeloma-alnicola* (18 gatunków).

Najwyższe całkowite bogactwo gatunkowe grzybów ektomykoryzowych stwierdzono w lasach gospodarczych, a najniższe w Obrębie Ochronnym Orłówka. Nie wykazano jednak istotnych różnic w średnim bogactwie grzybów ektomykoryzowych pomiędzy powierzchniami zlokalizowanymi na terenie lasów gospodarczych, Obrębu Ochronnego Orłówka, Obrębu Ochronnego Hwoźna i rezerwatów przyrody. Tylko 20 gatunków było wspólnych dla wymienionych kategorii reżimu ochronnego. Należały do nich m.in. takie pospolite gatunki, jak: *Amanita citrina*, *Cenococcum geophilum*, *Laccaria laccata*, *Lactarius quietus*, *L. tabidus*, *Paxillus involutus*, *Russula ochroleuca* czy *Tomentella sublilacina*. Wśród zidentyfikowanych 351 gatunków grzybów ektomykoryzowych znalazło się ponad 80 nowych dla Puszczy Białowieskiej, w tym 12 stwierdzonych wyłącznie w formie ektomykoryz grzybów z rodzajów *Tuber*, *Pachyphlodes*, *Genea* i *Melanogaster*, wytwarzających owocniki podziemne.

Wyniki uzyskane w trakcie realizacji projektu wskazują, że Puszcza Białowieska, pomimo wcześniejszych wieloletnich badań, nadal skrywa nierozpoznane dotąd w pełni bogactwo grzybów ektomykoryzowych. Wykazano również, że nie tylko tereny objęte ochroną prawną, ale również lasy gospodarcze są niezwykle cennym źródłem różnorodności tej grupy grzybów, a wykorzystanie identyfikacji molekularnej ektomykoryz wpływa znacząco na wzbogacenie naszej wiedzy o gatunkach występujących na badanym obszarze.

Badania finansowane były przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w ramach projektu nr OR.271.3.17.2017 pt. „Różnorodność gatunkowa grzybów w drzewostanach Puszczy Białowieskiej, z uwzględnieniem zamierających drzewostanów świerkowych”.

Wpływ metod detekcji koron pojedynczych drzew na dokładność identyfikacji gatunków

Maciej Lisiewicz*, Krzysztof Stereńczak, Agnieszka Kamińska

Instytut Badawczy Leśnictwa, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Sękocin Stary, *m.lisiewicz@ibles.waw.pl

Parametry poszczególnych drzew, takie jak: lokalizacja, gatunek, wysokość, pierśnica czy powierzchnia korony, są kluczowe dla zrozumienia procesów ekologicznych zachodzących w drzewostanach, a co za tym idzie, prowadzenia precyzyjnej gospodarki leśnej. Wymienione cechy związane z pojedynczym drzewem można również wykorzystać na poziomie wydzieleń do szacowania parametrów, takich jak: udział gatunkowy, średnia wysokość, zasobność czy zwarcie koron drzew.

W ostatnich dziesięcioleciach LiDAR (Light Detection and Ranging) wykorzystywany jako element technologii nazywanej zwyczajowo lotniczym skanowaniem laserowym (ang. Airborne Laser Scanning; ALS) stał się jedną z najpowszechniej wykorzystywanych metod do zdalnej inwentaryzacji lasów. Technologia ta umożliwia pozyskiwanie szczegółowych informacji z poziomu pojedynczego drzewa. Rozwój algorytmów do detekcji koron pojedynczych drzew (ang. Individual Tree Detection; ITD) umożliwi dokładne określanie geometrycznych właściwości drzew, takich jak: wysokość drzewa, powierzchnia i średnica korony, a w konsekwencji dokładna identyfikacja korony wpływa na rzetelniejszą klasyfikację danego gatunku.

Dane ALS można podzielić na główne produkty, takie jak chmura punktów ALS oraz raster w postaci wysokościowego modelu koron (WMK). Dotychczas najpowszechniejszymi metodami ITD były te, które opierały się na analizie wysokościowego modelu koron drzew, jednak wraz ze wzrostem gęstości chmury punktów danych ALS coraz więcej badań skupia się na wykorzystywaniu chmury punktów jako bezpośredniego źródła danych w procesie segmentacji.

Dokładność detekcji pojedynczych drzew jest uzależniona od wielu czynników, na które wpływ ma przede wszystkim typ lasu. Wiele metod koncentrowało się na lasach na wysokich szerokościach geograficznych, które zdominowane są przez lasy iglaste, choć powstaje również wiele metod ITD dla zróżnicowanych warunków leśnych. Dokładne określanie zasięgu koron pojedynczych drzew jest niezwykle istotne z perspektywy precyzyjnego zarządzania zasobami leśnymi oraz prowadzenia badań w zakresie bioróżnorodności lasu. Pozwala to m.in. na dokładne szacowanie cech pojedynczych drzew, rzeczywistej liczby osobników w górnej warstwie drzewostanu czy dokładniejszą klasyfikację gatunków. Jednak wielu autorów twierdzi, że uzyskanie wysokiej dokładności detekcji pojedynczych drzew jest zadaniem wymagającym, a błędy występują znacznie częściej w złożonych i zwartych lasach.

W badaniach podejmowane jest zagadnienie związane z analizą strukturalnego rozkładu chmury punktów z danych ALS, aby móc określić najczęściej występujące błędy w detekcji pojedynczych drzew, a następnie dokonać ich korekty. Dla identyfikacji poszczególnych błędów segmentacji wykorzystane zostały metody

uczenia maszynowego. Spośród zestawu grup zmiennych najważniejsze okazały się zmienne geometryczne oparte na kształcie segmentu wejściowego oraz zmienne strukturalne określające wertykalny rozkład chmury punktów w segmencie. Na błędną segmentację narażone są głównie gatunki drzew liściastych z racji rozłożystych koron. Badania pozwoliły na osiągnięcie wielu korzyści między innymi związanych z identyfikacją, które gatunki są najbardziej podatne na występowanie błędów, a informacja ta jest kluczowa w kontekście możliwości późniejszego kalibrowania algorytmów segmentacji, przy uwzględnieniu poszczególnych gatunków. Precyzyjne wyznaczenie granic koron pojedynczych osobników daje wymierne korzyści pod względem możliwości klasyfikacji gatunku czy monitorowania wzrostu drzewa.

Wpływ gatunku drzewa oraz podtypu gleby na różnorodność gatunkową zgrupowań roztoczy glebowych (Acari, Mesostigmata) w warunkach gruntów porolnych i leśnych

Jacek Malica^{1*}, Grzegorz Rączka², Maciej Skorupski¹, Jacek Kamczyk¹

¹Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii DREWNA, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań, *jacek.malica@up.poznan.pl

²Katedra Urządzania Lasu, Wydział Leśny i Technologii DREWNA, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

Jednym z największych problemów współczesnej gospodarki leśnej jest zamieranie lasów na terenach użytkowanych dawniej przez rolnictwo. Grunty porolne są zalesiane na szeroką skalę od kilkudziesięciu lat, lecz różnią się od gruntów leśnych pod względem wielu parametrów fizykochemicznych gleby, m.in. zawartością wapnia, azotu i węgla, stosunkiem węgla do azotu oraz odczynem gleby. Utrudnieniem hodowlanym na takich terenach jest fakt występowania tak zwanej warstwy płuźnej, która ogranicza przenikanie powietrza, wody i mikroelementów do głębszych warstw gleby. Znajduje to odzwierciedlenie w złym stanie sanitarnym oraz niskiej wartości gospodarczej wprowadzonych na nie zadrzewień, a także w składzie gatunkowym organizmów glebowych, w tym roztoczy, na wszystkich poziomach troficznych. Ich analiza umożliwia monitoring bieżących stadiów sukcesji leśnej. Podstawowymi gatunkami drzew wprowadzanymi na grunty porolne są sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) oraz brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth).

Głównym celem badań było rozpoznanie liczebności i zróżnicowania gatunkowego zgrupowań roztoczy (Acari, Mesostigmata) w środowisku glebowym w jednowiekowych lasach sosnowych i brzozowych (22 lata) na gruntach porolnych i powierzchniach referencyjnych w lasach sosnowych i brzozowych na gruntach

leśnych przy uwzględnieniu ich maksymalnej komplementarności siedliskowej. Powierzchnie badawcze zlokalizowane były na terenie porolnym i leśnym na glebach bielcowych oraz rdzawych. Materiał badawczy stanowiły 54 próbki glebowe o objętości 0,2 dm³, z których pozyskano faunę glebową, a następnie wyselekcjonowano roztocze.

W rezultacie wykazano obecność łącznie 22 gatunków roztoczy zaklasyfikowanych do dwóch podrzędów (Gamasina i Uropodina). Największe zróżnicowanie gatunkowe stwierdzono dla rodziny Parasitidae, a najliczniejszymi gatunkami okazały się: *Hypoaspis aculeifer*, *Paragamasus runcatellus* oraz *Zercon peltatus*. Badania wykazały, że największe różnice w zagęszczeniu pomiędzy poszczególnymi siedliskami występowały w obrębie rodziny Parasitidae. W przypadku drzewostanów brzozowych i sosnowych rosnących na glebach rdzawych na gruntach leśnych zagęszczenie dorosłych stadiów rozwojowych roztoczy było zbliżone, natomiast stadiów młodocianych różniło się ponadtrzykrotnie na korzyść drzewostanów sosnowych. W przypadku drzewostanów na gruntach porolnych największym zagęszczeniem dojrzałych stadiów roztoczy odznaczały się drzewostany brzozowe na glebach rdzawych (1111 osobników/m²), następnie sosnowe na glebach rdzawych (722), dalej zaś sosnowe na glebach bielcowych (555). Najślabiej zasiedlone przez te stadia były drzewostany brzozowe na glebach bielcowych (444). Zagęszczenie młodszych stadiów rozwojowych roztoczy było najwyższe w drzewostanach sosnowych na glebach rdzawych (277 osobników/m²), natomiast najniższe w drzewostanach brzozowych na glebach bielcowych (55). Ponadto badania ujawniły podobne zagęszczenie w drzewostanach brzozowych rosnących na glebach rdzawych na gruncie leśnym i na gruntach porolnych. Drzewostany sosnowe na glebach rdzawych na gruncie leśnym charakteryzowały się prawie dwukrotnie wyższym zagęszczeniem w porównaniu z takimi drzewostanami na gruncie porolnym.

Powyższe wyniki wskazują na ważną rolę historii użytkowania terenu, podtypu gleby oraz gatunku drzewa w kształtowaniu zagęszczenia roztoczy z rzędu Mesostigmata w środowisku glebowym. Z tego też względu zasadne pozostaje dalsze badanie sukcesji leśnej na gruntach porolnych w kontekście interdyscyplinarnych badań obejmujących różnorodne czynniki ekosystemu leśnego. Wnioski dotyczące oddziaływania poszczególnych gatunków drzew na środowisko glebowe mogą się przyczynić do lepszego prognozowania zjawisk ekologicznych w obrębie zmian sukcesyjnych na terenach zniekształconych antropogenicznie.

Formowanie członów naczyń ksylemu wtórnego w kontekście warunków mechanicznych w kambium waskularnym i strefie różnicowania pochodnych kambialnych

Adam Miodek^{1,2*}, Aldona Gizińska^{1,2}, Wiesław Włoch¹, Paweł Kojs¹

¹Ogród Botaniczny – Centrum Zachowania Różnorodności Biologicznej w Powsinie,
Polska Akademia Nauk, ul. Prawdziwka 2, 02-973 Warszawa

²Instytut Biologii, Uniwersytet Opolski, ul. Oleska 22, 45-052 Opole, *a.miodek@obpan.pl

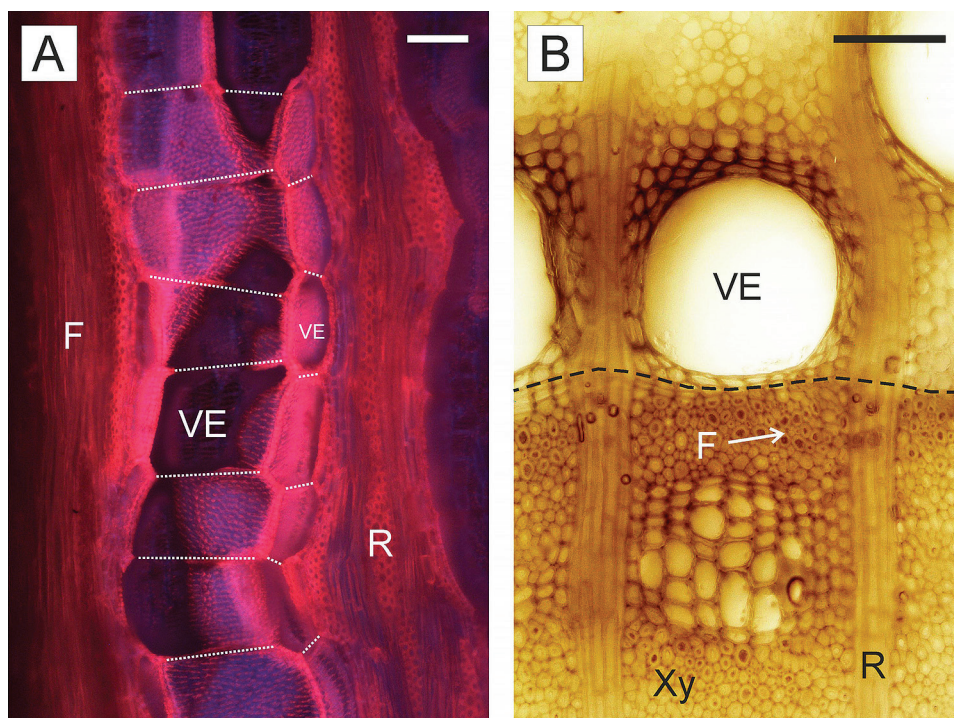
Naczynia – długie struktury utworzone przez połączone (poprzez płyty perforacyjne) martwe człony naczyń (ryc. 1) – są odpowiedzialne za przewodzenie wody i soli mineralnych u okrytonasiennych roślin drzewiastych. Długość oraz średnica naczyń różni się u poszczególnych gatunków drzew. Drzewa liściaste na terenie Polski wykazują różne typy naczyniowości ksylemu wtórnego – od form pierścieniowonaczyniowych do rozpierzchłonaczyniowych. Wspominane typy drewna identyfikowane są na podstawie rozmieszczenia naczyń o określonych wymiarach w słoju przyrostu rocznego drewna. W drewnie gatunków rozpierzchłonaczyniowych strefy klimatu umiarkowanego naczynia w obrębie danego przyrostu mają niewielką średnicę i zarówno w przypadku drewna wczesnego, jak i późnego średnica ich jest podobna. Odmiennie jest w przypadku drzew pierścieniowonaczyniowych, wykształcają one bowiem bardzo szerokie naczynia drewna wczesnego, które odbiegają swoimi wymiarami poprzecznymi od wyraźnie węższych naczyń drewna późnego. Różnice w strukturze wytwarzanego drewna są istotne w kontekście strategii adaptacyjnych wykorzystywanych w odmiennych warunkach środowiskowych.

W związku z kluczową rolą naczyń w transporcie wody oraz różnicami w sposobie funkcjonowania drzew o różnych typach naczyniowości, mechanizm formowania członów naczyń i ciągów naczyniowych wymaga pełnego wyjaśnienia. Zazwyczaj największą uwagę podczas rozpatrywania obu procesów poświęca się hipotezie kanalizacji i roli jednego z najważniejszych hormonów roślinnych – auksyny. Rzadziej spotykane wyjaśnienie uwzględnia rolę naprężeń mechanicznych w procesie formowania członów naczyń oraz w funkcjonowaniu komórek kambium waskularnego. Takie podejście brane jest pod uwagę przede wszystkim przez anatomów rozwojowych roślin. Co ciekawe, najnowsze badania dostarczają silnych dowodów na zależność między rozkładem białek PIN, stanowiących transportery wypływu auksyny, a naprężeniem mechanicznym w tkankach i komórkach organizmów roślinnych. Jest to tym samym silny argument przemawiający za potrzebą badań, które pozwolą na dokładniejsze określenie warunków mechanicznych panujących w kambium waskularnym oraz jego najbliższym otoczeniu, w którym rosną i różnicują się pochodne kambialne, w tym człony naczyń.

Jedna z hipotez dotyczących warunków, w jakich funkcjonuje kambium waskularne, będące tkanką merystematyczną odpowiedzialną za odkładanie pochodnych różnicujących się w komórki ksylemu i floemu wtórnego, zakłada występowanie naprężenia ściskającego w kierunku promieniowym i rozciągającego

w kierunku stycznym (obwodowym). Wyjątkiem jest okres wiosenny, gdy naprężenie w kierunku promieniowym zmienia się na rozciągające. Alternatywna hipoteza postuluje występowanie cyklicznego naprężenia rozciągającego w kambium waskularnym i strefie różnicowania komórek pochodnych. Cykl ten związany jest z dobowymi wahaniami stopnia uwodnienia tkanek sąsiadujących z kambium – floemu i ksylemu.

Analiza anatomiczna tkanek roślinnych wskazuje, że uwzględnienie tła mechanicznego (czyli występowania cyklicznego naprężenia rozciągającego w kierunku promieniowym w kambium waskularnym i jego najbliższym otoczeniu) w procesach wzrostu członów naczyń i determinacji przebiegu osiowego ciągów naczyniowych (z uwzględnieniem szczególnej roli auksyny) może przełożyć się na znaczne poszerzenie zrozumienia mechanizmu formowania naczyń oraz dalszy postęp w badaniach nad systemem transportu wody u wielu gatunków roślin drzewiastych. Ponadto wydaje się, że uwzględnienie naprężeń mechanicznych w kambium może w znacznym stopniu przyczynić się do bardziej kompleksowego zrozumienia struktury i funkcji omawianej tkanki merystematycznej, w tym mechanizmu leżącego u podstaw nie tylko wzrostu intruzywnego członów naczyń, ale również włókien drzewnych i inicjałów kambium.



Ryc. 1. Przekroje anatomiczne drewna *Robinia pseudoacacia* L. A – przekrój styczny; B – przekrój poprzeczny; VE – człon naczynia; F – włókno drzewne; R – promień tykodrzewny; Xy – ksylem wtórny; białe kropkowane linie – lokalizacja płyt perforacyjnych; czarna przerywana linia – granica przyrostu rocznego; pasek skali = 100 μm

Współczesny stan i zmiany zasobów drzewnych Puszczy Białowieskiej

Stanisław Miścicki^{1*}, Łukasz Kuberski², Krzysztof Stereńczak²

¹Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166,
02-787 Warszawa, *stanislaw_miscicki@sggw.edu.pl

²Instytut Badawczy Leśnictwa, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Sękocin Stary

Po I wojnie światowej (ale także wcześniej) Puszcza Białowieska, a zwłaszcza utworzony w roku 1921 Białowieski Park Narodowy, stały się miejscem lub obiektem wielu prac badawczych. Jednak badania na temat stanu zasobów drzewnych Puszczy Białowieskiej były skąpe. Znaczącym ograniczeniem był brak odpowiednich metod zbierania danych na rozległych obszarach leśnych. Utworzenie Białowieskiego Parku Narodowego wpłynęło na to, że przez dziesiątki lat nie udawało się uzyskać danych, które przedstawiałyby stan zasobów drzewnych całej Puszczy Białowieskiej w jednym terminie. Dokonany w roku 1945 podział jednolitego przyrodniczo lasu pomiędzy dwa państwa jeszcze bardziej utrudnił uzyskanie takich danych. Określanie stanu zasobów drzewnych całej (polskiej części) Puszczy Białowieskiej, w tym z uwzględnieniem najważniejszych jej części, stało się możliwe po założeniu w roku 2015 jednolitej sieci 355 stałych powierzchni próbnych. Była ona opracowana i wykonana w roku 2015 w ramach projektu LIFE+ ForBioSensing PL „Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych”.

Celem pracy było poznanie krótkookresowej dynamiki zasobów drzewnych Puszczy Białowieskiej, a także określenie, czy poszczególne części tego lasu, odmienne ze względu na historię zagospodarowania i ochrony, różnią się strukturą i dynamiką zasobów drzewnych.

Trzema jednostkami interpretacyjnymi, stanowiącymi odmienne części, były: drzewostany zagospodarowane (oznaczone jako LG, 62,9% powierzchni Puszczy Białowieskiej), drzewostany w rezerwach przyrody powołanych w różnych latach z dołączoną tzw. nową częścią Białowieskiego Parku Narodowego (OR, 28,8%), drzewostany w tzw. Rezerwacie Ścisłym Białowieskiego Parku Narodowego, czyli w pierwotnych granicach Białowieskiego Parku Narodowego (RS, 8,3%). Materiałem badawczym były wyniki pomiarów wykonanych trzykrotnie na stałych powierzchniach próbnych w latach 2015, 2017 i 2019. Wykorzystano powierzchnie próbne rozmieszczone według schematu kwadratowej sieci o boku 1300×1300 m, a w Rezerwacie Ścisłym dodatkowo 160 powierzchni próbnych rozmieszczonych w sieci o przeciętnych wymiarach 267×1067 m. Liczba powierzchni próbnych w poszczególnych jednostkach wyniosła: LG – 204, OR – 91, RS – 182, razem 477 powierzchni próbnych. W każdym z terminów pomiarów mierzono jednakowe koncentryczne powierzchnie próbne. Każda z nich składała się z pięciu współśrodkowych kół, co umożliwiało pomiar nie tylko tzw. macierzystej warstwy drzew, ale także warstwy młodego pokolenia drzew.

Określono stan i dynamikę zasobów drzewnych po raz pierwszy dla całego terenu polskiej części Puszczy Białowieskiej, postępując się jednolitą metodyką

zbierania danych źródłowych w poszczególnych częściach tego obiektu. To zdecydowało o tym, że czas objęty badaniem był stosunkowo krótki. W całej Puszczy Białowieskiej w okresie 2015–2019 zasobność drzewostanów zmniejszyła się znacząco. Wynikało to z dużego tempa ubywania drzew, ale także ze zmniejszenia bieżącego przyrostu miąższości. Zmniejszenie zasobności drzewostanów w największym stopniu wiązało się z zamieraniem jesionu, ale zwłaszcza świerka. Drzewostany lasu gospodarczego, ochrony rezerwatowej i Rezerwatu Ścisłego w dalszym ciągu różniły się pod względem składu gatunkowego, mimo pewnej unifikacji związanej z wyrównaniem zasobów świerka w drzewostanach wszystkich jednostek interpretacyjnych. Mniejsze były różnice składu gatunkowego drzew warstwy odnowienia pomiędzy jednostkami interpretacyjnymi. Nową sytuacją była dominacja klonu w warstwie nalotu. Młode drzewa większości gatunków były intensywnie uszkodzane przez roślinożerne ssaki kopytne, a sytuacja była podobna we wszystkich jednostkach interpretacyjnych.

Z powodu nieprzewidywanego wcześniej zbiegu okoliczności czteroletni okres badań prowadzonych w latach 2015–2019 pokrył się z intensywnymi zmianami zachodzącymi w drzewostanach Puszczy Białowieskiej. Najważniejszym zjawiskiem było zamieranie drzew. Ich miąższość (w polskiej części PB) wyniosła 4,173 mln m³, z czego 2,750 mln m³ (66%) przypadło na świerk.

