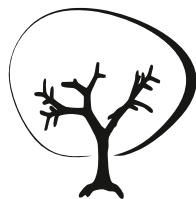


3. KONFERENCJA NAUKOWA
DRZEWA I LASY
W ZMIENIAJĄCYM SIĘ ŚRODOWISKU

KÓRNIK-POZNAŃ, 12–14 PAŹDZIERNIKA 2026



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, 12–14 października 2026

Materiały konferencyjne

Redakcja
Dominik Tomaszewski
Andrzej M. Jagodziński

Bogucki Wydawnictwo Naukowe
Poznań 2026

Redakcja

Dominik Tomaszewski, Andrzej M. Jagodziński

Projekt okładki i logo Konferencji

Radosław Rakowski, Andrzej M. Jagodziński

Wydanie materiałów konferencyjnych sfinansowane
przez Fundację Zakłady Kórnickie.

Copyright © Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik 2026

ISBN 978-83-7986-621-2

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

Druk i oprawa:
PerfektDruk

Patronat



Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Paulina Henning-Kloska
Minister Klimatu i Środowiska



Marek Konarzewski
Prezes Polskiej Akademii Nauk



Lasy Państwowe

Adam Wasiak
Dyrektor Generalny Lasów Państwowych

Komitet Honorowy



**Oddział PAN
w Poznaniu**



**Regionalna Dyrekcja
Lasów Państwowych w Poznaniu**

Jerzy Kaczorowski

Prezes Oddziału
Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu

Wiesław Krzewina

Dyrektor
Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych
w Poznaniu



**Polskie Towarzystwo Leśne
Oddział Wielkopolski**

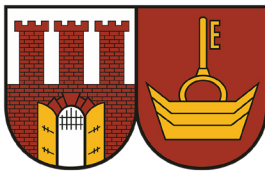


Jerzy Flisykowski

Przewodniczący Zarządu
Oddziału Wielkopolskiego
Polskiego Towarzystwa Leśnego

Jan Grabkowski

Starosta Poznański



Przemysław Pacholski

Burmistrz
Miasta i Gminy Kórnik



Zbigniew Kalisz

Prezes Zarządu
Fundacji Zakłady Kórnickie

Patronat Medialny

FORUM
AKADEMICKIE



ECHA LEŚNE
KWARTALNIK PRZYJACIÓŁ LASU

PATRONAT MEDIALNY

LAS POLSKI

Dwutygodnik leśników i przyjaciół lasu

Partnerzy



Lasy Państwowe



200 lat
BIBLIOTEKI
KÓRNICKIEJ



**SZKÓŁKI
KÓRNICKIE**

istnieją od 1820 roku

Komitety Naukowy

Przewodniczący:

prof. dr hab. inż. Andrzej M. Jagodziński, czł. koresp. PAN
Dyrektor Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk

Członkowie:

prof. dr hab. Magdalena Arasimowicz-Jelonek
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

prof. dr hab. Adam Boratyński
Instytut Dendrologii PAN

prof. dr hab. Władysław Chałupka
Instytut Dendrologii PAN

prof. dr hab. Paweł Chmielarz
Instytut Dendrologii PAN

prof. dr hab. Marian J. Giertych
Instytut Dendrologii PAN

prof. dr hab. Katarzyna Hrynkiewicz
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

prof. dr hab. inż. Grzegorz Iszkuło
Instytut Dendrologii PAN

prof. dr hab. Arkadiusz Kosmala
Instytut Genetyki Roślin PAN

prof. dr hab. Andrzej Lewandowski
Instytut Dendrologii PAN

prof. dr hab. Małgorzata Mańka, czł. rzecz. PAN
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

prof. dr hab. Arkadiusz Nowak
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

prof. dr hab. Tomasz A. Pawłowski
Instytut Dendrologii PAN

prof. dr hab. Maciej Skorupski
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

prof. dr hab. Jarosław Socha
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

prof. dr hab. Piotr Robakowski
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

prof. dr hab. Maria Rudawska
Instytut Dendrologii PAN

prof. dr hab. Witold Wachowiak
Instytut Dendrologii PAN

prof. dr hab. Szymon Zubek
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

prof. dr hab. Magdalena Żywiec
Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN

Komitet Organizacyjny

Przewodnicząca:

Emilia Pers-Kamczyc

Członkowie:

Dawid Adamczyk

Ewa Bąkowska-Nowak

Katarzyna Broniewska

Paweł Horodecki (sekretariat)

Monika Jurga

Martyna Lasek

Anita Rzadkiewicz

Dominika Robak

Michalina Piegat (sekretariat)

Katarzyna Sękiewicz

Mariola Rabska

Maciej Rajek

Ewelina Ratajczak

Katarzyna Szwed-Pietras

Dominik Tomaszewski

Joanna Walkowiak

Weronika B. Żukowska (sekretariat)

Spis treści

Wprowadzenie	21
Sesja plenarna	23
Więcej niż kolekcja: 200 lat Arboretum Kórnickiego <i>Andrzej M. Jagodziński, Kinga Nowak</i>	25
More Than a Collection: 200 Years of the Kórnik Arboretum <i>Andrzej M. Jagodziński, Kinga Nowak</i>	65
Harnessing ArbNet, the global network of arboreta, for collaborative research and conservation <i>Andrea N. Brennan</i>	105
Trends and perspectives in aerial extraction systems: possible pathways towards reduced impact logging <i>Rodolfo Picchio</i>	113
Botanical gardens as places to study and communicate climate change: Progress and prospects <i>Richard B. Primack, Elizabeth R. Ellwood, Amanda S. Gallinat, Abraham J. Miller-Rushing</i>	121
Maladaptation to changing environments in California oaks <i>Victoria L. Sork, Ryan C. Buck, Alexander R.B. Goetz, Lily D. Peck</i>	139
Las Modelowy w Obornikach jako żywe laboratorium. Korzenie, praktyka i wyzwania przyszłości <i>Jarosław Bator</i>	153
Ogrody botaniczne znajdujące się na gruntach PGL LP <i>Jolanta Błasiak, Aleksandra Flis</i>	157
Zagrożenia dla ekosystemów leśnych <i>Katarzyna Hutka</i>	159
Drzewa w postępowaniach administracyjnych <i>Marzena Pawłowska</i>	161

Sesja referatowa	163
Wpływ wilków, ludzi oraz struktury środowiska na intensywność żerowania jeleniowatych w ekosystemach leśnych <i>Zbigniew Borowski, Krystian Szreder, Karol Zub</i>	165
Spadek jakości szyszek i nasion sosny zwyczajnej pod wpływem upałów w świetle jej potencjału adaptacyjnego <i>Sebastian Bury, Marcin K. Dyderski, Jessie Foest, Maciej K. Barczyk, Witold Wachowiak, Szymon Jastrzębowski, Adam Guziejko, Andrew Hacket-Pain, Michał Bogdziewicz</i>	166
Kriokonserwacja i hodowla <i>in vitro</i> merystemów w celu zachowania leśnych zasobów genowych <i>ex situ</i> <i>Paweł Chmielarz, João Paulo Rodrigues Martins, Juan Manuel Ley-López, Mikołaj K. Wawrzyniak, Marcin Michalak, Christina Walters, Małgorzata Pałucka, Urszula Wasileńczyk</i>	167
Wpływ odkrycia powierzchni za pomocą rębni zupełnej na temperaturę i wilgotność gleby na zrębie <i>Bogdan Chojnicki, Patryk Poczta, Damian Józefczyk, Kamila Harenda, Miłosz Nowak, Joanna Kocięcka</i>	169
Czy możemy polegać na latach nasiennych? Jakość nasion buka zwyczajnego (<i>Fagus sylvatica</i>) w warunkach zmiany klimatu <i>Hanna Fuchs, Marcin K. Dyderski, Szymon Jastrzębowski, Ewelina Ratajczak</i>	170
Od pola do lasu: rola leśnych pasów buforowych w retencji biogenów z rolnictwa <i>Renata Gaj, Katarzyna Wielgus</i>	171
AI w naukach leśnych – szansa czy zagrożenie? <i>Marian J. Giertych</i>	173
Czy liść dębu zapewnia różnym gatunkom gałusówek odmienną dietę? <i>Marzenna Guzicka, Agnieszka Marasek-Ciołakowska, Leszek S. Jankiewicz</i>	173
Od komórki do lasu przyszłości – zastosowanie embriogenezy somatycznej w ochronie europejskich gatunków drzew leśnych <i>Teresa Hazubska-Przybył, Caroline Teyssier, Nieves Vidal, Itziar Montalban Perez, Paloma Moncaleán, Andrea Rupps, Ulrika Egertsdotter, Sakari Välimäki, Tuija Aronen</i>	175
Kiedy tempo nie mówi wszystkiego: złożoność dekompozycji liści w różnych drzewostanach <i>Paweł Horodecki, Andrzej M. Jagodziński</i>	176
Jemioła w drzewostanach sosnowych – czynniki ryzyka i znaczenie dla gospodarki leśnej w warunkach zmieniającego się klimatu <i>Grzegorz Iszkuło</i>	178
Znaczenie badań akarologicznych w ocenie funkcjonowania i zmian ekosystemów leśnych <i>Jacek Kamczyc</i>	179

Wpływ zmian klimatu na kolekcje roślinne Ogrodu Botanicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie <i>Krzysztof Kapala, Patrycja Fałowska, Michał H. Węgrzyn</i>	180
Dendroflora czy gleba? Czyli o tym, co kształtuje mykobiotę Wielkopolskiego Parku Narodowego <i>Leszek Karliński, Tomasz Leski, Daniel Janowski, Mariola Matelska, Marta Kujawska, Robin Wilgan, Adrianna Bryja-Karlińska, Maria Rudawska</i>	181
Biochemiczna tarcza drzew w obliczu zmian klimatu. Rola proliny jako substancji ochronnej oraz wskaźnika odporności na suszę <i>Joanna Kijowska-Oberc, Mikołaj K. Wawrzyniak, Łukasz Dylewski, Ewelina Ratajczak</i>	182
Zmiany w mykobiomie glebowym na stanowiskach daglezi zielonej i modrzewia europejskiego dotkniętych pożarem <i>Marta Kujawska, Tomasz Leski, Daniel Janowski, Leszek Karliński, Maria Rudawska, Robin Wilgan</i>	184
Integrating stakeholder preferences into forest extraction planning: a decision-support approach <i>Francesco Latterini, Aurora Bonaudo, Rachele Venanzi, Rodolfo Picchio</i>	186
Co kryje martwe drewno? Różnorodność grzybów nadrewnowych buczyn Wolińskiego Parku Narodowego <i>Tomasz Leski, Maria Rudawska, Daniel Janowski, Małgorzata Stasińska, Marta Kujawska, Robin Wilgan, Leszek Karliński</i>	187
Archiwa klonów – szansa na przyszłość topoli czarnej <i>Andrzej Lewandowski, Weronika B. Żukowska</i>	188
Rozwiązanie zagadki rodzimej dendroflory: genomowe spojrzenie na historię hybrydyzacji <i>Pinus uliginosa</i> <i>Bartosz Łabiszak, Witold Wachowiak</i>	189
Czy Puszcza Białowieska byłaby inna? Wpływ roślinożernych ssaków kopytnych na skład gatunkowy drzewostanów <i>Stanisław Miścicki, Anna Gazda, Emilia Wysocka-Fijorek</i>	191
Zakorzenione w przeszłości: kształtowanie cech korzeni i związanych z nimi mikrobiomów przez miejsce pochodzenia drzew <i>Joanna Mucha, Jacek Oleksyn, Marcin Zadworny</i>	192
Mechanizm adaptacji buka do warunków środowiskowych w procesie kiełkowania nasion <i>Tomasz A. Pawłowski, Marlène Davanture, Emilia Pers-Kamczyc, Andżelika Drozda, Jan Suszka, Paweł Chmielarz, Mélisande Blein-Nicolas</i>	194
Od genów do fenotypu, od fenotypu do genów – molekularne podstawy odpowiedzi drzew na zmieniające się środowisko <i>Emilia Pers-Kamczyc</i>	195

Genetyczne i biometryczne wzorce rozmieszczenia, ekspansja polodowcowa i wpływ człowieka na współczesny zasięg kłokoczki południowej (<i>Staphylea pinnata</i>) <i>Łukasz Piechnik, Bartosz Łabiszak, Elżbieta Cieślak, Sebastian Szczepański, Przemysław Kurek, Andriy Novikov, Leonardo Rosati, Ali A. Dönmez, Monika Dering, Tomasz Wójcik, Blanka Wiatrowska, Magdalena Żywiec, Witold Wachowiak</i>	197
Daglezja zielona w polskich lasach <i>Marcin Pietras, Tomasz Sobczak, Paweł Horodecki</i>	198
Dymorfizm płciowy i zmiany sezonowe a różnicowanie cech fizjologicznych jemioli pospolitej (<i>Viscum album</i>) <i>Mariola Rabska, Dawid Adamczyk, João Paulo Rodrigues Martins, Piotr Robakowski, Magdalena Terlecka, Grzegorz Iszkulo</i>	200
Tioredoksyna h1 jako tiolowy regulator długowieczności nasion buka zwyczajnego (<i>Fagus sylvatica</i> L.) <i>Ewelina Ratajczak, Aleksandra M. Staszak, Paola Vargas, Mariam Sahrawy, Antonio J. Serrato, Hanna Fuchs</i>	201
Fenologia, wzrost i fotosynteza sadzonek jodły pospolitej północnych proveniencji w różnych warunkach świetlnych <i>Piotr Robakowski, Adrian Łukowski, Zipiao Ye, Wojciech Kowalkowski</i>	202
Wykorzystanie danych fenologicznych do szacowania wielkości strumieni CO ₂ na torfowisku w Rzecinie <i>Monika Anna Różańska, Patryk Poczta, Bogdan Chojnicki</i>	204
Nowa fala <i>Sequoiadendron giganteum</i> w Polsce – możliwości i ograniczenia zastosowania gatunku na terenach zielonych (parki, skwery, lasy miejskie) <i>Agnieszka Ryżza-Woźniak, Kacper Woźniak</i>	205
Wpływ rozległych intensywnych zaburzeń na proces naturalnego odnowienia lasu <i>Jerzy Szwagrzyk, Tomasz Zwijacz-Kozica, Antoni Zięba, Aklilu B. Madalcho, Jan Bodziarczyk, Zbigniew Maciejewski, Andrzej Tomski, Wojciech Krawczyk, Anna Gazda</i>	206
Zmienność ekotypowa sosny zwyczajnej w Polsce w świetle genomiki: konsekwencje dla zarządzania zasobami genetycznymi w zmieniającym się środowisku <i>Witold Wachowiak, Martyna Lasek, Bartosz Łabiszak, Paweł Kozakiewicz</i>	207
Zielona Tama w Algierii: nowe gatunki zamiast monokultury <i>Łukasz Walas, Asma Taib, Monika Dering</i>	209
Priming nasion drzew leśnych – metoda wspomagania kiełkowania i adaptacji do stresu środowiskowego <i>Mikołaj K. Wawrzyniak, Joanna Kijowska-Oberc, Sergio Pedro Junior</i>	210
Czynniki determinujące różnorodność i trwałość epifitów w ekosystemach leśnych <i>Sylvia Wierzcholska, Anna Łubek, Marcin K. Dyderski, Patryk Czortek, Beata Olesik, Andrzej M. Jagodziński</i>	212

Dlaczego niektóre nasiona są zielone? Opracowanie na przykładzie drzew z rodzaju <i>Acer</i> <i>Natalia Wojciechowska, Julia Minicka, Amir M. Mokhtari, Ewa M. Kalembe</i>	214
Dynamika struktur drzewostanowych i sukcesji gatunkowej (na przykładzie Bukowej Góry w Roztoczańskim Parku Narodowym) <i>Emilia Wysocka-Fijorek, Stanisław Miścicki</i>	215
Wrażliwość klimatyczna sosny zwyczajnej w przemysłowym krajobrazie dawnej fabryki materiałów wybuchowych DAG Alfred Nobel w Krzystkowicach <i>Monika Ziemiańska, Paweł Konczewski, Magdalena Kurlowicz</i>	217
Zmienność genetyczna odnowień topoli czarnej w warunkach presji antropogenicznej <i>Weronika B. Zukowska, Dominika Robak, Andrzej Lewandowski</i>	219
Sesja plakatu	221
Climatic and anthropogenic pressures reshape habitat connectivity for <i>Quercus</i> and <i>Buxus</i> species in Iran's forests <i>Shirin Alipour, Łukasz Walas</i>	223
Liany w lasach strefy umiarkowanej Europy: reakcje na gradienty ekologiczne i zmienność cech funkcjonalnych <i>Olena Blinkova, Roma Żytkowiak, Andrzej M. Jagodziński</i>	224
Wskaźniki stabilności boru chrobotkowego na podstawie ogólnopolskiej oceny siedliska w gospodarczych drzewostanach sosnowych <i>Patrycja Fałowska, Patrycja Dziurawicz, Karolina Waszkiewicz, Michał H. Węgrzyn</i> .	225
Brak kompromisu między wielkością a liczbą nasion u buka zwyczajnego: klimat kształtuje alokację zasobów na pojedyncze nasiono <i>Patrycja Jerzyńska, Katarzyna Kondrat, Michał Bogdziewicz, European Beech Reproduction Network</i>	227
Presja drapieżników a możliwości reintrodukcji cietrzewia (<i>Lyrurus tetrix</i>) w Nadleśnictwie Spychowo <i>Jacek Kamczyc, Szymon Pieńkowski, Aleksander Adamski, Emilia Pers-Kamczyc, Jacek Skubis, Robert Kamieniarz, Cezary Urbanowski, Jacek Malica, Maciej Skorupski</i>	228
Czy lasy przetrwają zmianę klimatu? Zastosowanie proliny jako markera odporności drzew na suszę <i>Joanna Kijowska-Oberc, Mikołaj K. Wawrzyniak, Łukasz Dylewski, Ewelina Ratajczak</i>	229
Klimatyczne i genetyczne tło zróżnicowania fenotypowego sosny zwyczajnej (<i>Pinus sylvestris</i>) w Polsce oraz prognozy wskaźnika bonitacji w przyszłych modelach klimatycznych – implikacje dla regionalizacji nasiennej <i>Martyna Lasek, Daniel J. Chmura, Łukasz Walas, Witold Wachowiak</i>	231

Gospodarka leśna w lasach niepaństwowych i jej wpływ na ochronę najrzadszych gatunków zwierząt – przykład orlika grubodziobego (<i>Clanga clanga</i>) Jan Maciorowski, Grzegorz Maciorowski, Maciej Skorupski	232
Zmienność cech morfometrycznych daniela (<i>Dama dama</i>) w Nadleśnictwie Podanin Jan Maciorowski, Emilia Pers-Kamczyc, Jacek Kamczyc, Jacek Skubis, Robert Kamieniarz, Maciej Skorupski	233
Optymalizacja warunków chłodniczego przechowywania <i>Quercus robur</i> : odpowiedzi fizjologiczne, biochemiczne i cytokininy podczas konserwacji metodą spowolnionego wzrostu oraz regeneracji João Paulo Rodrigues Martins, Maciej Rajek, Ewa M. Kalemba, Mikołaj K. Wawrzyniak	234
Czy topola pamięta suszę? Fizjologiczne sygnały potencjalnej pamięci stresu u młodych roślin Elwira Nawrocka, Andrzej Lewandowski, Ewelina Ratajczak, Hanna Fuchs	235
Przegląd cennych zespołów leśnych na przykładzie rezerwatu „Pazurek” Małgorzata Osmenda, Katarzyna Nawrot-Chorabik	237
Wpływ intensywności kwitnienia na zapylanie jarzębu pospolitego (<i>Sorbus aucuparia</i>) Łukasz Piechnik, Jakub Szymkowiak, Michał Bogdziewicz, Waldemar Celary, Mateusz Ledwoń, Grażyna Szarek-Łukaszewska, Barbara Seget, Katarzyna Kondrat, Karol Zubeł, Magdalena Żywiec	238
Czy płeć różnicuje wzrost siewek topoli czarnej (<i>Populus nigra</i>)? Wczesne przejawy dymorfizmu płciowego Michalina Piegat, Joanna Mucha, Jacek Kamczyc, Emilia Pers-Kamczyc	239
Wpływ wcześniejszego stresu suszy na reakcję klonalnego potomstwa topoli czarnej na powtarzającą się suszę Anita Rządiewicz, Tomasz A. Pawłowski, Andrzej Lewandowski, Weronika B. Żukowska, Daniel J. Chmura, Emilia Pers-Kamczyc, Agnieszka Szuba ..	241
Rola Arboretum Leśnego im. prof. Stefana Białoboka w Nadleśnictwie Syców w czynnej ochronie rzadkich i chronionych gatunków drzew w Polsce Jarosław Sęktas	242
Złotoborowik wysmukły (<i>Aureoboletus projectellus</i>) jako gatunek obcy w Polsce: najważniejsze aspekty inwazji Tomasz Sobczak, Marcin Pietras	243
Metabolomiczna odpowiedź grzybni <i>Paxillus involutus</i> na wybrane czynniki abiotyczne: ekspozycję na światło i niską temperaturę Agnieszka Szuba, Weronika B. Żukowska, Joanna Mucha, Aleksander Strugała, Łukasz Marczał	245

Zachowanie zasobów genowych najcenniejszych populacji sosny zwyczajnej (<i>Pinus sylvestris</i> L.) po klęsce wiatru – studium przypadku Nadleśnictwa Rytel <i>Adrian Talaśka, Wojciech Kowalkowski</i>	246
Kluczowa rola wody dla przyrostu radialnego topoli białej <i>Magdalena Terlecka</i>	248
Wpływ warunków glebowych i zasolenia na różnorodność taksonomiczną i morfologiczną grzybów ektomykoryzowych olszy czarnej w ramach mykobiomu strefy korzeniowej <i>Dominika Thiem, Piotr Mleczko, Marcin Gołębiewski, Katarzyna Hryniewicz</i>	249
Wpływ inwazyjnych gatunków drzew na mykobiom glebowy w rodzimych ekosystemach leśnych <i>Robin Wilgan, Marta Kujawska, Tomasz Leski</i>	250
Indeks autorów	253

Wprowadzenie

Drzewa i lasy należą do tych elementów środowiska, w których procesy zachodzące w skali dziesięcioleci i stuleci spotykają się dziś z tempem zmian obserwowanych w skali zaledwie kilku czy kilkunastu lat. Wzrost temperatury, częstsze i bardziej intensywne susze, zaburzenia stosunków wodnych, ekstremalne zjawiska pogodowe, presja nowych patogenów i organizmów inwazyjnych, fragmentacja siedlisk, a także rosnące oczekiwania społeczne wobec funkcji pełnionych przez ekosystemy leśne powodują, że badania obejmujące biologię i ekologię drzew oraz funkcjonowanie lasów zyskują szczególne znaczenie. W takich warunkach rośnie rola zrozumienia procesów zachodzących w długiej perspektywie czasowej oraz przewidywania skutków decyzji, których pełne konsekwencje będą widoczne dopiero dla kolejnych pokoleń. Współczesna nauka stoi przed zadaniem nie tylko coraz dokładniejszego rozpoznawania mechanizmów odpowiedzi organizmów i ekosystemów na zmieniające się warunki, lecz także przekładania tej wiedzy na decyzje dotyczące gospodarki leśnej i ochrony przyrody.

Wyzwania te wymagają ścisłego dialogu pomiędzy badaczami reprezentującymi różne dyscypliny a praktykami odpowiedzialnymi za zarządzanie ekosystemami leśnymi. Fizjologia i genetyka roślin drzewiastych, ekologia populacji i zbiorowisk, biogeochemia, gleboznawstwo, dendrochronologia, modelowanie procesów przyrodniczych czy poznanie mechanizmów determinujących różnorodność biologiczną coraz częściej spotykają się we wspólnym pytaniu: jak zwiększać odporność lasów, nie tracąc z pola widzenia ich złożoności, długowieczności oraz nieprzewidywalności reakcji na szybko zmieniające się warunki środowiska? Odpowiedzi na to pytanie nie mogą być formułowane w oderwaniu od społecznego wymiaru lasów. Są one bowiem miejscem realizacji ich funkcji produkcyjnych oraz fundamentem bezpieczeństwa ekologicznego, przestrzeni ochrony różnorodności biologicznej, retencji wody, łagodzenia lokalnego klimatu, edukacji, rekreacji, budowania tożsamości kulturowej i więzi człowieka z przyrodą.

Tegoroczna konferencja „Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku”, organizowana po raz trzeci przez Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk oraz Oddział Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu, ma wymiar szczególny. Spotykamy się w roku jubileuszu 200-lecia Arboretum Kórnickiego, najstarszej części naszego Instytutu – miejsca, w którym historia, nauka i żywe dziedzictwo przyrodnicze splatają się ze sobą w sposób wyjątkowy. Kolekcja drzew i krzewów gromadzona w Kórniku przez kolejne pokolenia właścicieli dóbr kórnickich nie była i nie jest jedynie świadectwem ich zainteresowania różnorodnością świata roślin. Kolekcje te były, są i będą podstawą badań roślin drzewiastych, zgodnie z misją sformułowaną przez założycieli Ogrodów Kórnickich. W tym sensie Arboretum Instytutu Dendrologii PAN nie jest wyłącznie historycznym założeniem parkowym i kolekcją dendrologiczną, lecz także swoistym laboratorium, w którym czas

sam staje się jednym z najważniejszych wymiarów eksperymentu. To unikatowe laboratorium, którego wartość – nie tylko naukowa – rośnie z upływem czasu.

Znaczenie Arboretum Kórnickiego wykracza jednak daleko poza jego funkcję naukową. Jako część narodowego dziedzictwa przyrodniczego i kulturowego przypomina o odpowiedzialności za zachowanie wartości tworzonych przez poprzednie pokolenia, ale także o obowiązku przekazania ich następnym. W przypadku kolekcji roślin drzewiastych oznacza to odpowiedzialność szczególną: wiele z nich żyje dłużej niż trwa zawodowe życie badacza, a decyzje podejmowane dzisiaj będą oceniane w perspektywie, której sami nie będziemy mogli obserwować.

Mamy nadzieję, że tegoroczna konferencja – tak jak i poprzednie – stanie się przestrzenią wymiany wyników najnowszych badań, doświadczeń terenowych, metod i idei, ale również miejscem rozmowy o odpowiedzialności nauki wobec przyrody i społeczeństwa. Prezentowane w materiałach konferencyjnych treści pokazują szerokie spektrum podejmowanych problemów i różnorodność perspektyw badawczych.

Życzymy wszystkim Uczestnikom konferencji inspirujących obrad, wartościowych spotkań i rozmów, które – podobnie jak drzewa w kórnickich kolekcjach – będą miały szansę rozwijać się i przynosić rezultaty przez wiele kolejnych lat.

Przewodnicząca
Komitetu Organizacyjnego

Dyrektor
Instytutu Dendrologii PAN

dr hab. inż. Emilia Pers-Kamczyc
profesor ID PAN

prof. dr hab. inż. Andrzej M. Jagodziński
członek korespondent PAN

Kórnik, 12 października 2026 roku

Sesja plenarna

Więcej niż kolekcja: 200 lat Arboretum Kórnickiego

Andrzej M. Jagodziński, Kinga Nowak

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

Streszczenie:

Arboretum Kórnickie jest przykładem żywej kolekcji, której wartość powstaje z połączenia roślin, dokumentacji, kompetencji ludzi i czasu. W ciągu dwóch stuleci zmieniały się cele stawiane temu miejscu: od kształtowania krajobrazu rezydencjonalnego, kolekcjonowania i introdukcji roślin, przez dokumentację, systematykę, szkółkarstwo i hodowlę, po badania fizjologiczne, genetyczne, ekologiczne i molekularne. Funkcje te nie zastępowały się, lecz nakładały, dzięki czemu historyczna kolekcja stała się długoterminową infrastrukturą wiedzy. Jej szczególna wartość wynika z możliwości powracania do tych samych okazów i ich potomstwa z nowymi pytaniami badawczymi oraz z łączenia żywego materiału z księgami inwentarzowymi, zielnikiem, archiwum, biblioteką i wynikami wcześniejszych badań. Arboretum było i pozostaje nie tylko źródłem próbek, lecz także miejscem zachodzenia procesów ekologicznych, wielogatunkowym układem porównawczym, przestrzenią monitoringu oraz zapleczem kształcenia kolejnych pokoleń badaczy. Równocześnie jego znaczenie wykracza poza naukę. Jako część historycznego zespołu zamkowo-parkowego pełni funkcje edukacyjne, kulturowe, turystyczne i rekreacyjne, wspiera dobrostan oraz buduje społeczne uzasadnienie dla ochrony żywych kolekcji. Przyszłość Arboretum powinna opierać się przede wszystkim na jakości i interoperacyjności danych, strategicznej reprezentacji różnorodności genetycznej, ochronie cennych genotypów, monitoringu fenologicznym i fitosanitarnym, ocenie ryzyka introdukcji, badaniach odpowiedzi drzew na zmianę klimatu oraz trwałym przekazywaniu kompetencji kuratorskich i ogrodniczych. Najważniejszym rezultatem 200 lat historii nie jest więc zamknięty zbiór odpowiedzi ani sama liczba taksonów, lecz zachowana zdolność kolekcji do generowania nowej wiedzy, wspierania ochrony różnorodności biologicznej i tworzenia wartości społecznej dla przyszłych pokoleń.

Wstęp

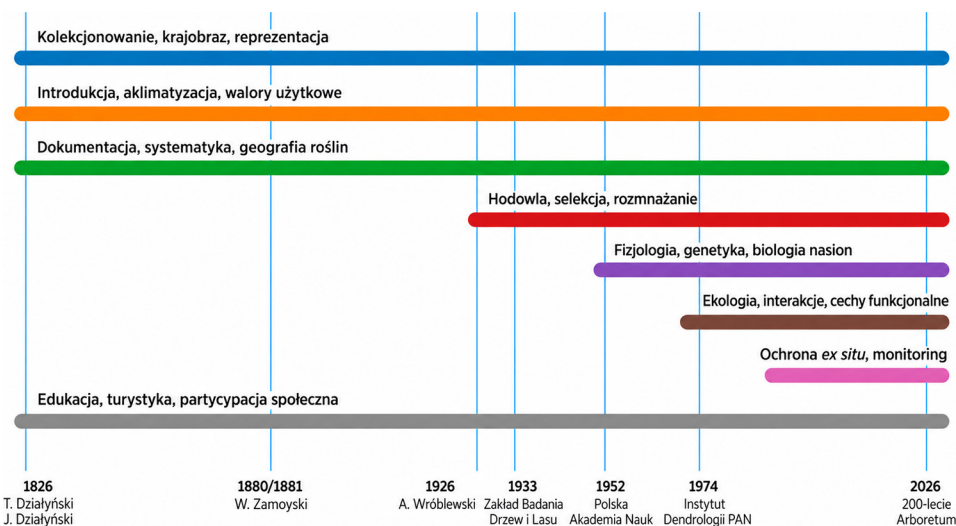
Długowieczność roślin drzewiastych sprawia, że arboreta należą do nielicznych infrastruktur naukowych, w których czas nie jest jedynie tłem badań, lecz jednym z ich podstawowych zasobów. Aparaturę laboratoryjną można wymienić, unowocześnić, a serię krótkotrwałych doświadczeń powtórzyć; dojrzałego drzewa o udokumentowanym pochodzeniu, znanej historii, obserwowanego przez kilka pokoleń, nie można natomiast odtworzyć w skali czasu pojedynczego, kilkuletniego projektu badawczego. Wartość kolekcji dendrologicznej rośnie nie tyl-

ko wraz z liczbą zgromadzonych w niej taksonów, lecz także wraz z wiekiem roślin, kompletnością dokumentacji, ciągłością opieki i liczbą pytań, które można wobec niej ponownie postawić. Ta cecha jest szczególnie wyraźna w Kórniku, gdzie historia kolekcji zgromadzonej w Arboretum Kórnickim sięga 1826 roku, a jej rozwój pozostaje powiązany z dziejami rodziny Działyńskich i Zamoyskich, Fundacji Zakłady Kórnickie oraz dzisiejszego Instytutu Dendrologii PAN (Nowak 2020, Jagodziński 2023, 2024, 2025, 2026a).