Praca została wykonana w ramach projektu LIFE+ ForBioSensing PL „Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych”, współfinansowanego ze środków Komisji Europejskiej w ramach instrumentu finansowego Unii Europejskiej LIFE + oraz ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Strefowość reakcji przyrostowych dębu szypułkowego na czynniki hydroklimatyczne w dolinach rzecznych

Bernard Okoński

*Katedra Inżynierii Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C,
60-625 Poznań, bernard.okonski@up.poznan.pl*

Oddziaływanie warunków mikrosiedliskowych na wykorzystanie wody przez drzewa w relacji do zmienności czasowej i przestrzennej dostępności różnych jej form jest jeszcze niewystarczająco rozpoznane. Dąb szypułkowy zajmuje siedliska na wysoczyźnie, gdzie dostępność wody wynika z lokalnych warunków klimatycznych. Występuje on także na siedliskach w dolinach rzecznych, gdzie istotnym czynnikiem sprawczym decydującym o dostępności wody jest reżim rzeczny powiązany z warunkami klimatycznymi panującymi w zlewni. Rzeka oddziałuje tu pośrednio przez związki hydrauliczne wód rzecznych z wodą gruntową w dolinie. Wpływ rzeki wiąże się z obecnością hydrologicznego gradientu ekologicznego i maleje wraz z wyniesieniem terenu. Zatem zmienna przestrzennie i czaso-

wo siła oddziaływania rzeki może różnicować rytm przyrostowy dębu w dolinie rzecznej przez modulowanie dostępności wody.

Główne pytania wiążące się z powyższą hipotezą to: Czy i w jaki sposób manifestuje się strefowość w dolinie rzecznej w zakresie wykorzystania wody do tworzenia przyrostów? Czy i jak różni się rytm przyrastania drzew w dolinie i na wysoczyźnie ze względu na wykorzystanie wody? W pracy podjęto próbę odpowiedzi na te pytania.

Użyto metody dendrochronologicznej w zakresie zastosowań dendroekologicznych. Obiekt badawczy to Lasy Czeszewskie leżące w dolinie środkowej Warty oraz sąsiednia Płyta Krotoszyńska. Wyznaczono 30 stanowisk w 3 transektach w dolinie i na wysoczyźnie. Pozycje w transektach dolinnych zostały ustalone na podstawie rzędnej terenu oraz modelowania rozkładu stref zalewowych. Na stanowisku wyznaczono 15 drzew. Przeprowadzono analizy związków (korelacja liniowa, funkcja odpowiedzi) między parametrami hydroklimatycznymi oraz szerokością przyrostu rocznego dębu za okres od 1901 do 2010 r. Zmienne objaśniające to miesięczne wartości parametrów hydroklimatycznych – opady (P), temperatura (T), przepływ w Warcie (Q), miary suszy – wskaźnik surowości suszy Palmera (scPDSI) i standaryzowany klimatyczny bilans wodny (SPEI). W przypadku miar suszy i opadów użyto wartości lokalnych oraz zagregowanych dla zlewni. Wykorzystano analizę skupień do określenia powiązań między stanowiskami w różnych częściach doliny i na wysoczyźnie. Podobieństwa reakcji przyrostowych między stanowiskami były oceniane na podstawie metody grupowań.

W dolinie rzecznej zidentyfikowano dwie strefy w reakcji przyrostowej dębu na czynniki hydroklimatyczne. Pierwsza obejmuje stanowiska mniej wyniesione, na terasie zalewowej (pozycje w transekcie 1, 2 oraz częściowo 3). Druga strefa to bardziej wyniesione stanowiska na terasie zalewowej i nadzalewowej (pozycje 3, częściowo 4 i 5). Reakcja przyrostowa dębu na czynniki hydroklimatyczne na obszarach doliny mniej wyniesionych jest słabsza niż na obszarach bardziej wyniesionych i dotyczy wszystkich analizowanych zmiennych hydroklimatycznych (zmiennych lokalnych i zmiennych w zlewni, a także przepływów rzecznych). Granica między strefami jest nieostra. Stanowiska z pozycji 3 w transekcie cechuje przejściowość – część należy do grupy pierwszej, a część do grupy drugiej. Stanowiska należące do grupy pierwszej znajdują się w odległości od 120 do 1500 m od normalnego położenia linii brzegowej w Warcie, co wynika z mozaikowego układu form i wyniesienia powierzchni terenu w dolinie. Pas przejściowy między strefami jest wyniesiony około $3 \pm 0,2$ m nad rzędną normalną lustra wody w rzece. Natomiast krawędź pierwszej terasy nadzalewowej (zasięg strefy zalewowej) wyniesiona jest około 2 m wyżej. Elementy hydroklimatyczne nie stanowią ograniczającego czynnika środowiskowego dla przyrostów na stanowiskach mniej wyniesionych, ale na stanowiskach bardziej wyniesionych w dolinie i na wysoczyźnie są środowiskowym czynnikiem ograniczającym.

Reakcje przyrostowe drzew na czynniki klimatyczne na stanowiskach wysoczyznych są podobne do reakcji drzew rosnących w dolinie na stanowiskach bardziej wyniesionych. Związki między czynnikami hydroklimatycznymi a przyrostami promieniowymi są znacznie silniejsze na stanowiskach wysoczyznych

oraz bardziej wyniesionych w dolinie niż na stanowiskach dolinnych mniej wyniesionych, co szczególnie zaznacza się w przypadku miar suszy (współczynnik r często był wyższy niż 0,4). Można sądzić, że granica między obiema strefami w dolinie rozdziela obszary o różnej podatności drzew na suszę. Dynamika zasięgu stref wyróżnionych ze względu na przebieg przyrostów rocznych dębu może być wykorzystana praktycznie i stanowić indyktor zmienności czasowej i przestrzennej siły oddziaływania rzeki na drzewostany. Pozwala oceniać negatywne dla lasów dolinnych oddziaływania antropogeniczne i efekty ekologiczne różnych form aktywnej ochrony stosowanych w dolinach rzecznych.

Mechanizm adaptacji kiełkowania nasion drzew do zmiennego środowiska

Tomasz A. Pawłowski, Jan Suszka, Daniel J. Chmura,
Mikołaj K. Wawrzyniak, Paweł Chmielarz*

*Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
tapawlow@man.poznan.pl

Nasiona ewoluują od początku swojego istnienia. Stały się skutecznymi detektorami zmian środowiskowych, wykształcając mechanizmy obronne w stosunku do wahań w środowisku. Jedną z adaptacji do niesprzyjających warunków jest zjawisko spoczynku, które umożliwia koordynację między kiełkowaniem nasion i powstawaniem nowych roślin a otoczeniem. Adaptacje mają podłoże genetyczne, ale to środowisko decyduje o tym, czy mechanizm adaptacji spełni swoje zadanie, a roślina wyprodukuje zdrowe nasiona i sadzonki. Modele opracowane dla scenariuszy zmian klimatu pokazują, że niektóre gatunki staną w obliczu znacznego zmniejszenia obszaru siedliska dla nich odpowiedniego. Zmiana klimatu może przeobrazić geograficzne rozmieszczenie gatunków, przy czym plastyczność gatunku jest czynnikiem decydującym o przetrwaniu populacji. W odpowiedzi na klimat spoczynek nasion ulega modulacji w perspektywie zarówno długo-, jak i krótkoterminowej. Konsekwencje długoterminowe wynikają z utrzymujących się różnic klimatycznych pomiędzy siedliskami, co może skutkować dziedzicznymi różnicami w spoczynku obserwowanymi na poziomie gatunku czy ekotypu. Z drugiej strony, krótkoterminowe efekty są spowodowane specyficzną pogodą w okresie dojrzwania, podczas przebywania nasion w glebie oraz kiełkowania. Określenie krótko- i długoterminowych zmian w spoczynku nasion ma kluczowe znaczenie dla zrozumienia, w jaki sposób zmiany środowiskowe, w tym ocieplenie klimatu, wpływają na kiełkowanie i regenerację roślin.

Oddziaływanie klimatu na kiełkowanie nasion podkreśla potrzebę zrozumienia, jaki wpływ zmieniające się warunki środowiskowe będą wywierać na rozwój roślin. Wiele mechanizmów fizjologicznych i molekularnych regulujących stan spoczynku zostało zidentyfikowanych w kontrolowanych badaniach laboratoryj-

nych. Niewiele jednak wiadomo o tym, jak nasiona wykorzystują ten złożony zestaw mechanizmów do regulowania stanu uśpienia w zmiennym środowisku. Zrozumienie reakcji roślin na zmiany klimatu wymaga poszerzenia wiedzy na temat wpływu warunków środowiskowych na kiełkowanie nasion. Mechanizmy leżące u podstaw adaptacji są kluczowym elementem w przewidywaniu potencjału gatunków w zakresie radzenia sobie z ociepleniem klimatu. Prezentacja koncentruje się na przedstawieniu mechanizmu przystosowania kiełkowania nasion do różnych środowisk, z podkreśleniem roli spoczynku w adaptacji do zmieniającego się klimatu.

Badania były finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu nr 2019/33/B/NZ9/02660.

Słodko-gorzkie życie kwiatów. Zmienność zawartości cukrów i fenoli w kwiatach drzew i krzewów strefy klimatu umiarkowanego

Sonia Paż-Dyderska^{1}, Andrzej M. Jagodziński^{1, 2}*

¹*Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik, sdyderska@man.poznan.pl*

²*Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań*

Zmienność cech poszczególnych organów roślin jest zagadnieniem słabo rozpoznanym. Opisywane są nowe podejścia metodologiczne pozwalające na coraz szersze włączanie zmienności cech na poziomie wewnątrzgatunkowym nawet do analiz obejmujących obszary rozległe geograficznie. Do tej pory jednak najczęściej uwagi poświęcono rozpoznaniu zmienności aparatu asymilacyjnego roślin. Kwiaty, również ze względu na krótszą dostępność w trakcie sezonu wegetacyjnego, były często pomijane w analizach zmienności. Tymczasem jako kluczowe organy służące do rozmnażania powinny zostać lepiej poznane. Zadanie to jest tym ważniejsze, że w warunkach zmieniającego się klimatu cykle reprodukcyjne roślin mogą zostać zachwiane. Zmiany fenologiczne mogą wówczas doprowadzić do kwitnięcia roślin w momencie braku dostępności odpowiednich zapylaczy. Wiedza o biologii i ekologii kwiatów jest więc niezbędna m.in. do ochrony gatunków.

Jednym z najważniejszych aspektów biologii kwiatów jest zawartość w nich cukrów i fenoli. Decydują one o strategii danej rośliny co do wabienia (cukry w nektarze lub substancje przywabiające drapieżniki zjadające roślinożerców) oraz odstraszania (obrona chemiczna przed roślinożercami). Analiza zawartości tych związków w kwiatach na poziomie między- oraz wewnątrzgatunkowym umożliwia więc porównanie strategii różnych gatunków, ale również zbadanie, w jaki sposób roślina inwestuje zasoby w kwiaty zlokalizowane w różnych miej-

scach korony. Przeprowadzenie takiego porównania w kórnickim arboretum jest uzasadnione dzięki dużej liczbie kwitnących okazów drzew i krzewów.

Przyjęliśmy następujące hipotezy:

- 1) Międzygatunkowa zmienność dotycząca zawartości cukrów i fenoli w kwiatach jest związana z podobieństwem filogenetycznym gatunków. Założyliśmy, że sygnał ewolucyjny przejawia się tym, iż gatunki blisko spokrewnione reprezentują podobne strategie w zakresie ilości produkowanych cukrów i fenoli, a więc działają według podobnych strategii życiowych.
- 2) Kwiaty pochodzące z nasłonecznionej i zacienionej części korony różnią się pod względem zawartości cukrów i fenoli. Założyliśmy, że ekspozycja kwiatów na światło i ciepło jest skorelowana z ich lepszym zaopatrzeniem w związki obronne.
- 3) Występuje kompromis pomiędzy zawartością cukrów i fenoli w kwiatach różnych gatunków. Założyliśmy, że podobnie jak w przypadku liści, u kwiatów również istnieje strategia polegająca na kompromisie i wyższej zawartości substancji wabiących przy jednoczesnym ograniczeniu zawartości substancji odstrasżających i odwrotnie.

W ramach badań porównaliśmy zawartość cukrów i fenoli wśród 50 gatunków drzew i krzewów zlokalizowanych w arboretum w Kórniku. Kwiaty były zbierane od kwietnia do lipca 2021 r. Następnie próbki suszyliśmy w suszarce z wymuszonym obiegiem powietrza (ULE 600, Memmert GmbH + Co. KG, Niemcy) w temperaturze 65°C przez minimum 72 godziny. Zmielone próbki zostały poddane analizie chemicznej. Określona została zawartość następujących komponentów: całkowitych cukrów niestrukturalnych (TNC), na które składają się cukry rozpuszczalne oraz skrobia (mierzone oddzielnie), oraz sumy zawartości związków fenolowych. W ramach testowania pierwszej hipotezy przygotowaliśmy drzewo filogenetyczne przy użyciu pakietów *phyloSignal* oraz *phytools* dostępnych w programie R. W celu określenia powiązań między podobieństwem filogenetycznym a zawartością cukrów i fenoli w kwiatach wykonaliśmy wykresy prezentujące sygnał filogenetyczny. Aby skwantyfikować nasilenie sygnału filogenetycznego, obliczyliśmy współczynniki korelacji parametrów z sygnałem filogenetycznym K Blomberga i λ Pagela. Dla przetestowania pozostałych hipotez przygotowaliśmy modele liniowe z wykorzystaniem pakietów *dplyr*, *car*, *forcats* czy *matrixStats*.

Badania były finansowane przez Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w ramach zadania badawczego „Słodko-gorzkie życie kwiatów. Zmienność zawartości cukrów i fenoli w kwiatach drzew i krzewów strefy klimatu umiarkowanego” o numerze rejestracyjnym 2021/01/ZB/FBW/00003.

Globalne zmiany środowiskowe a potencjał reprodukcyjny drzewiastych roślin dwupiennych na przykładzie cisa pospolitego i jałowca pospolitego

Emilia Pers-Kamczyc^{1*}, Anna Kowalczyk², Ewelina Ratajczak¹,
Jan Suszka¹, Ewa Mąderek¹, Jacek Kamczyc²

¹Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
*epk@man.poznan.pl

²Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii Drewna,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań

Globalne zmiany środowiskowe w coraz większym stopniu wpływają na gatunki roślin na całym świecie, a zmniejszanie się liczebności populacji jest jednym z wielu negatywnych skutków ich oddziaływania. Ostatnie doniesienia wskazują na występowanie ograniczonej regeneracji populacji roślin dwupiennych, w tym również cisa pospolitego i jałowca pospolitego. U roślin dwupiennych osobniki żeńskie i męskie pełnią odmienne funkcje reprodukcyjne, co wskazywane jest jako prawdopodobna przyczyna występowania dymorfizmu płci, który przejawia się zróżnicowaną odpowiedzią na warunki stresowe, a w konsekwencji innym niż teoretyczny (1:1) udziałem płci w populacjach. Trwałość gatunku zależy od sukcesu reprodukcyjnego osobników obu płci i jest funkcją składową ilości i jakości produkowanego materiału genetycznego – ziarn pyłku i nasion – oraz wpływu warunków środowiskowych, w których rosły osobniki rodzicielskie, i warunków wzrostu osobników potomnych. Potencjał reprodukcyjny osobników żeńskich opisywany jest poprzez liczbę rozwijających się kwiatów żeńskich i produkowanych przez nie nasion, podczas gdy dla osobników męskich jest to liczba kwiatów męskich i produkowanych przez nie ziarn pyłku. Wynika on z odpowiedniej alokacji dostępnych dla rośliny zasobów pomiędzy wzrostem wegetatywnym, funkcjami generatywnymi oraz obronnymi. Do tej pory większość doniesień charakteryzowała ilościowe aspekty produkcji ziarn pyłku i nasion, a nieliczne poruszały aspekt ich jakości.

Celem niniejszych badań było poznanie wpływu długoterminowego ograniczenia zasobów na potencjał reprodukcyjny cisa pospolitego (*Taxus baccata* L.) i jałowca pospolitego (*Juniperus communis* L.) poprzez analizę ziarn pyłku, nasion oraz siewek. Rośliny wykorzystane w badaniach utrzymywane były w warunkach doświadczenia wazonowego, w którym część roślin była nawożona. Długoterminowe nawożenie przyczyniło się do większej produkcji ziarn pyłku i nasion, jednakże równocześnie wiązało się to z obniżeniem ich jakości.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach działania naukowego Miniatura 3 nr 2019/03/X/NZ8/01887 oraz działalności statutowej Instytutu Dendrologii PAN.

Występowanie kłokoczki południowej *Staphylea pinnata* L. w Polsce

Łukasz Piechnik^{1*}, Przemysław Kurek², Tomasz Wójcik³

¹Institut Botaniki im. Władysława Szafera Polskiej Akademii Nauk, ul. Lubicz 46,
31-512 Kraków, *l.piechnik@botany.pl

²Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Wieniawskiego 1, 61-712 Poznań

³Uniwersytet Rzeszowski, ul. A. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów

W Polsce przebiega północna granica naturalnego zasięgu kłokoczki południowej (*Staphylea pinnata* L.), stąd wiele jej stanowisk ma charakter wyspowy. Krzew ten jest związany z piętrem pogórza i rzadko rośnie powyżej 520 m n.p.m. Kłokoczka występuje nielicznie w lasach i zaroślach Pogórza i Gór Kaczawskich, Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, Wyżyny Miechowskiej, Płaskowyżu Kolbuszowskiego oraz Pogórza Karpackiego, gdzie ma najwięcej stanowisk. Wymienione rejonu uznawane są za naturalny obszar występowania gatunku w Polsce. Oprócz stanowisk naturalnych istnieje spora liczba stanowisk antropogenicznych, w tym zdziczałych i przydomowych, na Opolszczyźnie, Górnym Śląsku, Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej, Pogórzu Karpackim i Rostoczu.

Krzew ten ze względu na swe wartości użytkowe oraz oryginalny kształt kwiatów i owoców był już od czasów prehistorycznych szeroko wykorzystywany przez ludzi. W rejonach występowania kłokoczki użytkowano jej pąki i kwiatostany jako pokarm, drewno stanowiło surowiec do wyrobu narzędzi, ale roślina ta miała i ma do dziś przede wszystkim duże znaczenie w obrzędach religijnych. Odporne na ścieranie i twarde drewno ludzie wykorzystywali do celów użytkowych, wyrabiając z niego trzonki narzędzi, kije do maselnic, laski, krzyżyki, figurki świętych czy elementy wyposażenia kościołów. Z nasion wytwarzano ozdoby, takie jak: naszyjniki, kolczyki i bransolety oraz różańce, których pozostałości są odnajdywane w trakcie wykopalisk archeologicznych. W Małopolsce i na Górnym Śląsku często sadzono kłokoczkę przy domach, ponieważ jej pędy były składnikiem tradycyjnych palm wielkanocnych, tzw. bągnięci. W wielu rejonach uważano ją za roślinę przynoszącą szczęście i chroniącą dom przed złem. Tak duże zainteresowanie kłokoczką doprowadziło, poprzez wykopywanie krzewów z naturalnych stanowisk, do całkowitego zniszczenia niektórych jej populacji. Z drugiej strony powstało jednak wiele stanowisk antropogenicznych.

Pomimo dużego zainteresowania kłokoczką południową jej krajowy zasięg nadal nie został w pełni poznany. W referacie przedstawiono wyniki kilkuletnich badań (2018–2021) nad aktualnym rozmieszczeniem gatunku w Polsce. Dane dotyczące chorologii krzewu zebrane zostały na podstawie przeglądu literatury: publikacji naukowych oraz prac magisterskich, prac doktorskich i baz danych (instytutów badawczych, nadleśnictw, parków narodowych, regionalnych dyrekcji ochrony środowiska). W poszukiwaniach wykorzystywano multidyscyplinarne metody, takie jak analiza map historycznych i map LIDAR (Geoportal) w celu identyfikacji deformacji terenowych w lasach (wąwozy, rowy i wały grodzisk, kurhany, fundamenty budynków). Przeprowadzono wywiady i korespondowano

z naukowcami (głównie botanikami), leśnikami oraz przyrodnikami amatorami. Ogłoszenia o poszukiwaniu stanowisk kłokoczki zamieszczano w prasie, publikacjach popularnonaukowych, internetowych forach przyrodniczych, blogach oraz na Facebooku. Przeszukiwano bazy muzeów etnograficznych i pozyskiwano informacje od etnologów, przede wszystkim w okolicach miejscowości, w których nadal kultywowane są tradycje związane z kłokoczka południową (np. palmy wielkanocne, wyroby z drewna czy nasion). Wszystkie uzyskane dane o stanowiskach weryfikowano w trakcie inwentaryzacji terenowych.

W wyniku badań wykazano 211 stanowisk naturalnych (w tym 48 nowych) oraz 130 antropogenicznych (w tym 103 nowe). Niniejsze badania stanowią rewizję znanego dotychczas zasięgu kłokoczki południowej głównie w Górach Kaczawskich, na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej, na Pogórzu Rożnowskim oraz Płaskowyżu Tarnogrodzkim. Najwięcej naturalnych stanowisk gatunku stwierdzono na Pogórzu Przemyskim (54), na Pogórzu Dynowskim (49) oraz w Beskidzie Niskim (26). Obszarami o największej liczbie stanowisk antropogenicznych okazały się: Górny Śląsk (32), Wyżyna Krakowsko-Częstochowska (25) oraz Roztocze (16). Kilka starych antropogenicznych stanowisk kłokoczki odnaleziono w północnej Polsce (Równina Wełtyńska, Pojezierze Ełckie), kilkaset kilometrów na północ od granicy naturalnego zasięgu gatunku. Pomimo wielokrotnych poszukiwań nie potwierdzono 36 naturalnych i pięciu antropogenicznych stanowisk gatunku znanych dotychczas z literatury. Prezentowane wyniki badań są podstawą do dalszych analiz, w tym molekularnych i ekologicznych, a także pomogą w zarządzaniu ochroną kłokoczki południowej.

Modelowanie dostosowanego do klimatu rozmieszczenia gatunków drzew na terenie Niemiec na podstawie Federalnej Inwentaryzacji Lasów i Teledetekcji

Karolina Pietras-Couffignal^{1,3}, Sebastian Schnell¹, Maximilian Freudenberg², Paul Magdon²*

¹*Thünen Institute of Forest Ecosystems, Alfred-Möller-Straße 1, Haus 41/42 16225, Eberswalde, Niemcy, *karolina.pietras-couffignal@thuenen.de*

²*Forest Inventory and Remote Sensing, Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, University Göttingen, Büsgenweg 5, 37077 Göttingen, Niemcy*

³*Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, Poznań*

Ekosystemy leśne znajdują się pod silnym wpływem zmian klimatu, a obecnie jednym z głównych problemów leśnictwa jest opracowanie strategii adaptacyjnych. Wiedza o występowaniu określonych gatunków drzew na danym terenie,

w połączeniu z aktualnymi i przyszłymi lokalnymi warunkami wzrostu, jest absolutnie niezbędna do zaprojektowania scenariuszy adaptacyjnych na przyszłość. Wymaga to dokładnych informacji o wysokiej rozdzielczości przestrzennej i czasowej. W ramach projektu Tree Species chcemy zapewnić bazę danych i modele, które umożliwią wybór gatunków drzew dostosowanych do zmieniającego się klimatu i lokalnych warunków siedliskowych w Niemczech. Dane takie, niezbędne do dobrego planowania gospodarki leśnej, nie są jeszcze dostępne na poziomie federalnym. Szczególnie brakuje przestrzennie jednoznacznych danych na temat aktualnego rozmieszczenia gatunków drzew, co mogłoby posłużyć do opracowania map i narzędzi wspomagających podejmowanie decyzji.

Obecne rozmieszczenie gatunków drzew zostanie określone w ramach samego projektu na podstawie przestrzennych i czasowych danych teledetekcyjnych programu Copernicus. Do klasyfikacji szeregów czasowych stosowane są algorytmy z dziedziny sztucznej inteligencji. W celu uzyskania wymaganych danych treningowych wykorzystywane są również dane z Federalnej Inwentaryzacji Lasów. Pierwszym krokiem w naszym projekcie jest opracowanie map występowania gatunków drzew na podstawie tych danych.

W ramach projektu mają zostać opracowane i bezpłatnie udostępnione następujące wyniki i produkty:

1. Analiza wysokorozdzielczych cyfrowych zdjęć lotniczych orto (DOP)
 - a) opracowanie metody opartej na „deep learning” do wykrywania pojedynczych drzew i wyznaczania koron drzew,
 - b) opracowanie metody szacowania lokalnego składu gatunkowego,
 - c) zastosowanie powyższych opracowań na wszystkich powierzchniach NFI, dla których dostępne są odpowiednie obrazy.
2. Analiza satelitarnych danych Copernicus
 - a) pozyskanie skorygowanych geometrycznie i atmosferycznie zdjęć satelitarnych z archiwum Copernicus,
 - b) opracowanie zestawu danych szkoleniowych zawierających adnotacje o gatunkach i zdjęcia wieloczasowe, z wykorzystaniem danych o wysokiej rozdzielczości utworzonych w punkcie 1, baza ta będzie dostępna publicznie,
 - c) opracowanie opartej na „deep learning” metody szacowania proporcji gatunkowych drzew na poziomie pikseli, z wykorzystaniem danych szeregów czasowych,
 - d) zastosowanie tego opracowania do uzyskania pierwszej mapy gatunków drzew w Niemczech.
3. Przygotowanie rekomendacji dla składu gatunkowego dostosowanego do klimatu i stanu drzewostanu.

Oczekiwane wyniki:

 - mapa składu gatunkowego drzew dla całych Niemiec, obejmująca najbardziej dominujące gatunki,
 - mapa wskaźników odporności,
 - mapa przedstawiająca optymalne rozmieszczenie gatunków drzew dostosowanych do warunków siedliskowych i przyszłego klimatu,

- zestaw rekomendacji, które pomogą w umocnieniu stabilnych ekosystemów leśnych.

Projekt jest finansowany przez German Space Agency (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) i wykonywany przez Thünen Institute i Uniwersytet w Getyndze.

Dynamika wymiany CO₂ między torfowiskiem wysokim w Kusowie a atmosferą

Patryk Pocza^{1*}, Kamila M. Harenda¹, Damian Józefczyk¹,
Mariusz Lamentowicz², Maciej Gąbka³, Małgorzata Kleniewska⁴,
Bogdan H. Chojnicki¹

¹Pracownia Bioklimatologii, Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, patryk.pocza@puls.edu.pl

²Pracownia Ekologii Zmian Klimatu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

³Zakład Hydrobiologii, Instytut Biologii Środowiska, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań

⁴Katedra Teledetekcji i Badań Środowiska, Instytut Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

Ekosystemy torfowiskowe z uwagi na nieprzerwany, w sprzyjających warunkach klimatycznych, proces torfotwórczy mogą akumulować torf przez wiele tysięcy lat. Powstałe dzięki temu osady biogeniczne, pomimo niewielkiego udziału w całkowitej powierzchni lądów (ok. 3%), przechowują około 1/3 światowych zasobów węgla glebowego. Jednocześnie występowanie dobrze uwodnionego torfu skutkuje unikatową bioróżnorodnością na terenie tych ekosystemów. Duża zawartość wody na obszarach torfowiskowych wpływa także na mikroklimat przyległego terenu. Torfowiska umiarkowanej strefy klimatycznej, przy odpowiednich poziomach zwierciadła wody oraz temperatury powietrza, są skutecznymi pochłaniaczami netto dwutlenku węgla z atmosfery, jednak na bilans węgla tych terenów ma również wpływ emisja metanu i lotnych związków organicznych oraz dopływ rozpuszczonego węgla organicznego. Destrukcyjne dla tych ekosystemów jest odwodnienie, które poza bezpośrednim wpływem na występujące tam rośliny torfotwórcze skutkuje także przyspieszonym rozkładem materii organicznej będącej głównym składnikiem torfu. Dominujące procesy tlenowego rozkładu materii organicznej, będące efektem obniżenia poziomu zwierciadła wody na torfowisku, przyczyniają się do uwolnienia do atmosfery ogromnych ilości CO₂, który jest drugim najważniejszym (po parze wodnej) gazem szklarniowym. Jednocześnie postępująca zmiana klimatu powodująca m.in. wzrost średniej temperatury powietrza wpływa negatywnie na bilans CO₂ torfowisk znajdujących się na naszej szerokości geograficznej. W tej sytuacji niezbędny jest ilościowy oraz jakościowy

opis wymiany CO₂ między torfowiskami a atmosferą, tym bardziej że takich danych z obszaru Polski jest ciągle niewiele.

W tym celu Pracownia Bioklimatologii UPP (od 2019 r.) prowadzi ciągłe pomiary wymiany strumieni netto CO₂ i H₂O między torfowiskiem wysokim typu bałtyckiego w Kusowie (53° 48' N, 16° 35' E, 145 m n.p.m.) a atmosferą. Ekosystem ten znajduje się w odległości 180 km na północ od Poznania (Nadleśnictwo Szczecinek), a do pomiarów tych strumieni wykorzystywana jest technika kowariancji wirów (KW). Równolegle prowadzony jest monitoring czynników abiotycznych (np. parametry meteorologiczne) oraz biotycznych (np. parametry roślinności). W niniejszej pracy przedstawiono wstępne wyniki analizy sezonowej dynamiki wymiany CO₂ między torfowiskiem a atmosferą oraz wpływu takich czynników, jak promieniowanie i temperatura na wartość strumieni netto CO₂ torfowiska w Kusowie.

Praca została wykonana w ramach projektu nr UMO-2017/27/B/ST10/02228 pt. „Potencjał akumulacyjny dwutlenku węgla torfowisk mszarnych w kontekście zmian właściwości optycznych atmosfery i klimatu” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Różnice morfologiczne i ekofizjologiczne pomiędzy płciami u *Adriana tomentosa*

Mariola Rabska^{1*}, Nigel Warwick², Grzegorz Iszkuło^{1,3}, Caroline Gross²

¹Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
*mrabska@man.poznan.pl

²University of New England, Elm Avenue, NSW 2351 Armidale, Australia

³Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Prof. Z. Szafrana 1,
65-516 Zielona Góra

Drugorzędowy dymorfizm płciowy u gatunków dwupiennych ujawnia się na różnych poziomach zróżnicowania. Obserwuje się różnice pomiędzy płciami dotyczące cech ekofizjologicznych i morfologicznych. Zarówno wielkość, jak i kształt liści wpływają na dostosowanie osobników do środowiska, a dymorfizm w wielkości liści jest często obserwowany u roślin dwupiennych. Osobniki żeńskie mają zazwyczaj większe liście niż męskie, co związane jest z kompensacją zwiększonego wysiłku reprodukcyjnego. Natomiast różnice między płciami w kształcie liści nie są tak powszechne.

Obiektem badań był gatunek *Adriana tomentosa* (rodzina Euphorbiaceae), który jest endemicznym krzewem występującym w Australii. Niniejsze badania skupiły się na cechach morfologicznych i fizjologicznych tegorocznych i zeszłorocznych liści pochodzących zarówno od osobników męskich, jak i żeńskich. Uzyskane wyniki posłużyły do próby odpowiedzi na pytanie, czy różnice pomiędzy płciami są powiązane z adaptacją oraz pełnieniem różnych ról w reprodukcji.

Materiał do badań pochodził z dwóch populacji naturalnych we wschodniej Australii. Jedna z nich (populacja T) rosła w większym zagęszczeniu, w miejscu bardziej nasłonecznionym i była liczniejsza w porównaniu z populacją B. Określono powierzchnię liści, obwód, współczynnik nieregularności brzegu blaszki liściowej, okrągłość, kolistość, współczynnik proporcji oraz parametry ekofizjologiczne, takie jak: specyficzna powierzchnia liści (SLA), zawartość suchej masy, wilgotność, relatywna zawartość wody (RWC). Ponadto określono zawartość pierwiastków takich, jak węgiel i azot, a także ich izotopów stabilnych ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) oraz wartość stosunku C:N. Dodatkowo zbadano stopień klapowania liści, ich uszkodzenia oraz zawartość barwników fotosyntetycznych.

W efekcie stwierdzono, że w obu badanych populacjach płeć roślin wpłynęła istotnie na niemal wszystkie parametry związane z morfologią liści, takie jak: powierzchnia, obwód, kolistość, współczynnik proporcji oraz okrągłość. W przeciwieństwie do oczekiwań osobniki męskie z obu populacji miały większą powierzchnię liści niezależnie od ich wieku. Liście osobników męskich były bardziej klapowane i miały większy obwód. Z drugiej strony wykazywały też mniejszy stopień wydłużenia i nieregularności brzegu blaszki liściowej. Jedynie niewielkie różnice obserwowane były pomiędzy liśćmi pochodzącymi od osobników męskich i żeńskich w kontekście parametrów ekofizjologicznych. Stopień uszkodzenia blaszki liściowej różnił się istotnie pomiędzy płciami, ale był większy u osobników męskich w jednej z populacji, a u żeńskich w drugiej.

Różnice pomiędzy płciami w wielkości i kształcie liści nie były kompensowane przez badane parametry ekofizjologiczne. Jednak mniejsza powierzchnia liści osobników żeńskich może w pewnym stopniu być kompensowana przez większy stopień nieregularności brzegu blaszki liściowej, gdyż, jak wykazały badania innych autorów, część brzeżna blaszki liściowej ma znacznie intensywniejsze tempo wymiany gazowej w porównaniu z pozostałą częścią liścia.

Przeprowadzenie niniejszych badań możliwe było dzięki uzyskaniu finansowania z programu stypendialnego Rządu Australijskiego „Endeavour” oraz środków statutowych Instytutu Dendrologii PAN. Serdeczne podziękowania dla: Iana Simpsona, Johna Stanleya, Josha Whiteheada, Micka Fainta, Leanne Lisle, Elizabeth Marshall oraz Radosława Jagiełły za pomoc przy zbiorze materiału, w analizach laboratoryjnych i statystycznych.

Tempo dekompozycji a strategia życiowa i cechy funkcjonalne roślin naczyniowych runa leśnego

Katarzyna Rawlik*, Andrzej M. Jagodziński

Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,

*rawkat@man.poznan.pl

Zrozumienie wpływu pojedynczych gatunków i ich cech na funkcjonowanie ekosystemów jest kluczowe w czasie bezprecedensowych zmian środowiska. Badania pozwalają doprecyzować modele krążenia węgla i azotu w ekosystemach oraz prognozować potencjalne zmiany, uwzględniając prawdopodobne modyfikacje składu gatunkowego zbiorowisk roślinnych. Może to wspomóc racjonalizowanie działań ochronnych i łagodzenie skutków zmian zasięgów gatunków.

Dekompozycja to, obok fotosyntezy, kluczowy proces kształtujący krążenie pierwiastków w przyrodzie. Badania dekompozycji w ekosystemach leśnych są ograniczone głównie do ścioty pochodzącej z liści drzew. Celem naszych badań było określenie tempa rozkładu, a także uwalniania węgla (C) i azotu (N) z nekromasy roślin runa leśnego. Ponadto sprawdziliśmy, jak cechy funkcjonalne (specyficzna powierzchnia liści – SLA, zawartość suchej masy w biomase liści – LDMC, udział masy liści w biomase rośliny – LMF, całkowita powierzchnia liści – TLA, całkowita biomasa nadziemna – TAB) i cechy chemiczne nekromasy (zawartość węgla – LCC, zawartość azotu – LNC, stosunek węgla do azotu – C/N) wpływają na tempo dekompozycji roślin naczyniowych runa leśnego.

Do naszych badań wybraliśmy 13 pospolitych roślin naczyniowych runa lasu grądowego: *Adoxa moschatellina*, *Aegopodium podagraria*, *Anemone nemorosa*, *Convallaria majalis*, *Corydalis cava*, *Ficaria verna*, *Galeobdolon luteum*, *Galium aparine*, *Impatiens parviflora*, *Maianthemum bifolium*, *Mercurialis perennis*, *Stachys sylvatica* oraz *Urtica dioica*. Ponadto, w celu porównania, do doświadczeń włączyliśmy liście trzech gatunków drzew (*Acer pseudoplatanus*, *Carpinus betulus*, *Quercus robur*) i jeden gatunek krzewu (*Corylus avellana*). Tempo dekompozycji oraz uwalniania C i N określiliśmy, stosując metodę worków ściólkowych. Wartości cech funkcjonalnych zacerpnęliśmy z badań prowadzonych wcześniej w naszym zespole, które obejmowały pomiar cech funkcjonalnych roślin zielnych runa leśnego na terenie całej Polski. Zawartość suchej masy w biomase liści (LDMC) zacerpnęliśmy z bazy LEDA. Oznaczyliśmy zawartość pierwiastków w wyjściowej nekromacie i na poszczególnych etapach rozkładu ścioty (po rozłożeniu ok. 80, 60, 40 i 20% nekromasy każdego gatunku). Zawartość C i N określono za pomocą ECS CHNS-O 4010 Elemental Combustion System (Costech Instruments, Italy/USA).

Stwierdzono zależność tempa dekompozycji i uwalniania C i N od strategii życiowej roślin. W przypadku biomasy geofitów procesy te są istotnie szybsze niż u roślin dominujących w runie leśnym latem oraz drzew i krzewów. Całkowita powierzchnia liści (TLA) ma istotny statystycznie negatywny wpływ na tempo dekompozycji. Również całkowita nadziemna biomasa (TAB) badanych roślin zielnych wpływa negatywnie na dekompozycję (nie zaobserwowano istot-

nej zależności). Dla prawie wszystkich gatunków dwufazowy model rozkładu wykładniczego, który zakłada, że nekromasa składa się z frakcji łatwo i trudno rozkładalnej, wyjaśnia przebieg rozkładu ściółki gatunków zielnych nieznacznie lepiej niż model pojedynczego rozkładu wykładniczego.

Nasze wyniki wskazują na zależność tempa rozkładu i uwalniania C i N od strategii życiowej oraz całkowitej powierzchni liści (TLA) u roślin runa lasu grądowego. Najprościej rzecz ujmując, można powiedzieć, że najwolniej rozkładowi ulega biomasa dużych roślin z dużą całkowitą powierzchnią liści.

Praca powstała w ramach projektu pt. „Środowiskowo-genetyczne uwarunkowania produktywności ekosystemów leśnych na gruntach leśnych i przemysłowych” finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w Warszawie (2011–2015), a także projektu pt. „Zmienność zawartości azotu i węgla w biomase oraz nekromacie wybranych gatunków runa lasu grądowego *Galio sylvatici-Carpinetum betuli* Oberd. 1957” finansowanego przez Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w Kórniku (Grant dla Młodych Naukowców 2017).

Skład gatunkowy drzewostanu jako najważniejszy czynnik kształtujący fitocenozy oraz warunki glebowe na rekultywowanych obszarach pogórnicznych

Mateusz Rawlik^{1}, Marek Kasprówic², Andrzej M. Jagodziński¹,
Cezary Kaźmierowski³, Remigiusz Łukowiak⁴, Witold Grzebisz⁴*

¹*Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
mrawlik@man.poznan.pl

²*Zakład Ekologii Roślin i Ochrony Środowiska, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań*

³*Pracownia Teledetekcji Środowiskowej i Gleboznawstwa, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań*

⁴*Katedra Chemii Rolnej i Biogeochemii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 38/42, 60-625 Poznań*

Drzewostany są zdolne do kształtowania warunków siedliskowych w szerokim zakresie m.in. poprzez modyfikację ilości światła docierającego do dna lasu, dostarczanie opadu organicznego zróżnicowanego pod względem ilościowym i składu chemicznego, w tym także wzbogaconego w azot wiązany symbiotycznie. Rozległe obszary bezglebowe, związane z górnictwem odkrywkowym, rekultywowane w kierunku leśnym, stwarzają okazję do obserwacji inicjalnych procesów siedliskotwórczych zachodzących pod wpływem wprowadzonych drzewostanów.

Celem badań było określenie wpływu składu gatunkowego drzewostanu na spontaniczne formowanie się kompozycji gatunkowej warstwy runa oraz na właściwości chemiczne gleby na tle zróżnicowanych warunków abiotycznych. Ba-

dania zostały przeprowadzone na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego w Belchatowie w 20–31-letnich drzewostanach *Alnus glutinosa*, *Betula pendula* oraz *Pinus sylvestris*.

Heterogeniczne warunki abiotyczne terenów pogórnicznych utrudniają jednoznaczny waloryzacji roli drzewostanu. Aby ograniczyć wpływ przypadkowych zmiennych, w niniejszych badaniach analizowaliśmy właściwości chemiczne gleby oraz skład gatunkowy roślin naczyniowych w parach powierzchni oddalonych od siebie nie więcej niż o 50 m, o różnym składzie gatunkowym drzewostanu oraz o jednakowych: składzie granulometrycznym gleby, wieku drzewostanu, wystawie i nachyleniu.

Drzewostany *Alnus glutinosa* cechują się wyższą koncentracją węgla organicznego (2,3% w porównaniu z 1,4% pod *B. pendula* oraz *P. sylvestris*) oraz przyswajalnego magnezu w glebie, niższą koncentracją dostępnego dla roślin fosforu, większym udziałem gatunków żyznych okrajków, większą liczbą gatunków Rosaceae, a mniejszą Fabaceae, mniejszym udziałem gatunków segetalnych, łąkowych oraz murawowych w porównaniu z drzewostanami *B. pendula* oraz *P. sylvestris*. Na gruntach o udziale pyłu i ilu powyżej 15% nie stwierdzono różnic we właściwościach chemicznych między glebami pod drzewostanami *P. sylvestris* w porównaniu z glebami pod drzewostanami *B. pendula*. Jedyne piaszczyste gleby pod *P. sylvestris* cechowały się niższym odczynem (pH 6,3 vs 7,3 pod *B. pendula*), niższą koncentracją dostępnego dla roślin wapnia oraz wyższą koncentracją żelaza w glebie w porównaniu z sąsiadującymi drzewostanami *B. pendula*. Warstwa runa pod drzewostanami *Pinus sylvestris* cechowała się niższym zwarcie mniej więcej o 30 punktów procentowych, a na gruntach piaszczystych również mniejszą liczbą gatunków (17 w porównaniu ze średnio 28 pod *B. pendula*). Drzewostany *B. pendula* cechują się najmniejszym wpływem na florę oraz właściwości gleby, co przejawia się między innymi w niskiej zawartości węgla organicznego w glebie (0,8% na gruntach piaszczystych przy 1,3% na gruntach gliniastych) i dużym udziale gatunków łąkowych (25% na gruntach piaszczystych przy 32% na gruntach gliniastych).

Analiza DCA wykazała, że najważniejszym czynnikiem kształtującym kompozycję gatunkową runa leśnego jest skład gatunkowy drzewostanu, podczas gdy właściwości substratów glebowych (gruntów) odgrywają drugorzędną rolę. Skład gatunkowy drzewostanu istotnie oddziałuje na zawartość węgla organicznego w glebie, odczyn pH oraz koncentrację makroelementów. Otrzymane wyniki wskazują, że drzewa są w stanie kształtować warunki siedliskowe w szerokim zakresie warunków abiotycznych. Precyzyjne dopasowanie składu gatunkowego do warunków glebowych wywiera niewielki wpływ na sukces rekultywacji. Duże znaczenie ma dobór gatunków drzew, które cechują się specyficznymi zdolnościami siedliskotwórczymi.

Praca powstała w ramach projektu pt. „Środowiskowo-genetyczne uwarunkowania produktywności ekosystemów leśnych na gruntach leśnych i przemysłowych” finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w Warszawie (2011–2015), a także projektu pt. „Wpływ gatunku budującego drzewostan na spontaniczne różnicowanie się składu gatunkowego runa na zrekultywowanym zwałowisku górniczym” finansowanego

przez Wydział Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu – Grant Dziekana Wydziału Biologii (2014–2015).

Koncepcja, struktura oraz działanie ogólnopolskiej sieci obserwacji fenologicznych

Monika Różańska, Kamila M. Harenda, Patryk Poczta, Damian Józefczyk, Bogdan H. Chojnicki*

*Pracownia Bioklimatologii, Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, *rozanska.monika@gmail.com*

Nowoczesne sieci fenologiczne, oparte na automatycznych obserwacjach ekosystemów, są coraz powszechniej stosowane na całym świecie. Ich działanie polega na gromadzeniu obrazów z klasycznych lub dedykowanych kamer monitoringowych (zainstalowanych na stałe) wykonujących cykliczne (kilkanaście razy dziennie) zdjęcia powierzchni ekosystemów. Od 2020 r. pracownicy Pracowni Bioklimatologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu budują sieć obserwacji fenologicznych w Polsce i obecnie składa się ona z sześciu stanowisk obserwacyjnych (ryc. 1), które zostały ulokowane w następujących miejscach: Rzecin (od 11.07.2020) – torfowisko; Ogród Dendrologiczny UPP (od 4.12.2020) – miejska wyspa ciepła; Janików w Nadleśnictwie Oława (od 23.04.2021) – Dąbrowy Janikowskie; góra Zielonczyn w Nadleśnictwie Goleniów (od 30.04.2021) – drzewostan bukowy oraz Białowieski Park Narodowy (od 24.05.2021) – kępa 250-letnich dębów w ogrodzie saskim. Dodatkowe stanowisko obserwacyjne zostało dołączone do sieci dzięki dwóm kamerom udostępnionym przez Bieszczadzki Park Narodowy (od 21.05.2021). Obrazy zebrane w opisanych powyżej lokalizacjach są automatycznie transferowane na serwer Pracowni Bioklimatologii UPP.

Pozyskane w ten sposób zdjęcia, których opracowanie polega na określeniu obszaru zainteresowania (ang. region of interest, ROI), w obrębie którego dokonuje się analizy kolorów (czerwieni, zieleni i niebieskiego), tworzą zbiór danych pozwalający na sezonową analizę stanu oraz fazy rozwojowej roślin wchodzących w skład badanych ekosystemów. Należy dodać, że obrazowanie optyczne pozwala nie tylko na poznanie dynamiki zmian stanu roślinności w ciągu roku, albowiem dane te mogą zostać wykorzystane również do identyfikacji niektórych zjawisk meteorologicznych (np. występowania pokrywy śnieżnej) czy oceny zmiany pokrywy glebowej wywołanej zabiegami agrotechnicznymi, np. orką.

Długofalowe analizy obrazów zgromadzonych w różnych ekosystemach i regionach Polski umożliwią oszacowanie wpływu zmiany klimatu (np. susz) na funkcjonowanie ekosystemów. Warto też zauważyć, że większość stanowisk obserwacyjnych znajduje się w lasach, a w planach jest dalsza rozbudowa sieci o lokalizacje, które pozwolą na obserwację tych ekosystemów we wszystkich kraiach przyrodniczo-leśnych Polski.