Współczesna definicja ogrodu botanicznego akcentuje udokumentowaną kolekcję żywych roślin utrzymywaną dla celów naukowych, ochronnych, edukacyjnych i ekspozycyjnych. Arboreta należą do tej tradycji, lecz koncentrują się na roślinach drzewiastych, co nadaje im własną specyfikę biologiczną i organizacyjną. Długi cykl życia drzew, duże rozmiary, znaczenie proveniencji, trudności w rozmnażaniu i przechowywaniu materiału niektórych gatunków oraz rozbudowane relacje z grzybami, owadami i innymi organizmami powodują, że utrzymywanie kolekcji drzew jest formą eksperymentu długoterminowego. Ogrody botaniczne i arboreta są dziś opisywane jako żywe laboratoria, banki różnorodności, węzły infrastruktury danych i przestrzenie publicznej edukacji przyrodniczej (Blackmore i in. 2011, Mounce i in. 2017, O'Donnell, Sharrock 2017, Westwood i in. 2021, Brockington i in. 2026, Teixeira, Ferreira 2026).

Taka perspektywa chroni przed dwoma uproszczeniami. Pierwsze polega na traktowaniu arboretum wyłącznie jako zbioru rzadkich drzew, którego wartość można mierzyć liczbą nazw taksonów w księdze inwentarzowej. Drugie sprowadza ogród naukowy (kolekcję) do miejsca poboru próbek do badań wykonywanych w laboratorium. W rzeczywistości żywa kolekcja może pełnić co najmniej kilka odmiennych ról: być przedmiotem opisu systematycznego, wspólnym ogrodem porównawczym (układem typu *common garden*), źródłem nasion, kwiatów, liści lub korzeni, miejscem zachodzenia procesów ekologicznych, archiwum historycznej introdukcji, zasobem genetycznym, powierzchnią monitoringu klimatycznego i fitosanitarnego oraz przestrzenią spotkania nauki ze społeczeństwem. Wartość naukowa takiego obiektu nie powstaje więc w samych roślinach, lecz w relacji między rośliną, informacją o niej i sposobem zadawania pytań (Dosmann 2006, Dosmann, Groover 2012, Jagodziński 2026a, b, c).

Arboretum Kórnickie, najstarsza część Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, jest dobrym obiektem do analizy tak rozumianej wielofunkcyjności, ponieważ niemal wszystkie wymienione role pojawiały się w nim w różnych okresach. W XIX wieku dominowały cele kolekcjonerskie, krajobrazowe, dydaktyczne i aklimatyzacyjne, w dwudziestoleciu międzywojennym coraz większego znaczenia nabierały dokumentacja, szkolnictwo, hodowla i projekt instytucjonalnej nauki, po II wojnie światowej rozwinięto szeroki program badań z zakresu systematyki, genetyki, fizjologii, biologii nasion, ekologii i badań środowiskowych, a współcześnie kolekcja jest wykorzystywana także w badaniach mykoryz, cech funkcjonalnych roślin, metabolizmu, fenologii, biologii reprodukcji i reakcji na czynniki stresowe. Równolegle poszerzała się funkcja publiczna: od idei szkoły leśnej i ogrodniczej przez przewodniki i popularyzację do współczesnej edukacji, turystyki przyrodniczej i wydarzeń społecznych (Wróblewski 1928a, b, 1936,



Ryc. 1. Schemat interpretacyjny: nakładanie się funkcji Arboretum Kórnickiego w latach 1826–2026

Białobok 1946a, 1955, 1958, 1960, 1961, 1968, 1969, 1975, Bugała 1971, 1978, 1996, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025, Nowak, Ratajczak 2023).

Kolejne kierunki działalności realizowanej w Arboretum Kórnickim (dzisiaj Arboretum Instytutu Dendrologii PAN) w minionych dwóch stuleciach nie zastępowały wcześniejszych kierunków, lecz poszerzały zakres wykorzystania kolekcji. Nie tworzyły one zatem prostego następstwa etapów, lecz nakładały się na siebie i wzajemnie wzmacniały (ryc. 1).

Od przyzamkowego ogrodu do publicznej infrastruktury wiedzy

Historia kórnickiej kolekcji jest warunkiem zrozumienia jej współczesnego potencjału. Już w działaniach jej właścicieli (Działyńskich i Zamoyskich) pojawiały się równoległe funkcje estetyczne, użytkowe, kolekcjonerskie, dydaktyczne i poznawcze, natomiast późniejsza instytucjonalizacja nauki, czyli powstanie Fundacji Zakłady Kórnickie, a następnie utworzenie Zakładu Badania Drzew i Lasu (dzisiejszego Instytutu Dendrologii PAN), zgodnie z wolą ostatniego właściciela dóbr kórnickich i zakopiańskich – Władysława hr. Zamoyskiego, pozwoliła je uporządkować i rozszerzyć (Kalisz 2013, Nowak 2020, Jagodziński, Biniś-Szkopek 2024, Jagodziński 2026b, Nowak, Broniewska 2026).

W 2026 roku obchodzimy jubileusz 200-lecia Arboretum w Kórniku – jednej z najcenniejszych polskich kolekcji dendrologicznych. Jubileusz ten jest okazją do refleksji nad dwoma wiekami kolekcjonerskiej działalności dendrologicznej w Kórniku oraz do przyjrzenia się kluczowym momentom w dziejach obiektu. Są one związane z burzliwą historią naszego kraju, uwarunkowaniami politycznymi

i powiązanymi z nimi losami twórców i właścicieli Arboretum. W tak długiej historii obiektu nie brakowało momentów, które mogły definitywnie zakończyć proces jego tworzenia i dalsze istnienie lub znacząco ograniczyć szanse na jego zachowanie do czasów współczesnych. Szczęśliwym zrządzeniem losu, a także dzięki determinacji i zaangażowaniu kolejnych pokoleń twórców, Arboretum przetrwało i dziś możemy w nim znaleźć drzewa pochodzące z różnych etapów jego powstawania. Rocznica ta skłania również do rozważań nad przyszłością i trwałością obiektu.

Za datę utworzenia Arboretum przyjmuje się 1826 roku, kiedy majątek kórnicki objął Tytus hr. Działyński (1796–1861). Początkowo, według wczesnych, tymczasowych działów spadkowych po ojcu Ksawerym Działyńskim (1756–1819), Tytus miał przejąć Trzebow. Ostatecznie jednak Trzebow przypadł jego siostrze, Klaudynie Potockiej (1801–1836), a Kórnik stał się własnością Tytusa. Czy zamiana ta była spowodowana tym, że Tytus widział w średniowiecznym zamku kórnickim przyszłą siedzibę swojej biblioteki, a w otaczającym go ogrodzie załazek kolekcji dendrologicznej, nie wiadomo. Można jednak przypuszczać, że Zamek Kórnicki – pomimo konieczności poniesienia znacznych nakładów i przeprowadzenia gruntownej przebudowy – był dla niego wartościowy jako obiekt o długiej historii. Odpowiadał on kolekcjonerskim pasjom młodego Tytusa Działyńskiego, dając mu jednocześnie możliwość kształtowania zarówno parku, jak i zamku na nowo, według własnej wizji (Nowak 2020, Bątkiewicz-Szymanowska i in. 2023).

Rok wcześniej Tytus Działyński ożenił się z Celestyną Gryzeldą Zamoyską (1804–1883), wnuczką Izabeli z Flemingów Czartoryskiej (1745–1835), twórczyni parku i pierwszego polskiego muzeum w Puławach. Przybycie młodych małżonków do Kórnika w 1826 roku dało początek trwającej przez całe dalsze życie Tytusa Działyńskiego przebudowie zarówno siedziby – Zamku Kórnickiego, jak i ogrodów przylegających do niego. Jego żona miała również duży wpływ na kształtowanie ogrodu, wspierała męża, a później syna, w budowaniu kolekcji roślinnych i zapewne czerpała z tego dużą satysfakcję. Na podkreślenie zasługuje niecodzienne, osobiste zaangażowanie właścicieli Kórnika w tworzenie ogrodu. Zatrudniani ogrodnicy mieli nawet w swojej umowie zapisany zakaz sadzenia roślin bez zgody i wiedzy hrabiego. Świadczy to o znaczeniu, jakie park miał dla Działyńskich. Ich uwaga i osobiste zaangażowanie sprawiały, że tworzenie parku-kolekcji i dalsze dbanie o sprowadzane tu drzewa miały szansę powodzenia. Już w zamierzeniach Tytusa pojawiają się, a w planach jego syna Jana wyraźnie zaznaczają, szersze cele związane z tworzoną kolekcją, która miała stać się podstawą utworzenia w Kórniku szkoły leśnej lub ogrodniczej.

Zamek istnieje od co najmniej 1426 roku (co daje kolejny tegoroczny jubileusz 600-lecia) i można przypuszczać, że w jego otoczeniu od wieków istniały również ogrody. Najlepiej zachowanym w źródłach wizerunkiem ogrodów kórnickich jest XVIII-wieczny ogród Teofili Szoldrskiej-Potulickiej (1715–1790), którego kształt został dość dokładnie przedstawiony na planie z 1826 roku – czyli w roku przejęcia majątku przez Tytusa Działyńskiego. Ogród widniejący na tym planie stanowi punkt wyjścia do ogromnych przemian parku zarówno w jego układzie

przestrzennym i kompozycji, jak i w składzie gatunkowym (Celichowski 1906, Dolatowski 1997a, Nowak 2020, 2026).

Tytus Działyński oraz jego żona Celestyna Gryzelda z Zamoyskich przekształcili regularny, geometryczny ogród Teofili Szołdrskiej-Potulickiej w swobodny park w stylu krajobrazowym. Usunięto elementy rozłożone symetrycznie względem osi ogrodu, takie jak jeden z pawilonów parkowych i jeden ze stawów, a także zmieniono układ alejek. Znacząco powiększona została powierzchnia ogrodu z pierwotnych około 6 ha do około 30 ha. Sprowadzane były liczne drzewa i krzewy reprezentujące gatunki obce i rzadkie, a równolegle funkcjonowały użytkowe ogrody warzywne i owocowe.

Okres od 1826 roku do śmierci Tytusa Działyńskiego wypełniają intensywne prace związane z nadawaniem kórnickiej siedzibie nowego oblicza zarówno w zakresie przebudowy ogrodu, jak i samego Zamku. Nie jest to jednak okres nieprzerwany, na co wpływ miały burzliwe wydarzenia historyczne. Tytus Działyński wziął udział w powstaniu listopadowym, zgłosił się jako jeden z pierwszych ochotników z ziemi poznańskiej. W konsekwencji tej decyzji oraz niepowrótca do Księstwa Poznańskiego na wezwanie władz pruskich dobra kórnickie zostały objęte sekwestrem, który rozpoczął się już 1 lutego 1831 roku. Od tego momentu aż do 1838 roku toczyły się postępowania w różnych instancjach między Tytusem Działyńskim a rządem pruskim. Ostatecznie konfiskata dóbr kórnickich została cofnięta, a posiadłość wróciła w ręce właściciela. Był to okres przymusowej przerwy w pracach nad budową kolekcji dendrologicznej w Kórniku. Ze względu na wczesny etap przemian nie wywarł jednak istotnego, negatywnego wpływu na istniejące założenie, choć siedem lat sekwestru oznaczało utratę czasu i zasobów, które mogły zostać przeznaczone na rozwój kolekcji. Na podkreślenie zasługuje ogromna determinacja Tytusa Działyńskiego, z jaką zaangażował się w sprawę odzyskania majątku kórnickiego. Rozprawy, które toczyły się w sądach wielu instancji, były skomplikowane, opierały się na różnych (często dość wydumanych) argumentach i dowodach. Po wieloletnim procesie, pełnym zwrotów akcji, majątek ostatecznie powrócił do Działyńskich, a prace związane z ogrodem, tworzeniem biblioteki oraz przebudową Zamku mogły być kontynuowane (Nowak 1976, Bątkiewicz 2011, Nowak 2020).

Po śmierci Tytusa Działyńskiego istotną rolę w tworzeniu ogrodu kórnickiego odgrywała jego żona, Celestyna Gryzelda. Pasję dendrologiczną kontynuował również jego syn, Jan Kanty Działyński (1829–1880), który podszedł do tworzenia Arboretum w sposób mający już znamiona budowania profesjonalnej kolekcji naukowej – ogrodu botanicznego. Ponieważ Jan tworzył równocześnie kolekcję dendrologiczną w Gołuchowie, wsparcie matki w trakcie prac w Kórniku było nieocenione. W budowę kolekcji gołuchowskiej zaangażowana była z kolei żona Jana, Izabella z Czartoryskich Działyńska (1830–1899) (Ignaczak 2023). Jan Działyński tworzył kolekcję w sposób bardziej zorganizowany niż ojciec: zdawał sobie sprawę ze znaczenia pochodzenia nasion, zwracał dużą uwagę na oznaczanie roślin w parku, prowadził szeroką korespondencję botaniczną i skrzętnie notował swoje obserwacje. Skupiał się w dużej mierze na gatunkach iglastych, sprowadzając liczne sosny, świerki i jałowce. Rozwijały się wówczas również szkółki

kórnickie. Prace te jednak nie przebiegały nieprzerwanie, co stanowiło kolejną analogię pokoleniową i historyczną: Jan Działyński zaangażował się w działania konspiracyjne wspierające powstanie styczniowe i wziął w nim osobisty udział. Skutkowało to, podobnie jak w przypadku jego ojca, sekwestrem majątku. W latach 1863–1869 Kórnik pozostawał bez bezpośredniej opieki gospodarza, a Działyński musiał opuścić Prusy (Dolatowski 1997b, Stanulewicz 2016, Nowak 2020).

Jan Działyński nieustannie poszerzał swoją wiedzę dendrologiczną, dzięki czemu stał się profesjonalnym twórcą kolekcji i wybitnym specjalistą, szczególnie w zakresie gatunków iglastych. O poziomie jego wiedzy świadczy list, w którym czytamy m.in.: „Ze wszystkich spisów krzewów i drzew, najłatwiejszy dla mnie do zrobienia, jest spis iglicowych czyli koniferów. Znam je lepiej o tyle, jak sam Carrière, że mogę pokazać błędy, których on się dopuścił i udowodnić, że się omylił” (BCK, sygn. 7406 II, list z Kórnika z 28 marca 1875 roku). Cytat ten wskazuje, że dla Jana Działyńskiego tworzenie parku nie było jedynie przyjemnym i modnym wówczas sposobem spędzania czasu, lecz autentyczną pasją popartą gruntowną wiedzą. Élie-Abel Carrière (1818–1896) był dziewiętnastowiecznym autorytetem i specjalistą w tematyce gatunków iglastych, a hrabia Działyński, jak wynika z przytoczonego listu, doskonale znał jego dzieła (z „*Traité général des conifères*” na czele) (Dolatowski 1997b, Williams 2004).

Warto podkreślić osobiste zaangażowanie twórców kórnickiego Arboretum w jego tworzenie oraz – co szczególnie istotne w kontekście ich działalności kolekcjonerskiej i bibliofilskiej – w gromadzenie materiałów i dokumentów związanych z tą kolekcją (takich jak rachunki, notatki czy listy). Szczególne znaczenie ma fakt, że materiały te w dużej mierze przetrwały i są obecnie zgromadzone w zasobach PAN Biblioteki Kórnickiej. Stanowią one unikatową wartość, dzięki której historia poszczególnych drzew nie kończy się jedynie na określeniu ich przynależności gatunkowej. Jest to jeden z czynników decydujących o wyjątkowości Arboretum Kórnickiego jako kolekcji historycznej, w której drzewa mają nie tylko wartość przyrodniczą. Ich poszczególne egzemplarze – zwłaszcza te najstarsze, o znanym pochodzeniu – stają się dobrami kultury. Rośliny były przywożone do Kórnika oczywiście przy okazji zagranicznych podróży Działyńskich po Europie, ale również zamawiane i kupowane w renomowanych szkółkach i zakładach ogrodniczych. Do najsłynniejszych należały: szkołka Ernsta Benary w Erfurcie, szkoły Jamesa Booth’a z Hamburga, szkoły Louisa B. van Houtte’a koło Gandawy czy też słynne zakłady ogrodnicze Vilmorin-Andrieux w Paryżu (Białobok 1960, Bojarczuk 1970, Nowak 2020).

Zachowane źródła, rachunki i notatki wskazują, że w okresie funkcjonowania XIX-wiecznego Arboretum Tytusa i Jana Działyńskich do Kórnika sprowadzono około 770 gatunków roślin (choć najprawdopodobniej było ich znacznie więcej, bo z pewnością nie wszystkie informacje zachowały się w dokumentach) (Nowak 2020). Pomimo upływu lat w dzisiejszym Arboretum możemy podziwiać wiele rzadkich i cennych drzew i krzewów z tego okresu. Są to okazy: cypryśnika błotnego (*Taxodium distichum*), miłorzęba dwuklapowego (*Ginkgo biloba*), tulipanowca amerykańskiego (*Liriodendron tulipifera*), żółtnicy pomarańczowej (*Maclura pomifera*), orzeszników (*Carya*): gorzkiego (*C. cordiformis*) i siedmiolistkowego (*C.*

laciniosa), orzecha czarnego (*Juglans nigra*) i szarego (*J. cinerea*), magnolii drzewiastej (*Magnolia acuminata*), oczara wirginijskiego (*Hamamelis virginiana*), halezji karolińskiej (*Halesia carolina*), jałowca wirginijskiego (*Juniperus virginiana*), sosny wejmutki (*Pinus strobus*), sosny czarnej (*P. nigra*), sosny Jeffreya (*P. jeffreyi*), jodły greckiej (*Abies cephalonica*), kłęka kanadyjskiego (*Gymnocladus dioica*), żywotnika olbrzymiego (*Thuja plicata*), igliczni trójcierniowej (*Gleditsia triacanthos*), liczne cisy pospolite (*Taxus baccata*) oraz wiele innych (Bojarczuk 1970, Nowak 2020).

Jan Działyński umarł bezpotomnie w 1880 roku. Swoją majątek przekazał siostrzeńcowi, Władysławowi hr. Zamoyskiemu (1853–1924). Jednak już w 1885 roku, zaledwie pięć lat po przejęciu dóbr, Zamoyscy zostali zmuszeni do opuszczenia Wielkopolski w wyniku antypolskiej polityki zaborcy oraz tzw. rugów pruskich. Nie mogli ponownie osiąść w Kórniku aż do odzyskania niepodległości przez Polskę. W tym okresie aktywność Władysława Zamoyskiego koncentrowała się na terenach zakopiańskich, a majątek kórnicki był zarządzany na odległość. Nadzór nad kolekcjonerską spuścizną wuja i dziadka z tak znacznego dystansu okazywał się zadaniem niezwykle trudnym. Brakowało również codziennego zaangażowania w sprawy parku. Był wprowadzany utrzymywany i pielęgnowany w podstawowym zakresie, jednak jego ochrona oraz systematyczne poszerzanie unikatowych zbiorów dendrologicznych wymagały znacznie większej uwagi i starań. Wiele rzadkich i wrażliwych okazów drzew oraz krzewów bezpowrotnie zginęło wskutek ostrych zim. Park ulegał zagęszczeniu, a drzewa i krzewy rodzime, odnawiające się w sposób naturalny, zaczynały ograniczać przestrzeń życiową delikatnych okazów egzotycznych. Dla Władysława Zamoyskiego był to czas licznych wyzwań i realizacji przedsięwzięć o charakterze patriotycznym, które absorbowwały jego uwagę głównie w rejonie Zakopanego. W samym Kórniku priorytetem stało się wówczas utrzymanie Zamku oraz Biblioteki. W tym krytycznym dla parku okresie brakowało *spiritus movens* – osoby, która wzorem wcześniejszych właścicieli z rodu Działyńskich skupiłaby swoje działania na kolekcji dendrologicznej. Odtworzenie i właściwe utrzymanie tak wymagających zbiorów stanowiło bowiem duże wyzwanie, które wymagało zarówno specjalistycznej wiedzy fachowej, jak i znacznych nakładów finansowych (Wróblewski 1936, Chałupka 2005).

Pierwszy opis parku w Kórniku powstał w 1906 roku. Jego autorem był Zygmunt Celichowski (1845–1923), będący bibliotekarzem jeszcze za czasów Jana Działyńskiego, a później pełniący również rolę plenipotenty dóbr kórnickich. Opis parku jego autorstwa miał charakter historycznej analizy ogrodów kórnickich, działalności kolejnych właścicieli oraz zmieniających się form zarządzania parku. Nie był to jednak opis botaniczny kolekcji, choć przykłady zgromadzonych tu drzew pojawiały się w formie portretów szczególnie roslących okazów i ciekawostek dendrologicznych (Celichowski 1906).

Władysław Zamoyski, po odzyskaniu przez Polskę niepodległości i powrocie do Wielkopolski, zdawał sobie sprawę, że kolekcja wymaga uporządkowania i opisanie. Sam zainicjował powstanie pierwszego profesjonalnego opisu parku, zlecając to zadanie Konstantemu Steckiemu i Witoldowi Kuleszy – pracownikom Katedry Botaniki Systematycznej i Leśnej Uniwersytetu Poznańskiego (Nowak

2020, Stecki, Kulesza 1926). Opis ten ukazał się drukiem w pierwszym tomie „Rocznika Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego” w 1926 roku. Zawierał on opis szaty roślinnej z pełnym nazewnictwem botanicznym; łącznie autorzy wykazali 216 gatunków drzew i krzewów. Co niezwykle cenne, publikacja zawierała również szczegółowy plan parku z zaznaczonymi okazami drzew i krzewów, a także zdjęcia i pomiary wybranych egzemplarzy roślin (Wilczyński 1926, 1927, Bugała 1971, 1978, 1996, Dolatowski 1997a, Jagodziński 2023, 2026b).

Stan Arboretum budził głęboką troskę Władysława Zamoyskiego, który doкладаł starań, by przyrodnicza scheda po poprzednikach nie uległa zatraceniu, wracając również do planów naukowego wykorzystania kolekcji. Cele te zostały zawarte w ustawie o powołaniu Fundacji Zakłady Kórnickie z 1925 roku, na mocy której cały majątek Władysława Zamoyskiego stał się dobrem narodowym (Jagodziński, Biniaś-Szkopek 2024, Ustawa... 1925). Jednym z zadań zakładanej fundacji było utworzenie i utrzymanie „zakładu badania” (Zakład Badania Drzew i Lasu), do czego doszło w 1933 roku. Był to kolejny kluczowy moment w historii Arboretum – gdyby nie tak jasno zdefiniowana funkcja i rola, jaką miała pełnić przyrodnicza spuścizna Działyńskich, park mógłby pełnić zaledwie rolę reprezentacyjną i nie doszłoby do jego dalszego rozwoju jako kolekcji. Warto zauważyć, że w szerokim zakresie działalności Fundacji Zakłady Kórnickie potrzeby ogrodu mogły mieć niższy priorytet niż inne zadania (Kalisz 1979, 1980, 2013, 2017). Potwierdza to również opieszałość w realizacji celu związanego z powstaniem placówki badawczej, do której utworzenia doszło (i to w okrojonym w stosunku do planów zakresie) dopiero po ośmiu latach od powołania Fundacji (Wróblewski 1928a, b, 1936, Bugała 1996, Oleksyn 2013, Jagodziński 2023).

Nowy etap rozwoju Ogródów Kórnickich związany jest z osobą Antoniego Wróblewskiego (1881–1944), wybitnego dendrologa i szkółkarza o dużym doświadczeniu, który pod koniec 1926 roku rozpoczął pracę w Kórniku. Celem jego działań był rozwój szkółek kórnickich, a także, dzięki środkom pozyskanym z ich działalności, rozwój samej kolekcji. Antoni Wróblewski nawiązał szeroką współpracę z wieloma ośrodkami dendrologicznymi, szkółkami i ogrodami botanicznymi, co pozwoliło na szybkie i wyraźne powiększenie zbiorów. Rozwój kolekcji był imponujący – przed wybuchem II wojny światowej liczyła ona już blisko 4 tys. taksonów (w tym kolekcje pomologiczne i bylinowe). Wróblewski uzupełnił również dokumentację i prowadził prace hodowlane, które skutkowały powstaniem kilkudziesięciu nowych odmian drzew i krzewów. Dziś, po upływie stu lat od rozpoczęcia jego pracy w Kórniku, w Arboretum rośnie około 1200 drzew i krzewów sprowadzonych w czasach Antoniego Wróblewskiego (lub ich wegetatywnych kopii). Reprezentują one 422 taksony, pośród których warto wymienić szczególnie cenne okazy, takie jak: najstarszy w kolekcji kasztanowiec japoński (*Aesculus turbinata*), urodlin trójłatkowy (*Asimina triloba*), grujecznik japoński (*Cercidiphyllum japonicum*), szydlica japońska (*Cryptomeria japonica*), dawidia chińska (*Davidia involucrata*), parocja perska (*Parrotia persica*), magnolia parasolowata (*Magnolia tripetala*) oraz dwie najstynniejsze magnolie pośrednie (*M. ×soulangeana*) rosnące przy fosie zamkowej. Wróblewski zgromadził również kolekcje jabłoni ozdobnych (*Malus*) oraz jaśminowców (*Philadelphus*), a także

zapoczątkował kolekcję lilaków (*Syringa*) (Białobok 1946b, Bugała 1996, Nowak, Broniewska 2026).

Antoni Wróblewski był również bezpośrednio zaangażowany w powstanie w Kórniku pierwszej placówki badawczej – Zakładu Badania Drzew i Lasu, której strukturę i program sam opracował. Placówka ta powstała w 1933 roku, dając podwaliny dzisiejszemu Instytutowi Dendrologii Polskiej Akademii Nauk. Wróblewski był też inicjatorem i w dużej części autorem pierwszego kórnickiego czasopisma dendrologicznego pt. „Wiadomości z Ogrodów Kórnickich” (Korczyńska 1977). Niewątpliwie jego praca pozwoliła na realizację celów rodów Działyńskich i Zamoyskich oraz powstanie w Kórniku prężnego ośrodka dendrologicznego. Bez etapu związanego z odbudową kolekcji, który z sukcesem przeprowadził, Kórnik nie posiadałby potencjału, który umożliwił w latach powojennych włączenie istniejącej tu placówki naukowej do struktur Polskiej Akademii Nauk, co nastąpiło w 1952 roku. Był to niezwykle istotny moment w historii, gdyż włączenie kolekcji wraz ze związaną z nią młodą placówką naukową w struktury Polskiej Akademii Nauk dało szansę na jeszcze szerszy rozwój i profesjonalną opiekę, aż do czasów nam współczesnych (Oleksyn 2013, 2018, Jagodziński 2018, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026b). Bez tej kierunkowej działalności, skupionej na naukowym wykorzystaniu kolekcji i konsekwentnej strategii rozwoju kórnickiej jednostki Polskiej Akademii Nauk, Arboretum mogłoby podzielić los wielu przydworskich parków, które uległy bezpowrotnej dewastacji w powojennej Polsce (Wróblewski 1928a, b, 1936, Białobok 1946b, Bugała 1996).

Rozwój naukowy i organizacyjny jednostki po II wojnie światowej związany jest z osobą prof. Stefana Białoboka (1909–1992), który już od 1945 roku kierował zakładem naukowym, organizował jego pracę i wytyczał ścieżki rozwoju. Słusznie jest on określany mianem twórcy Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk. To kolejny kontynuator wizji Działyńskich i Zamoyskich, bez którego zaangażowania jednostka nie osiągnęłaby takiego poziomu rozwoju (Białobok 1955, 1958, 1969, 1975, Bugała 1980, 1992, 1993, 1996, Boratyński i in. 1993, Browicz 1993, Chałupka 2003, 2004, 2008, Oleksyn 2013, 2018, Jagodziński 2018, 2019, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026b, Jagodziński i in. 2019).

Arboretum, znajdując się w strukturach Polskiej Akademii Nauk, otrzymało możliwość szerokiego rozwoju kolekcji. Na terenach przedwojennych szkółek założono tzw. Nowe Arboretum, a także utworzono leśną część Arboretum w obrębie Lasu Doświadczalnego „Zwierzyniec” (Bugała, Bojarczuk 1998). Wprowadzane do uprawy były nowe grupy roślin, a równolegle nawiązywano szeroką współpracę krajową i międzynarodową. Kórnik wypracował już wówczas znaczącą pozycję wśród europejskich ośrodków dendrologicznych. Prof. Białobok w latach 1945–1979 był dyrektorem jednostki, która kilkakrotnie zmieniała nazwę (początkowo był to Zakład Dendrologii i Pomologii – od 1950 roku, Zakład Dendrologii i Pomologii Polskiej Akademii Nauk – od 1952 roku, Zakład Dendrologii i Arboretum Kórnickie Polskiej Akademii Nauk – od 1962 roku, a od 1974 roku do dzisiaj – Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk) (Białobok 1955, Bugała 1996, Oleksyn 2013, Jagodziński 2023, 2024, 2026b).

Kierownikiem Arboretum, będącego kluczową częścią jednostki, do roku 1978 był prof. Władysław Bugała (1924–2008), który pracę w Zakładzie rozpoczął w 1947 roku – jeszcze przed włączeniem placówki w struktury Polskiej Akademii Nauk. Był wybitnym dendrologiem oraz znawcą roślin. Jemu Arboretum zawdzięcza rozwój wielu kolekcji, w tym lilaków, różaneczników i azalii, a także opisy kolekcji i nowych odmian roślin ozdobnych (m.in. jaśminowców i lilaków). Prof. Władysław Bugała był również dyrektorem Instytutu Dendrologii PAN w latach 1980–1995. Był autorem wielu opisów roślin rosnących w Kórniku, publikowanych w „Arboretum Kórnickim”, oraz – z prof. Kazimierzem Browiczem (1925–2009) – „Małego przewodnika po Arboretum Kórnickim” wydanego w 1958 roku, który był pierwszą tego typu pozycją skierowaną do zwiedzających (Browicz, Bugała 1958). Kolejny przewodnik po Arboretum autorstwa prof. Władysława Bugały ukazał się w 1971 roku (Bugała 1971).