Ryc. 1. Ogólnopolska sieć obserwacji fenologicznych (czarny kwadrat – stanowisko obserwacyjne)

Od owocników przez ektomykoryzy do metagenomiki – porównanie różnych metod w badaniach zbiorowisk grzybów w kontynentalnym borze mieszanym (*Quercus roboris*-*Pinetum*)

Maria Rudawska^{1*}, Małgorzata Stasińska², Tomasz Leski¹,
Marta Kujawska¹, Leszek Karliński¹, Robin Wilgan¹

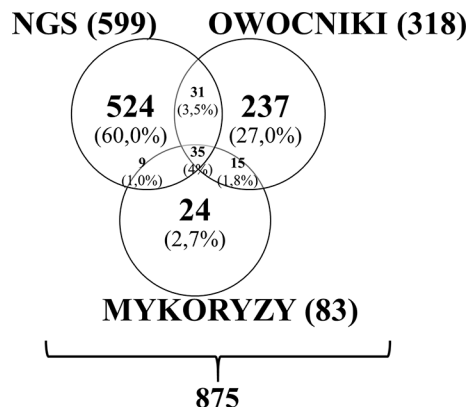
¹Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
*mariarud@man.poznan.pl

²Uniwersytet Szczeciński, ul. Felczaka 3c, 71-412 Szczecin

W ramach projektu NCN przeprowadzone zostały badania mające na celu poznanie stanu zróżnicowania zbiorowisk grzybów z różnych grup troficznych w drzewostanach reprezentujących kontynentalny bór mieszany (*Quercus roboris*-*Pinetum*)

na terenie Polski, na powierzchniach objętych gospodarką leśną oraz ochroną rezerwatową. Badania wykonywano na stanowiskach badawczych w pasie Polski Środkowej. Stanowiska te zlokalizowano na terenach rezerwatów „Bażantarnia” (Nadleśnictwo Przytok), „Olbina” (Nadleśnictwo Kalisz) i „Czaplowizna” (Nadleśnictwo Łochów), w których ochrona trwa od 40 do 60 lat, oraz w odpowiadających im jak najpełniej pod względem siedliskowym pobliskich drzewostanach użytkowanych gospodarczo. Na każdej z analizowanych powierzchni (rezerwat lub drzewostan gospodarczy) wyznaczone zostały cztery stałe poletka badawcze o powierzchni 400 m². W analizach zbiorowisk grzybów wykorzystano metodę badawczą polegającą na obserwacji i identyfikacji owocników, a w przypadku grzybów ektomykoryzowych (EM) także na identyfikacji z ektomykoryz na podstawie analizy sekwencji regionu ITS rDNA, zamplifikowanego na bazie DNA izolowanego z pojedynczych morfotypów mykoryzowych. Metody molekularne wykorzystano także przy oznaczaniu owocników w sytuacji, gdy identyfikacja metodami klasycznymi napotykała na trudności. Dodatkowym aspektem badań była analiza metagenomiczna zbiorowisk grzybów występujących w próbkach glebowych na poletkach z wykorzystaniem platformy MiSeq firmy Illumina. W celu określenia przynależności zidentyfikowanych OTU (Operacyjna Jednostka Taksonomiczna, ang. Operational Taxonomic Unit) do grupy troficznej grzybów (symbiotyczne, saprobiontyczne i patogeniczne) wykorzystano internetową platformę FunGuild.

Przy zastosowaniu wszystkich trzech metod zidentyfikowano łącznie 875 taksonów grzybów. Zgodnie z oczekiwaniami analiza metagenomiczna próbek glebowych wykazała najwyższe bogactwo gatunkowe grzybów z różnych grup troficznych i umożliwiła identyfikację 599 operacyjnych jednostek taksonomicznych. Trzyletnia, wielokrotna obserwacja i identyfikacja owocników pozwoliła na stwierdzenie na badanych poletkach 318 gatunków grzybów. Dodatkowo analiza wierzchołków ektomykoryzowych molekularną metodą sekwencjonowania Sangera wniosła do bogactwa gatunkowego kontynentalnego boru mieszanego kolejne 24 gatunki, nie stwierdzone dwoma poprzednimi metodami. Analiza owocników wykazała 253 gatunki grzybów nie stwierdzonych metodą metagenomiczną, a z kolei analiza metagenomiczna wniosła do puli grzybów 533 taksony (OTU) nieznacone jako owocniki. Na ogólną sumę 875 gatunków zidentyfikowanych w kontynentalnym borze mieszanym tylko 35 stwierdzono każdą z zastosowanych metod.



Ryc. 1. Bogactwo gatunkowe grzybów zidentyfikowanych za pomocą trzech różnych metod: analizy metagenomicznej próbek glebowych, zbioru owocników i molekularnej analizy mykoryz metodą Sangera

Metoda identyfikacji wpływała także na wyniki analizy taksonomicznej. Badania metagenomiczne w porównaniu z analizami owocników i ektomykoryz pozwoliły na znacznie szerszą charakterystykę różnorodności taksonomicznej grzybów zasiedlających środowisko glebowe. Wśród grzybów zidentyfikowanych w analizach metagenomicznych znalazły się gatunki reprezentujące aż 16 klas, podczas gdy w analizie owocnikowej dominowały grzyby należące do Basidiomycota. W trakcie trzyletnich obserwacji na badanych powierzchniach zidentyfikowano (w próbkach glebowych, w formie owocników i/lub mykoryz) aż 45 gatunków rzadkich i chronionych. W przypadku gatunków z czerwonej listy badania owocników pozwoliły na zidentyfikowanie większej liczby gatunków niż za pomocą analizy metagenomicznej (31 vs 18). Otrzymane wyniki pokazują, że w celu uzyskania pełnego obrazu zbiorowisk grzybów należy łączyć tradycyjne metody oparte na zbiorze owocników z metodami molekularnymi. Zastosowanie trzech różnych podejść metodycznych pozwala na dużo pełniejsze opisanie zbiorowisk grzybów w kontynentalnym borze mieszanym niż przy zastosowaniu tylko jednego z nich (ryc. 1).

Badania zostały wykonane w ramach projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki nr 2014/13/B/NZ9/01992) pt. „W poszukiwaniu centrów różnorodności gatunkowej grzybów ektomykoryzowych w ekosystemach leśnych: badania zbiorowisk grzybów ektomykoryzowych w borach mieszanych objętych ochroną rezerwatową i w drzewostanach gospodarczych”.

Ocena stanu zachowania i zmian wybranych zbiorowisk leśnych w Drawieńskim Parku Narodowym

*Sebastian Rymaszewicz, Dorota Wrońska-Pilarek**

*¹Katedra Botaniki i Siedliskoznawstwa Leśnego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań, *dorota.wronska-pilarek@up.poznan.pl*

Badania wykonano na terenie Drawieńskiego Parku Narodowego (DPN), który jest położony w północno-zachodniej Polsce, na Równinie Drawskiej, stanowiącej część Pojezierza Południowopomorskiego. Park Narodowy rozciąga się pomiędzy 15°45' a 16°45' E oraz między 53°00' a 53°15' N. Jego powierzchnia wynosi 11 535,65 ha.

Celem podjętych badań było określenie obecnego stanu oraz rozpoznanie zakresu i kierunków zmian, jakie zaszły w ciągu około 40 lat w dziesięciu zespołach leśnych Drawieńskiego Parku Narodowego, a także ustalenie ich przyczyn i konsekwencji przyrodniczych.

W pracy porównano i przeanalizowano 180 zdjęć fitosocjologicznych wykonanych przez Janinę i Mieczysława Jasnowskich w wybranych zbiorowiskach

leśnych DPN w latach 1973–1985 ze 180 współczesnymi zdjęciami. Jasnowscy opisali osiem zespołów roślinnych, które obecnie przekształciły się w 18 syntaksonów w randze zespołu (10) lub zbiorowiska leśnego (8) z sześciu związków, pięciu rzędów i pięciu klas. W opisanych fitocenozach zinwentaryzowano 433 gatunki roślin naczyniowych i mszaków, spośród których 2 są objęte ścisłą ochroną gatunkową, a 25 podlega ochronie częściowej. Wykazano też 2 gatunki umieszczone na krajowej czerwonej liście paprotników i roślin kwiatowych.

W porównaniu z danymi historycznymi najbardziej ekspansywny okazał się zespół *Stellario holosteeae-Carpinetum*. Na podstawie przeprowadzonych badań można prognozować, że w przyszłości na terenie DPN utrzymają się zespoły: *Leucobryo-Pinetum*, *Luzulo pilosae-Fagetum*, *Stellario holosteeae-Carpinetum*, *Galio odorati-Fagetum*, *Ribeso nigri-Alnetum* oraz *Fraxino-Alnetum*. Można się spodziewać dalszej recesji i zanikania *Galio sylvatici-Carpinetum*, na którego miejsce wkracza *Stellario holosteeae-Carpinetum*. Ustępuje także *Fago-Quercetum*. Najbardziej zagrożonym zespołem leśnym DPN jest *Sphagno squarrosi-Alnetum*.

Główne przyczyny przemian zbiorowisk na badanym terenie to: dawna gospodarka leśna, naturalna sukcesja zbiorowisk roślinnych, zmiany stosunków wodnych, twórcza i destrukcyjna działalność rzek, eutrofizacja siedlisk, wprowadzanie sosny i świerka do upraw na siedliskach żyznych lasów liściastych, wzrost dynamiki buka i graba czy wkraczanie inwazyjnych gatunków roślin.

Do najważniejszych skutków przemian badanej roślinności leśnej należą: zmiany w krajobrazie spowodowane przemianami szaty roślinnej, degradacja gleb (zakwaszenie, bielcowanie), naturalne fluktuacje roślinności, procesy degeneracyjno-regeneracyjne, ustępowanie lub brak gatunków charakterystycznych i wyróżniających dla niektórych zespołów roślinnych, zmiany w strukturze i składzie gatunkowym drzewostanów oraz zmiany jakościowe i ilościowe warstw runa i mszystej czy ekspansja neofitów – czeremchy późnej i niecierpka drobnokwiatowego, które wypierają rodzime gatunki roślin, co prowadzi do zubożenia leśnych fitocenoz Drawieńskiego Parku Narodowego.

Regulacja anatomicznych i hydraulicznych cech liści w zależności od położenia w koronie na przykładzie *Populus tremula* × *P. tremuloides*

Arne Sellin¹, Meeli Alber¹, Anna K. Jasińska^{2*}, Katrin Rosenvald¹

¹Institut Ekologii i Nauk o Ziemi, Uniwersytet w Tartu, Lai 40, 51005 Tartu, Estonia

²Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,

*ajanska@man.poznan.pl

Czynniki środowiskowe w warunkach naturalnych są zmienne zarówno w przestrzeni, jak i w czasie. Promieniowanie słoneczne to kluczowy czynnik rozwoju i wzrostu roślin. Fotosynteza, regulacja działania aparatów szparkowych, sto-

sunki wodne, morfogeneza, różnicowanie tkanek i kilka innych funkcji roślin jest kontrolowanych przez światło. Wpływ światła jest skomplikowaną kwestią i może oddziaływać na rozwój i wydajność roślin na różne sposoby: poprzez natężenie, jakość widma, fotoperiod i czas ekspozycji. W koronach drzew występują wyraźne pionowe gradienty naświetlenia: jego natężenie obniża się wykładniczo ze wzrostem gęstości korony, dlatego duże znaczenie ma plastyczność morfo-anatomiczna liści, która umożliwi dostosowanie roślin do zmiennego środowiska.

Informacje na temat zależności między cechami strukturalnymi i funkcjonalnymi liści są niespójne, a doświadczenia prowadzi się nad gatunkami, które różnią się wymaganiami ekologicznymi i strategią życiową. Niniejsze badania obejmowały przewodnictwo hydrauliczne liści, budowę anatomiczną i morfologię aparatów szparkowych w młodych drzewostanach mieszańca topoli *Populus tremula* × *P. tremuloides* w celu wyjaśnienia powiązania między cechami strukturalnymi i hydraulicznymi w obrębie korony.

Badania przeprowadzono w drzewostanie rosnącym na terenie obiektu doświadczalnego FAHM (Free Air Humidity Manipulation) położonego we wsi Rõka we wschodniej Estonii. Dowiedziono, że szerokość i zagęszczenie aparatów szparkowych wzrasta z wysokością w koronie, co prowadzi do stosunkowo równomiernego przestrzennego rozkładu potencjalnej zdolności wymiany gazowej w koronie. System hydrauliczny gałęzi został dostosowany tak, aby zmaksymalizować potencjalne zaopatrzenie w wodę w koronie drzew. Większość cech naczyń zarówno w ogonkach liściowych, jak i blaszkach wykazała silniejszy rozwój w kierunku wierzchołka drzewa, co powinno zwiększyć zaopatrzenie w wodę górnych liści, które są narażone na większe napromieniowanie i transpirację. Nie wielki wzrost całkowitej gęstości wiązek przewodzących wyrażonej na jednostkę powierzchni blaszki w górnej części korony nie mógł zrekompensować wzrostu grubości liścia, powodując zmniejszenie zagęszczenia wiązek przewodzących wyrażonego na jednostkę objętości blaszki liściowej i zwiększenie oporu szlaku postanacyniowego liścia.

Nie znaleziono solidnych dowodów na zależność między funkcją hydrauliczną liści a cechami aparatów szparkowych, co można przypisać anizohydrycznemu (hydrolabilnemu) charakterowi i szybkiemu wzrostowi tego mieszańca topoli.

Malakologiczne wskaźniki zmian zalesienia Podhala w epoce holocenu

Sylvia Skoczylas-Śniaz^{1,2*}, Witold P. Alexandrowicz¹

¹Katedra Geologii Ogólnej i Geoturystyki, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

²Instytut Botaniki im. Władysława Szafera Polskiej Akademii Nauk, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków, *s.skoczylas@botany.pl

W obrębie niewielkich form krasowych znajdują się osady zawierające szczątki fauny, zazwyczaj skorupki mięczaków i kości kręgowców. Skład i struktura tych subfosylnych zespołów umożliwia rekonstrukcję paleośrodowiska zarówno w skali regionalnej, jak i (co szczególnie interesujące) w skali lokalnej. Prezentowane badania objęły późnoglacialne i holoceneskie osady wypełniające małe formy krasowe rozwinięte w obrębie izolowanej skałki wapiennej.

Cisowa Skała położona jest we wschodniej części Niecki Podhalańskiej w Karpatach. Niecka Podhalańska przecięta jest przez strefę mezozoicznych wapieni przynależących do Pienińskiego Pasa Skałkowego. Cisowa Skała jest izolowanym, częściowo skalistym wzniesieniem o wysokości względnej wynoszącej 55 m. Jej północny stok porośnięty jest lasem iglastym z dużym udziałem *Picea abies*, natomiast stoki południowy, wschodni oraz zachodni są bezleśne i porośnięte przez formacje trawiaste, często kserofilne, oraz krzewy.

Analiza malakologiczna została przeprowadzona na podstawie 35 próbek pobranych z 10 profili. Rozpoznanych zostało 57 gatunków ślimaków lądowych, reprezentowanych przez 14 tys. osobników. Analiza statystyczna umożliwiła scharakteryzowanie podobieństw i różnic pomiędzy poszczególnymi zespołami mięczaków oraz wyróżnienie charakterystycznych typów fauny. Pozycję stratygraficzną osadów określono na podstawie cech zespołów faunistycznych i ich porównania z innymi profilami opisanymi z sąsiednich obszarów lub na podstawie wykonanych oznaczeń wieku metodą radiowęglową. Badane gatunki mięczaków przyporządkowano do dziewięciu grup ekologicznych. W trakcie analizy malakologicznej wydzielono pięć zespołów faunistycznych reprezentujących zróżnicowane typy siedlisk i nawiązujących do różnych faz klimatycznych późnego glacjału i holocenu. Badania umożliwiły z jednej strony scharakteryzowanie zmian środowiska Cisowej Skały w ciągu ostatnich 12 tys. lat, z drugiej – wskazanie specyfiki tego stanowiska.

Malakofauna rozpoznana w wypełnieniach małych form krasowych w Cisowej Skale umożliwiła rekonstrukcję zmian środowiska w czasie trwania holocenu. Były one generowane przez różne czynniki, w szczególności przez wahania klimatyczne. Tego typu zmiany mają charakter regionalny i zaznaczają się w obrębie większych regionów geograficznych. Te regionalne trendy środowiskowe były i są w różnym stopniu modyfikowane przez czynniki lokalne, często zaznaczające się jedynie na niewielkich obszarach. W efekcie prowadzi to do pojawienia się mikrosiedlisk cechujących się specyficznymi i swoistymi warunkami środowiska rzutowanymi zarówno na świat organiczny, jak i na przebieg procesów geologicznych.

Zespoły mięczaków reprezentujące późny glacjał oraz wczesny i środkowy holocen wskazują, że Cisowa Skała była w tym okresie porośnięta lasami, początkowo iglastymi, a w miarę postępującego ocieplania klimatu mieszanymi i liściastymi. Zmiany klimatyczne w późnym holocenie doprowadziły do silnego zróżnicowania warunków w obrębie samego wzniesienia. Na stosunkowo wilgotnych zboczach północnych utrzymały się zbiorowiska leśne. Na stokach o innej ekspozycji obserwowany jest zanik lasów i zastępowanie ich przez sucholubne formacje trawiasto-krzewiaste.

Ewolucja środowiska naturalnego Cisowej Skały przebiegała odmiennie niż na obszarach sąsiednich. Te różnice są najwyraźniejsze w późnym glacjał i późnym holocenie. W pierwszym z wymienionych okresów na obszarze Podhala dominowały formacje tundry lub stepotundry, natomiast Cisowa Skała była porośnięta lasem. Okres drugi to faza rozwoju lasów na terenie Niecki Podhalańskiej, a ich zaniku na Cisowej Skale. Za główną przyczynę tego zróżnicowania należy uznać specyfikę budowy geologicznej oraz rzeźby Cisowej Skały.

Wpływ gatunków fitomelioracyjnych i pionierskich na frakcje fosforu organicznego w glebach industrioziemnych

Katarzyna Sroka^{1*}, Marcin Chodak¹, Marcin Pietrzykowski²

¹Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, *sroka@agh.edu.pl

²Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Gatunki drzew stosowane w rekultywacji leśnej mogą w różny sposób wpływać na właściwości tworzących się gleb industrioziemnych. Szczególnie ważny może być ich wpływ na formy podstawowych pierwiastków odżywczych, takich jak fosfor, którego niską dostępność może być czynnikiem negatywnie oddziałującym na rozwój ekosystemów leśnych na terenach zreultywowanych. Celem niniejszych badań było porównanie wpływu gatunków fitomelioracyjnych: olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) i robinii akacjowej (*Robinia pseudoacacia* L.) oraz pionierskich: sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) na frakcje fosforu organicznego w wierzchnich warstwach (0–5 cm) gleb industrioziemnych powstających ze zróżnicowanych substratów (ubogie w składniki odżywcze piaski czwartorzędowe, popioły ze spalania węgla brunatnego, kwaśne i zasadowe ropy miocenijskie). Frakcjonowanie fosforu wykonano zmodyfikowaną metodą Bowmana i Cole'a, wydzielając następujące frakcje: fosfor labilny całkowity (P_{LabT}), organiczny (P_{LabO}) i nieorganiczny (P_{LabN}), fosfor średnio labilny całkowity (P_{ModT}), organiczny (P_{ModO}) i nieorganiczny (P_{ModN}), cał-

kowity fosfor humusowy (P_{HumT}), fosfor kwasów huminowych (P_{Humic}), kwasów fulwowych (P_{Fulvic}) i rezydualny fosfor humusowy (P_{HumNLab}).

Statystycznie istotny ($p < 0,05$) wpływ gatunku stwierdzono dla P_{HumT} , P_{Humic} , P_{Fulvic} i P_{HumNLab} , których zawartość była istotnie niższa w glebach pod sosną w porównaniu z pozostałymi badanymi gatunkami drzew. Dla frakcji labilnych wpływ drzewa był istotny statystycznie dopiero po wprowadzeniu pH utworów jako współzmiennej, przy czym podobnie jak dla frakcji P humusowego istotnie niższe zawartości P_{LabT} i P_{LabO} stwierdzono pod sosną. W przypadku średnio labilnych frakcji fosforu nie odnotowano wpływu gatunku drzewa, a jedynie substratu glebowego. Badania wykazały, że pomiędzy gatunkami istnieją istotne różnice w zawartości frakcji glebowego fosforu organicznego o różnej labilności, przy czym występują one nie tyle pomiędzy gatunkami fitomelioracyjnymi i pionierskimi, ile raczej pomiędzy gatunkami liściastymi a jedynym uwzględnionym w badaniach gatunkiem iglastym, tj. sosną zwyczajną. Związki próchniczne akumulujące się w glebach industrioziemnych pod drzewostanami sosnowymi charakteryzują się istotnie niższą zawartością fosforu w porównaniu z glebami pod drzewostanami olszowymi, robinowymi czy brzozowymi, co może mieć wpływ na zaopatrzenie roślin w ten pierwiastek w późniejszych etapach rozwoju ekosystemów leśnych.

Praca sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach projektu badawczego nr 2018/31/B/ST10/01626.

Wpływ inwazyjnego *Quercus rubra* i rodzimego *Q. robur* na właściwości chemiczne i mikrobiologiczne gleby – eksperyment donicowy

Małgorzata Stanek*, Paweł Kapusta, Anna M. Stefanowicz

Institut Botaniki im. Władysława Szafera Polskiej Akademii Nauk, ul. Lubicz 46, 31-512
Kraków, *m.stanek@botany.pl

Gatunki roślin różnią się wieloma cechami, między innymi ilością i rodzajem substancji chemicznych dostarczanych do gleby w postaci ściółki i wydzielin korzeniowych, przez co odmiennie wpływają na środowisko glebowe. Celem badań było porównanie wpływu inwazyjnego dębu czerwonego (*Quercus rubra*) i rodzimego dębu szypułkowego (*Q. robur*) na właściwości chemiczne i mikrobiologiczne gleby na drodze eksperymentu donicowego. Eksperyment prowadzono osobno dla obu gatunków w czterech zabiegach (ryc. 1): (i) donice z młodym drzewkiem, (ii) donice z dodatkiem świeżo opadłych liści, (iii) donice z młodym drzewkiem i dodatkiem liści, (iv) donice zawierające jedynie glebę, tj. bez drzewka i bez liści (kontrola).

Eksperyment założono jesienią 2017 r. na terenie ogrodu Stacji Badawczej Instytutu Botaniki PAN w Szarowie. W eksperymencie wykorzystano glebę

pochodzącą z Puszczy Niepołomickiej spod roślinności rodzimej (las liściasty z dominującym udziałem buka *Fagus sylvatica*). Liście *Q. rubra* i *Q. robur* zebrano w Puszczy Niepołomickiej z dziesięciu poletek badawczych o powierzchni 100 m² (po pięć poletek dla każdego gatunku) za pomocą łapaczy o średnicy 0,45 m. Łapacze opróżniano regularnie, co 2–3 dni, mniej więcej przez osiem tygodni. Przed umieszczeniem w donicach liście pocięto na mniejsze fragmenty (ok. 1 cm²) i analizowano pod kątem zawartości pierwiastków i związków fenolowych. Liście rozłożono równomiernie na powierzchni gleby w ilościach ustalonych dla *Q. rubra* i *Q. robur* na podstawie dostępnych danych literaturowych. W eksperymencie użyto jednorocznych sadzonek *Q. rubra* i *Q. robur*, które zakupiono w Szkółce Drzew Leśnych w Buczkowie. Eksperyment prowadzono przez dwa lata. W drugim roku (jesienią) dodano do odpowiednich donic uzupełniającą porcję liści. Właściwości chemiczne i mikrobiologiczne gleby oznaczono przed rozpoczęciem eksperymentu (gleba inicjalna, jesień 2017) i po jego zakończeniu (jesień 2019).