W latach 1978–2008 kierownikiem Arboretum był dr Tomasz Bojarczuk (1942–2023). Przeprowadził on (wraz z małżonką, prof. Krystyną Bojarczuk) gruntowną aktualizację i inwentaryzację kolekcji, a wykazy rosnących tu drzew i krzewów ukazały się w latach 70. w roczniku „Arboretum Kórnickie” (Bojarczuk, Bojarczuk 1971). Rozwijane były w tym czasie liczne projekty związane z popularyzacją wiedzy, edukacją i promocją Arboretum. Tomasz Bojarczuk był również autorem nowych odmian. Najbardziej znaną jest odmiana modrzewia europejskiego ‘Kórnik’, opisana w 1980 roku i wprowadzona do handlu przez Szkołki Kórnickie (PAN Zakład Doświadczalny w Kórniku). Do później opisanych odmian, których był współautorem, należą lilaki ‘Liliana’ (2007 rok) i ‘Origami’ (2013 rok), róża ‘Poznań’ (1998 rok), topola ‘Zbigniew Stecki’ (2007 rok) o wąskim, smukłym pokroju czy leszczyna ‘Władysław Bugała’ (2007 rok) o purpurowych liściach. Dzięki jego pracy wydawane były kolejne przewodniki po Arboretum (w latach: 1990, 1993, 1997, 2003, 2006 i 2009) skierowane do szerokiej publiczności odwiedzającej ogród.

Okres drugiej połowy XX wieku, dzięki intensywnemu rozwojowi kórnickiej placówki badawczej, przyniósł nawiązanie licznych kontaktów, poszerzenie kolekcji oraz jej coraz szersze wykorzystanie do celów naukowych, a także udostępnienie jej społeczeństwu. Tym samym zamierzenia Tytusa Działyńskiego i Jana Działyńskiego doczekały się realizacji (Bugała 1996, Oleksyn 2013, Jagodziński 2023).

Dziś Arboretum Kórnickie to unikalny obiekt przyrodniczy, a przy tym część zespołu zamkowo-parkowego w Kórniku uznanego w 2011 roku za Pomnik Historii (Jagodziński, Nowak-Dyjeta 2012). Trwająca od pokoleń dbałość o dokumentację kolekcji sprawia, że dzięki swojej 200-letniej udokumentowanej historii, Arboretum stanowi cenne zaplecze naukowe dla Instytutu Dendrologii PAN – nowoczesnej placówki badawczej (Oleksyn 2013, 2018, Jagodziński 2022, 2023, 2024, 2025, 2026a).

Analizując te dwa wieki, należy podkreślić, że ciągłość i integralność kórnickiej kolekcji były wielokrotnie poważnie zagrożone. W ciągu minionych dwustu lat obiekt ten doświadczył licznych momentów kryzysowych, które stawiały pod znakiem zapytania jego dalsze istnienie. Jednak dzięki pomyślnemu zrządzeniu

losu oraz determinacji i zaangażowaniu kolejnych pokoleń twórców i opiekunów, udało się to wymagające dzieło utrzymać i rozwinąć. Wizjonerskie zamierzenia hrabiów Tytusa i Jana Działyńskich zostały nie tylko ocalone, ale również w pełni urzeczywistnione. Mamy więc dziś ogromne powody do świętowania jubileuszu 200-lecia Arboretum.

Historyczne liczby opisujące bogactwo kolekcji wymagają przy tym ostrożnej interpretacji. W źródłach pojawiają się zarówno dane o około 770 gatunkach udokumentowanych rachunkami i notatkami z okresu Działyńskich, jak i późniejsze szacunki mówiące o około 1500 gatunkach i odmianach w czasach Jana Działyńskiego. Nie jest to sprzeczność, którą można rozstrzygnąć prostym wyborem jednej liczby: różne zestawienia obejmowały odmienne kategorie jednostek, powstawały w innym czasie i opierały się na różnym stopniu zachowania dokumentacji. Analogicznie przedwojenne dane o 2500 pozycjach dendrologicznych oraz blisko 4000 taksonów, jeśli wliczyć kolekcje pomologiczne i bylinowe, opisują różne zakresy zbiorów. W badaniach historycznych większą wartość niż sama liczba ma zatem możliwość powiązania konkretnej rośliny z danymi o jej pozyskaniu do kolekcji, lokalizacją (pochodzeniem) i dalszym jej losem (Bojarczuk, Bojarczuk 1971, Bugała 1996, Nowak 2020).

Na tle historii europejskich arboretów szczególnie istotna jest przemiana statusu kolekcji. W XIX wieku Kórnik należał do wybitnych prywatnych kolekcji dendrologicznych, ważnych w obiegu szkółkarskim i botanicznym Europy. W pierwszej połowie XX wieku dzięki Fundacji Zakłady Kórnickie kolekcja została powiązana z programem publicznym, a w 1933 roku z trwałą organizacją badań. Wróblewski nie proponował jedynie „laboratorium przy parku”, lecz układ obejmujący arboretum, szkółki, zielnik, bibliotekę, zbiory, stację meteorologiczną, działalność wydawniczą i misję popularyzacji wiedzy. Część większych doświadczeń planował przenieść do lasu „Zwierzyniec” (dzisiaj Las Doświadczalny „Zwierzyniec”). Z dzisiejszej perspektywy był to projekt infrastruktury wiedzy o roślinach drzewiastych i współtworzonych przez nie układach ekologicznych, w którym żywa kolekcja była jednym z wielu powiązanych komponentów, ale komponentem centralnym (Wróblewski 1928b, 1936, Białobok 1946b, Bugała 1996).

Żywa kolekcja jako narzędzie poznania

Najstarszą funkcją naukową arboretum jest porównywanie roślin żyjących w tych samych lub zbliżonych warunkach środowiskowych. Nie jest to jednak doświadczenie w ścisłym znaczeniu, jeśli nasadzenia nie były losowane, rośliny różnią się wiekiem, a liczebność reprezentantów gatunku bywa mała. Wartość układu typu *common garden* polega mimo to na ograniczeniu części zmienności środowiskowej i zapewnieniu powtarzalnego dostępu do wielu taksonów. Tę zaletę wykorzystywano w Kórniku od badań introdukcyjnych i systematycznych po współczesną ekologię funkcjonalną. Jednocześnie ograniczenia kolekcji – nierównomierna reprezentacja genetyczna, brak replikacji (powtórzeń), historia zabiegów pielęgnacyjnych i zróżnicowanie mikrosiedlisk – muszą być jawnie uwzględniane w interpretacji wyników (Dosmann 2006, Hoban 2019, Hoban i in. 2020).

W pierwszych dekadach działania placówki naukowej kolekcja pełniła przede wszystkim rolę materiału odniesienia dla introdukcji i hodowli drzew i krzewów. Na przykład opis kolekcji topól był równocześnie analizą tożsamości taksonomicznej, historii sprowadzenia, zdolności wzrostu i perspektyw użytkowych materiału. W okresie powojennym kórnicka kolekcja topoli należała do najbogatszych w Europie, a jej zasoby wykorzystywano do selekcji klonów, zakładania mateczników i zadrzewień w wielu regionach kraju (Suszka, Przybył 1980). Badania prowadzone w okresie powojennym nie kończyły się więc na określeniu nazwy drzewa: nazwa, pochodzenie, cechy wzrostowe i sposób rozmnażania tworzyły ciąg informacji potrzebny do praktycznego wykorzystania materiału (Bugala 1955, 1996, Białobok 1960, Jagodziński 2023, 2024, 2026b). Równie ważna była systematyka. Praca magisterska Kazimierza Browicza dotycząca pnączy w Arboretum Kórnickim pokazuje, że kolekcja mogła być bezpośrednim warsztatem kształcenia systematyka (Browicz 1952). Późniejszy program badawczy prof. Browicza wyszedł daleko poza kórnicką kolekcję: objął krajową dendroflorę, monografie rodzajów, „Atlas rozmieszczenia drzew i krzewów w Polsce” oraz opracowania dla „Flora Europaea”, „Flora of Turkey” i „Flora Iranica” (Zieliński 1997, 2009a, b). Ta zmiana skali jest ważna dla interpretacji roli Arboretum. Kolekcja nie musi być fizycznym miejscem każdej pracy naukowej, aby być elementem kultury badawczej instytucji: uczy rozpoznawania zmienności, utrzymuje materiał porównawczy i współtworzy zaplecze zielnikowo-biblioteczne, z którego rozwijają się badania geograficzne i taksonomiczne (Białobok 1968, Jagodziński 2024). Współczesna systematyka dowodzi zarazem, że funkcja ta nie należy wyłącznie do historii. Analiza dojrzałych okazów żywotników w Kórniku, połączona z materiałem zielnikowym, doprowadziła do uporządkowania nazwy starego mieszańca jako *Thuja ×soeegaardii*. Jeszcze wyraźniej ciągłość materiału pokazują badania historycznych mieszańców topól. Rośliny wywodzące się z krzyżowania wykonanego w Kórniku w 1956 roku zostały po dziesięcioleciach ponownie przebadane, co umożliwiło ustanowienie nazwy *Populus ×kornicensis*. W obu przypadkach wartość kolekcji polegała na możliwości powrotu do zachowanego żywego materiału z nowym aparatem pojęciowym i nowymi standardami nomenklatorycznymi (Kosiński i in. 2022, Korbik, Kosiński 2023).

Jednym z najważniejszych tematów badań prowadzonych w dawnych arboretach była aklimatyzacja. W Kórniku oznaczała obserwowanie, czy introdukowane drzewa przeżywają zimą, jak przebiega ich rozwój sezonowy, czy kwitną i owocują oraz czy mogą być rozmnażane. Przedwojenne opracowanie skutków zimy 1928/1929 wpisywało reakcję kolekcji w konkretny epizod klimatyczny. Powojenne obserwacje fenologiczne uporządkowały te zagadnienia w wieloletnie serie danych. Na przykład sprawozdanie z działalności kórnickiego ośrodka naukowego za 1967 roku dokumentuje jednocześnie ocenę przydatności uprawy rodzajów *Abies*, *Deutzia*, *Cornus* i *Viburnum* w warunkach Arboretum oraz kontynuację obserwacji fenologicznych 53 gatunków drzew i krzewów. Aklimatyzacja była więc nie pojedynczym testem przeżywalności, lecz badaniem cyklu życia rośliny w nowym środowisku (Wróblewski 1930, Chylarecki 1961, Białobok 1968, Chylarecki, Straus 1968). Dzisiaj dawne serie fenologiczne nabierają nowej wartości.

Zmiana klimatu sprawia, że terminy rozwoju pąków, kwitnienia, przebarwiania i opadania liści mogą być analizowane jako wskaźniki odpowiedzi drzew i krzewów na zmiany warunków klimatycznych. W 2025 roku prowadzono w Kórniku całoroczne obserwacje 43 taksonów, bezpośrednio odnoszone do obserwacji z lat 1953–1962, a równolegle współpracowano z Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu w sieci NATUREVIDO, wykorzystując także kamerę fenologiczną. To przykład zmiany funkcji historycznej dokumentacji: dane zbierane pierwotnie do badań z zakresu aklimatyzacji mogą stać się materiałem do badań zmiany klimatu, pod warunkiem zachowania informacji o metodach i obiektach obserwacji (Primack, Miller-Rushing 2009, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025, Primack i in. 2021).

Hodowla i selekcja stanowiły ważny etap wykorzystywania zmienności zgromadzonej w kolekcji. Na przykład w badaniach forsycji krzyżowano rośliny rodzicielskie w celu łączenia walorów ozdobnych z odpornością na mróz. W 1967 roku kontynuowano selekcję mieszańców lilaków oraz ocenę mieszańców żylistków i krzewuszek, a prace nad topolami obejmowały dynamikę przyrostu, odporność na choroby i genetyczne uwarunkowanie wybranych cech. W ten sposób kolekcja pełniła funkcję nie tylko archiwum istniejącej różnorodności, ale również miejsca tworzenia nowej zmienności i testowania jej stabilności w różnych warunkach (Suszka 1959, Białobok 1968, Suszka, Przybył 1980).

W drugiej połowie XX wieku wraz z rozbudową laboratoriów dzisiejszego Instytutu Dendrologii PAN pytania przenosiły się z poziomu całej rośliny na procesy fizjologiczne i biochemiczne. W Kórniku rozwijano badania regulatorów wzrostu, fizjologii kwitnienia oraz spoczynku i kiełkowania nasion. Program badawczy dotyczący biologii nasion zapoczątkowany przez prof. Bolesława Suszkę miał wyjątkowo silne znaczenie aplikacyjne: opracowywanie metod przechowywania i przełamywania spoczynku wspierało leśnictwo i później powstające banki zasobów genowych (Suszka 1993). Badania te, realizowane także w oparciu o kolekcję roślin drzewiastych zgromadzoną w Kórniku, pokazują ciągłość tej tradycji – od klasycznych badań nasiennych po proteomikę, epigenetykę, kriokonserwację i zachowanie zasobów genowych (Białobok 1968, Wesoły 2013, Tylkowski i in. 2015, Jagodziński 2023, 2024). Współczesne badania z zakresu biologii nasion, prowadzone w Instytucie Dendrologii PAN z wykorzystaniem materiału pochodzącego z Arboretum, obejmują różne etapy ich rozwoju i funkcjonowania – od embriogenezy, nabywania i przełamywania spoczynku oraz kiełkowania, po tolerancję na wysychanie, żywotność, starzenie i zdolność do przechowywania. Badania te dobrze ilustruje przykład klonu pospolitego (*Acer platanoides*). W przypadku tego gatunku analizowano m.in. zmiany proteomu związane z rozwojem zarodka, nabywaniem spoczynku oraz jego przełamywaniem i kiełkowaniem (Pawłowski 2009, Staszak, Pawłowski 2014). Porównawcze badania klonu pospolitego i jaworu (*A. pseudoplatanus*) – gatunków wytwarzających odpowiednio nasiona orthodox (tolerujące utratę wody) i recalcitrant (wrażliwe na podsuszanie) – pozwoliły natomiast scharakteryzować procesy związane z ich odmienną tolerancją na podsuszanie. Obejmowały one m.in. regulację stanu redoks, udział peroksy-redoksyn i reduktaz sulfotlenku metioniny, zmiany zawartości proliny podczas

rozwoju nasion oraz funkcjonowanie układu tioredoksynowego i identyfikację białek regulowanych przez Trx-h1 (Ratajczak i in. 2019a, Kijowska-Oberc i in. 2020, Stolarska i in. 2020, Fuchs i in. 2024). Z kolei badania prowadzone na nasionach buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) rozszerzyły tę problematykę o procesy zachodzące podczas dojrzewania i wieloletniego przechowywania, wskazując na znaczenie metabolizmu tiolowego i regulacji stanu redoks dla zachowania żywotności nasion i przebiegu ich starzenia (Ratajczak i in. 2019b). W tych badaniach Arboretum pełniło rolę źródła dobrze zidentyfikowanego materiału biologicznego, umożliwiając pobieranie nasion z określonych drzew matecznych, w precyzyjnie określonych stadiach rozwoju, a w części doświadczeń również w kolejnych sezonach. Szczegółowe analizy prowadzono następnie w warunkach laboratoryjnych, jednak ich powtarzalność i wartość porównawcza były możliwe dzięki stałemu dostępowi do żywej, udokumentowanej kolekcji. Współczesna biologia rozwoju i biotechnologia wykorzystują tę samą logikę w innych układach. Na przykład materiał topoli szarej pochodzący z linii kolekcyjnych i namnażany *in vitro* służył do oceny wpływu inokulacji mykoryzowej na wzrost roślin w glebach zanieczyszczonych metalami. Badania takie łączą trzy historycznie odrębne funkcje: selekcję materiału, rozmnażanie i badanie reakcji na stres. Podobnie aktualne projekty dotyczące zdolności regeneracyjnych dębu czy somatycznej embriogenezy świerka pokazują, że kolekcja żywych drzew i laboratorium kultur *in vitro* nie są konkurencyjnymi modelami badań, ale uzupełniającymi się ogniwami zachowania i wykorzystywania materiału genetycznego (Bojarczuk i in. 2015, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

Od katalogu roślin do biologicznych mechanizmów

Zmiana problematyki badawczej realizowanej w Kórniku z wykorzystaniem kolekcji zgromadzonej w Arboretum nie przebiegała jako przeskok pomiędzy „dawną, klasyczną dendrologią” a „nowoczesną biologią roślin drzewiastych”. Raczej kolejne poziomy poznania nakładały się na siebie. Opis gatunku i ustalenie jego nazwy pozostawały warunkiem eksperymentu fizjologicznego, doświadczenia hodowlane wymagały prawidłowej identyfikacji rodziców i potomstwa, badania genetyczne potrzebowały materiału o rozpoznanym pochodzeniu, a badania z zakresu ekologii funkcjonalnej wymagały pewności, że porównywane osobniki reprezentują właściwe taksony. W tym sensie systematyka nie jest pierwszym, historycznie przewyższonym etapem nauki, lecz warstwą zapewniającą wiarygodność wszystkich późniejszych analiz. Na przykład wspomniane już badania dotyczące *Thuja ×soeegaardii* czy *Populus ×kornicensis* pokazują, że nawet po dziesięcioleciach nazwa i interpretacja pochodzenia żywego materiału mogą wymagać ponownej weryfikacji (Kosiński i in. 2022, Korbik, Kosiński 2023).

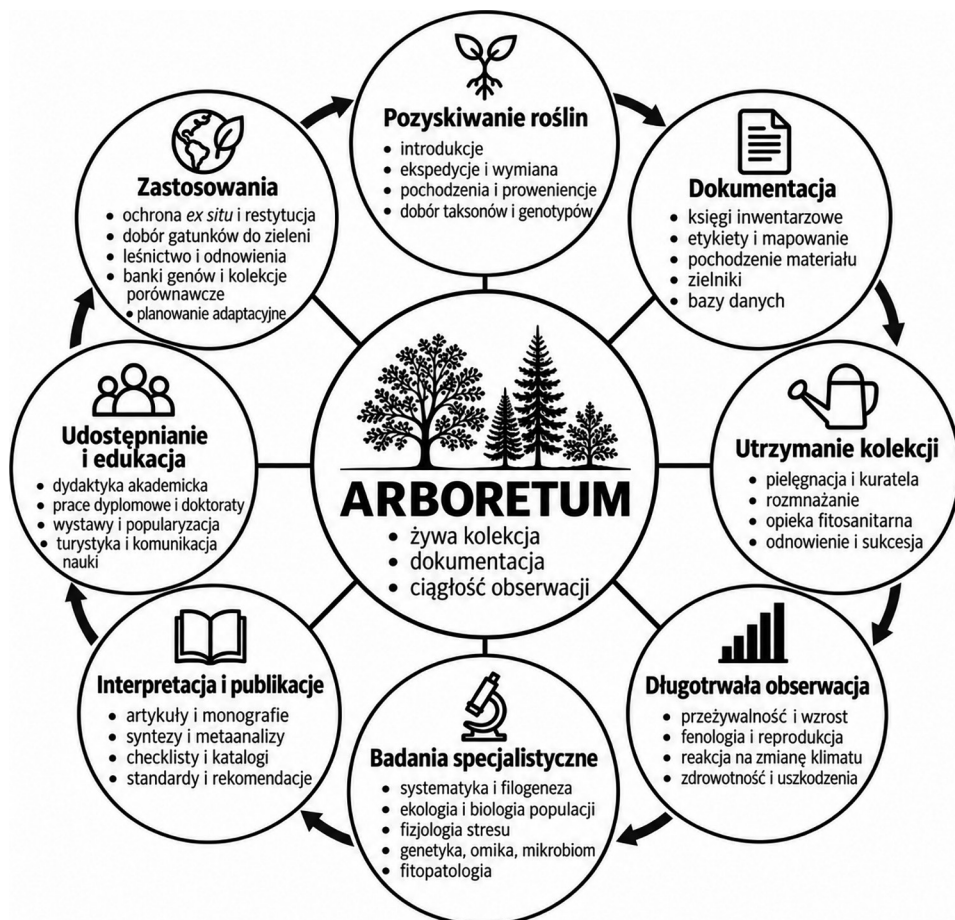
Również dokumentowanie kolekcji należy traktować jako pracę badawczą o odroczonym efekcie. Plan Steckiego i Kuleszy z 1926 roku, księgi inwentarzowe prowadzone od czasów Wróblewskiego, późniejsze wykazy drzew i krzewów oraz współczesna cyfrowa baza danych nie służą wyłącznie administrowaniu ogrodom i zgromadzonymi w nim kolekcjami. Tworzą serię odniesienia umożliwiającą

rekonstrukcję zmian składu kolekcji, weryfikację wieku okazów, analizę trwałości introdukcji i identyfikację roślin zachowanych z dawnych etapów rozwoju. Właśnie z takiego zestawienia planów, źródeł historycznych i aktualnego stanu drzew powstała analiza najstarszych okazów Arboretum. Dokumentacja zwiększa zatem wartość biologiczną roślin, ponieważ umieszcza ich obecny stan w czasie (Stecki, Kulesza 1926, Białobok 1946b, Bojarczuk 1970, Bojarczuk, Bojarczuk 1971, Nowak 2020).

Sprawozdania naukowe Instytutu Dendrologii PAN pokazują, jak szeroko rozumiano badania roślin drzewiastych już w połowie XX wieku. Na przykład sprawozdanie z badań prowadzonych w 1967 roku obejmuje: systematykę i badania flory, monografie taksonomiczne, geobotanikę, introdukcję, fenologię, genetykę populacyjną, doświadczenia proveniencyjne, odporność na patogeny, hodowlę roślin ozdobnych, regulatory wzrostu, fizjologię nasion, kwitnienie i gospodarkę mineralną. W przypadku części tematów Arboretum było bezpośrednim miejscem badań, w innych – źródłem materiału lub częścią szerszej sieci doświadczeń, a jeszcze inne realizowano w Lesie Doświadczalnym „Zwierzyniec”, w szkołkach lub na powierzchniach poza Kórnikami. Ten dokument jest ważny właśnie dlatego, że podważa prosty podział na okres opisowy i późniejszy okres eksperymentalny, w latach 60. oba sposoby poznania biologii i ekologii roślin drzewiastych występowały równolegle (Białobok 1968).

Rozwój badań genetycznych szczególnie dobrze ilustruje znaczenie rozdzielania przestrzeni badawczych. Doświadczenia proveniencyjne sosny, świerka, dębów czy olszy wymagały wielu powtórzeń i powierzchni znacznie większej niż historyczny park, dlatego zakładano je w Lesie Doświadczalnym „Zwierzyniec” w Kórniku, a także w innych regionach kraju (Giertych 1989, Chałupka 2006, Burczyk 2013). Arboretum i szkoły kórnickie mogły natomiast służyć rozmnażaniu, utrzymywaniu materiału i obserwacji wybranych obiektów. Z czasem archiwa klonów i wieloletnie doświadczenia leśne stały się osobną infrastrukturą Instytutu, poszerzającą zasoby zgromadzone w Arboretum (Bugala 1996, Burczyk 2013, Jagodziński 2023, 2024). Oczywiście w interpretacji dorobku pracowników Instytutu w ujęciu historycznym konieczna jest pewna ostrożność. Na przykład systematyczne i chorologiczne badania prof. Kazimierza Browicza, prof. Jerzego Zielińskiego, prof. Adama Boratyńskiego i prof. Krystyny Boratyńskiej budowały pozycję Kórnika jako ośrodka badań dendroflory Europy i Azji, lecz znaczna część ich materiału pochodziła z wypraw terenowych i zielników (Zajac, Zajac 2013). Badania prof. Bolesława Suszki nad spoczynkiem i przechowywaniem nasion korzystały z bogatego materiału obejmującego wiele gatunków i miały szeroki zasięg aplikacyjny (Wesoły 2013, Tytkowski i in. 2015). Prace prof. Mirosława Tomaszewskiego i jego następców rozwijały fizjologię i biochemię drzew. W każdym z tych nurtów Arboretum było częścią szerszego środowiska instytucjonalnego – nie zawsze bezpośrednim miejscem eksperymentu, ale ważnym składnikiem kultury badawczej i zaplecza materiałowego (Zieliński 2009a, b, Tytkowski i in. 2015, Jagodziński 2024).

Szczególnego znaczenia nabiera tu relacja między Arboretum a zielnikiem. Żywy okaz pozwala obserwować pokrój, sezonowość, cechy kory, rozwój organów



Ryc. 2. Arboretum jako infrastruktura wiedzy

i zmienność w czasie, natomiast okaz zielnikowy jest trwałym, możliwym do ponownej analizy świadectwem określonego stanu rośliny. W nowoczesnej taksonomii oba typy kolekcji są komplementarne, a ich wartość rośnie, gdy można je połączyć tym samym numerem inwentarzowym, datą i lokalizacją (Tomaszewski 2019, Tomaszewski i in. 2026). Analogicznie próbki DNA, fotografie i dane fenologiczne mogą stać się kolejnymi reprezentacjami tego samego obiektu biologicznego. Kórnik ma szczególne warunki do budowania takiej wielowarstwowej dokumentacji dzięki współlistnieniu Arboretum, Zielnika, Biblioteki i Archiwum w jednej instytucji (Jagodziński 2023, 2024, 2026b).

Opierając się na zarysowanym powyżej tle, można lepiej zrozumieć przejście od pytań praktycznych do mechanistycznych. Pytanie „czy gatunek można uprawiać w Polsce?” prowadzi do pytań o granice tolerancji temperatury, rytm fenologiczny i gospodarkę wodną. Pytanie „jak przechować nasiona?” prowadzi

do badań spoczynku, metabolizmu, proteomu i regulacji oksydoredukcyjnej. Pytanie „czy obcy gatunek się zadomawia?” prowadzi do badań rozmnażania, samosiewu, mykoryz i innych interakcji biotycznych. Pytanie „który klon rośnie najlepiej?” może zostać rozwinięte w analizę zmienności genetycznej i reakcji genotyp–środowisko. Arboretum jest wartościowe właśnie dlatego, że nie narzuca jednego poziomu wyjaśnienia: dostarcza materiału, na którym można przechodzić od obserwacji do mechanizmu. Ten przepływ od pozyskania rośliny, przez dokumentację i obserwację, do badań, publikacji i zastosowań pozwala traktować arboretum jako trwałą infrastrukturę wiedzy (ryc. 2).

Co właściwie znaczy „badanie w arboretum”?

W analizie wyników badań, które zasilają współczesną wiedzę, potrzebne jest rozróżnienie co najmniej czterech sposobów użycia kolekcji. Po pierwsze, arboretum może być miejscem obserwacji terenowej, gdy badany proces zachodzi na jego terenie – jak w przypadku odnowienia cisa, fenologii czy reakcji bluszczu na lokalne warunki. Po drugie, może być źródłem materiału pobieranego do analiz laboratoryjnych – nasion, kwiatów, liści lub korzeni. Po trzecie, może dostarczać roślin rodzicielskich, klonów albo potomstwa do doświadczeń prowadzonych w szklarni, fitotronie czy na innych powierzchniach. Po czwarte, może być częścią infrastruktury instytucjonalnej, która pośrednio umożliwia badania dzięki dokumentacji, kompetencjom kuratorskim i kontaktom naukowym. Role te różnią się metodologicznie i powinny być nazywane precyzyjnie.

Z punktu widzenia projektowania badań arboretum ma także ograniczenia, które powinny być traktowane jako cechy systemu, a nie wady do przemilczenia. Historyczne nasadzenia często nie mają losowego rozmieszczenia ani jednakowej liczby powtórzeń. Okazy różnią się wiekiem, historią i intensywnością pielęgnacji, a niektóre gatunki są reprezentowane przez pojedyncze drzewa. Mikrosiedliska w obrębie parku mogą znacznie różnić się dostępnością promieniowania słonecznego, wilgotnością i właściwościami gleby. Dlatego kolekcja jest doskonała do generowania hipotez, badań porównawczych, poboru materiału i analiz długoterminowych, ale nie każdy układ pozwala na silne wnioskowanie przyczynowe bez dodatkowego eksperymentu lub powtórzeń w innych miejscach (Dosmann 2006, Primack, Miller-Rushing 2009, Primack i in. 2021).

Jednocześnie te same cechy mogą stać się zaletą. Różny wiek drzew umożliwia badania ontogenetycznej zmienności cech, gradient światła może być wykorzystany do badań plastyczności, dojrzałe drzewa dają dostęp do kwiatów, owoców i nasion, stare introdukcje pozwalają obserwować sukces lub niepowodzenie reprodukcji, a długotrwały kontakt z lokalną biotą umożliwia badanie symbioz i patogenów. Wartość arboretum zależy więc od dopasowania pytania do struktury zasobu. Najbardziej interesujące badania często nie próbują udawać, że historyczny ogród jest idealnie kontrolowanym eksperymentem, lecz wykorzystują jego wyjątkowe właściwości, uzupełniając je innymi metodami.

Strategię taką widać w pracach doktorskich zrealizowanych w Instytucie Dendrologii PAN. Na przykład badania odnowienia cisa pospolitego łączyły

obserwację terenową z doświadczeniem wazonowym, badania dymorfizmu płciowego wykorzystywały rozpoznane rośliny rodzicielskie i kontrolowane warunki wzrostu potomstwa, badania mykoryz łączyły próbki pochodzące z arboretum z lokalizacjami leśnymi, badania z zakresu ekologii funkcjonalnej wykorzystywały szeroki materiał zgromadzony w kolekcji z pomiarami laboratoryjnymi i detaliczną analizą statystyczną. Arboretum jest w tych pracach punktem wyjścia, ale siła wnioskowania pochodzi z połączenia różnych środowisk badawczych. To ważny model kształcenia: młody badacz uczy się zarówno ograniczeń materiału, jak i sposobów ich kompensowania projektowaniem doświadczeń (Iszkuło 2005, Nowak 2021, Wilgan 2022, Paż-Dyderska 2024).

Od pojedynczego drzewa do układu ekologicznego

Wraz z dojrzewaniem introdukowanych drzew zmienia się również to, co może być przedmiotem badań. Młody okaz informuje przede wszystkim o możliwości przeżycia i tempie wzrostu, dojrzałe drzewo wytwarza nasiona, tworzy mikrosiedliska, wpływa na glebę i mikroklimat, wchodzi w związki z grzybami, owadami i ptakami oraz może dawać samosiew. Po kilku dziesięcioleciach kolekcja staje się więc nie tylko zbiorem organizmów, ale zespołem relacji ekologicznych. To jedna z najważniejszych konsekwencji długiego trwania arboretum: pojawiają się pytania niemożliwe do postawienia w pierwszych latach po introdukcji (Nowak, Ratajczak 2023, Jagodziński 2026a, c).

Badania naturalnego odnowienia cisa w Arboretum Kórnickim analizowały rozmieszczenie siewek w stosunku do drzewostanu i otwartych powierzchni oraz znaczenie ptaków w rozsiewaniu nasion. Kolekcja była w tym przypadku rzeczywistym miejscem procesu demograficznego: dorosłe drzewa tworzyły populację źródłową, a badanie dotyczyło powstawania kolejnego pokolenia. Badania wpływu światła na siewki cisa i nawożenia azotem rozszerzyły tę obserwację o eksperyment, pozwalając rozdzielić warunki przeżywania i wzrostu młodych roślin. Takie połączenie obserwacji terenowej i kontroli eksperymentalnej jest jednym z najcenniejszych sposobów wykorzystania Arboretum jako laboratorium ekologicznego (Giertych 2000, Iszkuło 2005). Długowieczność i rozdzielność płci cisa pozwoliły rozwinąć także badania dymorfizmu płciowego. Materiał pochodzący z rozpoznanych osobników męskich i żeńskich wykorzystano do doświadczeń nad reakcją młodych roślin na zróżnicowane nawożenie. Wykazano, że różnice między płciami ujawniają się w zależności od dostępności tych zasobów, co pozwala interpretować dymorfizm nie jako stałą właściwość niezależną od środowiska, lecz jako cechę ujawniającą się w określonych warunkach. W innym nurcie badań wykazano, że długotrwałe nawożenie roślin matecznych może zwiększać rozmiar nasion, a jednocześnie obniżać ich zdolność kiełkowania i jakość potomstwa. Kolekcja umożliwia więc łączenie biologii dorosłych drzew z jakością kolejnego pokolenia (Nowak 2021, Nowak i in. 2021, Pers-Kamczyc, Suszka 2022).