Liście *Q. rubra* w porównaniu z *Q. robur* charakteryzowały się istotnie ($p < 0,05$) niższą zawartością K, N, P, zawartością całkowitą fenoli i skondensowanych tanin oraz wyższą zawartością (+)-katechiny, a także wyższym stosunkiem C/N i C/P. Gleby inicjalne odznaczały się wyższymi wartościami większości parametrów chemicznych i mikrobiologicznych w porównaniu z glebami kontrolnymi, tj. analizowanymi po zakończeniu eksperymentu. Stwierdzono istotny wpływ obu gatunków na właściwości gleby (gleby kontrolne cechowały się niższymi wartościami większości parametrów chemicznych i mikrobiologicznych w porównaniu



Ryc. 1. Zabiegi (a, d – młode drzewka; b, e – dodatek liści; c, f – młode drzewka i dodatek liści) wykonane dla *Q. rubra* (a, b, c) i *Q. robur* (d, e, f) w eksperymencie donicowym

z glebami będącymi pod wpływem drzewek i/lub liści), jednak w przypadku *Q. rubra* wpływ ten był większy. Gleba pod *Q. rubra* charakteryzowała się niższą zawartością C organicznego, całkowitego K i Mg, dostępnego K, N-NH₄ i P-PO₄ oraz rutyny, a także wyższą zawartością całkowitą fenoli, kwasu ferulowego i kwercetyny niż gleba pod *Q. robur*. Ponadto w glebie pod *Q. rubra* stwierdzono istotnie wyższą biomasę mikroorganizmów, w tym bakterii (bakterie G+), oraz niższe tempo respiracji w porównaniu z glebą spod *Q. robur*. Oba gatunki w podobny sposób wpływały na strukturę zespołu mikroorganizmów glebowych (powodowały wzrost stosunku grzyby:bakterie). Poszczególne zabiegi silnie różniły się wpływem na właściwości gleby. Najsilniejszy efekt obserwowano w przypadku zabiegu skumulowanego, czyli donic z drzewkiem i liśćmi, natomiast najmniejszy w przypadku donic z liśćmi.

Badania wykazały, że inwazyjny *Q. rubra* dostarcza do gleby znaczne ilości związków fenolowych (między innymi mirycetyny – substancji o działaniu stymulującym, ale też toksycznym dla części mikroorganizmów), które mogą modyfikować jej właściwości chemiczne lub mikrobiologiczne. Zgodnie z oczekiwaniami największe zmiany właściwości gleby zaobserwowano w przypadku zabiegu skumulowanego, natomiast zaskakującym rezultatem był niewielki efekt dodatku liści. Wyniki sugerują, że wydzieliny korzeniowe *Q. rubra* mają większy wpływ na glebę niż ściółka, przynajmniej na początkowym etapie inwazji.

Badania sfinansowano ze środków NCN w ramach projektu nr 2016/23/N/NZ8/02778.

Wpływ silnych cięć korony lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.) na wzrost, wydajność fotosyntetyczną i bezpieczeństwo w ruchu drogowym

*Marzena Suchocka*¹, *Tatiana Swoczyna*^{2*}, *Joanna Kosno-Jończy*¹,
*Hazem M. Kalaji*³

¹Katedra Architektury Krajobrazu, Instytut Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

²Katedra Ochrony Środowiska i Dendrologii, Instytut Nauk Ogrodniczych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa,
^{*}tatiana_swoczyna@sggw.edu.pl

³Katedra Fizjologii Roślin, Instytut Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Cięcia koron stosuje się często w celu redukcji konfliktów z infrastrukturą, budynkami i innymi formami związanymi z aktywnością człowieka. Duży zakres takich cięć może spowodować zmniejszenie zdolności drzewa do odpowiedniego zaopatrzenia całego organizmu w węglowodany. Zbyt duże rany po usunięciu

zdrowych konarów zwiększając podatność na infekcje grzybowe, które z biegiem czasu obniżą żywotność i stabilność drzewa.

W pracy przeanalizowano wpływ silnego cięcia koron przeprowadzonego na dziesięciu drzewach przydrożnych w krajobrazie Podlasia. Zabieg ten dotyczył dojrzałych, dotąd nieprzycinanych osobników lipy drobnolistnej (*Tilia cordata*), u których usunięto nawet do 50–60% korony. Przycięte drzewa porównywane były z dziesięcioma nieuszkodzonymi osobnikami tego samego gatunku i w tym samym wieku rosnącymi równolegle po drugiej stronie szosy. W badaniu porównywano przyrost drzew i zakres odbudowy koron w trakcie 4-letniego okresu po wykonaniu cięć. Analizowano wydajność fotosyntetyczną liści z całej korony mierzoną metodą fluorescencji chlorofilu *a* na podstawie maksymalnej wydajności kwantowej (F_v/F_m), wskaźnika witalności (ang. Performance Index, PI_{ABS}) oraz innych parametrów. Oceniono przebieg jesiennych faz fenologicznych, a także żywotność drzew na podstawie skali Roloffa i ryzyko upadku według metody VTA (ang. Visual Tree Assessment) po upływie tego okresu.

Liście drzew silnie przyciętych, wytworzone w koronie w kolejnym sezonie wegetacyjnym, charakteryzowały się zwiększonymi rozmiarami, cieńszymi blaszkami, łatwo uszkodzonymi przez wiatr, później również wchodziły w jesienną fazę przebarwiania, a potem zrzucania liści. Pod koniec października połowa drzew przyciętych charakteryzowała się wciąż zdrowym ulistnieniem bez oznak jesiennego przebarwiania. W tymże sezonie drzewa z silnie przyciętymi koronami wykazywały zwiększoną wydajność fotosyntetyczną liści, odzwierciedloną przez korzystniejsze parametry fluorescencji chlorofilu *a*. Zwiększona wydajność fotosyntetyczna u drzew silnie przyciętych utrzymywała się, zwłaszcza pod koniec okresu wegetacyjnego, wskazując na wyraźnie wydłużoną żywotność samych liści.

Jednocześnie w ciągu czterech lat zmniejszyły się średnie przyrosty pnia u drzew silnie przyciętych. Mimo wyraźnej tendencji do odbudowy korony, część osobników nie odzyskała właściwych jej rozmiarów. Zauważono również duże zróżnicowanie w tempie odbudowy korony pomiędzy poszczególnymi osobnikami. U czterech drzew ciętych stwierdzono obecność owocników grzybów pasożytniczych, u kolejnych odnotowano nekrozy. U dziewięciu ciętych osobników na dziesięć stwierdzono obniżenie lub znaczne obniżenie klasy żywotności według skali Roloffa, u wszystkich dziesięciu zwiększenie klasy ryzyka z B do C, CD lub D według metody VTA. Wśród drzew kontrolnych tylko jedno na dziesięć wykazywało podobne zmiany.

Zebrane wyniki wskazują, że silne cięcie koron drzew powoduje zwiększenie potencjału fotosyntetycznego liści wytworzonych w kolejnym sezonie, a także wydłużenie okresu żywotności liści do późnej jesieni. Mimo jednak zwiększonego wysiłku odbudowy korony, dojrzałe drzewa po silnym przycięciu doświadczają obniżenia żywotności i w znacznym stopniu narażone są na ryzyko zamierania korony. Osłabione osobniki stwarzają zwiększone ryzyko upadku, co pogarsza warunki bezpieczeństwa ruchu w przypadku drzew rosnących wzdłuż dróg.

Przewycięzanie spoczynku nasion wybranych gatunków drzewiastych w ujemnej temperaturze

Jan Suszka

Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
jsuszka@man.poznan.pl

Nasiona jarzębu pospolitego (*Sorbus aucuparia* L.), jarzębu brekinii (*S. torminalis* (L.) Crantz) i śliwy tarniny (*Prunus spinosa* L.) charakteryzują się głębokim spoczynkiem możliwym do przewycięzania podczas wielotygodniowej stratyfikacji ciepło-chłodnej lub tylko chłodnej. Poddane takiemu traktowaniu nasiona sukcesywnie kiełkują, ale w przypadku ciągłego oddziaływania temperatury powyżej 15°C część przechodzi w spoczynek wtórny.

Dotychczas uważano, że przewycięzanie spoczynku następuje jedynie w temperaturze dodatniej, jednak przeprowadzone przez nas badania wykazały, że proces ustępowania spoczynku może przebiegać także w temperaturze ujemnej w zakresie między -1° a -3°C. Warunkiem przełamania spoczynku jest odpowiedni dobór wilgotności nasion, czasu trwania oddziaływania temperatury oraz rozpoczęcie stratyfikacji w temperaturze dodatniej.

Podczas zamrożenia nasion jarzębu kontynuowany jest proces ustępowania spoczynku tym efektywniej, im dłużej przed zamrożeniem nasiona stratyfikowano w 3°C. Po okresie zamrożenia proces kiełkowania w 20°C przebiega niezwykle intensywnie (w ciągu kilkunastu godzin). W pełni dowilżone nasiona jarzębu pospolitego można zamrozić w -3°C bez utraty ich żywotności na okres nawet 35 tygodni, w czasie tym nasiona nie kiełkują.

Proces ustępowania spoczynku nasion brekinii przebiega najwydajniej w 3°C, gdy ich dowilżanie następuje przez okresowe moczenie w wodzie. Zamrożenie jeszcze niekiełkujących nasion podczas stratyfikacji hamuje proces kiełkowania. Po ośmiu tygodniach zamrożenia liczba kiełkujących nasion brekinii zwiększa się nieznacznie, wzrasta natomiast tempo kiełkowania zarówno w 3°C, jak i 20°C. Przedłużenie zamrożenia do 20 tygodni prowadzi do obniżenia żywotności nasion.

Dowilżone, zamrożone w -3°C, pozbawione spoczynku nasiona tarniny nie kiełkują. Po okresie zamrożenia zwiększa się tempo kiełkowania i liczba nasion kiełkujących w 20°C. Najwięcej nasion kiełkowało, gdy okres zamrożenia wydłużono do 20 tygodni.

Digitalizacja kolekcji Zielnika Instytutu Dendrologii PAN

Dominik Tomaszewski

*Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
dominito@man.poznan.pl*

Do najważniejszych wyzwań stojących współcześnie przed naukowymi zbiorami biologicznymi należy ich digitalizacja. Dokumentowanie w postaci cyfrowej zasobów gromadzonych od dziesięcioleci oraz ich udostępnianie online szerokiemu gronu odbiorców, zarówno specjalistów, jak i niespecjalistów, to część działalności kolekcji naukowych, która naturalnie wpisuje się w obecne czasy, kiedy komputery przez swą powszechność przestały już być narzędziami zastrzeżonymi do zastosowań specjalnych. Cyfrowa forma zapisu informacji o okazie w niektórych zastosowaniach jest niewystarczająca, jednak dokumentowanie w takiej formie oznacza nie tylko lepszą ochronę zbiorów i ich zabezpieczenie, ale przede wszystkim umożliwia dotarcie do nich w szybki i tani sposób bez konieczności fizycznego kontaktu. Poza tym daje możliwość sprawnego włączania danych o okazach do analiz z zakresu ekologii, bioróżnorodności, systematyki, ochrony środowiska czy historii odkryć naukowych.

Dostosowanie procesu i narzędzi digitalizacji do typu posiadanych zbiorów oraz stosowanie standardów to klucz do powodzenia tej akcji. Dzięki ujednoliconym rozwiązaniom możliwe jest łączenie danych w większe zbiory, co podnosi znacząco ich wartość. Obecnie znamy doświadczenia wielu ośrodków naukowych na świecie w tej materii, dzięki czemu wiadomo, jak się one sprawdzają.

Instytut Dendrologii PAN dysponuje cennymi zbiorami naukowymi, wśród których szczególnie ważne miejsce zajmuje kolekcja herbarium, licząca około 55 tys. okazów zielnikowych. W roku 2018 rozpoczęła się digitalizacja tych zbiorów. Przy stosunkowo niskich nakładach finansowych stworzyliśmy system, dzięki któremu uzyskujemy wysokiej jakości materiał graficzny (zdjęcia). Gromadzony jest on na miejscu, a finalnie udostępniany także odbiorcom w Internecie. Materiałom graficznym towarzyszą metadane o strukturze opartej na systemie Darwin Core. Dzięki nim możliwe jest sprawne przeszukiwanie bazy danych o okazach uwzględniające między innymi ich przynależność systematyczną czy miejsce i czas zbioru.

System digitalizacji zbiorów w ID PAN to przede wszystkim stanowiska fotograficzne z aparatami cyfrowymi, komorami bezcieniowymi z oświetleniem wewnętrznym (LED), które połączone są z komputerami, wykorzystywanymi do masowej obróbki zdjęć oraz do gromadzenia danych o okazach (metadane) w relacyjnych bazach danych. System ten wykorzystuje kody paskowe, które pozwalają na łączenie metadanych i zdjęć, jednocześnie zmniejszając błędy redaktorów w tym względzie niemal do zera. Bazy danych umożliwiają dostęp do informacji o zbiorach herbarium na miejscu, ale dają podstawę do przygotowania danych do eksportu masowego do zewnętrznej bazy danych i ich upublicznienia.

Do tej pory zdigitalizowaliśmy blisko połowę zbiorów, z czego zdecydowana większość jest dostępna w ramach informatycznej platformy Repozytorium Cyfrowego Instytutów Naukowych (rcin.org.pl) na zasadach otwartego dostępu (BY-NC-SA 4.0). Wśród najcenniejszych i najliczniejszych kolekcji znajduje się rodzaj *Rubus* (blisko 8 tys. okazów). Trwają także końcowe prace nad udostępnieniem kompletu danych o przedstawicielach rodzaju *Rosa*. Bogata reprezentacja okazów roślin z tych dwóch rodzajów z rodziny Rosaceae to cecha wyróżniająca Zielnik Instytutu Dendrologii PAN wśród botanicznych kolekcji naukowych, również w wymiarze międzynarodowym.

Przedstawiamy rozwiązania i doświadczenia z digitalizacji zbiorów w Instytucie Dendrologii PAN, jakie prowadzimy w ramach projektu „Otwarte Zasoby w Repozytorium Cyfrowym Instytutów Naukowych” (dofinansowanie: Program Operacyjny Polska Cyfrowa, lata 2014–2020, działanie 2.3: Cyfrowa dostępność i użyteczność sektora publicznego; Europejski Fundusz Regionalny oraz współfinansowanie krajowe z budżetu państwa).

Betonowe zbiorniki retencyjne jako siedlisko fauny glebowej na rekultywowanych obszarach pokopalnianych

Cezary K. Urbanowski^{1*}, Paweł Horodecki², Marcin K. Dyderski²,
Jacek Kamczyc¹, Andrzej M. Jagodziński^{1,2}

¹Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii DREWNA,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań,
*cezary.urbanowski@up.poznan.pl

²Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

Obszary przemysłowe, w tym rekultywowane obszary pokopalniane, charakteryzują się często mniejszą różnorodnością biologiczną i uboższymi warunkami środowiskowymi w porównaniu z otaczającymi je obszarami niepoddanymi znacznej antropresji. Z tego względu na rekultywowanych obszarach pokopalnianych dużym wyzwaniem jest nie tylko rewitalizacja danego terenu, ale również odpowiednie stymulowanie i ukierunkowanie wielu procesów naturalnych, w tym sukcesji organizmów glebowych, tak istotnych tam, gdzie kluczową rolę odgrywa proces odtwarzania gleby, jej złożoności i funkcji. W ramach wspierania procesu odtwarzania różnorodności biologicznej na obszarach rewitalizowanych, na przykład na zwałowiskach i hałdach pokopalnianych, właściwe wydaje się wykorzystanie również lokalnej infrastruktury technicznej, często mogącej stanowić miejsce bytowania organizmów żywych, a tym samym nieoczywisty rezerwuar różnorodności biologicznej.

Celem naszych badań było sprawdzenie, czy sztuczne zbiorniki retencyjne powstałe na rekultywowanych obszarach pokopalnianych mogą stanowić swoisty

rezerwuar różnorodności biologicznej poprzez stwarzanie dogodnych warunków mikrosiedliskowych dla wybranych grup fauny glebowej.

Zbioru prób dokonano w październiku 2018 r. na losowo wybranych powierzchniach badawczych założonych w zbiornikach retencyjnych (betonowe niecki) na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego w Bełchatowie (góra Kamieński; 51°12'47" N, 19°25'40" E). Badaniami objęto 15 zbiorników retencyjnych (pozbawionych wody), z których pobrano łącznie 225 prób gleby [15 zbiorników × 5 miejsc poboru w każdym zbiorniku (cztery ściany oraz dno zbiornika) × 3 próbki z każdego miejsca poboru w zbiorniku]. Próby pobierano losowo z użyciem próbnika o powierzchni przekroju 200 cm², do styku z warstwą betonu lub do głębokości 7 cm, jeżeli warstwa organiczno-mineralna gleby była głębsza. Po pobraniu próbki zostały zabezpieczone i przetransportowane do laboratorium. W celu wyizolowania fauny glebowej z prób użyto aparatu Berlesego-Tullgrena (rozmiar oczek w sitkach – 2 mm), za pomocą którego fauna glebowa została umieszczona w plastikowych pojemnikach z 75-procentowym alkoholem etylowym. Po ekstrakcji z gleby skoczogonki (Collembola) oraz roztocze (Mesostigmata, Oribatida) zostały wyizolowane za pomocą stereomikroskopu i umieszczone w 85-procentowym kwasie mlekowym. Następnie osobniki roztoczy Mesostigmata zaklasyfikowano do rodzaju oraz gatunku, a także określono ich stadia rozwojowe. Ponadto zliczono wszystkie osobniki mechowców oraz skoczogonków w próbach jako dominujących grup fauny glebowej.

Łącznie wykazaliśmy 565 roztoczy Mesostigmata, 2448 skoczogonków i 9026 mechowców. Mesostigmata zaklasyfikowano do 37 taksonów – 32 gatunków i 5 rodzajów, przy czym najliczniejszymi taksonami były: *Amblyseius* sp. (98 osobników), *Cheiroseius mutilus* (67) oraz *Ch. borealis* (63). Wykazaliśmy, że bogactwo gatunkowe Mesostigmata różni się istotnie między dnem ($2,4 \pm 0,4$ gatunku/próbę) a ścianami ($0,5 \pm 0,1$) zbiorników. Ponadto średnia liczebność Mesostigmata była statystycznie istotnie wyższa na dnie zbiorników ($407,8 \pm 69,8$ osobnika/próbę) względem ścian ($55,0 \pm 12,0$). Co więcej, wykazaliśmy także ponad siedmiokrotnie większą średnią liczebność zgrupowań skoczogonków na dnie zbiorników ($1752,2 \pm 451,1$ osobnika/próbę) w porównaniu z ich ścianami ($241,9 \pm 52,6$). Nie zaobserwowaliśmy natomiast statystycznie istotnych różnic w średniej liczebności mechowców pomiędzy dnem a ścianami zbiorników; ich zgrupowania były jednak prawie dwukrotnie liczniejsze na ścianach ($2158,3 \pm 210,1$ osobnika/próbę) niż na dnie zbiorników ($1395,6 \pm 239,7$).

Nasze wyniki wskazują na znaczne zróżnicowanie zarówno bogactwa gatunkowego, jak i liczebności badanych zgrupowań fauny glebowej w betonowych zbiornikach zlokalizowanych na obszarze zwałowiska. Co więcej, na ich podstawie można wnioskować, że nawet tak ubogie mikrośrodowisko jak betonowa powierzchnia słabo porośnięta roślinnością zielną i mszystą może być licznie zasiedlone przez roztocze i skoczogonki. Porównując zaś nasze wyniki z wynikami wcześniej prowadzonych badań w drzewostanach porastających zwałowisko, można wyciągnąć również wniosek, że infrastruktura techniczna na obszarach postindustrialnych może stanowić cenne potencjalne miejsce do zasiedlenia przez

organizmy żywe, w tym faunę glebową, stanowiąc swoisty rezerwuar wspierający różnorodność biologiczną obszarów rewitalizowanych.

Badania wykonano w ramach dofinansowania badań naukowych służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich w roku 2018 na Wydziale Leśnym Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Sukcesja roztoczy (Acari, Mesostigmata) na rozkładających się liściach drzew w drzewostanach mieszanych rosnących na rekultywowanym zwałowisku pokopalnianym

Cezary K. Urbanowski^{1*}, Paweł Horodecki², Jacek Kamczyk¹,
Maciej Skorupski¹, Andrzej M. Jagodziński^{1,2}

¹Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii DREWNA,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań,
*cezary.urbanowski@up.poznan.pl

²Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

Zróznicowanie grup troficznych fauny glebowej, również tej stanowiącej końcowe ogniwo łańcuchów troficznych, ma niebagatelne znaczenie dla funkcjonowania wielu innych organizmów glebowych, a w konsekwencji także dla procesów zachodzących w glebie. Do takich procesów zaliczyć można rozkład martwej materii organicznej (dekompozycję), na który wpływ wywiera wiele czynników, w tym oddziaływanie organizmów zasiedlających środowisko glebowe. Dostępność pokarmu, obok warunków siedliskowych, istotnie kształtuje zgrupowania fauny glebowej. W silnie przekształconych siedliskach, takich jak obszary pokopalniane, udział różnych grup troficznych może mieć wartość diagnostyczną umożliwiającą ocenę stopnia odtworzenia zdegradowanego środowiska glebowego.

Naszym celem było rozpoznanie zróżnicowania bogactwa gatunkowego roztoczy glebowych z rzędu Mesostigmata, z uwzględnieniem ich przynależności do grup troficznych, zasiedlających rozkładające się liście (ściółkę) 14 gatunków drzew (*Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Pinus sylvestris*, *Populus nigra* 'Italica', *P. tremula*, *P. ×canadensis*, *Prunus serotina*, *Quercus robur*, *Q. rubra*, *Robinia pseudoacacia* oraz *Ulmus laevis*) w drzewostanach mieszanych porastających zrehabilitowany obszar pogórnicy.

Doświadczenie z woreczkami ściółkowymi (1389 prób; jednorodna gatunkowo ściółka w woreczku) przeprowadzono na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego w Bełchatowie. Założono je na trzech poletkach badawczych charakteryzujących się zbliżonymi warunkami glebowymi oraz składem gatunkowym drzewostanu. Po wyłożeniu woreczków sukcesywnie je zbierano (łącznie dziesięć zbiorów przez blisko pięć lat, tj. po 3, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 42 oraz 58

miesiącach od wyłożenia woreczków ściółkowych na poletkach) w celu określenia suchej masy ściółki (a następnie tempa ubytku masy wyjściowej) oraz stopnia jej zasiedlenia przez roztocze Mesostigmata (liczebność osobników przeliczono na 100 g suchej masy ściółki). Dla określenia przynależności badanych roztoczy do wybranych grup troficznych przyjęto podział zaproponowany przez Buryña i Brandla (1992) w modyfikacji Seniczaka i in. (2018), tj. podział na cztery typy preferencji żywieniowych: (I) Mesostigmata żywiące się nicieniami (Nematoda), wazonkowcami (Enchytraeidae), jajami stawonogów (Arthropoda), a także larwami owadów (Insecta); (II) Mesostigmata żywiące się mikrostawonogami, zwłaszcza skoczogonkami (Collembola) i roztoczami (Acari) o mniej zesklepionym powłoce ciała; (III) polifagiczne Mesostigmata żywiące się roztoczami zaliczonymi do kategorii I i II oraz (IV) wszystkożerne Mesostigmata, które żywią się grzybnia, bakteriami, materiałem zwierzęcym oraz roślinnym.