Interesującym przykładem wykorzystania historycznych introdukcji są badania mykoryz orzeszników. *Carya laciniosa* i *C. cordiformis* zostały wprowadzone do Arboretum Kórnickiego na długo przed powstaniem w Instytucie grupy

badawczej zajmującej się ekologią związków symbiotycznych. Analiza korzeni samosiewów obu gatunków wykazała zarówno mykoryzę arbuskularną, jak i ektomykoryzę, a identyfikacja molekularna pozwoliła scharakteryzować partnerów grzybowych. Pytanie o to, czy obce drzewo potrafi funkcjonować z lokalną biotą glebową, jest jakościowo inne od dawnego pytania o to, czy osobniki introdukowanego gatunku przeżyją niekorzystne warunki panujące w okresie zimowym. Nie byłoby to jednak możliwe bez wcześniejszej introdukcji i utrzymania drzew do wieku reprodukcyjnego (Rudawska i in. 2018). Porównanie ektomykoryz dębu czerwonego i orzeszników w warunkach *common garden* pokazało z kolei, że obce gatunki mogą tworzyć odmienne zespoły symbiontów, a stopień ich integracji z lokalną biotą nie jest jednakowy. Prace te weszły w szerszy program badań dotyczących interakcji obcych drzew z rodzimymi symbiontami, w których materiał z Arboretum zestawiano z powierzchniami leśnymi. Wartość ogrodu i zgromadzonej w nim kolekcji polegała tu na dostarczeniu wspólnego punktu odniesienia: wiele gatunków rośnie w bliskim sąsiedztwie, podczas gdy porównanie z lasami pozwala ocenić wpływ kontekstu siedliskowego (Wilgan 2022, Wilgan, Leski 2022).

Arboretum pozwala badać również relacje między procesami nadziemnymi i podziemnymi. W badaniach kasztanowca zwyczajnego analizowano, czy uszkodzenia liści przez szrotówka kasztanowcowiaczka wiążą się ze zmianami kolonizacji mykoryzowej. Brak prostego negatywnego związku między intensywnością żerowania a mykoryzą pokazuje, że kondycja drzewa jest wynikiem wielu procesów zachodzących równocześnie. Taki przykład ma znaczenie edukacyjne: widoczny objaw na liściu nie jest pełnym opisem biologicznego stanu organizmu, arboretum zaś umożliwia połączenie obserwacji dostępnej dla każdego zwiędającego z analizą procesów niewidocznych bez badań laboratoryjnych (Tyburska-Woś i in. 2019).

Współczesna ekologia funkcjonalna wykorzystuje kolekcję w jeszcze inny sposób – jako wielogatunkowy układ porównawczy. Pomiar specyficznej powierzchni liści w nasłonecznionych i zacienionych częściach koron drzew i krzewów należących do 179 taksonów pokazał skalę zmienności wewnątrz koron i znaczenie sposobu poboru prób dla porównań międzygatunkowych. W kolejnych pracach analizowano związki między chemizmem kwiatów, cechami owoców i liści oraz właściwościami nasion. W takim ujęciu pojedyncza kolekcja nie jest celem opisu, staje się ona platformą testowania ogólniejszych hipotez o strategiach roślin drzewiastych (Paż-Dyderska i in. 2020, 2022, Dylewski i in. 2024, Paż-Dyderska 2024, Paż-Dyderska, Jagodziński 2024). Badania 77 gatunków roślin drzewiastych, których nasiona zebrano w Arboretum Kórnickim, pozwoliły wykazać związki między masą nasion, zasobami węglowodanów a fizycznymi i chemicznymi komponentami o znaczeniu obronnym. Znaczenie kolekcji polegało tu na zapewnieniu szerokiego spektrum gatunków dostępnych w jednym miejscu i w podobnym czasie zbioru. Podobnie analizy kwiatów 70 gatunków roślin drzewiastych umożliwiły porównanie zawartości cukrów i fenoli w organach reprodukcyjnych. Badania te pokazują przejście od kolekcji jako „spisu gatunków” do kolekcji jako macierzy cech biologicznych (Paż-Dyderska i in. 2022, Dylewski i in. 2024).

Z kolei badania bluszczu (*Hedera helix*) w różnych warunkach świetlnych i wilgotnościowych na terenie Arboretum uwidaczniają znaczenie wewnętrznego zróżnicowania siedliskowego w obrębie kolekcji. Analizowane cechy pędów i alokacja biomasy zmieniały się w odpowiedzi na lokalne warunki środowiskowe. Przypomina to, że określenie arboretum jako „wspólnego ogrodu” (układ typu *common garden*) nie oznacza pełnej jednorodności środowiska. Różnice między kwaterami, zacienienie przez stare drzewa, poziom dostępności wody czy charakter i termin wykonanych zabiegów pielęgnacyjnych mogą być zakłóceniem w jednym projekcie badawczym, a przedmiotem badania w innym. Jakość badań zależy od tego, czy struktura środowiska zostaje prawidłowo rozpoznana i włączona do projektu eksperymentalnego (Blinkova i in. 2024).

Rozprawy doktorskie realizowane w Instytucie pokazują ponadto funkcję arboretum jako miejsca kształcenia badaczy. Badania cisa, mykoryz obcych gatunków drzew czy cech reprodukcyjnych wymagały łączenia kompetencji terenowych, znajomości kolekcji, metod laboratoryjnych, analiz statystycznych i krytycznej interpretacji ograniczeń materiału. Jest to ważny, często niedostrzegany wymiar infrastruktury naukowej. Arboretum udostępnia nie tylko próbki do badań, ale także praktyczną wiedzę o organizmach, sezonowości, sposobach poboru i znaczeniu dokumentacji. Takich kompetencji nie da się w pełni zastąpić bazą danych ani krótkim eksperymentem laboratoryjnym (Iszkuło 2005, Nowak 2021, Wilgan 2022, Paż-Dyderska 2024).

Więcej niż nauka: dziedzictwo, edukacja, turystyka i wspólnota

Naukowa interpretacja znaczenia arboretum jest niepełna, jeśli pomija jego znaczenie społeczne. Historyczne kolekcje roślinne powstawały wprawdzie często jako przestrzenie elitarne, lecz rozwój ogrodów botanicznych i arboretów prowadził stopniowo do ich publicznego udostępniania. W literaturze międzynarodowej funkcję tę ujmuje się dziś szeroko: ogrody są miejscami edukacji, rekreacji, turystyki, dobrostanu i budowania relacji człowieka z przyrodą. Globalna sieć ogrodów odwiedzana jest przez setki milionów osób rocznie, co nadaje jej potencjał komunikacyjny trudny do osiągnięcia przez większość instytucji naukowych (Westwood i in. 2021, Catahan i in. 2024, Teixeira, Ferreira 2026). Współczesne arboretum należy zatem rozpatrywać jako system wielofunkcyjny, w którym zadania naukowe, ochronne, edukacyjne, społeczne i kulturowe są ze sobą ściśle powiązane (ryc. 3).

W Kórniku publiczny wymiar kolekcji ma szczególną genezę. Już zamierzenia Działyńskich łączyły gromadzenie roślin z planami utworzenia szkoły leśnej lub ogrodniczej, a projekt Wróblewskiego przewidywał dział dokształcający oraz działalność wydawniczą. Powojenne przewodniki po Arboretum, opracowania popularnonaukowe i udostępnianie kolekcji dla zwiedzających przekształciły tę ideę w trwałą praktykę. Istotne jest, że edukacja nie powinna być traktowana jako funkcja wtórna wobec nauki. W przypadku kolekcji żywych bezpośrednia



Ryc. 3. Arboretum jako system wielofunkcyjny

obserwacja jest częścią poznania: umożliwia zrozumienie pokroju, zmienności sezonowej, relacji przestrzennych i konsekwencji starzenia się drzew w sposób niemożliwy do odtworzenia na ilustracji (Wróblewski 1928b, 1936, Bugała 1996, Nowak, Broniewska 2026).

Współczesny program edukacyjny Arboretum Instytutu Dendrologii PAN obejmuje zajęcia terenowe i warsztatowe, spacer z przewodnikiem, aktywności rodzinne i współpracę ze szkołami oraz uczelniami. W 2025 roku zorganizowane zajęcia i spotkania objęły ponad 6 tys. uczestników, w tym uczniów, studentów i grupy dorosłych, a liczba odwiedzających Arboretum turystów przekroczyła 120 tys. Liczby te nie są tu istotne jako wskaźnik frekwencji sam w sobie, ale jako dowód, że żywa kolekcja funkcjonuje równolegle jako infrastruktura edukacyjna. Tematyczne spacer po kolekcjach lilaków, różaneczników, azalii czy owocujących roślin zamieniają cykl sezonowy w program uczenia się, a zajęcia

uniwersyteckie wiązą ekspozycję z kształceniem zawodowym (Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

Badania dotyczące powodów odwiedzania ogrodów botanicznych pokazują, że motywacja gości nie ogranicza się do zdobywania wiedzy. Zwiedzający poszukują nowych doświadczeń, estetyki, odpoczynku i redukcji stresu. Możliwość uczenia się współlistnieje tu z rekreacją i poprawą jakości życia. Z punktu widzenia instytucji naukowej nie jest to konkurencja dla edukacji, lecz warunek jej skuteczności. Osoba, która przyszła dla krajobrazu, kwitnienia magnolii czy jesiennych barw, może zetknąć się z informacją o biologii, historii introdukcji lub ochronie różnorodności. Interpretacja kolekcji powinna zatem budować pomost między doświadczeniem miejsca a treścią naukową (Wassenberg i in. 2015, Ca-tahan i in. 2024).

W Kórniku pomost ten wzmacnia wyjątkowe połączenie Arboretum z Zamkiem i historycznym układem miasta. Rośliny nie są anonimową ekspozycją biologiczną, lecz częścią krajobrazu kulturowego związanego z Działyńskimi, Zamoyskim, Biblioteką Kórnicką i dziejami polskiej nauki. Status Pomnika Historii podkreśla, że ochrona dotyczy nie tylko pojedynczych drzew, ale zespołu wartości przyrodniczych, architektonicznych i historycznych. Najstarsze okazy o rozpoznanym pochodzeniu można w tym sensie traktować jako dobra kultury: są materialnymi świadkami dawnych kontaktów ogrodniczych, przepływu wiedzy, praktyk szkółkarskich i decyzji kompozycyjnych (Nowak 2020, Jagodziński 2026a).

Pojęcie „żywego archiwum” dobrze oddaje właściwość kolekcji Arboretum, ale wymaga doprecyzowania. Dokument papierowy można zabezpieczyć przed zmianą, drzewo musi się zmieniać, aby żyć. Ochrona kolekcji nie oznacza więc utrzymywania nieruchomego obrazu przeszłości. Obejmuje diagnozowanie stanu starych drzew, zabiegi arborystyczne, ochronę systemów korzeniowych, rozmnażanie zabezpieczające, kontrolę samosiewów i świadome decyzje o zastępowaniu obumarłych okazów. Każda z tych interwencji powinna być dokumentowana, ponieważ staje się częścią przyszłej historii obiektu. Wartość dziedzictwa zależy zatem od aktywnego, a nie pasywnego zarządzania (Jagodziński 2026a).

Turystyka tworzy w takim obiekcie zarówno szansę, jak i presję. Publiczna dostępność jest częścią misji ogrodu botanicznego, ale zwiększa wymagania dotyczące bezpieczeństwa starych drzew, odporności alejek i trawników, infrastruktury oraz sposobu kierowania ruchem. W Kórniku sezonowe nasilenie ruchu związane jest między innymi z kwitnieniem magnolii, lilaków, różaneczników i azalii. Współczesne rozwiązania – sprzedaż biletów online, audioprzewodnik, gry terenowe czy czasowe udostępnianie Nowego Arboretum – pokazują, że zarządzanie turystyką jest elementem opieki nad kolekcją, a nie odrębną działalnością usługową (Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

Wydarzenia odbywające się w Arboretum – od spacerów przyrodniczych i Dni Azalii i Różaneczników po koncerty, biegi czy zajęcia ruchowe – poszerzają grupę osób, dla których ogród staje się miejscem ważnym. Z punktu widzenia misji naukowej ich sens zależy od sposobu włączenia w ochronę i interpretację kolekcji. Literatura dotycząca turystyki w ogrodach botanicznych wskazuje, że rekreacja

i dobrostan są rzeczywistymi usługami społecznymi, ale jednocześnie wymagają mierzenia wpływu, zapewnienia dostępności i utrzymania integralności funkcji ochronnych oraz badawczych (Catahan i in. 2024, Teixeira, Ferreira 2026).

Spółeczna funkcja Arboretum obejmuje także kompetencje eksperckie. Konsultacje dotyczące uprawy i ochrony drzew, szkolenia arborystyczne czy współpraca z instytucjami samorządowymi przenoszą wiedzę poza granice ogrodu. Ma to długą tradycję: przedwojenne i powojenne szkoły rozpowszechniały nowe taksony i odmiany, a pracownicy Instytutu Dendrologii PAN uczestniczyli w kształtowaniu praktyki leśnej i ogrodniczej. Dziś transfer wiedzy przyjmuje inne formy, lecz nadal opiera się na tej samej przewadze instytucji – wieloletnim doświadczeniu z żywymi drzewami i krzewami (Bugala 1996, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025, Jagodziński 2024).

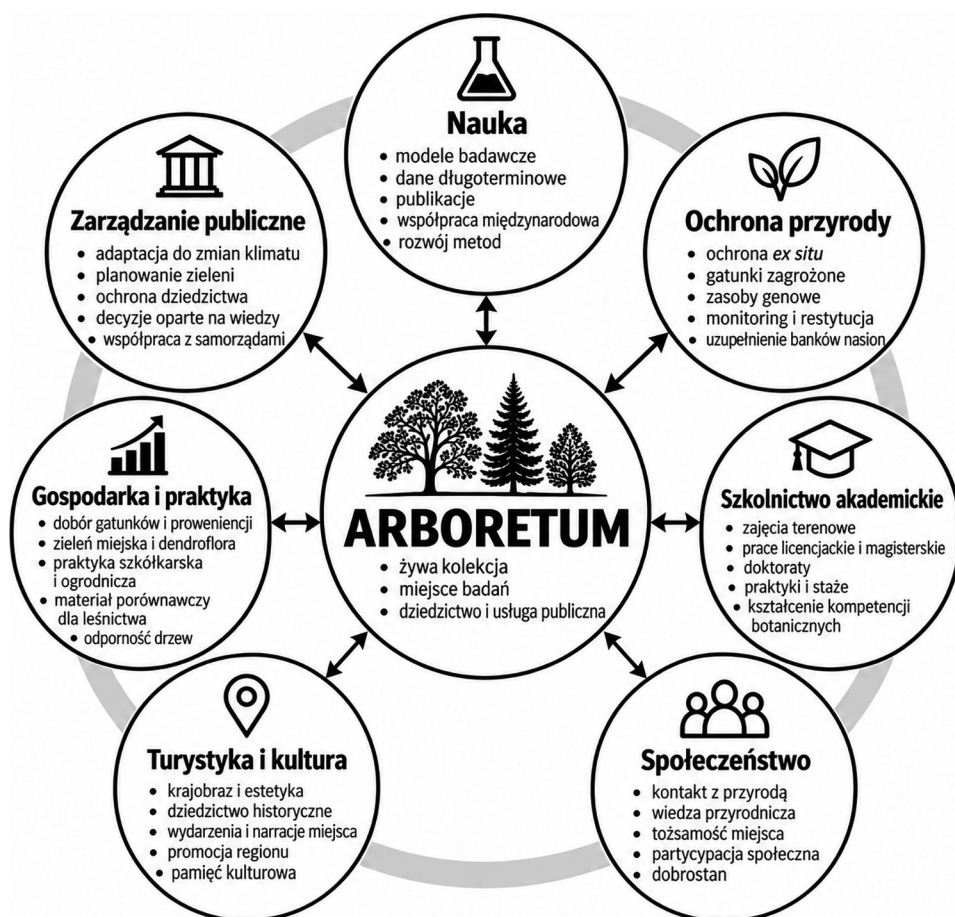
Wartość edukacyjna jest wreszcie związana z budowaniem „świadomości roślin”, czyli zdolności dostrzegania roślin jako aktywnych organizmów, a nie jedynie tła krajobrazu. Drzewo w arboretum może być równocześnie obiektem historycznym, organizmem o określonej fizjologii, siedliskiem innych gatunków, elementem gospodarki i nośnikiem informacji o zmianie klimatu. Taki wieloperspektywiczny sposób interpretacji jest szczególnie potrzebny w edukacji środowiskowej, ponieważ pokazuje, że ochrona przyrody nie polega wyłącznie na zachowaniu „ładnych miejsc”, lecz na rozumieniu procesów i konsekwencji decyzji. Międzynarodowa literatura wskazuje, że ogrody botaniczne mają potencjał oddziaływania na postawy społeczne właśnie dlatego, że łączą bezpośrednie doświadczenie roślin z wiarygodnością instytucji naukowej (Blackmore i in. 2011, Westwood i in. 2021, Teixeira, Ferreira 2026).

Ważnym skutkiem publicznego udostępnienia kolekcji jest zmiana relacji między ekspertem a odbiorcą. Dawne arboretum rezydencjonalne było oglądane przez ograniczone grono gości, współczesny ogród botaniczny działa wobec szerokiej i zróżnicowanej publiczności. Oznacza to konieczność tłumaczenia nie tylko nazw roślin, ale także powodów ich utrzymywania, zasad ochrony, znaczenia pochodzenia materiału i ograniczeń związanych z bezpieczeństwem starych drzew. Etykieta botaniczna pozostaje podstawowym narzędziem, ale sama nie wystarcza do komunikowania złożonych problemów: zmiany klimatu, ochrony *ex situ*, inwazyjności czy relacji mykoryzowych. W tym sensie edukacja w arboretum przesuwą się od przekazywania informacji ku interpretacji procesów i decyzji (Blackmore i in. 2011, Teixeira, Ferreira 2026).

Kórnik dysponuje szczególnym potencjałem narracyjnym, ponieważ może łączyć historię konkretnego drzewa z historią nauki. Stary cypryśnik błotny może być jednocześnie śladem dziewiętnastowiecznej introdukcji, obiektem dendrologicznym, organizmem przystosowanym do określonych warunków siedliskowych i elementem krajobrazu. Orzeszniki mogą prowadzić od historii zakupów i nasadzeń do współczesnych badań mykoryz. Cisy pozwalają zestawić symbolikę i długowieczność z odnowieniem, rozdzielnością i jakością nasion. Taka interpretacja nie wymaga uproszczenia nauki do anegdoty, przeciwnie, zakotwicza pojęcia biologiczne w materialnym obiekcie i pokazuje ciągłość między badaniami historycznymi a współczesnymi.

Funkcja turystyczna może wzmacniać ochronę, jeżeli buduje społeczne uzasadnienie dla kosztownej opieki nad kolekcją. Historyczne arboreta wymagają stałych nakładów na pielęgnację drzew, systemy nawadniania, zabezpieczenia, monitoring, dokumentację i personel o specjalistycznych kompetencjach. Odwiedzający widzą przede wszystkim efekt – dojrzały krajobraz i różnorodność roślin – podczas gdy znaczna część kosztów dotyczy procesów niewidocznych. Dlatego program edukacyjny powinien wyjaśniać również samo pojęcie opieki nad kolekcją. Zrozumienie, że stary park jest rezultatem ciągłej pracy, może zwiększać akceptację dla zabiegów konserwatorskich i ograniczeń w dostępie do niektórych miejsc (Jagodziński 2026a).

Współczesne wykorzystanie Arboretum pokazuje też, że dobro publiczne może mieć wiele wymiarów jednocześnie. Teren służy lekcjom i zajęciom akademickim, spacerom indywidualnym, wydarzeniom sezonowym, kulturze i rekreacji. Dla przykładu w 2025 r. w ogrodzie odbywały się między innymi spacer



Ryc. 4. Arboretum jako węzeł między nauką i społeczeństwem

tematyczne, zajęcia dla szkół i uczelni, gry terenowe, wydarzenia sportowe oraz koncerty. Nie wszystkie te aktywności są nauką, ale każda odbywa się w przestrzeni, której podstawową wartość stworzyły kolekcja, badania i dziedzictwo. Zarządzanie wielofunkcyjnością polega więc nie na maksymalizacji liczby wydarzeń, lecz na utrzymaniu hierarchii wartości: rośliny i ich dokumentacja są zasobem nieodnawialnym w krótkiej skali czasu, a program społeczny powinien wzmacniać świadomość tej wartości (Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

W miejscu tym spotykają się liczne znaczenia słowa „udostępnianie”. W nauce oznacza ono dostęp do materiału, danych i wyników, w turystyce – fizyczny dostęp do przestrzeni, w edukacji – dostęp do zrozumiałej interpretacji, w dziedzictwie – możliwość uczestnictwa w pamięci miejsca. Silne arboretum powinno rozwijać wszystkie te formy równolegle. Cyfrowa baza okazów i publikacji może służyć badaczom, aplikacja terenowa – zwiedzającym, a archiwalne plany i fotografie – historykom i edukatorom. Integracja tych warstw jest jednym z najbardziej perspektywicznych kierunków rozwoju Arboretum w Kórniku jako części instytucji publicznej, ponieważ pozwala tej samej roślinie funkcjonować w kilku obiegach wiedzy bez utraty naukowej precyzji. Arboretum jest w tym sensie nie tylko miejscem gromadzenia i badania roślin, ale węzłem przepływu wiedzy między nauką, praktyką, administracją i społeczeństwem (ryc. 4).

Kórnik w europejskiej i światowej sieci arboretów

Pozycja Arboretum Kórnickiego zmieniała się wraz z przemianami samej idei arboretum. W XIX wieku o randze kolekcji świadczyło przede wszystkim bogactwo i rzadkość taksonów, dostęp do renomowanych szkółek, jakość utrzymania oraz wiedza właściciela i ogrodników. Oceniane w tych kategoriach zbiory Jana Działyńskiego należały do najważniejszych w Europie Środkowej. Przed II wojną światową kolekcje rozwijane przez Wróblewskiego, wyposażone w pełniejszą dokumentację i włączone w międzynarodową wymianę nasion, należały do najbogatszych tego rodzaju w Europie. O randze Kórnika coraz częściej decydowało jednak nie tylko posiadanie roślin, lecz zdolność do ich rozmnażania, opisywania, testowania i upowszechniania (Białobok 1946b, Bugała 1996, Jagodziński 2026b, Nowak, Broniewska 2026).

Po II wojnie światowej międzynarodowa pozycja Arboretum była w większym stopniu pozycją ośrodka naukowego niż samego ogrodu. Rozwój systematyki i chorologii drzew południowo-zachodniej Azji i wschodniego Śródziemnomorza, udział w opracowaniach „Flora Europaea”, „Flora of Turkey” i „Flora Iranica”, pionierskie w Polsce badania genetyki drzew leśnych, biologii nasion oraz fizjologii drzew budowały rozpoznawalność Instytutu Dendrologii PAN. Arboretum pozostawało bazą tej instytucji, ale znaczna część badań była prowadzona w terenie, w Lesie Doświadczalnym „Zwierzyniec”, w lasach gospodarczych lub laboratoriach. Sytuacja ta jest ważna interpretacyjnie: bez historycznej kolekcji i powstałej wokół niej infrastruktury instytut o takim profilu prawdopodobnie nie powstałby w Kórniku (Jagodziński 2023, 2024).

Współczesny globalny przegląd badań nad arboretami daje możliwość ostrożnego porównania pozycji Kórnik z innymi ośrodkami. W systematycznej mapie obejmującej 995 dostępnych i indeksowanych publikacji wskazano 390 arboretów, a Arboretum Kórnickie znalazło się wśród najczęściej przywoływanych obiektów, w których prowadzi się badania naukowe (siódma pozycja na świecie, druga pozycja w Europie) (Teixeira, Ferreira 2026). Wynik ten ma znaczenie nie jako ranking jakości, lecz jako niezależne potwierdzenie, że Kórnik jest rozpoznawalnym miejscem badań w międzynarodowym korpusie literatury z zakresu biologii i ekologii roślin drzewiastych. Jednocześnie metodologia tego przeglądu szczególnie silnie zaniża dorobek Kórnik. Autorzy ograniczyli bowiem analizę do publikacji dostępnych pełnotekstowo w kilku językach i do rekordów wyłonionych z głównych baz indeksacyjnych oraz dodatkowych wyszukiwarek. Wprost wskazali, że dawne biuletyny, czasopisma instytucjonalne i prace niewidoczne w tytułach oraz słowach kluczowych są niedoreprezentowane. Dotyczy to znacznej części „Rocznika Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego”, „Pamiętnika Zakładu Badania Drzew i Lasu”, „Arboretum Kórnickiego” i dawnych sprawozdań. Kórnik jest zatem ciekawym przykładem ograniczeń bibliometrii: im dłuższa historia instytucji i większy udział literatury lokalnej sprzed epoki indeksowania, tym większa część jej rzeczywistego dorobku znika z prostych zestawień w takich bazach, jak Web of Science czy Scopus.

W tym kontekście szczególnego znaczenia nabiera współpraca z innymi ogrodami i sieciami ogrodów botanicznych. Międzynarodowa wymiana nasion była podstawą rozwoju kolekcji już w XIX i XX wieku, obecnie współpraca przyjmuje także formę wspólnych protokołów monitoringu i infrastruktury danych. Udział w International Plant Sentinel Network wykorzystuje kolekcje jako system wczesnego ostrzegania przed organizmami szkodliwymi, a monitoring jesionów pod kątem występowania *Agrilus planipennis* pokazuje, że dojrzałe, udokumentowane drzewa mogą być elementem transnarodowego systemu bioasekuracji. Arboretum staje się wówczas sensorem biologicznym, którego wartość rośnie w sieci porównywalnych obiektów (Barham i in. 2016, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

Cele na przyszłość: zachować zdolność do zadawania nowych pytań

Najważniejszym wyzwaniem dla historycznego arboretum nie jest wybór między przeszłością a przyszłością, lecz takie zarządzanie przeszłością, aby pozostawała użyteczna w przyszłości. Kolekcja żywa musi się zmieniać: drzewa obumierają, pojawiają się nowe patogeny, klimat modyfikuje warunki wzrostu, a ograniczona przestrzeń wymusza decyzje o nowych nasadzeniach. Zachowanie autentyczności nie może oznaczać zakazu zmiany. Powinno oznaczać rozróżnianie warstw wartości – historycznego okazu, genotypu, taksonu, kompozycji przestrzennej, dokumentacji i funkcji badawczej – oraz dobieranie działań do tego, co w danym przypadku wymaga ochrony (Jagodziński 2026a, c). Przyszłość historycznych arboretów zależy więc nie tylko od rozwoju nowych funkcji, lecz także od zdolności

rozpoznawania zagrożeń i budowania odporności kolekcji, dokumentacji i instytucji (ryc. 5).

Pierwszym celem jest jakość danych. Współczesna kolekcja naukowa powinna łączyć numer inwentarzowy, aktualną nazwę, pochodzenie, datę i sposób pozyskania, lokalizację, historię przesadzeń i zabiegów pielęgnacyjnych, status zdrowotny, materiał zielnikowy, fotografie oraz publikację, w których wykorzystano okaz lub jego potomstwo. W starym arboretum część informacji będzie zawsze niepewna; naukowa wiarygodność wymaga jednak nieukrywania niepewności, lecz jej oznaczania. Globalna literatura coraz wyraźniej wskazuje, że przyszłość kolekcji żywych zależy od interoperacyjnych systemów danych i możliwości łączenia informacji między instytucjami (Dosmann 2006, Brockington i in. 2026).

Drugim celem jest przesunięcie akcentu z maksymalizacji liczby taksonów na strategiczną jakość zbiorów. W ochronie *ex situ* pojedynczy okaz rzadkiego gatunku ma ograniczoną wartość genetyczną, nawet jeśli jest ważny ekspozycyjnie. Dla gatunków priorytetowych potrzebne są kolekcje reprezentujące różne populacje, najlepiej od udokumentowanym dzikim pochodzeniu. Badania globalne pokazują, że ogrody botaniczne przechowują znaczną część różnorodności roślin, ale ich zbiory są geograficznie i filogenetycznie nierównomierne. Dlatego też w takim ogrodzie jak Arboretum Kórnickie naturalnym kierunkiem działania powinno być dążenie do wzrostu reprezentatywności, a nie dążenie do gromadzenia wszystkiego (Mounce i in. 2017, Volis 2017, Hoban 2019, Hoban i in. 2020).



Ryc. 5. Zagrożenia dla trwałości arboretów i odpowiadające im działania adaptacyjne

Trzecim celem jest wykorzystanie czasu jako danych. Fenologia jest najbardziej oczywistym przykładem, ale nie jedynym. Powtarzane pomiary wzrostu, stanu koron, uszkodzeń mrozowych i suszowych, reprodukcji, pojawiania się samosiewu, patogenów i symbiontów mogą tworzyć serie o rosnącej wartości. Nowoczesne sensory i obrazowanie powinny uzupełniać, a nie zastępować obserwację terenową. Sieci ogrodów botanicznych są szczególnie użyteczne w badaniach klimatu, ponieważ pozwalają porównywać te same lub spokrewnione gatunki w różnych regionach, często z dostępem do historycznych zapisów (Primack, Miller-Rushing 2009, Primack i in. 2021). Arboretum w Kórniku, posiadając zarówno stare drzewa, jak i możliwość współpracy sieciowej, ma w tym obszarze przewagę trudną do odtworzenia w nowych kolekcjach.

Czwartym celem jest integracja badań nad introdukcją z oceną ryzyka. W XIX wieku sukcesem było samo utrzymanie egzotycznego gatunku; w XXI wieku trzeba dodatkowo pytać o możliwość spontanicznego rozprzestrzeniania, oddziaływanie na rodzime organizmy, podatność na przenoszenie patogenów i przyszłe zachowanie w zmieniającym się klimacie. Nie oznacza to odrzucenia introdukcji jako narzędzia nauki. Przeciwnie, historyczne arboreta są jednym z najlepszych miejsc do oceny jej długoterminowych skutków. Wymaga to jednak monitoringu, dokumentowania samosiewu i powiązania danych o roślinie z badaniami gleby, grzybów, owadów i innych elementów ekosystemu (Rudawska i in. 2018, Wilgan, Leski 2022, Jagodziński 2026b).