Ogółem wykazaliśmy obecność 19 296 roztoczy, które oznaczono jako 52 taksony (48 gatunków oraz cztery rodzaje). Stwierdziliśmy, że średnie liczebności roztoczy z I i IV grupy troficznej różnią się statystycznie istotnie w ramach poszczególnych gatunków drzew i ich ściółki. Nie wykazaliśmy natomiast istotnych różnic w ramach III grupy troficznej między analizowanymi typami ściółki. Spośród 14 badanych gatunków drzew najwyższą średnią liczebność roztoczy z IV grupy troficznej wykazano w ściole *Prunus serotina* ($558,8 \pm 276,8$ osobnika/100 g ściółki), najniższą zaś – *Fagus sylvatica* ($80,6 \pm 17,1$), podczas gdy w odniesieniu do I grupy troficznej najwyższą w ściole *Populus tremula* ($245,7 \pm 105,0$), a najniższą w przypadku *Robinia pseudoacacia* ($12,1 \pm 2,7$). W III grupie troficznej odpowiednio najwyższą i najniższą średnią liczebność roztoczy wykryto w ściole *Ulmus laevis* ($402,4 \pm 144,4$ osobnika) i *Quercus robur* ($101,8 \pm 24,2$). Ponadto wykazaliśmy zmiany liczebności i udziału poszczególnych grup troficznych roztoczy wraz z upływem czasu i postępującym rozkładem ściółki. Co więcej, odnaleźliśmy również istotne różnice średniej liczebności roztoczy w ramach grup troficznych między terminami zbiorów. W ramach wszystkich grup troficznych najniższą liczebność roztoczy wykazano w pierwszym zbiorze, trzy miesiące od rozpoczęcia eksperymentu (grupa troficzna IV – $3,9 \pm 1,1$ osobników/100 g ściółki; I – $6,8 \pm 1,3$; III – $23,4 \pm 3,0$). Najwyższą średnią liczebność roztoczy wykazano natomiast w ramach grupy troficznej III w ostatnim zbiorze, dokonanym po blisko pięciu latach od rozpoczęcia eksperymentu ($439,4 \pm 90,3$ osobnika/100 g ściółki).

Wyniki badań potwierdziły nasze przypuszczenie, że drzewostany mieszane rosnące na zwałowisku stwarzają dogodne warunki dla gatunków silnie zróżnicowanych pod kątem sposobu pobierania pokarmu. Co więcej, postępujące zmiany w liczebności roztoczy przynależących do konkretnych grup troficznych mogą wskazywać nie tylko na ścisły związek Mesostigmata ze środowiskiem, które zasiedlają, ale również na zmieniające się w czasie relacje troficzne mogące wynikać bezpośrednio z sukcesji organizmów stanowiących ich potencjalny pokarm. Nasze wyniki mogą też świadczyć o kształtowaniu się z czasem stabilnych warunków w wierzchniej warstwie gleby na obszarach silnie przekształconych działalnością człowieka oraz przyczynić się do lepszego wykorzystania roztoczy Mesostigmata

jako bioindykatorów, które wiernie oddają stan takich terenów i procesów zachodzących na takich siedliskach.

Badania wykonano w ramach projektu pt. „Środowiskowo-genetyczne uwarunkowania produktywności ekosystemów leśnych na gruntach leśnych i przemysłowych” finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w Warszawie (2011–2015).

Relacje genetyczne pomiędzy populacjami i procesy selekcji w zasięgu sosny zwyczajnej

Witold Wachowiak*, Julia Zaborowska, Bartosz Łabiszak

*Institut Biologii Środowiska, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań, *witwac@amu.edu.pl*

W swoim zasięgu występowania sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) tworzy szereg lokalnych ekotypów, których wzajemne relacje filogeograficzne oraz genetyczne podstawy różnicowania pozostają słabo poznane. Prezentowane badania dotyczą analiz polimorfizmu nukleotydowego w genach jądrowych (*nDNA*) i regionach mitochondrialnych (*mtDNA*) w aspekcie dywergencji, selekcji i admiksji w populacjach tego gatunku w Europie. Polimorfizm *nDNA* wskazuje na relatywnie jednorodny wzorce zmienności w populacjach z Hiszpanii, Europy Środkowej, północnej Skandynawii i Szkocji oraz słabe sygnały ich izolacji na odległość. Podobnie markery *mtDNA* nie wskazują na istnienie silnej struktury populacji, lecz na admiksję prób reprezentujących potencjalnie różne linie mitochondrialne obecne jednocześnie w różnych częściach zasięgu tego gatunku. Uzyskane dane wskazują na wielokrotne, przebiegające w różnym czasie fale migracji z różnych regionów refugialnych, o czym świadczy brak formalnej struktury populacji w dużej skali zasięgu występowania gatunku, relatywnie niska zmienność genetyczna na południu Europy i wysoka zmienność w regionach Europy Centralnej. Wyniki są zgodne z modelem wskazującym na istnienie populacji poza basenem Morza Śródziemnego w okresie ostatniego zlodowacenia oraz krzyżowanie się dróg migracji gatunku w pewnych częściach jego współczesnego zasięgu. W badaniach wykryto kilka genów, których zmienność nukleotydowa odbiega od modelu ewolucji neutralnej w populacjach zróżnicowanych pod względem fenotypowym i środowiskowym. Prezentowane badania dostarczają nowych zasobów genomowych do analiz różnorodności genetycznej w populacjach sosny zwyczajnej.

Badania finansowane były z projektu Narodowego Centrum Nauki (UMO-2017/27/B/NZ9/00159).

Olsza szara (*Alnus incana*) w Bieszczadach – zasoby i oddziaływanie

Tomasz Wanic¹, Robert Zygmunt²

¹Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, *rlwanic@cyf-kr.edu.pl

²Katedra Zarządzania Zasobami Leśnymi, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków

Drzewostany z dużym udziałem olszy szarej (*Alnus incana*) występują naturalnie w Bieszczadach, tworząc zbiorowiska bagiennnej olszyny górskiej (*Caltho laetae-Alnetum*) i nadrzecznej olszyny górskiej (*Alnetum incanae*). Bagienna olszyna występuje najczęściej w sąsiedztwie stokowych stref źródłiskowych powiązanych z wychodniami wodonośnych warstw fliszu karpackiego, charakteryzujących się przewagą łupków ilastych. Źródłiska takie tworzą enklawy wśród otaczających je drzewostanów bukowych lub bukowo-jodłowych. Olszyny nadrzeczne zajmują przede wszystkim terasy zalewowe karpackich rzek i potoków. Charakterystyczne są dla nich gleby typu mad rzecznych w różnych stadiach rozwojowych, na ogół bardzo silnie kamieniste. Z olszynami bagiennymi powiązane są często gleby gruntowoglejowe i mułowe. Poza tymi zbiorowiskami olsza szara dzięki swojej dużej ekspansywności zajęła po II wojnie światowej drogą naturalnej sukcesji znaczne obszary wcześniej użytkowane rolniczo, a pozostawione odłogiem w wyniku powojennych akcji przesiedleńczych. Podłoże takich drzewostanów stanowiły najczęściej żyzne gleby brunatne. Gleby te są potencjalnymi siedliskami żywej buczyny karpackiej (*Dentario glandulosae-Fagetum*), częściej w reglu dolnym i tworzącej także podgórskie formy wysokościowe. Olsza zajmowała w ten sposób nierzadko obszary całych zlewni, co w związku z jej przynależnością do roślin aktinoryzowych (współżyjących z promieniowcami wiążącymi wolny azot z powietrza) skutkowało znacznym wzbogaceniem powierzchniowych warstw gleb w łatwo przyswajalne formy azotu.

Pomierzona zawartość azotu azotanowego w glebach doświadczalnej zlewni z drzewostanem olszowym na gruncie porolnym była ponad trzy razy większa niż w glebach porównawczej zlewni z drzewostanem jodłowo-bukowym. Podobne różnice na korzyść drzewostanu olszowego były zachowane po przeprowadzonej dwutygodniowej inkubacji gleby, gdzie zawartość azotanów wynosiła 81 mg N-NO₃/kg gleby. Inkubacja laboratoryjna gleby lessowej z trzema rodzajami ścióły bieszczadzkich gatunków drzew (buka, jodły i olszy szarej) wykazała największe wzbogacenie powierzchniowych warstw (0–3 i 3–6 cm) pod olszą szarą w łatwo hydrolizujące formy azotu. Ściółka olszowa uwalniała również największe ilości kationów zasadowych (Ca, K, Mg).

Stale przyrastająca do lat 90. XX w. powierzchnia drzewostanów olszy szarej na terenie bieszczadzkich nadleśnictw stwarzała zdaniem niektórych autorów realne zagrożenie dla jakości wód powierzchniowych. W ciągu 25 lat od II wojny światowej powierzchnia drzewostanów z olszą szarą wzrosła w Bieszczadach ponad 15 razy.

Przyspieszona nitryfikacja azotu w glebach drzewostanów olszowych powodowała podwyższenie zakwaszenia powierzchniowych warstw gleby, co z punktu widzenia przekształcania gleb porolnych w gleby leśne było zjawiskiem neutralnym. Obawy wzbudzał końcowy produkt nitryfikacji – jony azotanowe, które praktycznie niezwiązane przez kompleks sorpcyjny gleb mogą łatwo przedostawać się do wód. Analiza próbek wód pobieranych w źródłiskowych strefach zlewni doświadczalnej porośniętej olszą wykazała w latach 90. możliwość przekroczenia dopuszczalnych stężeń azotanów dla wody pitnej. Badania próbek pobieranych w cieku wypływającym z tej samej zlewni nie wskazywały na przekroczenia tego parametru. Badania powtórzone w 2014 r. pokazały mniejsze zawartości azotanów w zlewni olszowej oraz mniejsze różnice pomiędzy wodami zlewni porośniętych drzewostanami bukowo-jodłowymi i olszowymi. Prowadzona w ostatnich 25 latach przebudowa porolnych drzewostanów olszowych w kierunku buczyn lub drzewostanów jodłowo-bukowych ogranicza nadprodukcję azotu i możliwość przedostawania się go do wód powierzchniowych.

Jak zmiany klimatu wpływają na nasiona? Długoterminowe przechowywanie nasion jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.)

Mikołaj K. Wawrzyniak*, Paweł Chmielarz, Jan Suszka

Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
*mikwaw@man.poznan.pl

Nasiona są fundamentem cyklu rozwojowego roślin drzewiastych. Obradanie, dyspersja i moment podjęcia kiełkowania przesądza o sukcesie reprodukcyjnym roślin. Cechy nasion są ściśle powiązane z czynnikami środowiskowymi, na bazie których się kształtowane. Obserwowane zmiany klimatyczne doprowadzają do gwałtownej przebudowy wielu ekosystemów, wymuszając dostosowanie strategii życiowych występujących w nich organizmów. Przykładowo wzrost temperatury zimą może zaburzyć ustępowanie spoczynku nasion niektórych gatunków roślin, a w konsekwencji uniemożliwić im skiełkowanie wiosną. Ponadto drzewa i krzewy charakteryzuje długotrwały cykl rozwojowy, z tego powodu często nie są one w stanie odpowiednio zaadaptować się do nowych warunków. Dlatego istnieje potrzeba ochrony drzew i krzewów. Nasiona stanowią również rezerwar zasobów genowych, chronionych metodami *ex situ*, np. w bankach genów oraz arboretach. Odpowiednio przechowywane mogą zachować żywotność przez dziesięciolecia, zabezpieczając najcenniejsze genotypy z najbardziej zagrożonych regionów. Jednym z gatunków pod silną presją środowiskową w Europie jest jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior*), od wielu lat wyniszczany przez przybyłą z Azji chorobę grzybową (*Hymenoscyphus fraxineus*).

Nasiona jesionu charakteryzuje złożony spoczynek morfofizjologiczny, zależny od lokalnych czynników środowiskowych. Zarodki dojrzałych nasion jesionu nie są w pełni wykształcone i wymagają dodatkowego okresu ciepła, aby dokończyć proces wzrostu. Zaobserwowano, że populacje jesionu na południu Europy cechują się wyższą wartością indeksu zarodkowego w porównaniu z populacjami północnymi. W konsekwencji nasiona jesionu pochodzące z południa wytwarzają w pełni wykształcone zarodki w jednym sezonie wegetacyjnym. Celem niniejszych badań było określenie wpływu obserwowanego wzrostu średniej temperatury powietrza i okresów suszy na indeks zarodkowy nasion jesionu wyniosłego pochodzącego z Polski oraz określenie możliwości długoterminowego przechowywania nasion tego gatunku.

Badane nasiona pochodziły z archiwum Zakładu Biologii Rozwoju i zostały zebrane między 1977 a 2015 r. Nasiona przechowywane były w temperaturze -3°C w szczelnie zamkniętych pojemnikach. Wartość indeksu zarodkowego mierzono za pomocą binokularu z podziałką milimetrową, odmierzając stosunek długości zarodka przed stratyfikacją i po niej. W badaniach zastosowano stratyfikację ciepło-chłodną, działając temperaturą 15°C przez 16 tygodni, a następnie 3°C przez taki sam okres. Testy kiełkowania i wschodzenia przechowywanych nasion przeprowadzono w warunkach kontrolowanych w laboratorium, w temperaturze cyklicznie zmiennej 3°C przez 16 godz. na zmianę z 20°C przez 8 godz. Zastosowanie temperatury cyklicznie zmiennej ogranicza występowanie spoczynku wtórnego. Do oceny wpływu warunków klimatycznych na indeks zarodkowy wykorzystano sumę dobowych temperatur oraz standardowy wskaźnik opadu-ewaporacji, wyliczonych dla okresu wegetacyjnego w Wielkopolsce na podstawie bazy Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z lat zbioru nasion.

Przechowywane nasiona kiełkowały w przedziale 7–99%. Nasiona przechowywane do 30 lat odznaczały się wysoką żywotnością, kiełkując w stopniu 75–99%. Kiełkowanie nasion przechowywanych przez 42 lata wynosiło 9% oraz 36%, w zależności od ich pochodzenia. Nie zaobserwowano wpływu ocieplenia na przestrzeni 42 lat na indeks zarodkowy nasion, jednak można zauważyć tendencję do wzrostu wartości indeksu u nasion zebranych w ostatnich 20 latach. Z kolei bilans wodny odnotowany na terenie Wielkopolski w latach zbioru nasion nie wykazał wpływu na indeks zarodkowy w badanych nasionach jesionu wyniosłego.

Puch na wietrze – zachowanie zasobów genowych krótkowiecznych nasion z rodzaju *Salix*

Mikołaj K. Wawrzyniak*, Ewelina Ratajczak,
Juan Manuel Ley-López, Paweł Chmielarz

Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
*mikwaw@man.poznan.pl

Ochrona zasobów genowych *ex situ* ma na celu zabezpieczenie szerokiej zmienności genetycznej przed skutkami postępującej degradacji ekosystemów. Wśród stosowanych metod ochrony za najefektywniejsze uznaje się długoterminowe przechowywanie nasion w temperaturze -18° lub -196°C (LN). Wszystkie nasiona, niezależnie od ich potencjalnej długowieczności i zastosowanych warunków przechowywania, ulegają procesom starzenia. Najczęstszym powodem śmierci komórek nasion w czasie ich przechowywania jest obecność reaktywnych form tlenu (RFT), które prowadzą do zaburzeń na wielu płaszczyznach organizacji komórki, w tym do uszkodzeń błon cytoplazmatycznych. Grupą związków odgrywających istotną rolę w stresie oksydacyjnym roślin są poliaminy, w tym spermidyna (Spm). Zwiększają one aktywność enzymów przeciwutleniających w roślinach, dzięki czemu mogą skutecznie regulować stres oksydacyjny wywołany różnymi czynnikami środowiskowymi. Stwierdzono, że podwyższone poziomy endogennej Spm, a także egzogenne stosowanie Spm, wywołują tolerancję na różne stresy abiotyczne.

Wierzby (*Salix*) są różnorodnym i szeroko rozpowszechnionym rodzajem roślin drzewiastych. Produkują one niewielkie, anemochoryczne, bezspoczynkowe nasiona dostosowane do kolonizowania terenów otwartych, ubogich w składniki odżywcze. Uchodzą za nasiona trudne w długoterminowym przechowywaniu ze względu na szybką utratę żywotności po zbiorze.

W niniejszych badaniach oceniano możliwości przechowywania podsuszonych nasion wybranych gatunków wierzby (*S. aegyptiaca*, *S. cordata*, *S. ×fragilis*) w temperaturze 3° , -10° lub -196°C oraz wpływ dodatku endogennej Spm na ich zdolność kiełkowania. Nasiona zostały zebrane z 2–3 osobników rosnących na terenie Arboretum Kórnickiego. Po zbiorze wilgotność nasion została oznaczona na podstawie suchej masy i zgodnie z uzyskaną wilgotnością wyjściową były one dowlizane lub podsuszane nad żelem krzemionkowym w celu uzyskania ośmiu poziomów wilgotności (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 i 18%). Nasiona o ustalonej wilgotności zostały umieszczone w trzech wariantach temperatury na dwa miesiące. Nasiona w wariantcie kontrolnym nie były przechowywane. Po zakończeniu przechowywania żywotność nasion została oceniona w teście kiełkowania przeprowadzonym w czterech powtórzeniach po 50 szt. w szalkach z bibułą namoczoną wodą destylowaną lub roztworem 25 mM Spm. Kiełkowanie odbywało się w świetle w temperaturze stałej 20°C . Kiełkujące nasiona zostały zliczone po trzech i siedmiu dniach. Do oceny biochemicznej wykorzystano warianty nasion podsuszonych nad żelem krzemionkowym (4, 6, 8, 10 i 12%) po przechowywa-

niu. Skielkowane nasiona analizowano pod kątem zawartości nadtlenu wodoru oraz wskaźnika zmian oksydacyjnych błon (dialdehydu malonowego, MDA).

Wykazaliśmy, że podsuszenie nasion badanych gatunków wierzby do poziomu z zakresu 6–12% pozwala na bezpieczne (bez utraty żywotności) ich przechowywanie w temperaturze ujemnej -10° oraz -196°C . Temperatura 3°C obniżyła istotnie zdolność kiełkowania i nie zaleca się jej do przechowywania nasion wierzby. Dodatek Spm nie wpłynął istotnie na poprawę kiełkowania nasion, niezależnie od badanego wariantu. Badanie zawartości nadtlenu wodoru oraz MDA nie wykazało obecności stresu oksydacyjnego w nasionach przechowywanych. Z kolei poziom markerów stresu oksydacyjnego był istotnie wyższy w nasionach przechowywanych w 3°C po wyłożeniu na bibułę z dodatkiem Spm, w porównaniu z wariantem kontrolnym.

Badania zostały przeprowadzone dzięki pomocy Funduszu Badań Własnych Instytutu Dendrologii PAN.

Wpływ właściwości gleb na rozmieszczenie populacji inwazyjnej tawuły kutnerowatej (*Spiraea tomentosa* L.) w Borach Dolnośląskich

Blanka Wiatrowska*, Władysław Danielewicz, Mirosław Nowiński,
Kacper Lechowicz

Katedra Botaniki i Siedliskoznawstwa Leśnego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań, *blanka.wiatrowska@up.poznan.pl

Tawuła kutnerowata (*Spiraea tomentosa*) jest krzewem naturalnie występującym w Ameryce Północnej. Zwały zasięg jej występowania obejmuje szeroki pas wzdłuż wschodniej części kontynentu od prowincji Quebec i Ontario na północy – w Kanadzie, po stany Luizjana, Missisipi i Georgia na południu – w Stanach Zjednoczonych. W Europie gatunek uprawiany był jako roślina ozdobna od XVIII w., a pod koniec XIX w. stwierdzono jego pierwsze spontaniczne stanowiska na terenie Prus. Obecnie krzew uznawany jest za inwazyjny w Belgii, Danii, Szwecji, Niemczech i w Polsce, gdzie jego populacje obserwowane są w zbiorowiskach naturalnych i półnaturalnych.

W Polsce znane są trzy ośrodki występowania *S. tomentosa*: Bory Dolnośląskie, Bory Niemodlińskie i Puszcza Drawska, gdzie wyraźnie zaznacza się wybiórczość siedliskowa rośliny. Jak wskazują obserwacje, jej wtórne populacje zlokalizowane są głównie na przesuszonych torfowiskach, co może sugerować, że krzew wkracza przede wszystkim na gleby organiczne. Celem pracy było stwierdzenie, jakie właściwości gleb sprzyjają rozwojowi *S. tomentosa*.

Badania przeprowadzono w Borach Dolnośląskich na 15 transektach przebiegających przez tereny zajęte przez *S. tomentosa* lub wolne od populacji tego krze-

wu. Wzdłuż transektów wykopano 40 profili glebowych. Na każdym z transektów jeden profil wykonano na siedliskach, na których stwierdzono liczne okazy rośliny, a dominującym typem struktury przestrzennej jej populacji była struktura łańcowa lub łańcowo-skupiskowa, a drugi na siedlisku, na którym *S. tomentosa* nie została stwierdzona lub występowała w rozproszeniu (pojedynczo lub grupach). W przypadku dużego zróżnicowania mikrosiedliskowego profil lokalizowano także w tzw. strefach przejścia pomiędzy wyróżnionymi większymi płatami siedlisk. Profile miały długość 1 m, szerokość 60 cm i zmienną głębokość – około 1 m, uzależnioną od poziomu wód gruntowych. W każdym z nich zidentyfikowano i opisano poziomy i warstwy glebowe, a następnie określano ich miąższość, głębokość zalegania i skład granulometryczny. Przynależność systematyczną badanych gleb oznaczono na podstawie klasyfikacji zawartej w szóstym wydaniu „Systematyki gleb Polski”.

Stwierdzono, że gleby, na których występuje tawuła kutnerowata, należą do trzech rzędów, czterech typów i sześciu podtypów. Populacje krzewu wykształcają się na glebach czarnoziemnych, glejoziemnych i organicznych. W rzędzie gleb czarnoziemnych wszystkie stwierdzone jednostki należą do typu gleb murszowatych i podtypów: gleb murszastych i murszowatych typowych. W rzędzie gleb glejoziemnych stwierdzone jednostki należą do typu gleb gruntowo-glejowych w podtypach gruntowo-glejowych mułowych i gruntowo-glejowych murszowych, a wśród gleb organicznych do typu gleb torfowych w podtypie torfowych hemowych i do gleb murszowych w podtypie murszowych hemowych. Występowania krzewu nie stwierdzono na rozpowszechnionych na obszarze badań mineralnych glebach z rzędu bielicoziemów (bielicach, bielicach orsztynowych czy glebach bielicowych typowych), które zajmują około 55% terenu badań, ani na glebach z rzędu antropogenicznych, np. rigosolach.

W Borach Dolnośląskich do inwazji *Spiraea tomentosa* dochodzi zatem zarówno na glebach zaliczanych do gleb organicznych (rząd gleb organicznych), mineralno-organicznych (rząd gleb glejoziemnych), jak i mineralnych (rząd gleb czarnoziemnych). Utwory, na których rozprzestrzenia się krzew, charakteryzują się dużą zawartością materii organicznej w powierzchniowych poziomach genetycznych i wyraźnie zaznaczającym się wpływem wody, która w istotny sposób kształtuje ich właściwości. Krzew rozbudowuje swój system korzeniowy w torfach oraz w poziomach: murszastym, murszowym i sporadycznie w poziomie mułowym, charakteryzujących się różnym stopniem uwodnienia, lecz stałą dużą zawartością materii organicznej. Rozmieszczenie wtórnych populacji *S. tomentosa* w Borach Dolnośląskich jest uwarunkowane specyfiką warunków siedliskowych tego kompleksu. Charakteryzuje się on dużym udziałem siedlisk wilgotnych i bagiennych podlegających zaburzeniom, np. wywołanym wahaniami poziomu wód gruntowych, lub procesom prowadzącym do akumulacji lub tlenowego rozkładu i humifikacji materii organicznej, które sprzyjają wykształceniu się specyficznych właściwości gleb korzystnych dla tawuły kutnerowatej.