Piątym celem jest rozwijanie funkcji ochrony roślin przed szkodnikami i patogenami. Wzrost globalnego handlu roślinami zwiększa ryzyko ich zawlekania na nowe obszary. Arboreta skupiają wiele gatunków drzew w jednym miejscu, są regularnie obserwowane przez specjalistów i dysponują dokumentacją, dlatego mogą wcześniej wykrywać nietypowe objawy. Na przykład International Plant Sentinel Network wykorzystuje tę przewagę w skali międzynarodowej. Dla Kórnika oznacza to możliwość połączenia tradycyjnej opieki fitosanitarnej z badaniami naukowymi i systemem ostrzegania, czego przykładem jest monitoring jesionów (Barham i in. 2016, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

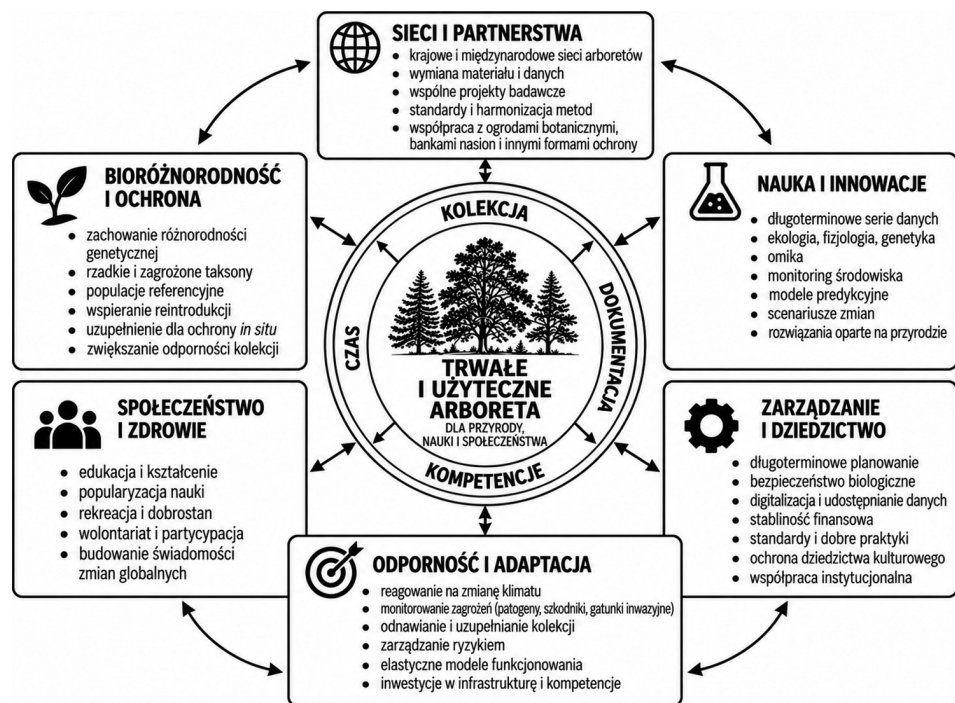
Szóstym celem jest badanie odporności drzew przydatnych dla miast, krajozbrazu i leśnictwa. Zmiany klimatu zwiększają potrzebę wiedzy o tolerancji suszy, upałów i późnych przymrozków. Arboreta mogą wspierać wstępny wybór gatunków i pochodzeń, ponieważ zawierają dorosłe drzewa funkcjonujące przez dziesięciolecia poza naturalnym zasięgiem. Wyników takich obserwacji nie wolno jednak automatycznie przenosić na gospodarkę leśną czy miejską: historyczne nasadzenia nie są zawsze reprezentatywne genetycznie, a warunki parku różnią się od ulicy lub drzewostanu. Najlepszy model łączy obserwacje kolekcji z kontrolowanymi pomiarami fizjologicznymi i późniejszymi testami w środowisku docelowym (Hirons i in. 2021, Primack i in. 2021).

Siódmym celem jest lepsze powiązanie badań i edukacji. Wiele prac prowadzonych w Kórniku ma potencjał interpretacyjny niemal natychmiast: badania mykoryz można wykorzystać do opowieści o „niewidzialnych” partnerach drzew, fenologię do pokazania reakcji na klimat, dymorfizm płciowy do wyjaśniania kosztów reprodukcji, a badania nasion do rozmowy o regeneracji lasu i bankach

genów. Taki sposób komunikacji ma przewagę nad ogólną edukacją przyrodniczą, ponieważ odnosi się do drzewa stojącego przed odbiorcą i do wyników uzyskanych w tym samym miejscu. Łączy więc lokalność z nauką o znaczeniu uniwersalnym (Westwood i in. 2021, Teixeira, Ferreira 2026).

Osmym celem jest świadome zarządzanie funkcją turystyczną. Atrakcyjność parku i sezonowe spektakle kwitnienia są zasobem społecznym, ale także obciążeniem dla delikatnej infrastruktury i starych drzew. Dane o ruchu, ścieżkach, wydarzeniach i zachowaniach odwiedzających powinny służyć do projektowania dostępności, która nie obniża wartości naukowej i konserwatorskiej obiektu. Międzynarodowe badania wskazują, że ogrody botaniczne generują korzyści rekreacyjne i dobrostan człowieka; dla instytucji publicznej ważne jest jednak, aby efekty te były osiąganym w sposób spójny z edukacją, ochroną i bezpieczeństwem kolekcji (Wassenberg i in. 2015, Catahan i in. 2024).

Dziwiątym celem jest zachowanie kompetencji. Najbardziej zaawansowana baza danych nie zastąpi dendrologa, ogrodnika, arborysty czy technika, który potrafi rozpoznać roślinę, właściwie pobrać materiał, odczytać dawny plan, prowadzić rozmnażanie i ocenić skutki zabiegu. Historia Kórnika jest historią drzew równie mocno jak historią ludzi: Działyńskich, Zamoyskiego, Wróblewskiego oraz wielu badaczy, ogrodników i pracowników technicznych. Przekaz tych kompetencji jest częścią ochrony kolekcji, ponieważ brak fachowej opieki może



Ryc. 6. Strategiczne kierunki rozwoju arboretów w XXI wieku

w krótkim czasie zniszczyć wartość gromadzoną przez dziesięciolecia (Jagodziński 2026a, Nowak, Broniewska 2026).

Wreszcie dziesiątym celem powinno być utrzymanie otwartości kolekcji na pytania, których dziś jeszcze nie potrafimy sformułować. Historia nauki w Kórniku dostarcza wielu przykładów takiej niezamierzonej użyteczności. Działalność nie sadzili orzeszników po to, by analizować ich mykoryzy metodami molekularnymi, hodowcy topól z połowy XX wieku nie tworzyli mieszańców z myślą o późniejszym wykorzystywaniu ich na terenach poprzemysłowych czy o rozstrzygnięciu zawłości nomenklatorycznych, obserwatorzy fenologii z lat 50. XX wieku nie mogli przewidzieć współczesnej debaty o antropogenicznej zmianie klimatu i jej skutkach. Właśnie dlatego odpowiedzialne utrzymywanie kolekcji ma wartość poznawczą wykraczającą poza aktualne projekty. Nauka przyszłości korzysta z decyzji podejmowanych w przeszłości, o ile przetrwały rośliny i informacja o nich.

Wspólnym mianownikiem tych kierunków jest przejście od traktowania arboretum jako zbioru okazów do zarządzania nim jako długoterminową, sieciową infrastrukturą ochrony, badań i wiedzy (ryc. 6).

Podsumowanie. Więcej niż kolekcja

Dwieście lat Arboretum Kórnickiego, fundamentalnej części Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, można opisać jako historię narastania funkcji, a nie ich prostego zastępowania. Ogród przyzamykowy stał się kolekcją dendrologiczną, kolekcja – miejscem introdukcji, porównań i edukacji, publiczne dziedzictwo – podstawą placówki badawczej, arboretum instytutu naukowego – źródłem materiału m.in. dla systematyki, hodowli, fizjologii, genetyki i biologii nasion, dojrzały ogród – miejscem badania procesów ekologicznych, relacji z grzybami, reprodukcji i cech funkcjonalnych, a historyczna infrastruktura – platformą monitoringu klimatycznego, ochrony *ex situ*, edukacji i społecznego kontaktu z nauką. Sekwencja ta nie oznacza, że dawne cele stały się nieaktualne. Systematyka, dokumentacja, rozmnażanie i ocena przydatności drzew do różnych celów są nadal potrzebne, lecz funkcjonują w bogatszym kontekście naukowym i społecznym (Bugala 1996, Nowak, Ratajczak 2023, Jagodziński 2026a, b, Nowak, Broniewska 2026).

Najważniejszą cechą Arboretum Kórnickiego jest ciągłość pomiędzy żywym okazem a dokumentacją. Drzewo bez wiedzy o pochodzeniu może być cenne krajobrazowo, lecz jego wartość naukowa jest ograniczona; dokument bez zachowanego materiału biologicznego ma z kolei mniejsze możliwości ponownej weryfikacji. Gdy oba elementy pozostają połączone, pojawia się możliwość powrotu do tego samego obiektu po dekadach i postawienia nowego pytania. W tym sensie inwentarz, plan parku, zielnik, fotografia, publikacja, próbka DNA i samo drzewo są częściami jednego systemu wiedzy. Wartość tego systemu rośnie, jeśli informacje są uporządkowane i dostępne dla kolejnych badaczy (Dosmann 2006, Brockington i in. 2026).

Arboretum nie jest przy tym wyłącznie infrastrukturą nauki. Jego funkcja publiczna jest wpisana zarówno w historię Działuńskich i Zamoyskiego, jak i we współczesną definicję ogrodu botanicznego. Dostęp do żywej różnorodności,

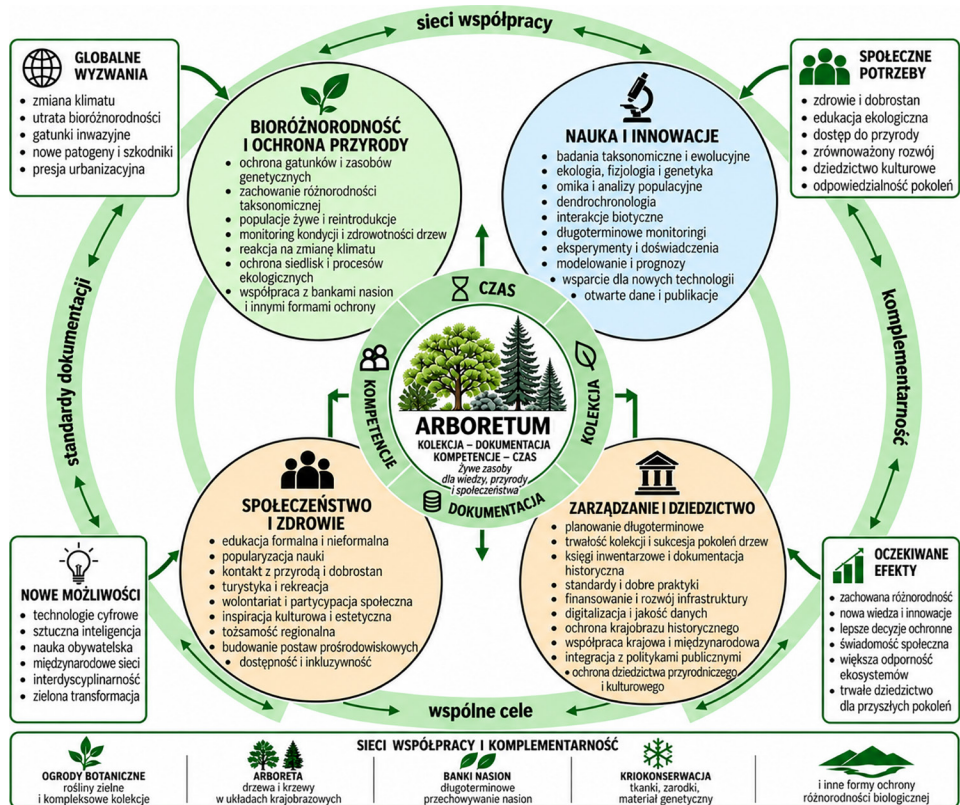
możliwość uczenia się w terenie, doświadczenie historycznego krajobrazu, rekreacja i dobrostan tworzą wartości społeczne, których nie da się oddzielić od ochrony kolekcji. Turysta, uczeń, student, ogrodnik, badacz i mieszkańiec regionu korzystają z tego samego miejsca w różny sposób; odpowiedzialne zarządzanie powinno umożliwiać te sposoby użytkowania bez redukowania arboretum do parku rozrywki, muzeum zamrożonego w czasie ani zamkniętego zaplecza laboratoryjnego (Westwood i in. 2021, Catahan i in. 2024, Teixeira, Ferreira 2026).

Historyczna pozycja Kórnika wśród europejskich kolekcji wynikała najpierw z bogactwa introdukcji i dendrologicznej wiedzy twórców, następnie z profesjonalizacji dokumentacji i szkolnictwa, a później z połączenia kolekcji z wyspecjalizowanym instytutem naukowym. Współcześnie tę pozycję potwierdza obecność w międzynarodowym piśmiennictwie dotyczącym arboretów, choć bibliometria nie oddaje rozmiaru wcześniejszego dorobku polskojęzycznego. Kórnik nie konkuruje z największymi światowymi ogrodami jedynie liczbą taksonów. Jego przewagą jest połączenie dwóch stuleci historii kolekcji z ciągłością badań, własnym zapleczem naukowym, lasem doświadczalnym, zielnikiem, biblioteką i archiwum oraz aktywną funkcją publiczną (Jagodźński 2026b, Teixeira, Ferreira 2026).

Przyszłość Arboretum Instytutu Dendrologii PAN powinna być oceniana przez zdolność do zachowania tej złożoności. Priorytetem nie musi być największa możliwa liczba gatunków. Bardziej istotne mogą być: pełna dokumentacja okazów, reprezentatywność genetyczna wybranych kolekcji, zabezpieczanie szczególnie wartościowych genotypów, monitoring fenologiczny i fitosanitarny, badania interakcji z lokalną biotą, ocena ryzyka introdukcji, wykorzystanie kolekcji do badań odporności na zmianę klimatu, integracja danych z zielnikiem i publikacjami oraz skuteczna edukacja. Taka strategia odpowiada współczesnemu kierunkowi rozwoju ogrodów botanicznych, które z miejsc ekspozycji przekształcają się w aktywne węzły ochrony, nauki i komunikacji społecznej (Blackmore i in. 2011, Mounce i in. 2017, Primack i in. 2021, Westwood i in. 2021, Brockington i in. 2026).

Najtrafniejszym kryterium trwałości kolekcji jest zatem nie to, czy za sto lat będzie wyglądała dokładnie tak jak dzisiaj, lecz czy zachowa zdolność do przekazywania wiedzy i tworzenia nowej. W Kórniku zdolność ta była wielokrotnie zagrożona przez sekwestry, wojny, trudności finansowe, zmiany organizacyjne i biologiczne starzenie się roślin, a jednak kolekcja przetrwała dzięki ciągłości opieki. Dwusetlecie jest z tego punktu widzenia nie tylko jubileuszem zachowanych drzew, ale jubileuszem utrzymanej relacji między drzewami a ludźmi, którzy je sadzą, opisują, badają, chronią i udostępniają. Najbardziej trwałym rezultatem dwóch stuleci nie jest zamknięty zbiór odpowiedzi, lecz zachowana możliwość zadawania kolejnych pytań. To właśnie czyni Arboretum Kórnickie czymś więcej niż kolekcją.

Współczesne arboretum to zatem infrastruktura „długiego trwania”, której użyteczność wynika z połączenia czterech podstawowych zasobów: żywej kolekcji, dokumentacji, kompetencji ludzi oraz czasu. Zasoby te umożliwiają realizację celów naukowych, ochronnych i społecznych, ale ich wartość ujawnia się w pełni dopiero w powiązaniu z trwałym zarządzaniem, współpracą instytucjonalną oraz



Ryc. 7. Arboretum jako długoterminowa infrastruktura wiedzy, ochrony i dobra publicznego

komplementarnymi formami ochrony różnorodności biologicznej. Arboretum nie jest zatem izolowaną kolekcją, lecz elementem systemu obejmującego badania, ochronę przyrody, edukację, polityki publiczne, banki zasobów genowych i inne instytucje przechowujące oraz interpretujące różnorodność roślin. Jednocześnie jego rozwój jest odpowiedzią zarówno na globalne wyzwania środowiskowe, jak i na zmieniające się potrzeby społeczne oraz możliwości oferowane przez nowe technologie i sieci współpracy. Przyszłość arboretów zależy więc nie od maksymalizacji jednej funkcji, lecz od zdolności utrzymywania relacji między tymi funkcjami bez utraty jakości kolekcji i informacji o niej (ryc. 7).

Podziękowania

Dziękujemy prof. Lee E. Frelichowi, dyrektorowi the University of Minnesota Center for Forest Ecology (USA), za wartościowe uwagi oraz staranną korektę językową maszynopisu. Serdecznie dziękujemy również prof. Dominikowi Tomaszewskiemu z Instytutu Dendrologii PAN za uważną lekturę maszynopisu oraz cenne uwagi merytoryczne i redakcyjne.

Literatura

- Barham E., Sharrock S., Lane C., Baker R. 2016. The International Plant Sentinel Network: a tool for Regional and National Plant Protection Organizations. EPPO Bulletin 46(1): 156–162.
- Bątkiewicz E. 2011. Tytus Działyński (1796–1861). Polityk. Społecznik. Twórca kultury. Praca doktorska. Zakład Archiwistyki Instytutu Historii UAM, Poznań.
- Bątkiewicz-Szymanowska E., Potocka M., Potocki M. 2023. Opowieść o Zamku w Kórniku. Przewodnik. PAN Biblioteka Kórnicka, Kórnik.
- Białobok S. 1946a. Ogrody Kórnickie w czasie okupacji (1939–1945) i w obliczu nowych celów. Pamiętnik Zakładu Badania Drzew i Lasu w Kórniku 1: 37–47.
- Białobok S. 1946b. Wspomnienie pośmiertne. Posthumous reminiscences of late Anton Wróblewski. Pamiętnik Zakładu Badania Drzew i Lasu w Kórniku 1: 26–36.
- Białobok S. 1955. Rys historyczny Zakładu Dendrologii i Pomologii w Kórniku oraz ogólna charakterystyka kolekcji drzew i krzewów. Arboretum Kórnickie 1: 7–30.
- Białobok S. 1958. Historia, stan i kierunki badawcze Zakładu Dendrologii i Pomologii PAN w Kórniku. Kosmos A 7(2): 231–239.
- Białobok S. 1960. Historia introdukcji i aklimatyzacji drzew i krzewów w Arboretum Kórnickim. Arboretum Kórnickie 5: 141–200.
- Białobok S. 1961. Działalność Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego. Nauka Polska 2: 141–147.
- Białobok S. 1968. Sprawozdanie z działalności Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego PAN za rok 1967. Arboretum Kórnickie 13: 323–329.
- Białobok S. 1969. Problematyka naukowa Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego na tle historycznym. Arboretum Kórnickie 14: 275–289.
- Białobok S. 1975. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w historycznym rozwoju. Arboretum Kórnickie 20: 5–21.
- Blackmore S., Gibby M., Rae D. 2011. Strengthening the scientific contribution of botanic gardens to the second phase of the Global Strategy for Plant Conservation. Botanical Journal of the Linnean Society 166(3): 267–281.
- Blinkova O., Rawlik K., Jagodziński A.M. 2024. Effects of limiting environmental conditions on functional traits of *Hedera helix* L. vegetative shoots. Frontiers in Plant Science 15: 1464006.
- Bojarczuk K., Karliński L., Hazubska-Przybył T., Kieliszewska-Rokicka B. 2015. Influence of mycorrhizal inoculation on growth of micropropagated *Populus ×canescens* lines in metal-contaminated soils. New Forests 46: 195–215.
- Bojarczuk T. 1970. Wiek niektórych drzew w Arboretum Kórnickim. Arboretum Kórnickie 15: 29–45.
- Bojarczuk T., Bojarczuk K. 1971. Wykaz drzew i krzewów w Arboretum Kórnickim. Arboretum Kórnickie 16: 63–80.
- Boratyński A., Dolatowski J., Oleksyn J. 1993. Stefan Białobok (1909–1992). Wiadomości Botaniczne 37(1/2): 93–98.
- Brockington S.F., Malcolm P., Aiello A.S., i in. 2026. High-performance living plant collections require a globally integrated data ecosystem to meet twenty-first-century challenges. Nature Plants 12: 18–25.
- Browicz K. 1952. Pnącza w Arboretum Kórnickim. Prace Zakładu Dendrologii i Pomologii w Kórniku: 3–41.
- Browicz K. 1993. Stefan Białobok (1909–1992). Nauka Polska 41(5): 161–164.
- Browicz K., Bugała W. 1958. Mały przewodnik po Arboretum Kórnickim. Zakład Dendrologii i Pomologii PAN, Kórnik.

- Bugała W. 1955. Kolekcja topoli w Arboretum Kórnickim. *Arboretum Kórnickie* 1: 43–60.
- Bugała W. 1971. *Arboretum Kórnickie*. Przewodnik. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Bugała W. 1978. *Arboretum Kórnickie*. Przewodnik. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa–Poznań.
- Bugała W. 1980. Jubileusz 35-letniej działalności naukowej prof. dra S. Białoboka w Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku. *Arboretum Kórnickie* 25: 5–11.
- Bugała W. 1992. Prof. dr Stefan Białobok (1909–1992). *Arboretum Kórnickie* 37: 5–8.
- Bugała W. 1993. Prof. dr Stefan Białobok (1909–1992). *Wiadomości Botaniczne* 37(1/2): 110–112.
- Bugała W. 1996. Od Ogrodów Kórnickich do Instytutu Dendrologii. *Arboretum Kórnickie* 41: 5–13.
- Bugała W., Bojarczuk T. 1998. Nowe kolekcje drzew i krzewów w Arboretum Kórnickim na terenie Lasu Doświadczalnego Zwierzyniec. *Arboretum Kórnickie* 43: 85–95.
- Burczyk J. 2013. Wkład Instytutu Dendrologii PAN w rozwój genetyki drzew leśnych. W: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (red.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych*. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. Kórnik–Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 64–67.
- Catahan N., Hopwood M., Suraweera P. 2024. Botanic Garden Tourism, Social Value, Health, and Well-Being. *Journal of Zoological and Botanical Gardens* 5(2): 187–199.
- Celichowski Z. 1906. *Ogród zamkowy w Kórniku*. Biblioteka Kórnicka, Poznań.
- Chałupka W. 2003. 70 years of the Institute of Dendrology of the Polish Academy of Sciences in Kórnik, Poland. *Silvae Genetica* 52(3–4): 180.
- Chałupka W. 2004. 70 years of the Institute of Dendrology of the Polish Academy of Sciences in Kórnik, Poland. *Forest Genetics* 11(1): 86.
- Chałupka W. 2005. Władysława Zamoyskiego umiłowanie lasu. *Pamiętnik Biblioteki Kórnickiej* 27: 81–90.
- Chałupka W. 2006. Początki badań genetycznych drzew leśnych w Kórniku. W: J. Sabor (red.), *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, s. 29–34.
- Chałupka W. 2008. 75 lat Instytutu Dendrologii w Kórniku (1933–2008): wybrane karty z historii. *Rocznik Dendrologiczny* 56: 53–73.
- Chylarecki H. 1961. Rodzaj *Carya* Nutt. i wyniki jego aklimatyzacji w Arboretum Kórnickim. *Arboretum Kórnickie* 6: 73–92.
- Chylarecki H., Straus H. 1968. Wyniki dziesięcioletnich obserwacji fenologicznych nad drzewami i krzewami w Arboretum Kórnickim. *Arboretum Kórnickie* 13: 37–120.
- Dolatowski J. 1997a. Dawne plany Arboretum Kórnickiego. *Biuletyn Ogrodów Botanicznych, Muzeów i Zbiorów* 6: 75–84.
- Dolatowski J. 1997b. Notatki Jana Działyńskiego na marginesach książek o drzewach. *Rocznik Dendrologiczny* 45: 113–125.
- Dosmann M., Groover A. 2012. The importance of living botanical collections for plant biology and the “next generation” of evo-devo research. *Frontiers in Plant Science* 3: 137.
- Dosmann M.S. 2006. Research in the garden: averting the collections crisis. *The Botanical Review* 72(3): 207–234.
- Dylewski Ł., Adamczyk D., Żytkowiak R., Jagodziński A.M. 2024. Seed mass and seed resources – testing the defense trade-off hypothesis in woody plants. *Dendrobiology* 91: 32–41.

- Fuchs H., Staszak A.M., Vargas P.A., Sahrawy M., Serrato A.J., Dyderski M.K., Klupczyńska E.A., Głodowicz P., Rolle K., Ratajczak E. 2024. Redox dynamics in seeds of *Acer* spp.: unraveling adaptation strategies of different seed categories. *Frontiers in Plant Science* 15: 1430695.
- Giertych M. 1989. Prace z zakresu genetyki drzew leśnych w Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu* 204: 5–10.
- Giertych P. 2000. Factors determining natural regeneration of yew (*Taxus baccata* L.) in the Kórnik Arboretum. *Dendrobiology* 45: 31–40.
- Hirons A.D., Watkins J.H.R., Baxter T.J., Miesbauer J.W., Male-Muñoz A., Martin K.W.E., Bassuk N.L., Sjöman H. 2021. Using botanic gardens and arboreta to help identify urban trees for the future. *Plants, People, Planet* 3(2): 182–193.
- Hoban S. 2019. New guidance for *ex situ* gene conservation: sampling realistic population systems and accounting for collection attrition. *Biological Conservation* 235: 199–208.
- Hoban S., Callicrate T., Clark J. i in. 2020. Taxonomic similarity does not predict necessary sample size for *ex situ* conservation: a comparison among five genera. *Proceedings of the Royal Society B* 287(1926): 20200102.
- Ignaczak P. 2023. Ogród i park jako dopełnienie programu muzealnego Zamku w Gołuchowie w czasach Jana Działyńskiego i Izabeli z Czartoryskich Działyńskiej (ok. 1872–1899). *TECHNE, Seria Nowa* 2(12): 289–307.
- Instytut Dendrologii PAN. 2021. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2021 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Instytut Dendrologii PAN. 2022. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2022 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Instytut Dendrologii PAN. 2023. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2023 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Instytut Dendrologii PAN. 2024. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2024 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Instytut Dendrologii PAN. 2025. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2025 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Iszkuło G. 2005. Wpływ natężenia światła oraz nawożenia azotem na rozwój siewek cisa pospolitego *Taxus baccata* L. Rozprawa doktorska, Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Jagodziński A.M. 2018. Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences, Kórnik. W: A.K. Jasińska, A.M. Jagodziński, L. Fazan, K. Sękiewicz, Ł. Walas (red.), *Relict woody plants: linking the past, present and future. The International Scientific Conference. Kórnik, 19th June 2018. Book of Abstracts*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 17–24.
- Jagodziński A.M. 2019. 110-lecie urodzin twórcy Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. *Las Polski* 10: 29–30.
- Jagodziński A.M. 2022. Instytut Dendrologii PAN. W: M. Światoński, K. Sobkowska (red.), *Oddział PAN w Poznaniu w latach 1972–2022. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna GIMPO, Warszawa*, s. 92–94.
- Jagodziński A.M. 2023. Instytut Dendrologii PAN – czerpiąc z historii, tworząc przyszłość. W: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (red.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 90-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. Kórnik–Poznań, 9–11 października 2023. Materiały konferencyjne*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 23–46.
- Jagodziński A.M. 2024. Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences (1933–2023): a history in brief. W: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (red.), *Research and Practice in Forest Ecology. Book of abstracts*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 23–32.

- Jagodziński A.M. 2025. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk. W: M. Biniś-Szkopek, M. Cieliczko (red.), Ostatnie dzieło Władysława Zamoyskiego. 100 lat Fundacji Zakłady Kórnickie. Fundacja Zakłady Kórnickie, Kórnik, s. 140–145.
- Jagodziński A.M. 2026a. Kolekcje dendrologiczne jako żywe archiwum tradycji leśnictwa: dziedzictwo, ryzyko, odpowiedzialność. *Studia i Materiały Ośrodka Kultury Leśnej* 23: 73–102.
- Jagodziński A.M. 2026b. Kórnik Arboretum: the living heart of the Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences. W: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (red.), Research and Practice in Forest Ecology. 2nd International Scientific Conference for Young Scientists. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 19–34.
- Jagodziński A.M. 2026c. Ogrody botaniczne – czy tylko współczesne Arki Noego? W: K. Nowak, K. Broniewska (red.), Przewodnik. Arboretum Kórnickie. Spotkanie z przyrodą. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik, s. 12–17.
- Jagodziński A.M., Biniś-Szkopek M. 2024. Władysław hr. Zamoyski – nasz Fundator. *Kórniczanin* 1: 16–17.
- Jagodziński A.M., Nowak-Dyjeta K. 2012. Przyrodniczy pomnik historii. Arboretum Kórnickie. *Las Polski* 12: 18–19.
- Jagodziński A.M., Ratajczak E., Pers-Kamczyc E. 2019. Prof. dr Stefan Białobok – wybitny dendrolog i zasłużony kórniczanin. *Kórniczanin* 9: 12–13.
- Kalisz Z. 1979. Fundacja Zakłady Kórnickie w latach 1925–1953. *Pamiętnik Biblioteki Kórnickiej* 15: 137–202.
- Kalisz Z. 1980. Gospodarka Fundacji Zakłady Kórnickie w latach 1925–1953. *Pamiętnik Biblioteki Kórnickiej* 16: 35–161.
- Kalisz Z. 2013. Zakład Badań w zamiarach Władysława Zamoyskiego i realiach Fundacji Zakłady Kórnickie. W: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (red.), Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. Kórnik-Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 60–63.
- Kalisz Z. 2017. Fundacja Zakłady Kórnickie w latach 1925–1953. Fundacja Zakłady Kórnickie, Kórnik.
- Kijowska-Oberc J., Staszak A.M., Wawrzyniak M.K., Ratajczak E. 2020. Changes in proline levels during seed development of orthodox and recalcitrant seeds of genus *Acer* in a climate change scenario. *Forests* 11(12): 1362.
- Korbik M., Kosiński P. 2023. Revisiting the taxonomy of *Populus lasiocarpa* × *P. wilsonii* hybrids. *Dendrobiology* 90: 86–94.
- Korczyńska E. 1977. Bibliografia prac Antoniego Wróblewskiego za lata 1926–1944. Arboretum Kórnickie 22: 323–325.
- Kosiński P., Tomaszewski D., Zieliński J. 2022. *Thuja* × *soeegaardii* (Cupressaceae) – a new name for an old hybrid. *Dendrobiology* 87: 113–121.
- Mounce R., Smith P., Brockington S. 2017. *Ex situ* conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. *Nature Plants* 3: 795–802.
- Nowak K. 2020. Najstarsze drzewa Arboretum Kórnickiego: zarys historii kolekcji dendrologicznej na trzech planach parku. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 68: 63–76.
- Nowak K. 2021. Płeć jako czynnik determinujący wzrost i chemizm roślin dwupiennych – cisę pospolitą (*Taxus baccata* L.) i jałowca pospolitego (*Juniperus communis* L.). Rozprawa doktorska. Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Nowak K. 2026. Arboretum Kórnickie – zabytek nietypowy. *Renowacje i Zabytki* 1(97): 126–132.