Mszaki jako wskaźniki zmian w lasach

Sylwia Wierzcholska^{1*}, Marcin K. Dyderski², Andrzej M. Jagodziński²

¹Zakład Biologii Roślin, Instytut Biologii Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Koźuchowska 7A, 51-631 Wrocław, sylwia.wierzcholska@upwr.edu.pl

²Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

W strefie klimatu umiarkowanego, spośród wszystkich roślin epifitycznych, mszaki odgrywają najważniejszą rolę w bioróżnorodności lasów. Zależne od dominujących gatunków lasotwórczych mszaki epifityczne przyczyniają się do znacznego udziału różnorodności gatunkowej w lasach, stanowiąc bardzo często miejsce do bytowania i żerowania wielu gatunków, między innymi owadów, mięczaków i ptaków. Ze względu na swoje cechy fizjologiczne mszaki zależne są od: (1) reżimu wodnego, (2) zmian wilgotności powietrza, (3) dostępności wody i (4) częstotliwości suszy, a co za tym idzie, także od (5) zmian klimatu.

Dzięki specyficznym wymaganiom ekologicznym epifityczne mszaki związane z siedliskami leśnymi stały się obok porostów jedną z najbardziej zagrożonych grup specjalistów leśnych. Gatunki te są wrażliwe na zmiany klimatu i stanowią doskonały wskaźnik ciągłości lasu. Są także precyzyjnym bioindykatorem jakości ekosystemów leśnych. Jednak ze względu na brak dostatecznych danych o ich rozmieszczeniu nie dysponujemy pełnymi informacjami o ich potencjalnej reakcji na prognozowane zmiany klimatu.

Z tego powodu postanowiliśmy ocenić wpływ zmian klimatu i ciągłości ekologicznej lasów na rozmieszczenie specjalistycznych mszaków epifitycznych w lasach Europy. Zebraliśmy dostępne dane dotyczące rozmieszczenia *Dicranum viride* (Sull. & Lesq.) Lindb. w Europie. Gatunek ten jest mchem związanym z lasami liściastymi o holarktycznym rozmieszczeniu, znanym z Europy, południowej części Dalekiego Wschodu i Ameryki Północnej. Mech ten rozprzestrzenił się w całej Europie, ze stosunkowo dużym zagęszczeniem w niższych partiach Karpat. W Europie *D. viride* jest chroniony Konwencją Berneńską, ponadto jest wymieniony w załączniku II Dyrektywy Siedliskowej. Ma również kategorię V (narażony na wyginięcie) na czerwonej liście zagrożonych europejskich mszaków. Jego ograniczona zdolność dyspersji jest bezpośrednio związana z intensywną gospodarką leśną. Ze względu na swoją biologię i ekologię uważany jest zarówno za wskaźnikowy gatunek starego lasu, jak i za gatunek modelowy do detekcji zmian kierunkowych w lasach liściastych. Wszystkie te cechy pozwalają na klasyfikowanie *D. viride* jako gatunku parasolowego dla grupy leśnych wyspecjalizowanych mszaków epifitycznych.

W naszych badaniach opracowaliśmy model rozmieszczenia tego gatunku (przy użyciu MaxEnt) z wykorzystaniem zmiennych bioklimatycznych i mapy ciągłości lasów dla Europy. Oceniliśmy przewidywane zmiany w rozkładzie potencjału na lata 2061–2080, wykorzystując trzy scenariusze zmian klimatu (RCP 2.6, RCP 4.5 i RCP 8.5.). Oceniliśmy również preferencję podłoża (wyrażoną typem forofita) tego gatunku.

Nasze badania wykazały, że najistotniejszym predyktorem występowania *D. viride* jest ciągłość lasu, a następnie średnia temperatura najsuchszego kwartału i opady w najcieplejszym kwartale. Przewidywana zmiana klimatu doprowadziłaby do niewielkich strat populacji *D. viride* w Europie Południowej i Zachodniej oraz do wzrostu w Skandynawii, przy założeniu stałej ciągłości lasów. Ze względu na ograniczone możliwości rozprzestrzeniania się i specyficzne wymagania siedliskowe ciągłość lasu i odpowiednie typy zbiorowisk/roślin leśnych odgrywają nadrzędną rolę w utrzymaniu wyspecjalizowanych leśnych mszaków epifitycznych. Z tego powodu utrata dojrzałych ekosystemów leśnych jest ważniejszym zagrożeniem dla mszaków epifitycznych niż zmiana klimatu.

Finansowanie ze środków Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu oraz Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk.

Jak zmiany klimatu wpłyną na występowanie trufli w Europie?

Robin Wilgan^{1*}, Marcin K. Dyderski¹, Marcin Pietras¹, Łukasz Walas¹,
Marta Kolanowska^{2,3}, Tomasz Leski¹

¹Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
*rwilgan@man.poznan.pl

²Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki, ul. Pilarskiego 14/16, 90-231 Łódź

³Instytut Badań Zmian Globalnych Czeskiej Akademii Nauk, Bělidla 4a, 603 00 Brno, Czechy

Trufle należą do najwyżej cenionych kulinarnie gatunków grzybów. Tworzą charakterystyczne bulwiaste owocniki podziemne. Z racji unikalnego smaku oraz wysokich cen rynkowych trufle są chętnie uprawiane w Europie, w szczególności w krajach śródziemnomorskich, historycznie związanych z pozyskaniem i uprawą tych grzybów. Jako grzyby ektomykoryzowe nawiązują obligatoryjną mutualistyczną symbiozę z drzewami. Co za tym idzie, ich występowanie jest ściśle powiązane z obecnością odpowiednich gatunków drzew – roślinnych partnerów symbiozy ektomykoryzowej.

W skali kontynentu zasięg występowania zarówno trufli, jak i drzew, z którymi są one związane, w głównej mierze kształtują warunki klimatyczne. Na skutek postępujących zmian klimatu optymalne nisze ekologiczne rodzimych gatunków drzew, w tym tych, z którymi trufle nawiązują symbiozę, będą przesuwać się w kierunku północnych regionów kontynentu. Z kolei wysoka temperatura oraz susze letnie zagrażają występowaniu trufli na południu Europy oraz wydajności produkcji w zlokalizowanych tam ogrodach truflowych. W przypadku samej trufli czarnozarodnikowej (*Tuber melanosporum*), jednej z najdroższych europejskich trufli, współczesna produkcja we Francji, Hiszpanii i Włoszech stanowi około 1/2 produkcji tego gatunku z lat 90. oraz 1/3 produkcji z lat 70. Przewidywanie zmian

w rozmieszczeniu optymalnych nisz klimatycznych trufli oraz drzew, z którymi są one związane, może pomóc zachować uprawy truflowe w Europie.

Celem badań było określenie, jak rozmieszczenie potencjalnych nisz ekologicznych dla trufli czarnozarodnikowej (*T. melanosporum*) i trufli letniej (*T. aestivum*) w Europie może się zmienić wraz ze zmianą klimatu. W tym celu wykorzystaliśmy program MaxEnt, 19 zmiennych klimatycznych, dane o rozmieszczeniu trufli z baz GBIF, UNITE i literatury oraz dane o rozmieszczeniu drzew z baz GBIF. Modele zostały oparte na trzech scenariuszach zmian klimatu w następnych dziesięcioleciach, odpowiadające niewielkim (B2B), umiarkowanym (A2A) oraz znaczącym zmianom (A1B). Modele przygotowaliśmy dla trufli oraz drzew o różnym zasięgu występowania w Europie: szeroko rozpowszechnionych (*T. aestivum*, *Quercus robur*, *Corylus avellana*) oraz powszechnych na południu kontynentu (*T. melanosporum*, *Q. ilex*, *Castanea sativa*). Ponadto wykorzystaliśmy dane o występowaniu obcego w Europie orzesznika pekanowego (*Carya illinoensis*), który może nawiązywać symbiozę z dwoma badanymi, europejskimi gatunkami trufli oraz w granicach naturalnego występowania w klimacie subtropikalnym na południu USA jest stosowany w lokalnych uprawach truflowych.

Wyniki pokazują, że optymalne nisze ekologiczne dla trufli i drzew przesuwają się na północ Europy. Na południu Europy powierzchnia nisz ekologicznych dla tych gatunków będzie się znacząco kurczyć, z kolei na północy kontynentu, tj. powyżej równoleżnika 48° N, warunki klimatyczne będą sprzyjające. Przesunięcie się nisz zaobserwowano w każdym testowanym scenariuszu zmian klimatu. Ponadto modele wskazały, że występowanie drzew ektomykoryzowych jest najważniejszym czynnikiem oddziałującym na potencjalne pojawienie się trufli. W dalszej kolejności wpływ miały sezonowość temperatury, średnia roczna temperatura oraz opady w najchłodniejszym kwartale.

Postępujące zmiany klimatu poważnie zagrażają uprawom trufli na południu Europy. Wyniki badań pokazują jednak, że równoległe zmiany klimatu generują nowe nisze ekologiczne w północnych regionach kontynentu. Co za tym idzie, próby przeniesienia upraw truflowych dalej na północ, na przykład do północnej Francji, Anglii czy krajów Europy Środkowej, stanowią obiecującą perspektywę dla utrzymania europejskiej produkcji tych cennych gatunków grzybów.

Wpływ składu gatunkowego drzewostanów na zawartość węgla i makroelementów w glebach pożarzyskowych po wykonaniu zalesień

Bartłomiej Woś^{1*}, Marcin Chodak², Agnieszka Józefowska³,
Marcin Pietrzykowski¹

¹Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, bartlomiej.wos@urk.edu.pl

²Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

³Katedra Gleboznawstwa i Agrofizyki, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. Mickiewicza 21, 30-120 Kraków

Prognozuje się, że postępujące zmiany klimatyczne wpłyną na wzrost częstości i intensywności wielkoobszarowych zaburzeń ekosystemów leśnych, w tym pożarów. Z tych względów konieczne jest określenie oddziaływania gatunków drzew wprowadzanych w ramach odnowień powierzchni pokłeskowych na proces regeneracji właściwości gleb. Celem pracy było ustalenie wpływu sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) i brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) na zawartość węgla organicznego (C_{org}) i makroelementów (N, P, Ca, K, Mg i Na) w wierzchnich poziomach gleb po 27 latach od zalesienia pożarzyska w Nadleśnictwie Rudziniec (RDLP Katowice).

Badania przeprowadzono w warunkach zróżnicowanych pod względem uziarnienia gleb piaszczystych (bielicowych i rdzawych) i gliniastych (płowych). Stwierdzono, że poziomy organiczne (Olf) gleb pod drzewostanami brzozowymi charakteryzowały się wyższą zawartością N, P, Ca i Mg w porównaniu z poziomami Olf pod modrzewiem i sosną. W poziomach mineralnych (0–5 cm) wyższa zawartość C_{org} pod brzozą wpłynęła na większą wartość kwasowości hydrolicznej i pojemności sorpcyjnej w porównaniu z pozostałymi gatunkami drzew. Odnotowano również wyższą zawartość azotu w poziomach mineralnych gleb pod brzozą w porównaniu z modrzewiem. Uziarnienie badanych gleb miało niewielki wpływ na właściwości chemiczne badanych gleb. Stwierdzono wyższe wartości wymiennego magnezu w glebach gliniastych w odniesieniu do piaszczystych. Zawartość fosforu przyswajalnego była wyższa w glebach piaszczystych niż w gliniastych.

Nasze wyniki wskazują zatem, że gatunki drzew wykorzystywane do odnowień powierzchni pożarzyskowych mają kluczowe znaczenie dla właściwości i przywracania funkcji ekologicznych regenerujących się gleb. Spośród badanych gatunków najkorzystniejszy wpływ na właściwości gleb wywierała brzoza brodawkowata, co jest szczególnie istotne, ponieważ pojawia się ona licznie w wyniku spontanicznej sukcesji zachodzącej na pożarzyskach.

Praca sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach projektu badawczego nr 2018/31/D/ST10/02137.

Czy lasy rosnące na hałdach można uznać za tzw. novel ecosystems?

Gabriela Woźniak^{1*}, Damian Chmura², Marcin K. Dyderski³,
Andrzej M. Jagodziński³, Agnieszka Błońska¹, Quadri A. Anibaba³

¹Institut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Śląski, ul. Jagiellońska 28, 40-032 Katowice, gabriela.wozniak@us.edu.pl

²Katedra Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

³Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

Dominującym składnikiem biosfery są ekosystemy leśne. Lasy są zbiorowiskiem klimaksowym na większości terenów lądowych. Różnorodność, struktura, ekologia i funkcjonowanie lasów są od dawna badane i w dużym zakresie poznane. Wiele wiadomo również o procesie sukcesji, w której efekcie lasy powstają w warunkach naturalnych. W skali globalnej ekosystemy leśne wykształciły się w wyniku naturalnej sukcesji, niewiele jednak wiadomo o mechanizmach samoistnego rozwoju lasu, zwłaszcza na siedliskach pokopalnianych. Działalność człowieka doprowadziła do przekształcenia znacznej części powierzchni terenów lądowych. Eksploatacja surowców mineralnych spowodowała powstanie nowych oligotroficznych siedlisk mineralnych (między innymi zwałów skały płonnej), które są kolonizowane w wyniku sukcesji spontanicznej. Wieloletnie badania dotyczące zróżnicowania spontanicznej roślinności na pogórnicznych zwałach skały wykazały, że zbiorowiskiem leśnym najczęściej powstającym w takich przypadkach są fitocenozy, które swym składem gatunkowym i strukturą pionową odpowiadają zespołowi *Quercus roboris-Pinetum* (kontynentalny bór mieszany).

Celem pracy było porównanie składu gatunkowego lasu spontanicznie powstałego na mineralnym materiale hałdy powęglowej z lasami rosnącymi na otaczających je siedliskach nieprzemysłowych. Szczegółowo zbadano, czy istnieją znaczące różnice w różnorodności taksonomicznej, filogenetycznej i funkcjonalnej na poziomach alfa i beta. Postawiono hipotezę, że skład gatunkowy i funkcjonalny podszytu czy runa porównywanych kategorii lasów jest odmienny ze względu na typy gleby i podłoża glebowego między lasami powstałymi spontanicznie na hałdach pokopalnianych a borami mieszanymi występującymi w okolicy, porastającymi gleby leśne.

Stwierdzono, że bogactwo i rozproszenie funkcjonalne w lasach mieszanych rosnących na terenach nieprzemysłowych jest wyższe niż w lasach porastających zwałowiska skały płonnej, podczas gdy nie odnotowano różnic w wartościach wskaźników równomierności i rozbieżności funkcjonalnej. Las mieszany charakteryzował się o 19% większym bogactwem gatunkowym i dwukrotnie wyższą różnorodnością filogenetyczną. Nie znaleziono różnic w różnorodności gatunkowej opisaną przez wskaźnik różnorodności Shannona. Stwierdzono wyższe wartości wskaźnika niepodobieństwa Jaccarda dla wszystkich aspektów różnorodności beta w płatach spontanicznych zbiorowisk leśnych na hałdach w porównaniu

z lasami mieszanymi. W zbiorowiskach leśnych, które rozwinęły się na hałdach, stwierdzono prawie trzydziestokrotnie wyższy wskaźnik nowości biologicznej.

Klasyfikacja roślinności oparta na podstawach fitosocjologicznych, głównie składzie i obfitości gatunków, nie odzwierciedla istoty różnorodności płatów obu analizowanych zbiorowisk leśnych występujących na zasadniczo różnym podłożu. Uzyskane wyniki wskazują na modelowe ujęcie istoty zjawiska „novel ecosystem”. Przedstawione analizy wyjaśniają, jak zmodyfikowane są parametry funkcjonalne lasów, które rozwinęły się na hałdach, co stanowi przykład układów „novel ecosystems” optymalnie zaadaptowanych do ubogich warunków mineralnego podłoża zwałów skały płonnej.

Badania wykonano w ramach projektu pt. „Relacje między właściwościami biogeochemicznymi podłoża a spontaniczną sukcesją na obszarach pogórnich: nowe ekosystemy w krajobrazie przekształconym przez człowieka” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (2019/35/B/ST10/04141).

Ocena stopnia zagrożenia drzewostanów sosnowych przez jemiolę w Puszczy Kozińskiej

*Roman Wójcik, Wojciech Kędziora**

*Zakład Urządzania Lasu, Katedra Urządzania Lasu, Dendrometrii i Ekonomiki Leśnictwa,
Instytut Nauk Leśnych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, wojciech.kedziora@wl.sggw.pl*

Do niedawna jemiola obserwowana była głównie na gatunkach liściastych, ale od kilkadziesiąt lat zaczęła rozprzestrzeniać się także na iglastych. Zjawisko to zostało odnotowane w pierwszej kolejności na południu Polski, ale z czasem przeniosło się na dalsze obszary kraju, w kierunku północnym. Proces ten trwa mniej więcej od 40 lat, o czym świadczy wielkość kul jemioli na drzewach i jej oszacowany wiek. Spowodowane jest to przede wszystkim zmianami warunków klimatycznych. W roku 2015 bardzo upalne lato oraz łagodna zima były dosyć niespotykane w porównaniu z poprzednimi latami. Kolejne lata również charakteryzowały się upalnymi latami i brakiem opadów śniegu zimą, co przyspieszyło rozwój jemioli. Doprowadziło to do osłabienia sosny i jej zamierania, do czego przyczynił się również kornik ostrozębny.

Występująca na sośnie jemiola staje się dużym problemem w gospodarce leśnej. Na terenie Niemiec, w okolicach Brandenburgii, obserwuje się wzrost wskaźnika porażenia. Wynosił on 1% w 2009 r., zaś aż 11% w 2015 r. Obecność gatunku w dużej ilości na danym obszarze stwarza możliwości wzrostu zagrożenia ze strony szkodników. Jemiola, jako gatunek ciepłolubny, ma ułatwiony rozwój na większą skalę i w szybszym tempie. Sosna zwyczajna to dominujący gatunek naszych lasów, potencjalnie jemiola pospolita może się przyczynić do dużych strat ekonomicznych poprzez rozrost na tym gatunku. Dynamika wzrostu

jemioły w chłodniejszych terenach wiąże się z obserwowanymi w ostatnim czasie zmianami klimatu (ociepleniem).

Głównym celem badań było przeprowadzenie wielkoskalowej inwentaryzacji jemioły w drzewostanach sosnowych Puszczy Kozienickiej w celu oceny jej liczebności na poszczególnych drzewach i w drzewostanach oraz przetestowanie nowej metody inwentaryzacji dostosowanej do warunków polskich. Opierała się ona na losowych powierzchniach próbnych, z których każda składała się z 15 drzew, na których oceniany był wpływ jemioły. Na powierzchniach oceniano występowanie jemioły, położenie w koronie, oszacowano udział procentowy w koronie oraz liczebność jemioły na drzewie. Dodatkowo do dalszej analizy zebrano informacje o typie siedliskowym lasu oraz wskaźniku bonitacji, a także oceniono wiek, pierśnicę, klasę Krafta, długość korony, ubytek aparatu asymilacyjnego oraz typ korony.

Badania objęły 300 powierzchni próbnych, na których oceniono 4500 drzew. Wstępne wyniki wskazują, że 16% drzew jest porażonych przez jemiołę, z czego ponad 25% jest silnie porażonych przez więcej niż sześć osobników. Wykazano, że najczęściej są to osobniki starsze, o wyższej pozycji biosocjalnej, rosnące w miejscach z większą ilością dostępnego światła.

Ile warte jest zaniechanie gospodarki leśnej w lasach prywatnych?

Emilia Wysocka-Fijorek, Piotr Gołos*

*Institut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn,
e.wysocka-fijorek@ibles.waw.pl

Pełnienie usług ekosystemowych przez lasy wiąże się często z ograniczeniami w pozyskaniu drewna. W przypadku lasów prywatnych, które zajmują w Unii Europejskiej aż 60%, a w Polsce około 19% wszystkich lasów, sytuacja taka wymaga instytucjonalnych rozwiązań, które pozwoliłyby na utrzymanie równowagi ekonomicznej gospodarki leśnej. Głównym celem badań było poznanie średniej wartości rekompensaty pieniężnej (WTA – willingness to accept) oczekiwanej przez właściciela lasu (rolnika), która mogłaby równoważyć wartość strat w gospodarce leśnej spowodowanych ograniczeniami w pozyskaniu drewna. W analizie wyników podjęto próbę ustalenia związku między deklarowaną wartością WTA oraz wybranymi zmiennymi objaśniającymi ustalonymi w badaniach ankietowych z wykorzystaniem kwestionariusza ankiety. Postawiono więc sobie pytanie, jakiej rekompensaty oczekivaliby właściciele lasów prywatnych za ograniczenie możliwości pozyskania drewna. Jest to szczególnie istotny problem chociażby ze względu na potrzebę wdrożenia strategii na rzecz bioróżnorodności czy działań podejmowanych we wszystkich krajach europejskich w ramach LULUCF.

Badania przeprowadzono na losowej, reprezentatywnej ogólnokrajowej próbie właścicieli gruntów leśnych, będących rolnikami (1003 ankiety). Respondenci byli proszeni o zadeklarowanie oczekiwanej kwoty rekompensaty (WTA; zł/rok/ha) dla każdego z czterech opisanych sposobów prowadzenia gospodarki leśnej, z których każdy ograniczał rozmiar dotychczas pozyskiwanego drewna, łącznie z całkowitym zaniechaniem wycinki.

Lasy prywatne zajmują powierzchnię 1788 tys. ha (19,2% powierzchni lasów), w tym 1683 tys. ha to lasy należące do osób fizycznych, wśród których największą grupę stanowią rolnicy – 544 tys. indywidualnych gospodarstwach rolnych, w których lasy zajmują 863 tys. ha. Średni wiek drzewostanów wynosi 50 lat, zasobność 249 m³/ha, natomiast średnia miąższość stojących i leżących drzew martwych to około 6 m³/ha, przy średniej dla lasów wszystkich form własności na poziomie 8 m³/ha. Rolnicy gospodarują na 2–3 działkach leśnych, z których najmniejsze mają średnią powierzchnię 0,21–0,35 ha, a największe około 1,92–2,83 ha. Pozyskanie drewna w lasach prywatnych w 2018 r. wyniosło około 1830 tys. m³, co stanowi 4% miąższości drewna pozyskanego ogółem w Polsce.

Średnia wartość WTA kształtowała się od 2,3 tys. zł/rok/ha (wartość odpowiadająca cenie ok. 12 m³ drewna w Polsce) w warunkach braku ograniczeń w pozyskaniu drewna, jednak z koniecznością zastosowania wskazanych sposobów zagospodarowania lasu, do 4,9 tys. zł/rok/ha (wartość odpowiadająca cenie 25 m³ drewna w Polsce) w modelu zakładającym całkowity zakaz pozyskania drewna.

Przedstawione wyniki pozwalają po raz pierwszy poznać wartość oczekiwanych hipotetycznych rekompensat pieniężnych przez właścicieli lasów w Polsce za utracone korzyści w gospodarce leśnej związane z ograniczeniami w pozyskaniu drewna. O celowości tego rodzaju badań świadczy fakt, że 77% polskiego społeczeństwa zgadza się na rekompensaty za świadczenie usługi ekosystemowe, a jako źródło ich finansowania wskazuje budżety samorządów lub budżet centralny. Oczekiwana wartość rekompensat przy całkowitych ograniczeniach pozyskania drewna jest tym większa, im większe jest gospodarstwo ankietowanego i udział lasów w jego powierzchni. Nie bez znaczenia jest także fakt urynkowania sprzedaży surowca – w porównaniu z osobami sprzedającymi drewno osoby wykorzystujące surowiec na potrzeby własnego gospodarstwa miały mniejsze oczekiwania finansowe w przypadku zakazu wycinki drzew. Przy mniej rygorystycznych ograniczeniach pozyskania na poziom oczekiwanych rekompensat miały wpływ bardziej „wrażliwe” czynniki, takie jak wiek badanych (starsi mieli mniej wygórowane oczekiwania), płeć (kobiety miały większe oczekiwania) czy liczba osób w gospodarstwie domowym.

Poznanie wartości WTA jest cenną informacją z punktu widzenia realizacji polityki leśnej. Jej wartość bezwzględna oraz znajomość czynników, które na nią wpływają, ułatwiają ustalenie kosztów różnych celów ochrony.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education (Poland) [Research Project No. 900419] and Priority Program No. 5.5 “Interdisciplinary Ecological Education” (Contract No. 28/2019/Wn50/EE-ee/D) entitled: “Private Forests Possibilities, Problems, Solutions” financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management.

Długofalowy bilans węgla upraw sosnowych założonych na powierzchni po wiatrolomach przy użyciu dwóch różnych technik odnowienia

Klaudia Ziemblińska^{1}, Michał Jasik², Stanisław Małek², Marek Pająk²,
Bartłomiej Woś², Janusz Olejnik¹*

¹Pracownia Meteorologii, Katedra Budownictwa i Geoinżynierii, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, klaudiaziem@wp.pl, klaudia.ziemblińska@up.poznan.pl

²Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Skutkami obserwowanych zmian klimatu, poza wzrostem średniej globalnej temperatury powietrza, są zmiany intensywności i częstotliwości ekstremalnych zjawisk pogodowych. Dla przykładu tylko w minionym dziesięcioleciu katastrofalne w skutkach huragany i tornada zagroziły funkcjonowaniu znaczących obszarów ekosystemów leśnych w naszym kraju, w tym ich kluczowej roli w sekwestracji CO₂.

Przedstawione wyniki są kontynuacją badań nad wymianą dwutlenku węgla (CO₂) i wody (H₂O) pomiędzy pokłeskowymi powierzchniami leśnymi a atmosferą na obszarze zniszczonym przez tornado w Borach Tucholskich w 2012 r. Dopełnieniem prowadzonych na tym terenie pomiarów strumieni netto CO₂ (ang. Net Ecosystem Production; NEP = saldo bilansu wyemitowanego i pochłoniętego CO₂) były badania zasobów węgla w glebie i biomasy w dwóch 5-letnich uprawach sosny zwyczajnej (stan na rok 2019). Powierzchnie badawcze, na których znajdują się uprawy, różnią się głównie pod względem zastosowanych metod przygotowania gleby w procesie odnowienia. Na powierzchni Tlen 1 wykonano je za pomocą pełnej orki, a na powierzchni Tlen 2 glebę przygotowano jedynie częściowo w talerze. Punkty poboru próbek gleby i biomasy zlokalizowano wokół istniejących wież pomiarowych wyposażonych w systemy do pomiaru strumieni masy i energii metodą kowariancji wirów (ang. Eddy Covariance; EC). W sierpniu 2018 r. założono poletka glebowe w siatce o szerokości 50 m, na których pobrano próbki z warstwy organicznej (ramka 20×20 cm) oraz z dwóch poziomów gleby mineralnej (0–5 cm i 5–20 cm). Łącznie wyznaczono 84 punkty poboru próbek na obszarze badawczym Tlen 1 i 72 punkty na powierzchni Tlen 2. W celu określenia biomasy 5-letnich sosen z obu powierzchni badawczych wybrano 11 osobników na obszarze Tlen 1 i 9 na obszarze Tlen 2 w sposób schematyczny ze środkowego rzędu. Wszystkie niezbędne analizy laboratoryjne wykonano w certyfikowanym Laboratorium Geochemii Środowiska Leśnego i Terenów Przeznaczonych do Rekultywacji Katedry Ekologii i Hodowli Lasu Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

Wyniki badań próbek gleby wykazały istotne różnice w zawartości węgla w warstwie do głębokości 20 cm pomiędzy badanymi odnowieniami. Na powierzchni Tlen 1 średni zapas węgla (C) w glebie (łącznie z warstwą organiczną)

wyniósł 41,66 Mg/ha, natomiast na powierzchni Tlen 2 – 57,15 Mg/ha. Największą różnicę stwierdzono w warstwie organicznej (O) gleby, która była o ponad 18,00 Mg/ha wyższa na stanowisku z glebą przygotowaną w talerze niż z pełnym przygotowaniem w bruzdy. Porównując zasoby C w biomase, zauważono, że ich suma w 5-letniej uprawie sosny zwyczajnej była wyższa na powierzchni Tlen 1 (5,91 Mg/ha), założonej po orce. W podobnych warunkach siedliskowych i meteorologicznych zawartość ta osiągnęła zaledwie 3,60 Mg/ha na obszarze badawczym Tlen 2. Z perspektywy całego ekosystemu (pomiarzy metodą EC) saldo bilansu wymiany CO₂ pomiędzy odnowieniami pokłeskowymi a atmosferą w okresie sześciu lat (2014–2019) wyniosło na powierzchni Tlen 1 około –10,9 Mg C/ha, a na powierzchni Tlen 2 prawie –23 Mg C/ha. Ujemne wartości NEP wskazują na przewagę procesów emisji CO₂ nad jego pochłanianiem.

Z przedstawionych danych wynika, że technika przygotowania gleby pod odnowienie ma znaczący wpływ na kształtowanie zasobów węgla organicznego, przy czym po pięciu latach w glebach przygotowanych w bruzdy (Tlen 1) były one istotnie niższe niż w glebach przygotowanych w talerze (Tlen 2), co było głównie efektem różnic w zawartości węgla w warstwie organicznej gleby. Uzyskane rezultaty wskazują jednak, że odwrotnie niż w przypadku zasobów C w glebie zarówno całkowita biomasa, jak i zapas węgla w biomase były istotnie wyższe na powierzchni odnowionej w bruzdy niż na obszarze z tylko częściowym przygotowaniem gleby. Oznacza to, że rozdrobnienie pokrywy glebowej za pomocą orki istotnie poprawia wzrost sadzonek sosny zwyczajnej w pierwszych latach ich wzrostu.

Badania przeprowadzono w ramach projektu sfinansowanego ze środków Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych w Warszawie (projekt LAS III, nr OR-2717/27/11).

Zmienność genetyczna i pochodzenie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Europie Środkowej i Północnej na podstawie analizy jądrowych markerów mikrosatelitarnych

Weronika B. Żukowska^{1*}, Błażej Wójkiewicz¹, Andrzej Lewandowski¹,
Witold Wachowiak^{1,2}

¹Institut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,

*wzukowska@man.poznan.pl

²Institut Biologii Środowiska, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań

Sosna zwyczajna ma ogromne znaczenie ekologiczne i ekonomiczne. Jest także jednym z głównych gatunków lasotwórczych w lasach półkuli północnej i najbardziej rozpowszechnionym przedstawicielem drzew szpilkowych. Zasięg sosny

zwyczajnej rozciąga się od Szkocji i Półwyspu Iberyjskiego (6° W) na zachodzie aż po dalekie rejony wschodniej Syberii (150° E) i obejmuje kilka stref klimatycznych od południa Hiszpanii i Turcji (40° N) do koła podbiegunowego północnego (70° N).

Zmienność genetyczna sosny zwyczajnej, a także szlaki jej postglacjalnej migracji z refugium południowych były przedmiotem wielu badań. Wskazują one na to, że podobnie jak w przypadku wielu innych gatunków drzew populacje sosny zwyczajnej przetrwały okres ostatniego zlodowacenia w refugiach na południu Europy – w rejonach Półwyspu Iberyjskiego, Półwyspu Apenińskiego i Półwyspu Bałkańskiego, a także na obszarze Turcji. Wyniki sugerują jednak, że rejony Europy Środkowej i Północnej zostały zrekolonizowane głównie przez migrantów bałkańskich ze względu na bariery geograficzne, na które natrafiły populacje pochodzące z pozostałych refugium. Pomimo licznych prób do dzisiaj jednoznacznie nie rozstrzygnięto kwestii istnienia kryptorefugium na wyższych szerokościach geograficznych oraz udziału populacji pochodzących z Europy Wschodniej i Azji w polodowcowej rekolonizacji Europy Środkowej i Północnej.

Badaniom zostały poddane 62 populacje (1289 osobników) sosny zwyczajnej z Europy i Azji, obejmujące przypuszczalne refugia tego gatunku. Zmienność genetyczną określono na podstawie analizy 16 jądrowych markerów mikrosatelitarnych. Wstępne wyniki potwierdzają niskie zróżnicowanie międzypopulacyjne sosny zwyczajnej ($F_{ST}=2,93\%$; $p<0,001$). Wykryto 242 różne allele, co daje średnią równą 15,13 na locus. Spośród nich 36 (14,88%) było prywatnych, czyli występujących tylko w jednej populacji. Najwięcej alleli prywatnych zidentyfikowano w populacjach serbskich, a pozostałe na innych obszarach refugium glacialnych (Hiszpania, Włochy, Turcja, południowy Ural). Kilka alleli prywatnych wykryto jednak także w Europie Północnej. Większość populacji charakteryzowała się wysoką zmiennością genetyczną. Znacząco niższe wartości heterozygotyczności obserwowanej (średnia $H_O=0,525$) odnotowano dla populacji z Irlandii, górskich populacji z Polski, dla Półwyspu Apenińskiego oraz najdalej wysuniętych na wschód populacji rosyjskich.

Zarówno analiza głównych współrzędnych (PCoA – ang. Principal Coordinates Analysis), jak i bayesowskie metody grupowania wskazują na odrębność rosyjskich populacji sosny zwyczajnej. Jedynie stanowiska zlokalizowane na zachód od Uralu są bardziej podobne pod względem genetycznym do populacji z Europy Środkowej i Północnej. Badania potwierdziły też, że populacje z głębi Półwyspu Apenińskiego charakteryzują się najniższą zmiennością genetyczną. Również populacja z Wielkiej Brytanii nie grupowała się z innymi stanowiskami. Wskazuje to na istnienie refugium glacialnego także w tym rejonie, co postulowali wcześniej inni badacze.

Otrzymane wyniki stanowią istotne uzupełnienie obecnej wiedzy na temat zmienności genetycznej oraz pochodzenia i możliwych dróg migracji sosny zwyczajnej w Europie Środkowej i Północnej. Jednocześnie należy mieć na uwadze, że niskie zróżnicowanie genetyczne między populacjami sosny zwyczajnej może być rezultatem nie tylko ich wspólnego pochodzenia i wymieszania różnych linii rekolonizacyjnych, ale także działalności człowieka. Lasy sosnowe są bowiem

w przeważającej mierze lasami sztucznymi, tworzonymi przez lata jako efekt rosnącego zapotrzebowania na drewno.

Badania zostały sfinansowane przez Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk i Narodowe Centrum Nauki (grant nr 2016/21/N/NZ9/01499).

Ochrona topoli czarnej (*Populus nigra* L.) w Wielkopolskim Parku Narodowym

Weronika B. Żukowska^{1*}, Błażej Wójkiewicz¹, Andrzej Purcel²,
Andrzej Lewandowski¹

¹Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,

*wzukowska@man.poznan.pl

²Wielkopolski Park Narodowy, Jeziory 1, 62-050 Mosina

Topola czarna osiąga w Polsce północną granicę zasięgu występowania. Jest jednym z głównych gatunków lasów łęgowych, które wyróżniają się dużą bioróżnorodnością. Lasy te, ze względu na swoją produktywność, już od pradziejów były wykorzystywane przez człowieka, co doprowadziło do znacznego zubożenia biologicznego tych terenów. Na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci liczebność populacji topoli czarnej drastycznie spadła. Przyczyniły się do tego postępujące procesy urbanizacyjne, regulacja rzek oraz przekształcenie terenów zalewowych, koniecznych dla naturalnego odnawiania się topoli czarnej, w użytki rolne i leśne. W konsekwencji topola czarna jest obecnie gatunkiem zagrożonym wyginięciem w wielu krajach Europy.

W Polsce topola czarna nie podlega ochronie gatunkowej, jednak większość populacji zajmuje siedliska wchodzące w skład sieci Natura 2000. Niestety nasze obserwacje terenowe wskazują, że wiele drzew jest w wieku terminalnym, a odnowienia naturalne występują bardzo rzadko, zwłaszcza w rejonach silnie przekształconych, jakimi są doliny Odry i Warty, a także górnej i dolnej Wisły. Co więcej, pula genowa topoli czarnej jest zagrożona dopływem obcych genów od szybko rosnących mieszańcowych odmian topoli kanadyjskiej (*P. × canadensis* Moench), które mogą krzyżować się z czystymi topolami czarnymi. Ich masowa introdukcja na obszary dolin rzecznych w Polsce w połowie ubiegłego wieku doprowadziła do pojawienia się trudności w odróżnianiu czystych topól czarnych od ich hybrydowych odmian ze względu na duże podobieństwo morfologiczne. Co więcej, część odnowienia naturalnego gatunku stanowią osobniki mieszańcowe. Topola czarna rozmnaża się także wegetatywnie, zwykle przez odrosty korzeniowe. Rzeczywiste zasoby genowe topoli czarnej są zatem niższe niż te szacowane jedynie na podstawie liczby drzew, ze względu na występowanie hybryd i klonów. Do innych zagrożeń dla topoli można też zaliczyć uszkodzenia powodowane

przez coraz liczniejsze populacje bobrów oraz porażenie gałęzi bakteryjnym rakiem topoli (*Xanthomonas populi* (Ridé) Ridé et Ridé).

W Wielkopolskim Parku Narodowym chronione są fragmenty lasów łęgowych, w których pozostały jedynie pojedyncze drzewa lub niewielkie zgrupowania topoli czarnej, głównie młodych osobników. Celem naszych badań były prace inwentaryzacyjne, określenie płci i czystości gatunkowej osobników zidentyfikowanych na podstawie cech morfologicznych jako topole czarne oraz ocena zasobów genowych tego gatunku w Wielkopolskim Parku Narodowym w celu wytypowania drzew do ochrony *in situ* i *ex situ*.

Analizie zostały poddane 42 osobniki. Wśród nich zidentyfikowaliśmy jednie dwa stare drzewa o obwodzie pnia przekraczającym 4 m. Czternaście osobników okazało się mieszańcami. Są to odmiany topoli kanadyjskiej 'Marilandica', 'Robusta' i 'Grandis'. Spośród pozostałych 28 drzew czystej gatunkowo topoli czarnej 9 było klonami. Ostatecznie zidentyfikowaliśmy więc 19 drzew odmiennych genetycznie. Analiza zmienności genetycznej przy wykorzystaniu 14 jądrowych markerów mikrosatelitarnych wykazała, że topola czarna w Wielkopolskim Parku Narodowym wciąż ma wysoką zmienność genetyczną. Poziom heterozygotyczności obserwowanej był wysoki i niemal identyczny z poziomem heterozygotyczności oczekiwanej ($H_o=0,702$ vs $H_e=0,698$). Średnia liczba alleli na locus wyniosła $N_a=6,93$, natomiast efektywna liczba alleli była niższa ($N_e=3,77$) ze względu na fakt, że wiele alleli miało niską częstość. Zgodnie z wynikami, drzewa topoli czarnej w Wielkopolskim Parku Narodowym stanowią najprawdopodobniej pozostałość znacznie większej populacji. Wskazuje na to brak struktury przestrzennej oraz istotny statystycznie efekt wąskiego gardła.

Otrzymane wyniki są kluczowe w aspekcie tworzenia programów ochrony i restytucji topoli czarnej w Polsce oraz mają istotne znaczenie praktyczne. Zidentyfikowane przez nas czyste gatunkowo osobniki posłużą jako źródło nasion oraz materiał do rozmnażania wegetatywnego, który będzie dostępny dla sąsiadujących z parkiem nadleśnictw Babki i Konstantynowo, zainteresowanych pracami związanymi z restytucją gatunku oraz renaturyzacją obszarów nadwarciańskich. Po rozmnożeniu drzewa te będą mogły również zostać reintrodukowane na obszary dolin rzecznych objętych programem Natura 2000, gdzie liczebność naturalnych populacji topoli czarnej jest niewystarczająca dla jej przetrwania, a warunki siedliskowe są wciąż odpowiednie dla tego gatunku.

Badania zostały sfinansowane przez Wielkopolski Park Narodowy w ramach usługi badawczej pt. „Ochrona topoli czarnej (*Populus nigra* L.) w Wielkopolskim Parku Narodowym” (umowa nr T/2021/16).

Indeks autorów

- Alber Meeli 163
 Alexandrowicz Witold P. 165
 Alipour Shirin 81
 Anibaba Quadri A. 188

Bełka Marta 82
 Biernacka Anna 84
 Błońska Agnieszka 188
 Bolte Andreas 23
 Brózdowski Jakub 85
 Buczek Krzysztof 122
 Bułaj Bartosz 86
 Burczyk Jarosław 127

Cedro Anna 88
 Chmielarz Paweł 89, 146, 179, 181
 Chmura Daniel J. 146
 Chmura Damian 188
 Chodak Marcin 92, 166, 187
 Chojnicki Bogdan H. 35, 101, 153, 159
 Ciesielski Mariusz 93

Danielewicz Władysław 182
 Dobrowolska Dorota 94
 Dukat Paulina 96
 Dyderski Marcin K. 111, 135, 173, 184, 185, 188
 Dylewski Łukasz 118

Freudenberg Maximilian 151

Gałka Mariusz 122
 Gawlak Magdalena 99
 Gąbka Maciej 101, 153
 Giertych Marian J. 104
 Gizińska Aldona 141
 Glazińska Paulina 126
 Gołos Piotr 190
 Gross Caroline 154
 Gruba Piotr 133
 Grygier Piotr 98
 Grzebisz Witold 157
 Guzicka Marzenna 99
 Guziejko Adam 108

Harenda Kamila M. 101, 153, 159
 Hazubska-Przybył Teresa 102
 Horodecki Paweł 111, 173, 175

Iszkuło Grzegorz 104, 154
Izworska Katarzyna 105

Jagodziński Andrzej M. 111, 147, 156–157, 173, 175, 184, 188
Jankowska-Wróblewska Sandra 127
Jaroszewicz Bogdan 61
Jasik Michał 107, 192
Jasińska Anna K. 163
Jastrzębowski Szymon 108
Józefczyk Damian 101, 153, 159
Józefowska Agnieszka 187

Kaczmarski Mikołaj 109
Kalaji Hazem M. 169
Kalemba Ewa M. 81
Kamczyc Jacek 82, 111, 139, 149, 173, 175
Kamińska Agnieszka 138
Kapusta Paweł 167
Karliński Leszek 113, 136, 160
Karpińska-Kołaczek Monika 122
Kasprowicz Marek 157
Kasztelan Adrian 115
Kaźmierczak Katarzyna 116
Kaźmierowski Cezary 157
Kędziora Wojciech 117, 189
Kijowska-Oberc Joanna 118, 121
Kleniewska Małgorzata 101, 153
Kojs Paweł 141
Kolanowska Marta 185
Kołaczek Piotr 35, 122
Kosiński Piotr 124
Kosno-Jończy Joanna 169
Kościelniak Paulina 126
Kotowski Wiktor 35
Kowalczyk Anna 149
Kowalewska-Kalkowska Halina 88
Kozioł Czesław 127
Kozłowski Jan 128
Kuberski Łukasz 143

- Kubus Marcin 129
Kujawska Marta 132, 160
Kupka Dawid 133
Kurek Przemysław 150
- Lamentowicz Mariusz 35, 101, 122,
153
Lechowicz Kacper 135, 182
Leski Tomasz 132, 136, 160, 185
Lewandowski Andrzej 193, 195
Ley-López Juan Manuel 181
Lietz Hanna 94
Lindner Marcus 58
Lisiewicz Maciej 138
- Łabiszak Bartosz 177
Łukowiak Remigiusz 157
- Magdon Paul 151
Malica Jacek 139
Małecka Arleta 121
Małecki Michał 117
Małek Stanisław 96, 107, 192
Marcisz Katarzyna 35, 122
Marek Sławomir W. 99
Margielewski Włodzimierz 122
Matulewski Paweł 105
Mąderek Ewa 149
Miodek Adam 141
Miścicki Stanisław 143
Murawiec Sławomir 73
Muter Elżbieta 105
- Niewiński Krzysztof 117
Nowak Grzegorz 88, 129
Nowiński Mirosław 182
- Obarska Agata 102
Okoński Bernard 144
Olejnik Janusz 96, 107, 109, 192
Orczewska Anna 61
- Pająk Marek 192
Pawlak Bogdan 94
Pawłowski Tomasz A. 146
- Paż-Dyderska Sonia 147
Pers-Kamczyc Emilia 102, 149
Piechnik Łukasz 150
Pietras Marcin 136, 185
Pietras-Couffignal Karolina 151
Pietrzykowski Marcin 92, 166, 187
Piętka Jacek 117
Poczta Patryk 101, 153, 159
Puchałka Radosław 108
Purcel Andrzej 195
- Rabska Mariola 104, 154
Ratajczak Ewelina 102, 118, 121,
149, 181
Rawlik Katarzyna 156–157
Rączka Grzegorz 139
Roman Piotr 116
Rosenvald Katrin 163
Różańska Monika 159
Rudawska Maria 132, 136, 160
Rymszewicz Sebastian 162
- Sanders Tanja 23
Schnell Sebastian 151
Sellin Arne 163
Skoczylas-Śniaz Sylwia 165
Skorupski Maciej 107, 139, 175
Słowiński Michał 35
Smoczyk Michał 111
Socha Jarosław 59
Sroka Katarzyna 92, 166
Stanek Małgorzata 167
Stasińska Małgorzata 160
Staszak Aleksandra M. 121
Stefanowicz Anna M. 167
Stereńczak Krzysztof 138, 143
Suchocka Marzena 169
Suszka Jan 89, 146, 149, 171, 179
Swoczyna Tatiana 169
Szczepaniak Oskar 85
Szwagrzyk Jerzy 61
- Taczanowska Karolina 93
Tomaszewski Dominik 99, 104, 172
Tryjanowski Piotr 73, 109

- Ukalska Joanna 108
Urbaniak Marek 96, 107
Urbanowski Cezary K. 173, 175
- Vesala Timo 96
- Wachowiak Witold 177, 193
Walas Łukasz 104, 124, 185
Waliszewska Bogusława 85
Wanic Tomasz 178
Warwick Nigel 154
Wawrzyniak Mikołaj K. 89, 146, 179,
181
Wiatrowska Blanka 135, 182
Wierzcholska Sylwia 111, 184
Wilgan Robin 136, 160, 185
Włoch Wiesław 141
Wojciechowska Natalia 81
- Woś Bartłomiej 187, 192
Woźniak Gabriela 188
Woźniecka Kamila 86
Wójcik Roman 189
Wójcik Tomasz 150
Wójkiewicz Błażej 193, 195
Wrońska-Pilarek Dorota 135, 162
Wysocka-Fijorek Emilia 190
- Zaborowska Julia 177
Zadworny Marcin 126
Zawiła-Niedźwiecki Tomasz 59
Zielonka Tomasz 105
Ziemblińska Klaudia 96, 107, 109,
192
Zygmunt Robert 178
Żukowska Weronika B. 193, 195

Bogucki
WYDAWNICTWO
NAUKOWE

ISBN 978-83-7986-374-7



9 788379 863747