- Nowak K., Broniewska K. (red.) 2026. Przewodnik. Arboretum Kórnickie. Spotkanie z przyrodą. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Nowak K., Giertych M.J., Pers-Kamczyc E., Thomas P.A., Iszkuło G. 2021. Rich but not poor conditions determine sex-specific differences in growth rate of juvenile dioecious plants. *Journal of Plant Research* 134: 947–962.
- Nowak K., Ratajczak E. 2023. Arboretum Instytutu Dendrologii PAN. Kolekcje dla nauki. *Kosmos* 72(2): 149–158.
- Nowak Z. 1976. Proces Tytusa Działyńskiego w latach 1831–1838 z rządem pruskim o za-sekwestrowane dobra kórnickie. *Pamiętnik Biblioteki Kórnickiej* 12: 93–115.
- O'Donnell K., Sharrock S. 2017. The contribution of botanic gardens to ex situ conservation through seed banking. *Plant Diversity* 39(6): 373–378.
- Oleksyn J. 2013. Historia i misja Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku – wypełnienie testamentu Władysława Zamoyskiego. W: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (red.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku*. Kórnik–Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 23–59.
- Oleksyn J. 2018. Osiągnięcia naukowe Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk. W: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (red.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 85-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku*. Kórnik–Poznań, 11–15 czerwca 2018 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 103–114.
- Pawłowski T.A. 2009. Proteome analysis of Norway maple (*Acer platanoides* L.) seeds dormancy breaking and germination: influence of abscisic and gibberellic acids. *BMC Plant Biology* 9: 48.
- Paż-Dyderska S. 2024. Cechy reprodukcyjne roślin drzewiastych jako narzędzie ekologii funkcjonalnej: analiza zmienności i potencjału. Rozprawa doktorska. Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Paż-Dyderska S., Dyderski M.K., Nowak K., Jagodziński A.M. 2020. On the sunny side of the crown – quantification of intra-canopy SLA variation among 179 taxa. *Forest Ecology and Management* 472: 118254.
- Paż-Dyderska S., Jagodziński A.M. 2024. Potential of reproductive traits in functional ecology: a quantitative comparison of variability in floral, fruit, and leaf traits. *Ecology and Evolution* 14: e11690.
- Paż-Dyderska S., Żytkowiak R., Jagodziński A.M. 2022. Intra- and interspecific variability of non-structural carbohydrates and phenolic compounds in flowers of 70 temperate trees and shrubs. *Forests* 13(8): 1256.
- Pers-Kamczyc E., Suszka J. 2022. Long-term maternal fertilizer addition increased seed size but decreased germination capacity and offspring performance in *Taxus baccata* L. *Forests* 13(5): 670.
- Primack R.B., Ellwood E.R., Gallinat A.S., Miller-Rushing A.J. 2021. The growing and vital role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist* 231(3): 917–932.
- Primack R.B., Miller-Rushing A.J. 2009. The role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist* 182: 303–313.
- Ratajczak E., Dietz K.J., Kalembe E.M. 2019a. The occurrence of peroxiredoxins and changes in redox state in *Acer platanoides* and *Acer pseudoplatanus* during seed development. *Journal of Plant Growth Regulation* 38: 298–314.

- Ratajczak E., Staszak A.M., Wojciechowska N., Bagniewska-Zadworna A., Dietz K.J. 2019b. Regulation of thiol metabolism as a factor that influences the development and storage capacity of beech seeds. *Journal of Plant Physiology* 239: 61–70.
- Rudawska M., Leski T., Wilgan R., Karliński L., Kujawska M., Janowski D. 2018. Mycorrhizal associations of the exotic hickory trees, *Carya laciniosa* and *Carya cordiformis*, grown in Kórnik Arboretum in Poland. *Mycorrhiza* 28: 549–560.
- Stanulewicz M. 2016. Jana Kantego Działyńskiego działalność we władzach powstańczych zaboru pruskiego w latach 1863–1864. *Studia Iuridica Lublinensia* 25(3): 849–865.
- Staszak A.M., Pawłowski T.A. 2014. Proteomic analysis of embryogenesis and the acquisition of seed dormancy in Norway maple (*Acer platanoides* L.). *International Journal of Molecular Sciences* 15(6): 10868–10891.
- Stecki K., Kulesza W. 1926. Opis parku w Kórniku. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 1: 70–104.
- Stolarska E., Bilska K., Wojciechowska N., Bagniewska-Zadworna A., Rey P., Kalembe E.M. 2020. Integration of MsrB1 and MsrB2 in the redox network during the development of orthodox and recalcitrant *Acer* seeds. *Antioxidants* 9(12): 1250.
- Susza B. 1959. Dotychczasowe wyniki hodowli forsyj w Kórniku. *Arboretum Kórnickie* 4: 205–226.
- Susza B. 1993. Leśny Bank Genów w Kostrzycy – wizja i rzeczywistość. *Sylwan* 137(11): 17–27.
- Susza J., Przybył K. 1980. Poplar bibliography: list of papers published by scientists of the Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences, within the period 1930–1980. Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences, Kórnik.
- Teixeira C.P., Ferreira V.R. 2026. Mapping arboretum research: Trends, gaps, and opportunities for biodiversity conservation, society, and climate resilience. *Plants, People, Planet* 8(5): 1457–1475.
- Tomaszewski D. 2019. Digitalizacja zbiorów zielnikowych – krok w dobrą stronę. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 67: 119–127.
- Tomaszewski D., Walas Ł., Guzicka M. 2026. Tracing holotype trajectories: Mapping the movement of the most valuable herbarium specimens. *Plants, People, Planet* 8(4): 1304–1321.
- Tyburska-Woś J., Nowak K., Kieliszewska-Rokicka B. 2019. Influence of leaf damage by the horse chestnut leafminer (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimić) on mycorrhiza of *Aesculus hippocastanum* L. *Mycorrhiza* 29: 61–67.
- Tylkowski T., Plitta-Michalak B.P., Chmielarz P. (red.) 2015. *Biologia i technologia w nasiennictwie drzew i krzewów. Materiały konferencji naukowej dedykowanej prof. dr. hab. Bolesławowi Suszce w 90. rocznicę urodzin*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Ustawa z dnia 30 lipca 1925 r. o Zakładach Kórnickich (Dz.U. 86 z 1925 r., poz. 592).
- Volis S. 2017. Conservation utility of botanic garden living collections: setting a strategy and appropriate methodology. *Plant Diversity* 39(6): 365–372.
- Wassenberg C.L., Goldenberg M.A., Soule K.E. 2015. Benefits of botanical garden visitation: a means-end study. *Urban Forestry & Urban Greening* 14(1): 148–155.
- Wesoły W. 2013. *Biologia nasion. Nauka – praktyce*. W: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (red.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku*. Kórnik–Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 80–83.
- Westwood M., Cavender N., Meyer A., Smith P. 2021. Botanic garden solutions to the plant extinction crisis. *Plants, People, Planet* 3(1): 22–32.

- Wilczyński H. 1926. W obronie „Zakładów Kórnickich” Fundacji Narodowej Zamoyskich. Uwagi, przestrogi i ocena pierwszego sprawozdania. Nakładem autora, Warszawa.
- Wilczyński H. 1927. Obrony „Zakładów Kórnickich” Fundacji Narodowej Zamoyskich ciąg dalszy. Nakładem autora, Warszawa.
- Wilgan R. 2022. Interakcje pomiędzy obcymi gatunkami drzew liściastych a rodzimymi symbiontami mykoryzowymi. Rozprawa doktorska. Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Wilgan R., Leski T. 2022. Ectomycorrhizal assemblages of invasive *Quercus rubra* L. and non-invasive *Carya* Nutt. trees under common garden conditions in Europe. *Forests* 13(5): 676.
- Williams R.L. 2004. An intellectual biography of Élie-Abel Carrière (1818–1896). *Brittonia* 56(4): 365–374.
- Wróblewski A. 1928a. Park w Kórniku. *Przegląd Ogrodniczy* 3: 81–87; 4: 105–109.
- Wróblewski A. 1928b. Projekt organizacji Instytutu drzewoznawczego w Kórniku. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 2: 166–171.
- Wróblewski A. 1930. Wpływy zimy 1928/29 na roślinność drzewiastą w Kórniku. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 3: 33–48.
- Wróblewski A. 1936. Historia, charakter i zadania Ogrodów Kórnickich. *Wiadomości z Ogrodów Kórnickich* 1–2: 1–7.
- Zajac A., Zajac M. 2013. Fitogeografia i taksonomia drzewiastych Europy Środkowej i Bliskiego Wschodu w badaniach Instytutu Dendrologii PAN. W: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (red.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych*. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. Kórnik–Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 84–86.
- Zieliński J. 1997. 50-lecie pracy naukowej Profesora dr hab. Kazimierza Browicza. *Arboretum Kórnickie* 42: 7–29.
- Zieliński J. 2009a. Prof. Kazimierz Browicz (1925–2009). *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 57: 9–11.
- Zieliński J. 2009b. Profesor Kazimierz Browicz (1925–2009). *Wiadomości Botaniczne* 53(3/4): 83–100.

More Than a Collection: 200 Years of the Kórnik Arboretum

Andrzej M. Jagodziński, Kinga Nowak

*Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences, 5 Parkowa Street, 62-035 Kórnik, Poland
amj@man.poznan.pl, knd@man.poznan.pl*

Abstract:

The Kórnik Arboretum exemplifies a living collection whose value arises from the interaction of plants, documentation, human expertise and time. Across two centuries, the objectives assigned to the site have changed from residential landscape design, collecting and plant introduction to documentation, systematics, nursery practice and breeding, and subsequently to physiological, genetic, ecological and molecular research. These functions did not replace one another; they accumulated, turning the historical collection into long-term knowledge infrastructure. Its distinctive scientific value lies in the possibility of returning to the same specimens and their descendants with new questions, while linking living material to inventory books, herbarium collections, archives, library resources and earlier research results. The Arboretum has therefore served not only as a source of samples, but also as a setting in which ecological processes unfold, a multispecies comparative system, a monitoring platform and a place for training successive generations of researchers. At the same time, its significance extends well beyond science. As part of a historic castle-and-park complex, it has educational, cultural, tourism and recreational roles, contributes to human well-being and helps build public support for the stewardship of living collections. Its future should depend less on maximising taxon numbers than on improving data quality and interoperability, strategically representing genetic diversity, safeguarding valuable genotypes, maintaining phenological and phytosanitary monitoring, assessing the risks of plant introductions, studying tree responses to climate change, and ensuring the transfer of curatorial and horticultural expertise. The most important outcome of two centuries of history is therefore not a closed set of answers, nor the size of the collection itself, but the preserved capacity of the Arboretum to generate new knowledge, support biodiversity conservation and create lasting public value for future generations.

Introduction

The longevity of woody plants makes arboreta one of the few forms of scientific infrastructure in which time is not merely the background to research but one of its fundamental resources. Laboratory equipment can be replaced or upgraded, and a series of short-term experiments can be repeated; however, a mature tree of documented provenance and known history, observed over several generations, cannot be recreated within the time frame of a single research project lasting only a few years. The value of a dendrological collection therefore increases not

only with the number of taxa it contains, but also with the age of its plants, the completeness of its documentation, continuity of care and the number of questions that can be asked of it anew. This feature is particularly evident in Kórnik, where the history of the collection assembled in the Kórnik Arboretum dates back to 1826 and where its development remains closely linked to the histories of the Działyński and Zamoyski families, the Zakłady Kórnickie Foundation and today's Institute of Dendrology PAS (Nowak 2020, Jagodziński 2023, 2024, 2025, 2026a).

The contemporary definition of a botanic garden emphasises a documented collection of living plants maintained for scientific, conservation, educational and display purposes. Arboreta belong to this tradition but focus on woody plants, which gives them their own biological and organisational specificity. The long life cycle of trees, their large size, the importance of provenance, difficulties in propagating and storing material of some species, and their complex relationships with fungi, insects and other organisms mean that maintaining a tree collection is itself a form of long-term experiment. Botanic gardens and arboreta are now described as living laboratories, repositories of diversity, nodes in data infrastructure and spaces for public environmental education (Blackmore et al. 2011, Mounce et al. 2017, O'Donnell, Sharrock 2017, Westwood et al. 2021, Brockington et al. 2026, Teixeira, Ferreira 2026).

This perspective guards against two simplifications. The first is to regard an arboretum solely as a collection of rare trees whose value can be measured by the number of taxon names in an inventory. The second is to reduce a scientific garden, or collection, to a source of samples for laboratory research. In reality, a living collection can play at least several distinct roles: it can be the subject of systematic description, a comparative common-garden setting, a source of seeds, flowers, leaves or roots, a place where ecological processes unfold, an archive of historical introductions, a genetic resource, a platform for climatic and phytosanitary monitoring, and a space where science meets society. The scientific value of such a place therefore resides not in the plants alone, but in the relationship between the plant, the information attached to it and the way questions are formulated (Dosmann 2006, Dosmann, Groover 2012, Jagodziński 2026a, b, c).

The Kórnik Arboretum, the oldest part of the Institute of Dendrology of the Polish Academy of Sciences, is an excellent case for analysing this kind of multifunctionality, because nearly all of these roles have appeared there at different times. In the nineteenth century, collecting, landscape design, teaching and acclimatisation predominated; during the interwar period, documentation, nursery practice, breeding and the project of institutionalised science gained increasing importance; after the Second World War, a broad research programme was developed in systematics, genetics, physiology, seed biology, ecology and environmental research; and today the collection is also used in studies of mycorrhizae, plant functional traits, metabolism, phenology, reproductive biology and responses to stress. In parallel, the public role expanded: from the idea of a forestry and horticultural school, through guidebooks and popularisation, to contemporary education, nature tourism and public events (Wróblewski 1928a, b, 1936, Bugała 1971,

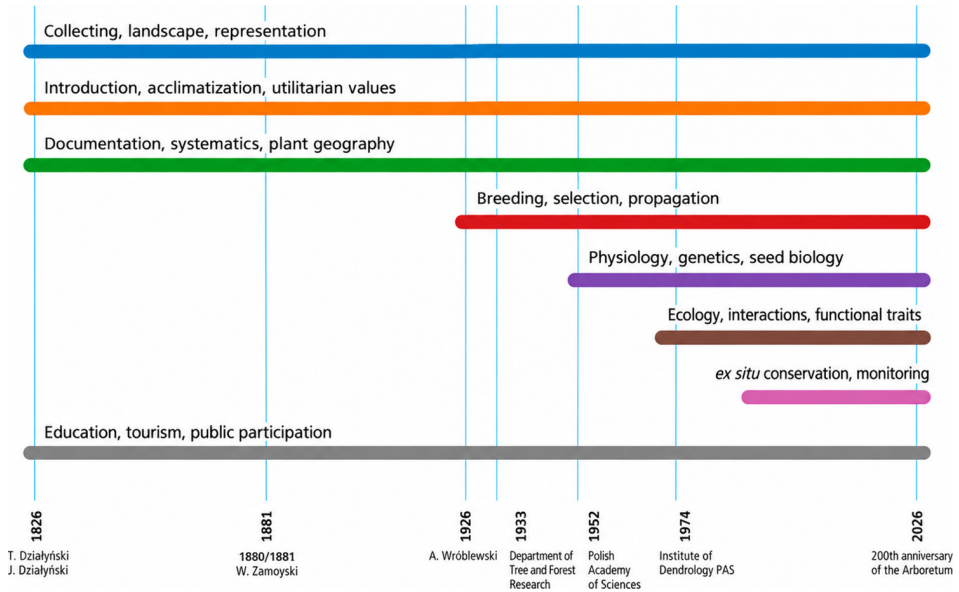


Fig. 1. Interpretive framework: overlapping functions of the Kórnik Arboretum, 1826–2026

1978, 1996, Białobok 1946a, 1955, 1958, 1960, 1961, 1968, 1969, 1975, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025, Nowak, Ratajczak 2023).

The successive directions of activity pursued in the Kórnik Arboretum, today the Arboretum of the Institute of Dendrology PAS, over the past two centuries did not replace earlier ones; rather, they broadened the ways in which the collection was used. They therefore did not form a simple sequence of stages, but overlapped and reinforced one another (fig. 1).

From a Castle Garden to Public Knowledge Infrastructure

The history of the Kórnik collection is essential to understanding its contemporary potential. The activities of its owners, the Działyński and Zamoyski families, already combined aesthetic, utilitarian, collecting, educational and cognitive functions. The subsequent institutionalisation of science – first through the establishment of the Zakłady Kórnickie Foundation and then through the creation of the Department of Tree and Forest Research, today's Institute of Dendrology PAS – in accordance with the wishes of the last owner of the Kórnik and Zakopane estates, Count Władysław Zamoyski, made it possible to organise and expand these functions (Kalisz 2013, Nowak 2020, Jagodziński, Biniś-Szkopek 2024, Jagodziński 2026b, Nowak, Broniewska 2026).

In 2026 we celebrate the bicentenary of the Arboretum in Kórnik, one of Poland's most valuable dendrological collections. The anniversary offers an opportunity to reflect on two centuries of dendrological collecting in Kórnik and to consider the key moments in the history of the site. These moments are close-

ly connected with the turbulent history of Poland, political circumstances and the resulting fortunes of the founders and owners of the Arboretum. Over such a long history, there were many occasions when the process of building the collection and even its continued existence might have ended altogether, or when the prospects for preserving it to the present day were seriously constrained. Through a fortunate combination of circumstances, and above all through the determination and commitment of successive generations of creators and custodians, the Arboretum survived; today it still contains trees representing different stages of its development. The anniversary also invites reflection on the future and long-term continuity of the site.

The year 1826 is conventionally regarded as the founding date of the Arboretum, when Count Tytus Działyński (1796–1861) took possession of the Kórnik estate. According to the early provisional division of the inheritance of his father, Ksawery Działyński (1756–1819), Tytus was initially to receive Trzebaw. Ultimately, however, Trzebaw went to his sister, Klaudyna Potocka (1801–1836), and Kórnik became Tytus's property. Whether this exchange was motivated by Tytus's vision of the medieval Kórnik Castle as the future home of his library and of the surrounding garden as the nucleus of a dendrological collection is unknown. It is nevertheless reasonable to assume that, despite the substantial expenditure and extensive rebuilding that it required, Kórnik Castle was attractive to him as a site with a long history. It suited the collecting passions of the young Tytus Działyński while giving him the opportunity to reshape both park and castle according to his own vision (Nowak 2020, Bątkiewicz-Szymanowska et al. 2023).

A year earlier, Tytus Działyński had married Celestyna Gryzelda Zamoyska (1804–1883), granddaughter of Izabela Czartoryska née Fleming (1745–1835), creator of the park and the first Polish museum at Puławy. The arrival of the young couple in Kórnik in 1826 marked the beginning of a transformation of both the residence – Kórnik Castle – and its adjoining gardens that continued throughout Tytus Działyński's life. His wife also had a major influence on shaping the garden, supporting first her husband and later their son in building the plant collections and clearly deriving considerable satisfaction from this work. The personal involvement of the Kórnik owners in creating the garden was unusual and deserves emphasis. Gardeners employed there even had a clause in their contracts prohibiting them from planting without the count's knowledge and consent. This testifies to the importance the park held for the Działyński family. Their attention and direct engagement gave the creation of the park collection and the subsequent care of imported trees a real chance of success. Broader aims connected with the collection were already present in Tytus's plans and became especially explicit in those of his son Jan, who envisaged the collection as a basis for establishing a forestry or horticultural school in Kórnik.

The castle has existed since at least 1426, making 2026 the 600th anniversary of Kórnik Castle, and it is reasonable to assume that gardens had surrounded it for centuries. The best-preserved source image of the Kórnik gardens is the eighteenth-century garden of Teofila Szoldrska-Potulicka (1715–1790), whose form was recorded in considerable detail on a plan from 1826, the year in which Tytus

Działyński took over the estate. The garden shown on that plan provides the point of departure for the profound transformation of the park in its spatial arrangement, composition and species composition (Celichowski 1906, Dolatowski 1997a, Nowak 2020, 2026).

Tytus Działyński and his wife Celestyna Gryzelda née Zamoyska transformed Teofila Szoldrska-Potulicka's regular geometric garden into a free-form landscape park. Elements symmetrically arranged along the garden axis, including one of the park pavilions and one pond, were removed, and the path system was altered. The garden's area increased substantially, from approximately 6 ha to about 30 ha. Numerous trees and shrubs representing non-native and rare species were introduced, while utilitarian vegetable and fruit gardens continued to operate in parallel.

The period from 1826 until Tytus Działyński's death was filled with intensive work aimed at giving the Kórnik residence a new character, both through the remodeling of the garden and the rebuilding of the castle itself. This was not, however, an uninterrupted period, because turbulent historical events intervened. Tytus Działyński took an active part in the November Uprising, joining as one of the first volunteers from the Poznań region. As a consequence of this decision and of his failure to return to the Grand Duchy of Poznań when summoned by the Prussian authorities, the Kórnik estates were placed under sequestration beginning on 1 February 1831. Proceedings between Tytus Działyński and the Prussian government continued before various courts until 1838. Ultimately, the confiscation of the Kórnik estates was revoked and the property returned to its owner. This brought a forced interruption in the construction of the dendrological collection in Kórnik. Because the transformation of the grounds was still at an early stage, the interruption did not have a major direct negative effect on the existing layout, although seven years of sequestration meant the loss of time and resources that might otherwise have been invested in the collection. Tytus Działyński's extraordinary determination in seeking to recover the Kórnik estate deserves particular emphasis. The proceedings before multiple courts were complex and relied on diverse, sometimes highly contrived, arguments and evidence. After years of litigation and numerous reversals, the estate finally returned to the Działyński family, and work on the garden, library and castle could continue (Nowak 1976, Bątkiewicz 2011, Nowak 2020).

After Tytus Działyński's death, his wife Celestyna Gryzelda continued to play an important role in creating the Kórnik garden. His son, Jan Kanty Działyński (1829–1880), also continued the family's dendrological passion, approaching the development of the Arboretum in a manner that already bore the hallmarks of a professional scientific collection – a botanic garden. Because Jan was simultaneously creating a dendrological collection at Gołuchów, his mother's support for the work in Kórnik was invaluable. Jan's wife, Izabella Działyńska née Czaratoryska (1830–1899), was in turn actively involved in developing the Gołuchów collection (Ignaczak 2023). Jan Działyński built the collection in a more organised manner than his father: he understood the importance of seed provenance, paid close attention to the labelling of plants in the park, maintained extensive

botanical correspondence and carefully recorded his observations. He focused particularly on conifers, introducing numerous pines, spruces and junipers. The Kórnik nurseries also developed during this period. Yet this work, too, was not continuous, creating another generational and historical parallel: Jan Działyński became involved in clandestine activities supporting the January Uprising and took part in it personally. As in his father's case, this resulted in sequestration of the estate. From 1863 to 1869 Kórnik remained without the direct supervision of its owner, and Działyński was forced to leave Prussia (Dolatowski 1997b, Stanulewicz 2016, Nowak 2020).

By continually expanding his dendrological knowledge, Jan Działyński became a professional collection builder and an outstanding specialist, particularly in conifers. The level of his expertise is evident in a letter in which he wrote, among other things: "Of all the lists of shrubs and trees, the easiest for me to compile is a list of needle-bearing trees, or conifers. I know them so much better than Carrière himself that I can point out the errors he made and prove that he was mistaken" (BCK, ref. 7406 II, letter from Kórnik dated 28 March 1875). The quotation shows that for Jan Działyński the creation of the park was not merely a pleasant and fashionable pastime, but a genuine passion grounded in substantial knowledge. Élie-Abel Carrière (1818–1896) was a nineteenth-century authority and specialist in conifers, and Count Działyński, as the letter demonstrates, knew his works extremely well, above all the *Traité général des conifères* (Dolatowski 1997b, Williams 2004).

The personal involvement of the creators of the Kórnik Arboretum in its development deserves emphasis, as does – especially in the context of their collecting and bibliophilic interests – their practice of preserving materials and documents relating to the collection, including invoices, notes and letters. Of particular importance is the fact that much of this material has survived and is now preserved in the collections of the Kórnik Library of the Polish Academy of Sciences. It constitutes a unique resource through which the history of individual trees extends far beyond the determination of their species identity. This is one of the features that makes the Kórnik Arboretum exceptional as a historical collection, in which trees possess not only natural value. Individual specimens, especially the oldest ones whose provenance is known, become cultural objects. Plants were of course brought to Kórnik during the Działyński family's travels in Europe, but they were also ordered and purchased from renowned nurseries and horticultural firms. Among the best known were Ernst Benary's nursery in Erfurt, James Booth's nurseries in Hamburg, Louis B. van Houtte's nurseries near Ghent, and the famous Vilmorin-Andrieux horticultural establishments in Paris (Białobok 1960, Bojarczuk 1970, Nowak 2020).

Surviving sources, invoices and notes indicate that during the nineteenth-century Arboretum of Tytus and Jan Działyński approximately 770 plant species were introduced to Kórnik, although the actual number was probably much higher because not all information has survived in the documentation (Nowak 2020). Despite the passage of time, many rare and valuable trees and shrubs from this period can still be admired in the Arboretum today. These include specimens of

bald cypress (*Taxodium distichum*), ginkgo (*Ginkgo biloba*), tulip tree (*Liriodendron tulipifera*), Osage orange (*Maclura pomifera*), hickories (*Carya*) – bitternut hickory (*C. cordiformis*) and shellbark hickory (*C. laciniosa*) – black walnut (*Juglans nigra*) and butternut (*J. cinerea*), cucumber magnolia (*Magnolia acuminata*), witch-hazel (*Hamamelis virginiana*), Carolina silverbell (*Halesia carolina*), eastern red cedar (*Juniperus virginiana*), eastern white pine (*Pinus strobus*), Austrian pine (*P. nigra*), Jeffrey pine (*P. jeffreyi*), Greek fir (*Abies cephalonica*), Kentucky coffeetree (*Gymnocladus dioica*), western red cedar (*Thuja plicata*), honey locust (*Gleditsia triacanthos*), numerous English yews (*Taxus baccata*) and many others (Bojarczuk 1970, Nowak 2020).

Jan Działyński died childless in 1880 and left his estate to his nephew, Count Władysław Zamoyski (1853–1924). Yet in 1885, only five years after taking over the property, the Zamoyski family was forced to leave Greater Poland as a result of anti-Polish policies of the partitioning authorities and the so-called Prussian expulsions. They were unable to settle again in Kórnik until Poland regained independence. During this period, Władysław Zamoyski's activity focused on the Zakopane estates, while the Kórnik property was managed from a distance. Supervising the collecting legacy of his uncle and grandfather from so far away proved extremely difficult, and day-to-day personal involvement in the park was lacking. The park was maintained and cared for at a basic level, but protecting and systematically expanding its unique dendrological holdings required much greater attention and effort. Many rare and sensitive trees and shrubs were irretrievably lost during severe winters. The park became increasingly dense, while naturally regenerating native trees and shrubs began to restrict the space available to delicate exotic specimens. For Władysław Zamoyski this was a period of numerous challenges and patriotic undertakings that absorbed his attention mainly in the Zakopane region. In Kórnik itself, maintaining the castle and library became the priority. During this critical period the park lacked a *spiritus movens* – someone who, like the previous Działyński owners, would devote focused attention to the dendrological collection. Restoring and properly maintaining such demanding holdings was a major challenge requiring both specialist expertise and substantial financial resources (Wróblewski 1936, Chałupka 2005).

The first description of the park in Kórnik was published in 1906. Its author was Zygmunt Celichowski (1845–1923), who had served as librarian under Jan Działyński and later also acted as plenipotentiary of the Kórnik estates. His description of the park was a historical analysis of the Kórnik gardens, the activities of successive owners and changing forms of park design. It was not, however, a botanical inventory of the collection, although examples of trees growing there were presented as portraits of especially large specimens and dendrological curiosities (Celichowski 1906).

After Poland regained independence and he returned to Greater Poland, Władysław Zamoyski recognised that the collection required ordering and description. He personally initiated the first professional account of the park, commissioning Konstanty Stecki and Witold Kulesza, staff members of the Department of Systematic and Forest Botany at the University of Poznań, to prepare it

(Stecki, Kulesza 1926, Nowak 2020). Their work appeared in 1926 in the first volume of the *Yearbook of the Polish Dendrological Society*. It contained a description of the vegetation with full botanical nomenclature; in total, the authors recorded 216 species of trees and shrubs. Of exceptional value, the publication also included a detailed plan of the park with individual trees and shrubs marked, together with photographs and measurements of selected specimens (Wilczyński 1926, 1927, Bugała 1971, 1978, 1996, Dolatowski 1997a, Jagodziński 2023, 2026b).

The condition of the Arboretum was a matter of deep concern to Władysław Zamoyski, who made efforts to ensure that the natural legacy inherited from his predecessors would not be lost and who returned to plans for the scientific use of the collection. These aims were incorporated into the 1925 Act establishing the Zakłady Kórnickie Foundation, under which Władysław Zamoyski's entire estate became a national asset (Ustawa... 1925, Jagodziński, Biniaś-Szkopek 2024). One of the Foundation's tasks was to establish and maintain a "research establishment" – the Department of Tree and Forest Research – which was finally created in 1933. This was another key moment in the Arboretum's history: without such a clearly defined function and role for the Działyński natural legacy, the park might have become merely a representative landscape and never have continued to develop as a collection. It is worth noting that, within the Foundation's broad remit, the needs of the garden could rank below other priorities (Kalisz 1979, 1980, 2013, 2017). This is also reflected in the slow implementation of the goal of creating a research institution: it was established, and in a more limited form than originally planned, only eight years after the Foundation itself (Wróblewski 1928a, b, 1936, Bugała 1996, Oleksyn 2013, Jagodziński 2023).

A new stage in the development of the Kórnik Gardens is associated with Antoni Wróblewski (1881–1944), an outstanding dendrologist and nurseryman with extensive experience, who began work in Kórnik at the end of 1926. His aim was to develop the Kórnik nurseries and, using funds generated by their activity, to develop the collection itself. Antoni Wróblewski established broad cooperation with many dendrological centres, nurseries and botanic gardens, which enabled the holdings to expand rapidly and substantially. The growth of the collection was impressive: before the outbreak of the Second World War it contained nearly four thousand taxa, including pomological and herbaceous collections. Wróblewski also supplemented the documentation and conducted breeding work that resulted in the creation of several dozen new cultivars of trees and shrubs. Today, one hundred years after he began work in Kórnik, approximately 1,200 trees and shrubs introduced during Antoni Wróblewski's tenure, or their vegetative copies, still grow in the Arboretum. They represent 422 taxa, among which particularly valuable specimens include the oldest Japanese horse chestnut (*Aesculus turbinata*) in the collection, pawpaw (*Asimina triloba*), katsura (*Cercidiphyllum japonicum*), Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*), dove tree (*Davidia involucrata*), Persian ironwood (*Parrotia persica*), umbrella magnolia (*Magnolia tripetala*) and the two famous saucer magnolias (*M. ×soulangeana*) growing beside the castle moat. Wróblewski also assembled collections of ornamental crabapples (*Malus*) and mock

oranges (*Philadelphus*), and initiated the lilac (*Syringa*) collection (Białobok 1946b, Bugała 1996, Nowak, Broniewska 2026).

Antoni Wróblewski was also directly involved in establishing Kórnik's first research institution, the Department of Tree and Forest Research, whose organisational structure and programme he himself designed. The institution was founded in 1933 and laid the foundations for today's Institute of Dendrology of the Polish Academy of Sciences. Wróblewski was also the initiator and, to a large extent, author of Kórnik's first dendrological periodical, *Wiadomości z Ogródów Kórnickich* (News from the Kórnik Gardens) (Korczyńska 1977). His work undoubtedly made it possible to realise the aims of the Działyński and Zamoyski families and to establish a vigorous dendrological centre in Kórnik. Without the phase of rebuilding the collection that he successfully carried out, Kórnik would not have possessed the potential that later enabled the existing research establishment to be incorporated into the structures of the Polish Academy of Sciences in 1952. This was a decisive moment: the inclusion of the collection, together with the young research unit associated with it, in the Polish Academy of Sciences created the conditions for much broader development and professional care up to the present day (Oleksyn 2013, 2018, Jagodziński 2018, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026b). Without this focused effort to use the collection scientifically and without a consistent strategy for developing the Kórnik unit of the Polish Academy of Sciences, the Arboretum might have shared the fate of many manor parks that were irreversibly devastated in post-war Poland (Wróblewski 1928a, b, 1936, Białobok 1946b, Bugała 1996).

The scientific and organisational development of the unit after the Second World War is associated above all with Professor Stefan Białobok (1909–1992), who from 1945 directed the research establishment, organised its work and defined its development path. He is rightly regarded as the creator of the Institute of Dendrology of the Polish Academy of Sciences. He was another successor to the vision of the Działyński and Zamoyski families, and without his commitment the institution would not have reached the level of development it eventually attained (Białobok 1955, 1958, 1969, 1975, Bugała 1980, 1992, 1993, 1996, Boratyński et al. 1993, Browicz 1993, Chałupka 2003, 2004, 2008, Oleksyn 2013, 2018, Jagodziński 2018, 2019, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026b, Jagodziński et al. 2019).

As part of the Polish Academy of Sciences, the Arboretum gained opportunities for substantial expansion of its collections. The so-called New Arboretum was established on the grounds of the pre-war nurseries, and a forest section of the Arboretum was created in the "Zwierzyniec" Experimental Forest (Bugała, Bojarczuk 1998). New groups of plants were introduced, while broad national and international cooperation was developed in parallel. By then, Kórnik had acquired a significant position among European dendrological centres. Professor Białobok served as director from 1945 to 1979 of a unit whose name changed several times: initially the Department of Dendrology and Pomology from 1950; the Department of Dendrology and Pomology of the Polish Academy of Sciences from 1952; the Department of Dendrology and Kórnik Arboretum of the Polish Academy of Sciences from 1962; and, from 1974 to the present, the Institute

of Dendrology of the Polish Academy of Sciences (Białobok 1955, Bugała 1996, Oleksyn 2013, Jagodziński 2023, 2024, 2026b).

Until 1978 the Arboretum, a key part of the institution, was headed by Professor Władysław Bugała (1924–2008), who had joined the Department in 1947, before its incorporation into the structures of the Polish Academy of Sciences. He was an outstanding dendrologist and plant expert. The Arboretum owes to him the development of many collections, including lilacs, rhododendrons and azaleas, as well as descriptions of collections and new ornamental cultivars, among them mock oranges and lilacs. Professor Bugała also served as director of the Institute of Dendrology PAS from 1980 to 1995. He authored many descriptions of plants growing in Kórnik published in *Arboretum Kórnickie*, and together with Professor Kazimierz Browicz (1925–2009) wrote the *Small Guide to the Kórnik Arboretum*, published in 1958, the first publication of its kind aimed at visitors (Browicz, Bugała 1958). A further guide to the Arboretum by Professor Władysław Bugała appeared in 1971 (Bugała 1971).

From 1978 to 2008 the Arboretum was headed by Dr Tomasz Bojarczuk (1942–2023). Together with his wife, Professor Krystyna Bojarczuk, he carried out a thorough update and inventory of the collection, and lists of the trees and shrubs growing there were published in the 1970s in the yearbook *Arboretum Kórnickie* (Bojarczuk, Bojarczuk 1971). Numerous projects devoted to popularising knowledge, education and promoting the Arboretum were developed during this period. Tomasz Bojarczuk was also the breeder of new cultivars. The best known is the European larch cultivar ‘Kórnik’, described in 1980 and introduced to trade by the Kórnik Nurseries, the PAS Experimental Station in Kórnik. Among later cultivars of which he was co-author were the lilacs ‘Liliana’ (2007) and ‘Origami’ (2013), the rose ‘Poznań’ (1998), the narrow, columnar poplar ‘Zbigniew Stecki’ (2007), and the purple-leaved hazel ‘Władysław Bugała’ (2007). His work also led to the publication of successive guidebooks to the Arboretum in 1990, 1993, 1997, 2003, 2006 and 2009, all aimed at the general visiting public.

The second half of the twentieth century, supported by the intensive development of the Kórnik research institution, brought numerous new contacts, expansion of the collection and increasingly broad scientific use, together with growing public access. In this way, the intentions of Tytus and Jan Działyński were ultimately realised (Bugała 1996, Oleksyn 2013, Jagodziński 2023).

Today the Kórnik Arboretum is a unique natural site and forms part of the castle-and-park complex in Kórnik, designated a Monument of History in 2011 (Jagodziński, Nowak-Dyjeta 2012). Generations of attention to collection documentation mean that, with its 200-year documented history, the Arboretum provides valuable scientific infrastructure for the Institute of Dendrology PAS, a modern research institution (Oleksyn 2013, 2018, Jagodziński 2022, 2023, 2024, 2025, 2026a).

Looking across these two centuries, it is important to emphasise how often the continuity and integrity of the Kórnik collection was seriously threatened. During the past 200 years the site experienced numerous crises that called its continued existence into question. Yet, through a fortunate combination of cir-

cumstances and the determination and commitment of successive generations of creators and custodians, this demanding undertaking was preserved and further developed. The visionary intentions of Counts Tytus and Jan Działyński were not only saved but ultimately brought to fruition. There is therefore every reason to celebrate the bicentenary of the Arboretum.

Historical figures describing the richness of the collection nevertheless require cautious interpretation. Sources refer both to approximately 770 species documented by invoices and notes from the Działyński period and to later estimates of about 1,500 species and cultivars in the time of Jan Działyński. This is not a contradiction that can be resolved simply by choosing one number: the various inventories covered different categories of units, were compiled at different times and depended on differing levels of preservation of documentation. Likewise, pre-war figures of 2,500 dendrological entries and nearly 4,000 taxa, when pomological and herbaceous collections are included, refer to different scopes of holdings. In historical research, therefore, the ability to link a specific plant with information about its acquisition, provenance and subsequent fate is more valuable than a single headline figure (Bojarczuk, Bojarczuk 1971, Bugała 1996, Nowak 2020).

Against the broader history of European arboreta, the transformation in the status of the Kórnik collection is particularly significant. In the nineteenth century, Kórnik belonged to the leading private dendrological collections and was important within European nursery and botanical exchange. In the first half of the twentieth century, through the Zakłady Kórnickie Foundation, the collection became linked to a public programme and, from 1933, to a permanent research organisation. Wróblewski did not propose merely a “laboratory beside a park”, but an integrated system encompassing the arboretum, nurseries, herbarium, library, collections, meteorological station, publishing activity and a mission of knowledge dissemination. He planned to place some of the larger experiments in the “Zwierzyniec” forest, today the “Zwierzyniec” Experimental Forest. From a contemporary perspective, this was a design for a knowledge infrastructure devoted to woody plants and the ecological systems they help create, in which the living collection was one of several interconnected components, but the central one (Wróblewski 1928b, 1936, Białobok 1946b, Bugała 1996).

The Living Collection as an Instrument of Knowledge

The oldest scientific function of an arboretum is the comparison of plants growing under the same or broadly similar environmental conditions. This is not, however, an experiment in the strict sense if plantings were not randomised, plants differ in age and the number of individuals representing a species is small. Even so, the value of a common-garden arrangement lies in reducing part of the environmental variation and providing repeated access to many taxa. In Kórnik this advantage has been used from early introduction and systematic studies to contemporary functional ecology. At the same time, the limitations of the collection – uneven genetic representation, lack of replication, management history

and microsite heterogeneity – must be explicitly acknowledged when interpreting results (Dosmann 2006, Hoban 2019, Hoban et al. 2020).

During the first decades of the research institution, the collection served primarily as reference material for the introduction and breeding of trees and shrubs. For example, descriptions of the poplar collection simultaneously addressed taxonomic identity, introduction history, growth capacity and the potential practical value of the material. In the post-war period, Kórnik's poplar collection was among the richest in Europe, and its resources were used to select clones, establish stock collections and create plantings in many parts of Poland (Suszka, Przybył 1980). Research conducted after the war therefore did not end with assigning a name to a tree: name, provenance, growth traits and method of propagation formed a continuous body of information required for practical use of the material (Bugala 1955, 1996, Białobok 1960, Jagodziński 2023, 2024, 2026b). Systematics was equally important. Kazimierz Browicz's master's thesis on climbers in the Kórnik Arboretum shows that the collection could serve directly as a training ground for a systematist (Browicz 1952). Professor Browicz's later research programme extended far beyond the Kórnik collection: it encompassed the national dendroflora, monographs of genera, the *Atlas of the Distribution of Trees and Shrubs in Poland*, and contributions to *Flora Europaea*, *Flora of Turkey* and *Flora Iranica* (Zieliński 1997, 2009a, b). This change of scale is important for understanding the Arboretum's role. The collection need not be the physical location of every research project in order to shape the research culture of an institution: it trains the eye to recognise variation, maintains comparative material and co-creates the herbarium and library infrastructure from which geographical and taxonomic studies develop (Białobok 1968, Jagodziński 2024). Contemporary systematics also demonstrates that this role is not merely historical. Analysis of mature arborvitae specimens in Kórnik, combined with herbarium material, led to clarification of the name of an old hybrid as *Thuja ×soeegaardii*. The continuity of material is even more clearly illustrated by research on historical poplar hybrids. Plants derived from a cross made in Kórnik in 1956 were re-examined decades later, making it possible to establish the name *Populus ×kornicensis*. In both cases, the value of the collection lay in the possibility of returning to preserved living material with a new conceptual framework and new nomenclatural standards (Kosiński et al. 2022, Korbik, Kosiński 2023).

One of the most important subjects of research in early arboreta was acclimatisation. In Kórnik this meant observing whether introduced trees survived winter, how their seasonal development proceeded, whether they flowered and fruited, and whether they could be propagated. The pre-war study of the effects of the winter of 1928/1929 placed the response of the collection in the context of a specific climatic episode. Post-war phenological observations transformed such questions into long-term data series. The 1967 research report from the Kórnik scientific centre, for example, documents both an assessment of the cultivation potential of the genera *Abies*, *Deutzia*, *Cornus* and *Viburnum* under Arboretum conditions and the continuation of phenological observations of 53 species of trees and shrubs. Acclimatisation was therefore not a single survival test, but

a study of the plant life cycle in a new environment (Wróblewski 1930, Chylarecki 1961, Białobok 1968, Chylarecki, Straus 1968). Today, old phenological series have acquired new value. Climate change means that the timing of bud development, flowering, leaf colouration and leaf fall can be analysed as indicators of the responses of trees and shrubs to changing climatic conditions. In 2025, year-round observations of 43 taxa were conducted in Kórnik and directly compared with observations from 1953–1962; in parallel, the Institute cooperated with the Poznań University of Life Sciences in the NATUREVIDO network, also using a phenological camera. This is an example of a historical dataset acquiring a new function: information originally collected for acclimatisation studies can become material for climate-change research, provided that information on methods and observed specimens has been retained (Primack, Miller-Rushing 2009, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025, Primack et al. 2021).

Breeding and selection constituted another important stage in using the variation present in the collection. In forsythia research, for example, parental plants were crossed to combine ornamental value with frost resistance. In 1967 the selection of lilac hybrids continued, together with evaluation of hybrids of deutzia and weigela, while work on poplars examined growth dynamics, disease resistance and the genetic basis of selected traits. In this way, the collection functioned not only as an archive of existing diversity, but also as a place where new variation was created and its stability tested under different conditions (Suszka 1959, Białobok 1968, Suszka, Przybył 1980).

In the second half of the twentieth century, as the laboratories of today's Institute of Dendrology PAS expanded, research questions shifted from the level of the whole plant towards physiological and biochemical processes. Studies in Kórnik addressed growth regulators, flowering physiology, and the dormancy and germination of seeds. The research programme on seed biology initiated by Professor Bolesław Suszka had especially strong practical importance: methods for seed storage and dormancy release supported forestry and, later, the development of forest gene banks (Suszka 1993). This research, carried out in part using the woody-plant collection maintained in Kórnik, illustrates a clear continuity – from classical seed science to proteomics, epigenetics, cryopreservation and the conservation of genetic resources (Białobok 1968, Wesoly 2013, Tylkowski et al. 2015, Jagodziński 2023, 2024). Contemporary seed-biology research at the Institute of Dendrology PAS using material from the Arboretum covers many stages of seed development and function, from embryogenesis, acquisition and release of dormancy, and germination to desiccation tolerance, viability, ageing and storability. Norway maple (*Acer platanoides*) provides a particularly instructive example. In this species, researchers analysed, among other things, changes in the proteome associated with embryo development, acquisition of dormancy, dormancy breaking and germination (Pawłowski 2009, Staszak, Pawłowski 2014). Comparative studies of Norway maple and sycamore maple (*A. pseudoplatanus*) – species producing, respectively, orthodox seeds that tolerate water loss and recalcitrant seeds that are sensitive to desiccation – made it possible to characterise processes underlying their contrasting desiccation tolerance. These analyses

included redox regulation, the involvement of peroxiredoxins and methionine sulfoxide reductases, changes in proline content during seed development, and the functioning of the thioredoxin system together with identification of proteins regulated by Trx-h1 (Ratajczak et al. 2019a, Kijowska-Oberc et al. 2020, Stolarska et al. 2020, Fuchs et al. 2024). Research on European beech (*Fagus sylvatica*) seeds extended this work to processes occurring during maturation and long-term storage, demonstrating the importance of thiol metabolism and redox regulation for maintaining seed viability and for the course of seed ageing (Ratajczak et al. 2019b). In these studies, the Arboretum served as a source of well-identified biological material, allowing seeds to be collected from specified maternal trees at precisely defined developmental stages and, in some experiments, over successive seasons. Detailed analyses were then conducted under laboratory conditions, but their reproducibility and comparative value depended on continuous access to a living, documented collection. Contemporary developmental biology and biotechnology apply the same logic in other systems. Grey poplar material derived from collection lines and propagated *in vitro*, for example, was used to assess the effect of mycorrhizal inoculation on plant growth in metal-contaminated soils. Such work combines three historically distinct functions: material selection, propagation and the study of stress responses. Similarly, current projects on the regenerative capacity of oak and somatic embryogenesis in spruce show that living-tree collections and *in vitro* culture laboratories are not competing research models, but complementary links in the conservation and use of genetic material (Bojarczuk et al. 2015, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

From Plant Catalogues to Biological Mechanisms

The development of research in Kórnik based on the Arboretum collection did not take the form of a sudden transition from “old, classical dendrology” to “modern woody-plant biology”. Rather, successive levels of understanding accumulated upon one another. Describing a species and establishing its name remained a prerequisite for physiological experiments; breeding work required correct identification of parents and offspring; genetic studies depended on material of known provenance; and functional-ecological research required confidence that the individuals being compared represented the correct taxa. In this sense, systematics is not an early historical stage subsequently superseded by more advanced science, but a layer that underpins the reliability of all later analyses. The previously mentioned studies of *Thuja ×soeegaardii* and *Populus ×kornicensis*, for example, show that even after decades the name and interpretation of the origin of living material may require renewed verification (Kosiński et al. 2022, Korbik, Kosiński 2023).

Collection documentation should likewise be regarded as research work whose effects may be delayed. The 1926 plan prepared by Stecki and Kulesza, inventory books maintained since Wróblewski’s time, later lists of trees and shrubs, and the contemporary digital database serve not merely to administer the garden and its collections. Together they create a reference series that allows changes in collection composition to be reconstructed, specimen age to be verified, persistence of

introductions to be analysed and plants surviving from earlier phases of development to be identified. The analysis of the oldest trees in the Arboretum was based precisely on such comparisons between plans, historical sources and the current condition of the trees. Documentation therefore increases the biological value of plants by placing their present state in time (Stecki, Kulesza 1926, Białobok 1946b, Bojarczuk 1970, Bojarczuk, Bojarczuk 1971, Nowak 2020).

Scientific reports of the Institute of Dendrology PAS show how broadly woody-plant research was understood as early as the mid-twentieth century. The report on research carried out in 1967, for example, covered systematics and floristic studies, taxonomic monographs, geobotany, introduction, phenology, population genetics, provenance trials, pathogen resistance, ornamental-plant breeding, growth regulators, seed physiology, flowering and mineral nutrition. For some topics the Arboretum was the direct research site; in others it supplied material or formed part of a broader network of experiments; still others were carried out in the “Zwierzyniec” Experimental Forest, nurseries or experimental plots outside Kórnik. The report is important precisely because it challenges a simple division between an earlier descriptive period and a later experimental one: by the 1960s both modes of studying woody-plant biology and ecology already co-existed (Białobok 1968).

The development of genetic research particularly clearly illustrates the importance of distinguishing between different research spaces. Provenance trials involving pine, spruce, oaks or alder required replication and areas far larger than the historical park, and were therefore established in the “Zwierzyniec” Experimental Forest in Kórnik as well as in other parts of the country (Giertych 1989, Chałupka 2006, Burczyk 2013). The Arboretum and Kórnik nurseries could, by contrast, be used to propagate and maintain material and to observe selected objects. Over time, clonal archives and long-term forest experiments became a separate part of the Institute’s infrastructure, extending the resources accumulated in the Arboretum (Bugala 1996, Burczyk 2013, Jagodziński 2023, 2024). Historical interpretation of the achievements of Institute staff therefore requires some caution. The systematic and chorological research of Professors Kazimierz Browicz, Jerzy Zieliński, Adam Boratyński and Krystyna Boratyńska helped establish Kórnik as a centre for the study of the dendroflora of Europe and Asia, but much of their material came from field expeditions and herbaria (Zajac, Zajac 2013). Professor Bolesław Suszka’s studies of seed dormancy and storage drew on a broad range of species and had wide practical application (Wesoły 2013, Tytkowski et al. 2015). The work of Professor Mirosław Tomaszewski and his successors developed tree physiology and biochemistry. In each of these research streams the Arboretum formed part of a broader institutional environment – not always the direct site of experimentation, but an important component of the research culture and material infrastructure (Zieliński 2009a, b, Tytkowski et al. 2015, Jagodziński 2024).

The relationship between the Arboretum and the herbarium is especially important in this respect. A living specimen allows observation of habit, seasonality, bark characteristics, organ development and change through time, whereas

an herbarium specimen provides a permanent record of a particular state of the plant that can be re-examined repeatedly. In modern taxonomy the two collection types are complementary, and their value increases when they can be linked by the same inventory number, date and locality (Tomaszewski 2019, Tomaszewski et al. 2026). DNA samples, photographs and phenological data can likewise become additional representations of the same biological object. Kórnik is particularly well placed to build such multilayered documentation because the Arboretum, Herbarium, Library and Archive coexist within a single institution (Jagodziński 2023, 2024, 2026b).

Against this background, the transition from practical to mechanistic questions becomes easier to understand. The question “can this species be cultivated in Poland?” leads to questions about temperature tolerance, phenological rhythms and water relations. The question “how can these seeds be stored?” leads to research on dormancy, metabolism, the proteome and redox regulation.

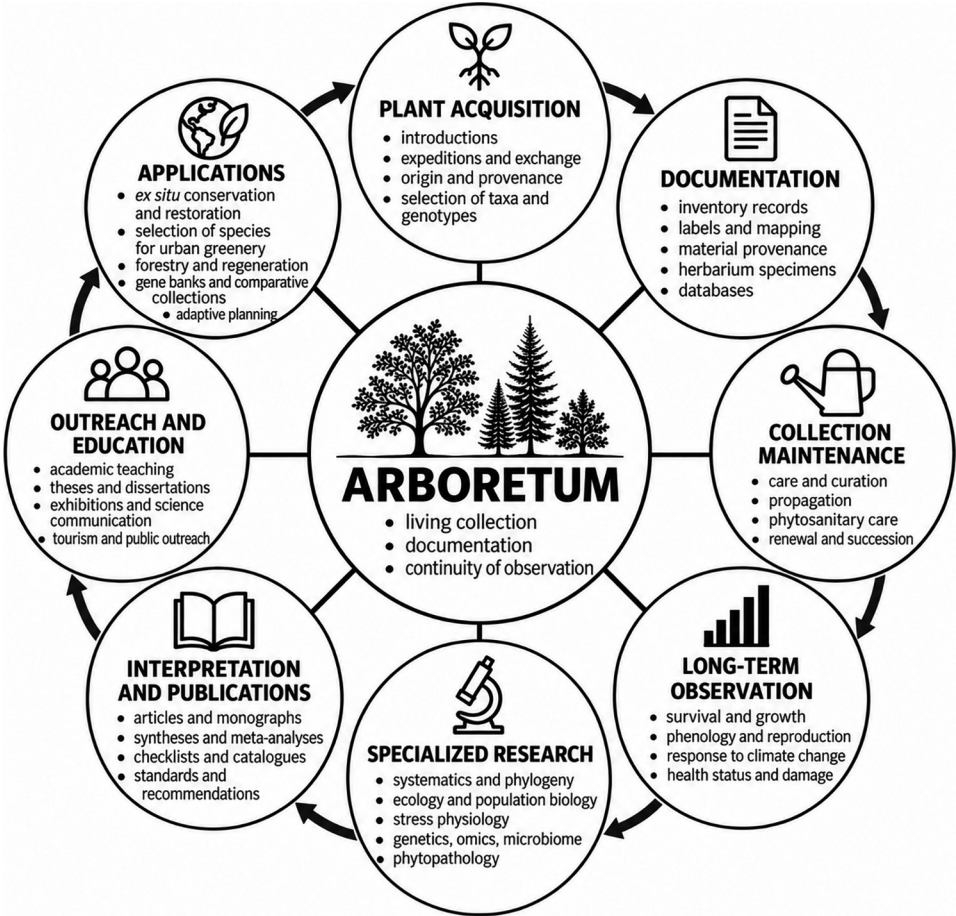


Fig. 2. The arboretum as knowledge infrastructure

The question “can a non-native species establish itself?” leads to studies of reproduction, spontaneous regeneration, mycorrhizae and other biotic interactions. The question “which clone grows best?” can develop into an analysis of genetic variation and genotype-by-environment interactions. The Arboretum is valuable precisely because it does not impose a single level of explanation: it provides material that allows researchers to move from observation to mechanism. This flow from plant acquisition, through documentation and observation, to research, publication and application allows an arboretum to be understood as durable knowledge infrastructure (fig. 2).

What Does “Research in an Arboretum” Actually Mean?

When analysing studies that contribute to contemporary knowledge, at least four distinct ways of using a collection should be distinguished. First, an arboretum may be the site of field observation when the process under study occurs within it, as in research on yew regeneration, phenology or ivy responses to local conditions. Second, it may serve as a source of material collected for laboratory analyses – seeds, flowers, leaves or roots. Third, it may provide parental plants, clones or offspring for experiments conducted in greenhouses, growth chambers or on other experimental plots. Fourth, it may function as part of the institutional infrastructure that indirectly enables research through documentation, curatorial expertise and scientific contacts. These roles differ methodologically and should be described precisely.

From the standpoint of research design, arboreta also have limitations that should be treated as features of the system rather than shortcomings to be ignored. Historical plantings often lack randomised spatial arrangements and equal replication. Specimens differ in age, history and intensity of management, and some species are represented by single trees. Microsites within the park may vary substantially in solar radiation, moisture and soil properties. The collection is therefore excellent for generating hypotheses, comparative research, material sampling and long-term analyses, but not every arrangement supports strong causal inference without an additional experiment or replication elsewhere (Dosmann 2006, Primack, Miller-Rushing 2009, Primack et al. 2021).

At the same time, these very characteristics can become advantages. Variation in tree age allows ontogenetic variation in traits to be studied; light gradients can be used to investigate plasticity; mature trees provide access to flowers, fruits and seeds; old introductions permit observation of reproductive success or failure; and long-term contact with local biota makes it possible to study symbionts and pathogens. The value of an arboretum therefore depends on matching the research question to the structure of the resource. The most interesting studies often do not pretend that a historical garden is a perfectly controlled experiment, but instead exploit its unique properties while supplementing them with other methods.

This strategy is evident in doctoral research carried out at the Institute of Dendrology PAS. Studies of European yew regeneration, for example, combined

field observations with a pot experiment; work on sexual dimorphism used identified parental plants and controlled conditions for offspring growth; mycorrhizal studies combined samples from the arboretum with material from forest sites; and functional-ecology research used the broad range of material available in the collection together with laboratory measurements and detailed statistical analyses. In these projects the Arboretum is a starting point, while the strength of inference derives from combining different research environments. This is an important training model: young researchers learn both the limitations of the material and ways of compensating for them through experimental design (Iszkuło 2005, Nowak 2021, Wilgan 2022, Paż-Dyderska 2024).

From the Individual Tree to the Ecological System

As introduced trees mature, what can be studied also changes. A young specimen mainly provides information about survival and growth rate; a mature tree produces seeds, creates microhabitats, modifies soil and microclimate, enters into relationships with fungi, insects and birds, and may generate spontaneous offspring. After several decades, a collection thus becomes not only an assemblage of organisms but also a network of ecological relationships. This is one of the most important consequences of the long life of an arboretum: questions become possible that could not have been asked during the first years after introduction (Nowak, Ratajczak 2023, Jagodziński 2026a, c).

Research on natural regeneration of European yew in the Kórnik Arboretum analysed the distribution of seedlings in relation to tree cover and open areas, as well as the role of birds in seed dispersal. In this case the collection was the actual site of a demographic process: mature trees formed a source population and the research concerned the emergence of the next generation. Studies of the effects of light and nitrogen fertilisation on yew seedlings extended these observations experimentally, making it possible to distinguish conditions that favour survival from those that favour growth. Combining field observation and experimental control in this way is one of the most valuable uses of an arboretum as an ecological laboratory (Giertych 2000, Iszkuło 2005). The longevity and dioecy of yew also made it possible to develop research on sexual dimorphism. Material from identified male and female individuals was used in experiments on the response of juvenile plants to different nutrient conditions. The results showed that sex-specific differences emerge in relation to resource availability, allowing dimorphism to be interpreted not as a fixed trait independent of the environment, but as a feature expressed under particular conditions. Another line of research showed that long-term fertilisation of maternal plants can increase seed size while simultaneously reducing germination capacity and offspring performance. The collection thus enables the biology of adult trees to be linked with the quality of the next generation (Nowak 2021, Nowak et al. 2021, Pers-Kamczyc, Suszka 2022).

Studies of hickory mycorrhizae provide an instructive example of the scientific use of historical introductions. *Carya laciniosa* and *C. cordiformis* had been intro-

duced to the Kórnik Arboretum long before a research group specialising in the ecology of symbiotic associations was established at the Institute. Analysis of the roots of naturally regenerated seedlings of both species revealed both arbuscular and ectomycorrhizal associations, while molecular identification made it possible to characterise their fungal partners. The question of whether a non-native tree can function with the local soil biota is qualitatively different from the older question of whether introduced individuals can survive adverse winter conditions. Yet it could not have been asked without the earlier introduction of the trees and their maintenance to reproductive maturity (Rudawska et al. 2018). A common-garden comparison of ectomycorrhizae associated with northern red oak and hickories showed in turn that non-native species can form different symbiont assemblages and that their degree of integration with local biota varies. These studies formed part of a broader research programme on interactions between non-native trees and native mycorrhizal symbionts, in which material from the Arboretum was compared with forest sites. The value of the garden and its collection lay here in providing a common reference point: many species grow in close proximity, while comparison with forests makes it possible to assess the effect of environmental context (Wilgan 2022, Wilgan, Leski 2022).

The Arboretum also makes it possible to study relationships between above-ground and below-ground processes. Research on horse chestnut examined whether leaf damage caused by the horse-chestnut leaf miner was associated with changes in mycorrhizal colonisation. The absence of a simple negative relationship between feeding intensity and mycorrhiza demonstrates that tree condition results from many processes operating simultaneously. This example also has educational value: a visible symptom on a leaf is not a complete description of the biological state of an organism, and an arboretum enables an observation available to any visitor to be connected with processes that remain invisible without laboratory research (Tyburska-Woś et al. 2019).

Contemporary functional ecology uses the collection in yet another way: as a multispecies comparative system. Measurements of specific leaf area in sun-exposed and shaded parts of the crowns of trees and shrubs representing 179 taxa demonstrated the scale of within-crown variation and the importance of sampling design for interspecific comparisons. Subsequent studies examined relationships among floral chemistry, fruit and leaf traits, and seed properties. In this approach, the individual collection is no longer the object to be described; rather, it becomes a platform for testing more general hypotheses about the strategies of woody plants (Paż-Dyderska et al. 2020, 2022, Paż-Dyderska 2024, Paż-Dyderska, Jagodziński 2024, Dylewski et al. 2024). Research on 77 woody species whose seeds were collected in the Kórnik Arboretum revealed relationships among seed mass, carbohydrate resources and physical and chemical components relevant to defence. The role of the collection was to provide a broad spectrum of species available in one place and within a comparable harvesting period. Similarly, analyses of flowers from 70 woody species enabled comparisons of sugar and phenolic content in reproductive organs. These studies illustrate the transition from

the collection as a “species list” to the collection as a matrix of biological traits (Paż-Dyderska et al. 2022, Dylewski et al. 2024).

Research on ivy (*Hedera helix*) under different light and moisture conditions within the Arboretum, in turn, highlights the importance of internal habitat heterogeneity within the collection. Shoot traits and biomass allocation changed in response to local environmental conditions. This serves as a reminder that describing an arboretum as a common garden does not imply complete environmental homogeneity. Differences among plots, shading by old trees, water availability, and the character and timing of management interventions can constitute confounding factors in one study and the object of study in another. Research quality depends on whether the structure of the environment is properly recognised and incorporated into the experimental design (Blinkova et al. 2024).

Doctoral dissertations completed at the Institute also show the role of the arboretum as a place for training researchers. Studies of yew, mycorrhizae of non-native trees and reproductive traits required the integration of field skills, knowledge of the collection, laboratory methods, statistical analysis and critical interpretation of the limitations of the material. This is an important and often overlooked dimension of scientific infrastructure. An arboretum provides not only research samples but also practical knowledge about organisms, seasonality, sampling procedures and the importance of documentation. Such competencies cannot be fully replaced by a database or by a short-term laboratory experiment (Iszkuło 2005, Nowak 2021, Wilgan 2022, Paż-Dyderska 2024).

More Than Science: Heritage, Education, Tourism and Community

A scientific interpretation of an arboretum is incomplete if it ignores its social significance. Historical plant collections were often created as elite spaces, but the development of botanic gardens and arboreta gradually led to their opening to the public. International literature now treats this role broadly: gardens are places of education, recreation, tourism, well-being and relationship-building between people and nature. The global network of gardens is visited by hundreds of millions of people each year, giving it a communication potential that few scientific institutions can match (Westwood et al. 2021, Catahan et al. 2024, Teixeira, Ferreira 2026). A contemporary arboretum should therefore be understood as a multifunctional system in which scientific, conservation, educational, social and cultural roles are closely interconnected (fig. 3).

In Kórnik, the public dimension of the collection has particularly deep roots. The Działyński family’s plans already combined plant collecting with the intention of creating a forestry or horticultural school, while Wróblewski’s project included a training section and publishing activity. Post-war guidebooks, popular science publications and the opening of the collection to visitors transformed this idea into enduring practice. Importantly, education should not be treated as secondary to science. In a living collection, direct observation is itself part of

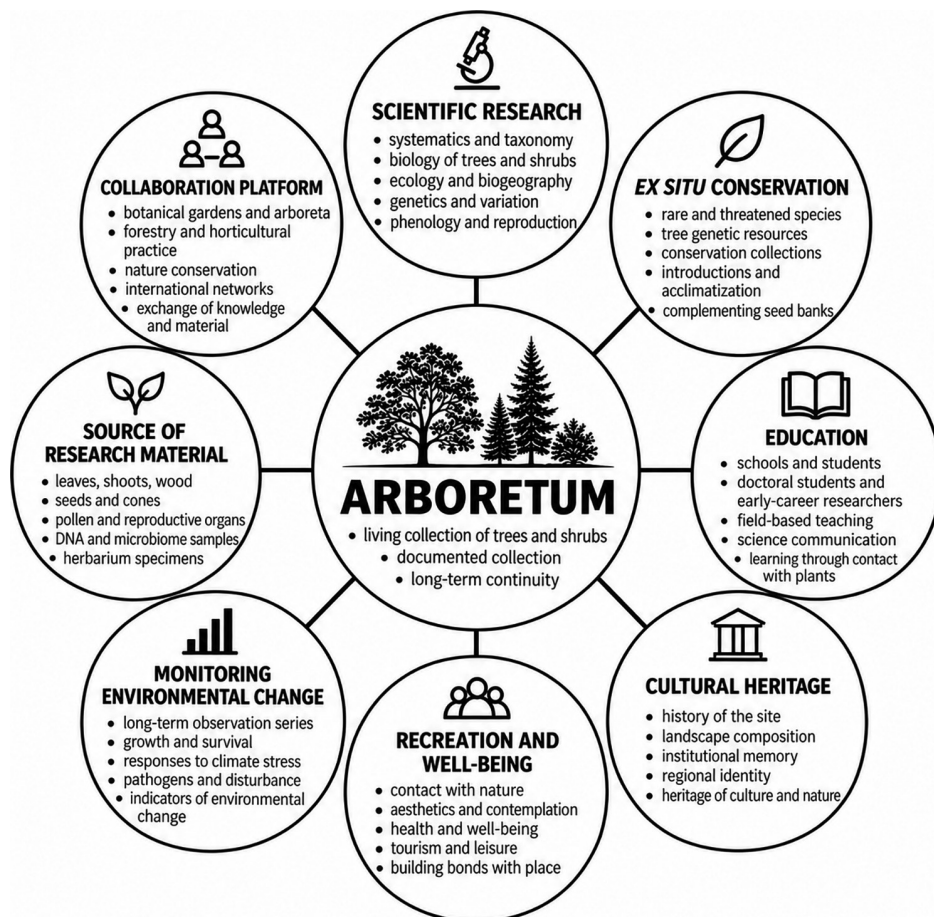


Fig. 3. The arboretum as a multifunctional system

learning: it allows visitors to understand habit, seasonal variation, spatial relationships and the consequences of tree ageing in ways that cannot be reproduced by illustrations alone (Wróblewski 1928b, 1936, Bugała 1996, Nowak, Broniewska 2026).

The contemporary educational programme of the Arboretum of the Institute of Dendrology PAS includes field and workshop activities, guided walks, family programmes and cooperation with schools and universities. In 2025, organised classes and meetings involved more than six thousand participants, including school pupils, students and adult groups, while the number of tourist visits to the Arboretum exceeded 120,000. These figures matter here not as attendance indicators in themselves, but as evidence that the living collection also functions as educational infrastructure. Themed walks through lilac, rhododendron and azalea collections, or collections of fruiting plants, turn seasonal cycles into a programme of learning, while university field classes connect display with professional training (Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

Research into the reasons people visit botanic gardens shows that visitor motivation is not limited to acquiring knowledge. Visitors seek new experiences, beauty, rest and stress reduction. Opportunities to learn coexist with recreation and improved quality of life. From the perspective of a research institution, this is not competition for education but a condition of its effectiveness. Someone who comes for the landscape, magnolia blossom or autumn colour may encounter information about biology, the history of introductions or biodiversity conservation. Interpretation of the collection should therefore build a bridge between the experience of place and scientific content (Wassenberg et al. 2015, Catahan et al. 2024).

In Kórnik, this bridge is strengthened by the exceptional integration of the Arboretum with the Castle and the historical urban landscape. The plants are not an anonymous biological display but part of a cultural landscape associated with the Działyński family, Zamoyski, the Kórnik Library and the history of Polish science. The site's designation as a Monument of History emphasises that protection concerns not only individual trees but a complex of natural, architectural and historical values. The oldest specimens of known provenance can in this sense be regarded as cultural objects: they are material witnesses to earlier horticultural contacts, flows of knowledge, nursery practices and design decisions (Nowak 2020, Jagodziński 2026a).

The concept of a "living archive" captures an important property of the Arboretum collection but requires clarification. A paper document can be protected from change; a tree must change to remain alive. Conserving a collection therefore does not mean preserving a motionless image of the past. It includes diagnosing the condition of old trees, carrying out arboricultural work, protecting root systems, propagating valuable material as a safeguard, controlling spontaneous regeneration and making deliberate decisions about replacing dead specimens. Each such intervention should be documented because it becomes part of the site's future history. Heritage value therefore depends on active rather than passive management (Jagodziński 2026a).

Tourism creates both opportunity and pressure on a site of this kind. Public access is part of the mission of a botanic garden, but it increases demands relating to the safety of old trees, the resilience of paths and lawns, infrastructure and the management of visitor flows. In Kórnik, seasonal peaks in visitation are associated, among other things, with the flowering of magnolias, lilacs, rhododendrons and azaleas. Contemporary solutions – online ticket sales, audio guides, field games and temporary opening of the New Arboretum – show that visitor management is part of collection care rather than a separate service activity (Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

Events held at the Arboretum – from natural-history walks and "Azalea and Rhododendron Days" to concerts, runs and exercise activities – broaden the group of people for whom the garden becomes a meaningful place. From the standpoint of the scientific mission, their value depends on how well they are integrated with conservation and interpretation of the collection. Literature on tourism in botanic gardens indicates that recreation and well-being are genuine

social services, but also that their effects must be assessed, accessibility ensured and the integrity of conservation and research functions maintained (Catahan et al. 2024, Teixeira, Ferreira 2026).

The social role of the Arboretum also includes expert services. Advice on tree cultivation and protection, arboricultural training and cooperation with local-government institutions transfer knowledge beyond the boundaries of the garden. This has a long tradition: pre-war and post-war nurseries distributed new taxa and cultivars, while staff of the Institute of Dendrology PAS contributed to forestry and horticultural practice. Today, knowledge transfer takes different forms, but it remains based on the same institutional advantage – long-term experience with living trees and shrubs (Bugala 1996, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025, Jagodziński 2024).

Educational value is also connected with cultivating “plant awareness” – the ability to perceive plants as active organisms rather than merely as a backdrop to the landscape. A tree in an arboretum can simultaneously be a historical object, an organism with a particular physiology, habitat for other species, an element of the economy and a carrier of information about climate change. This multiperspective interpretation is especially important in environmental education because it shows that nature conservation does not consist solely in preserving “beautiful places”, but in understanding processes and the consequences of decisions. International literature indicates that botanic gardens have the capacity to influence public attitudes precisely because they combine direct experience of plants with the credibility of a scientific institution (Blackmore et al. 2011, Westwood et al. 2021, Teixeira, Ferreira 2026).

An important consequence of opening collections to the public is a change in the relationship between expert and audience. The former residential arboretum was seen by a limited circle of guests; a contemporary botanic garden serves a broad and diverse public. This requires explaining not only plant names but also why plants are maintained, the principles of their conservation, the significance of provenance and the constraints imposed by the safety of old trees. Botanical labels remain a basic tool, but they are insufficient on their own for communicating complex issues such as climate change, *ex situ* conservation, invasiveness or mycorrhizal relationships. In this sense, education in an arboretum is shifting from the transmission of information towards the interpretation of processes and decisions (Blackmore et al. 2011, Teixeira, Ferreira 2026).

Kórník has a particular narrative potential because it can connect the history of an individual tree with the history of science. An old bald cypress can simultaneously be a trace of nineteenth-century introduction, a dendrological specimen, an organism adapted to particular habitat conditions and an element of the landscape. Hickories can lead from the history of purchases and plantings to contemporary research on mycorrhizae. Yews allow symbolism and longevity to be linked with regeneration, dioecy and seed quality. Such interpretation does not reduce science to anecdote; on the contrary, it anchors biological concepts in a material object and demonstrates continuity between historical and contemporary research.

Tourism can strengthen conservation when it builds public justification for the costly care of collections. Historical arboreta require continuing investment in tree maintenance, irrigation systems, safety measures, monitoring, documentation and specialist staff. Visitors mainly see the outcome – a mature landscape and plant diversity – whereas much of the cost concerns processes that remain invisible. Educational programmes should therefore also explain the very concept of collection care. Understanding that an old park is the product of continuous work can increase acceptance of conservation interventions and restrictions on access to some areas (Jagodziński 2026a).

Contemporary use of the Arboretum also shows that a public good can have several dimensions at once. The site supports school lessons and university teaching, individual walks, seasonal events, culture and recreation. In 2025, for example, the garden hosted themed walks, classes for schools and universities, field games, sporting events and concerts. Not all of these activities are science, but each takes place in a space whose fundamental value was created by the col-

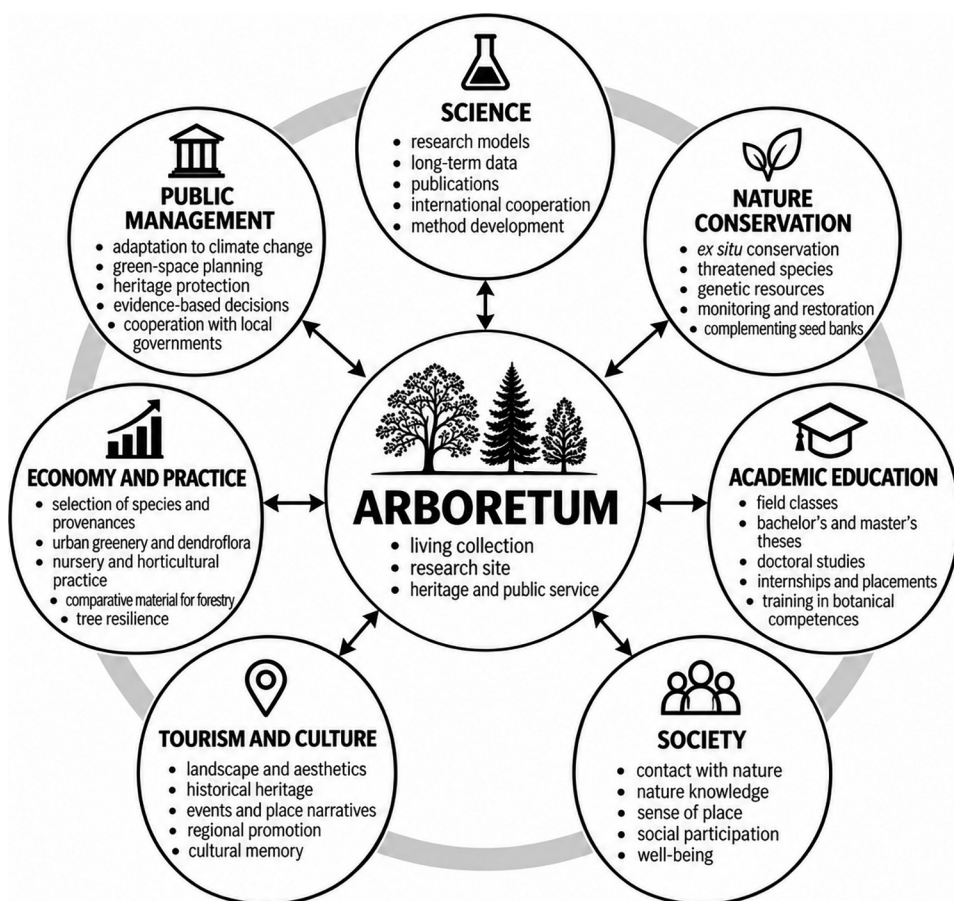


Fig. 4. The arboretum as a nexus between science and society

lection, research and heritage. Managing multifunctionality therefore means not maximising the number of events but maintaining a hierarchy of values: plants and their documentation are resources that cannot be renewed in the short term, and the social programme should strengthen awareness of that value (Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

At this point, several meanings of the word “access” converge. In science, access means access to material, data and results; in tourism, physical access to space; in education, access to understandable interpretation; and in heritage, participation in the memory of a place. A strong arboretum should develop all these forms in parallel. A digital database of specimens and publications can serve researchers, a field application can serve visitors, while historical plans and photographs can serve historians and educators. Integrating these layers is one of the most promising directions for developing the Kórnik Arboretum as part of a public institution, because it allows the same plant to function in several knowledge circuits without loss of scientific precision. In this sense, an arboretum is not only a place where plants are collected and studied, but a node through which knowledge flows between science, practice, administration and society (fig. 4).

Kórnik in the European and Global Network of Arboreta

The position of the Kórnik Arboretum changed as the very idea of the arboretum evolved. In the nineteenth century, the standing of a collection depended primarily on the richness and rarity of its taxa, access to renowned nurseries, quality of maintenance and the knowledge of owners and gardeners. Judged by these criteria, Jan Działyński’s collections ranked among the most important in Central Europe. Before the Second World War, the collections developed by Wróblewski, supported by fuller documentation and incorporated into international seed exchange, were among the richest of their kind in Europe. Increasingly, however, Kórnik’s status depended not only on possessing plants, but on the capacity to propagate, describe, test and disseminate them (Białobok 1946b, Bugała 1996, Jagodziński 2026b, Nowak, Broniewska 2026).

After the Second World War, the Arboretum’s international standing increasingly became that of a scientific centre rather than of a garden alone. The development of systematics and chorology of trees from south-western Asia and the eastern Mediterranean, contributions to *Flora Europaea*, *Flora of Turkey* and *Flora Iranica*, pioneering Polish research in forest-tree genetics, seed biology and tree physiology all enhanced the international recognition of the Institute of Dendrology PAS. The Arboretum remained the institutional base, but much research was conducted in the field, in the “Zwierzyniec” Experimental Forest, in managed forests or in laboratories. This is important interpretively: without the historical collection and the institutional infrastructure that developed around it, an institute with this profile would probably never have arisen in Kórnik (Jagodziński 2023, 2024).

A recent global review of arboretum research makes it possible to compare Kórnik cautiously with other centres. A systematic map covering 995 accessi-

ble and indexed publications identified 390 arboreta, and the Kórnik Arboretum was among the most frequently referenced sites at which scientific research is conducted – seventh worldwide and second in Europe (Teixeira, Ferreira 2026). This result matters not as a ranking of quality, but as independent confirmation that Kórnik is a recognisable research site within the international literature on woody-plant biology and ecology. At the same time, the methodology of the review particularly strongly underestimates Kórnik's output. The authors limited the analysis to full-text publications available in several languages and to records identified through major indexing databases and supplementary search engines. They explicitly noted that older bulletins, institutional journals and works not visible in titles and keywords are underrepresented. This applies to a substantial portion of the *Yearbook of the Polish Dendrological Society*, the *Memoirs of the Department of Tree and Forest Research*, *Arboretum Kórnickie* and historical reports. Kórnik is therefore an instructive example of the limitations of bibliometrics: the longer an institution's history and the larger the share of local literature published before the era of indexing, the more of its real output disappears from simple summaries based on databases such as Web of Science or Scopus.

In this context, cooperation with other gardens and networks of botanic gardens assumes particular importance. International seed exchange was already a foundation of collection development in the nineteenth and twentieth centuries; today cooperation also takes the form of shared monitoring protocols and data infrastructure. Participation in the International Plant Sentinel Network uses collections as early-warning systems for harmful organisms, while monitoring ash trees for the presence of *Agrilus planipennis* shows that mature, documented trees can form part of a transnational biosecurity system. An arboretum thus becomes a biological sensor whose value increases within a network of comparable sites (Barham et al. 2016, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

Future Objectives: Preserving the Capacity to Ask New Questions

The most important challenge for a historical arboretum is not choosing between past and future, but managing the past in such a way that it remains useful in the future. A living collection must change: trees die, new pathogens emerge, climate alters growing conditions, and limited space forces decisions about new plantings. Preserving authenticity cannot mean prohibiting change. It should mean distinguishing different layers of value – the historical specimen, genotype, taxon, spatial composition, documentation and research function – and selecting actions according to what, in each case, requires protection (Jagodziński 2026a, c). The future of historical arboreta therefore depends not only on the development of new functions, but also on the ability to identify threats and build the resilience of collections, documentation and institutions (fig. 5).

The first objective is data quality. A contemporary scientific collection should link the inventory number, current name, provenance, date and mode of acqui-

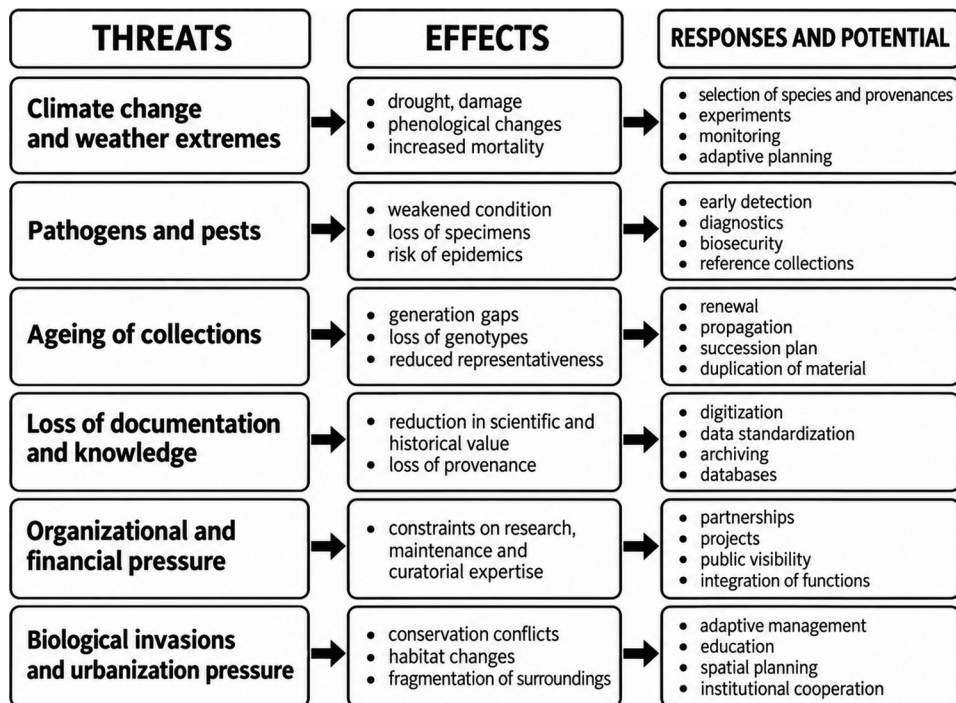


Fig. 5. Threats to the long-term continuity of arboreta and corresponding adaptive measures

sition, location, history of transplanting and management interventions, health status, herbarium material, photographs and publications in which the specimen or its descendants were used. In an old arboretum, some information will always remain uncertain; scientific credibility requires not concealing that uncertainty but recording it explicitly. Global literature increasingly indicates that the future of living collections depends on interoperable data systems and the ability to connect information across institutions (Dosmann 2006, Brockington et al. 2026).

The second objective is to shift emphasis from maximising the number of taxa to the strategic quality of collections. In *ex situ* conservation, a single specimen of a rare species has limited genetic value even if it is important for display. Priority species require collections representing different populations, ideally of documented wild origin. Global studies show that botanic gardens conserve a substantial proportion of plant diversity, but their collections are geographically and phylogenetically uneven. For a garden such as the Kórnik Arboretum, a natural direction should therefore be to improve representativeness rather than attempt to collect everything (Mounce et al. 2017, Volis 2017, Hoban 2019, Hoban et al. 2020).

The third objective is to use time itself as data. Phenology is the most obvious example, but not the only one. Repeated measurements of growth, crown condition, frost and drought damage, reproduction, spontaneous regeneration, path-

ogens and symbionts can create data series of increasing value. Modern sensors and imaging should complement, rather than replace, field observation. Networks of botanic gardens are particularly useful in climate research because they allow the same or related species to be compared across regions, often with access to historical records (Primack, Miller-Rushing 2009, Primack et al. 2021). The Kórnik Arboretum, with both old trees and the possibility of networked cooperation, has an advantage in this area that is difficult to recreate in new collections.

The fourth objective is to integrate introduction research with risk assessment. In the nineteenth century, simply keeping an exotic species alive was considered a success; in the twenty-first century, we must additionally ask about its capacity for spontaneous spread, its effects on native organisms, the risk of transmitting pathogens and its future behaviour under a changing climate. This does not mean rejecting introduction as a scientific tool. On the contrary, historical arboreta are among the best places in which to assess its long-term consequences. This requires monitoring, documentation of spontaneous regeneration, and linking plant data with studies of soil, fungi, insects and other components of the ecosystem (Rudawska et al. 2018, Wilgan, Leski 2022, Jagodziński 2026b).

The fifth objective is to strengthen the role of collections in protecting plants from pests and pathogens. Growth in global plant trade increases the risk of introducing harmful organisms into new regions. Arboreta concentrate many tree species in one place, are regularly observed by specialists and possess documentation, making them well suited to the early detection of unusual symptoms. The International Plant Sentinel Network, for example, exploits this advantage at an international scale. For Kórnik, this creates an opportunity to connect routine phytosanitary care with scientific research and warning systems, as illustrated by monitoring of ash trees (Barham et al. 2016, Instytut Dendrologii PAN 2021–2025).

The sixth objective is to study the resilience of trees potentially useful for cities, landscapes and forestry. Climate change increases the need for knowledge of tolerance to drought, heat and late frosts. Arboreta can support preliminary selection of species and provenances because they contain mature trees that have functioned for decades outside their native ranges. Such observations cannot, however, be transferred automatically to forestry or urban management: historical plantings are not always genetically representative, and park conditions differ from those of streets or forest stands. The strongest model combines collection-based observations with controlled physiological measurements and subsequent testing in the target environment (Hirons et al. 2021, Primack et al. 2021).

The seventh objective is to connect research and education more closely. Much research carried out in Kórnik has almost immediate interpretive potential: mycorrhizal studies can introduce visitors to the “invisible” partners of trees, phenology can demonstrate responses to climate, sexual dimorphism can explain the costs of reproduction, and seed research can support discussion of forest regeneration and gene banks. This type of communication has an advantage over general nature education because it refers to a tree standing directly in front of the audi-

ence and to results obtained in the same place. It therefore links the locality with science of universal relevance (Westwood et al. 2021, Teixeira, Ferreira 2026).

The eighth objective is deliberate management of the tourism function. The attractiveness of the park and its seasonal flowering displays are social assets, but they also place pressure on fragile infrastructure and old trees. Data on visitor numbers, routes, events and behaviour should inform the design of access that does not diminish the scientific and conservation value of the site. International research shows that botanic gardens generate recreational and well-being benefits; for a public institution, however, it is important that these benefits are delivered in ways consistent with education, conservation and collection safety (Wassenberg et al. 2015, Catahan et al. 2024).

The ninth objective is to preserve expertise. Even the most advanced database cannot replace the dendrologist, gardener, arborist or technician who can identify a plant, collect material correctly, interpret an old plan, propagate a specimen and assess the consequences of an intervention. The history of Kórnik is as much a history of people as it is of trees: the Działyński family, Zamoyski, Wróblewski, and the many researchers, gardeners and technical staff who followed them. The transmission of this expertise is part of collection conservation, because lack of skilled care can destroy in a short time value accumulated over decades (Jagoździński 2026a, Nowak, Broniewska 2026).

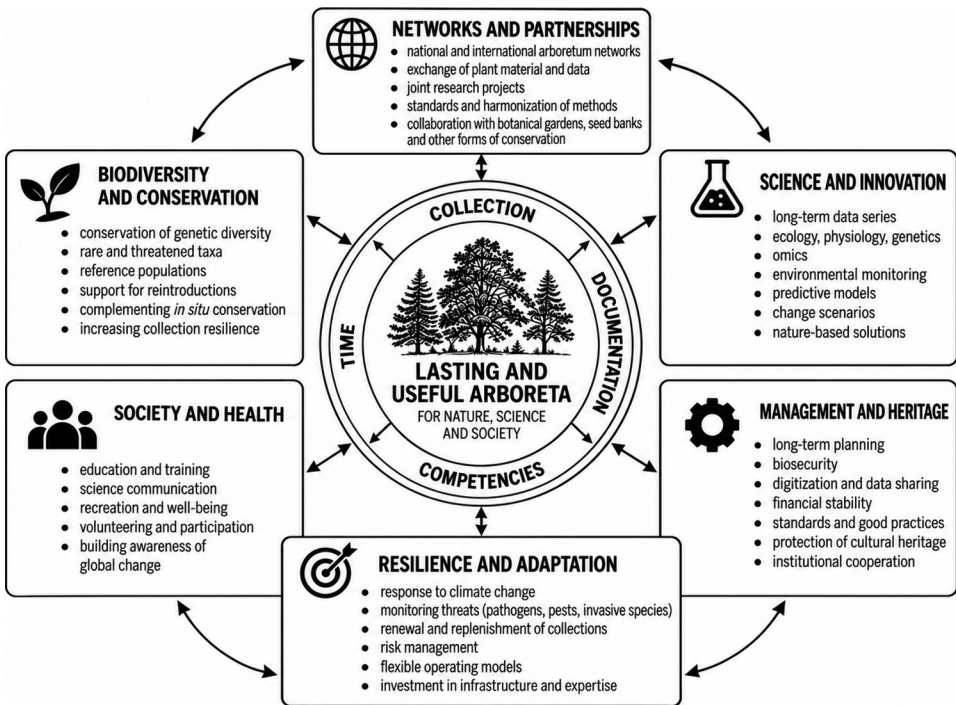


Fig. 6. Strategic directions for the development of arboreta in the twenty-first century

Finally, the tenth objective should be to keep the collection open to questions that we are not yet able to formulate. The history of science in Kórnik provides many examples of such unintended usefulness. The Działyński family did not plant hickories so that their mycorrhizae could later be analysed using molecular methods; mid-twentieth-century poplar breeders did not produce hybrids with later use on post-industrial sites or resolution of nomenclatural problems in mind; and phenological observers in the 1950s could not have anticipated contemporary debate about anthropogenic climate change and its consequences. This is precisely why responsible maintenance of collections has cognitive value beyond current projects. Future science benefits from decisions made in the past, provided that the plants and information about them survive.

The common denominator of these directions is a shift from treating the arboretum as a collection of specimens to managing it as long-term, networked infrastructure for conservation, research and knowledge (fig. 6).

Conclusion: More Than a Collection

Two hundred years of the Kórnik Arboretum, a fundamental part of the Institute of Dendrology of the Polish Academy of Sciences, can be described as a history of accumulating functions rather than their simple replacement. The castle garden became a dendrological collection; the collection became a site of introduction, comparison and education; public heritage became the basis of a research institution; the arboretum of a scientific institute became a source of material for, among other fields, systematics, breeding, physiology, genetics and seed biology; the mature garden became a place for studying ecological processes, relationships with fungi, reproduction and functional traits; and the historical infrastructure became a platform for climate monitoring, *ex situ* conservation, education and public engagement with science. This sequence does not mean that earlier aims became obsolete. Systematics, documentation, propagation and assessment of tree suitability for different uses remain necessary, but they now operate within a richer scientific and social context (Bugala 1996, Nowak, Ratajczak 2023, Jagodziński 2026a, b, Nowak, Broniewska 2026).

The most important feature of the Kórnik Arboretum is continuity between the living specimen and its documentation. A tree without knowledge of its provenance may have considerable landscape value, but its scientific value is limited; a document without surviving biological material, in turn, offers fewer opportunities for renewed verification. When the two remain connected, researchers can return to the same object decades later and ask a new question. In this sense, the inventory, park plan, herbarium specimen, photograph, publication, DNA sample and the tree itself are all components of a single knowledge system. The value of this system increases when information is organised and accessible to subsequent generations of researchers (Dosmann 2006, Brockington et al. 2026).

The Arboretum is not solely scientific infrastructure. Its public role is embedded both in the history of the Działyński family and Zamoyski and in the contemporary definition of a botanic garden. Access to living diversity, oppor-

tunities for field-based learning, experience of a historical landscape, recreation and well-being create social values that cannot be separated from collection conservation. Tourists, school pupils, university students, gardeners, researchers and local residents use the same place in different ways; responsible management should enable these forms of use without reducing the arboretum to an amusement park, a museum frozen in time or a closed laboratory facility (Westwood et al. 2021, Catahan et al. 2024, Teixeira, Ferreira 2026).

Kórnik's historical position among European collections derived first from the richness of its introductions and the dendrological expertise of its creators, then from the professionalisation of documentation and nursery practice, and later from linking the collection with a specialised research institute. Today, that position is confirmed by Kórnik's presence in international arboretum literature, although bibliometric analyses cannot capture the scale of its earlier Polish-language output. Kórnik does not compete with the world's largest gardens solely by the number of taxa it contains. Its distinctive strength lies in combining two centuries of collection history with continuity of research, its own scientific infrastructure, an experimental forest, herbarium, library and archive, and an active public role (Jagodziński 2026b, Teixeira, Ferreira 2026).

The future of the Arboretum of the Institute of Dendrology PAS should be evaluated by its ability to preserve this complexity. The largest possible number of species need not be the primary objective. More important may be complete specimen documentation, genetic representativeness of selected collections, safeguarding especially valuable genotypes, phenological and phytosanitary monitoring, research on interactions with local biota, assessment of introduction risk, use of the collection in studies of resilience to climate change, integration of data with herbarium collections and publications, and effective education. Such a strategy corresponds to contemporary directions in the development of botanic gardens, which are evolving from places of display into active nodes of conservation, science and public communication (Blackmore et al. 2011, Mounce et al. 2017, Primack et al. 2021, Westwood et al. 2021, Brockington et al. 2026).

The most appropriate criterion for the continuity of the collection is therefore not whether it will look exactly the same in one hundred years, but whether it will retain the capacity to transmit knowledge and generate new knowledge. In Kórnik, that capacity was repeatedly threatened by sequestration, war, financial difficulties, organisational change and the biological ageing of plants, yet the collection survived because continuity of care was maintained. From this perspective, the bicentenary celebrates not only surviving trees but also the sustained relationship between trees and the people who plant, describe, study, protect and share them. The most enduring result of two centuries is not a closed set of answers, but the preserved possibility of asking further questions. This is what makes the Kórnik Arboretum more than a collection.

A contemporary arboretum is therefore an infrastructure of "long duration", whose usefulness arises from the combination of four fundamental resources: the living collection, documentation, human expertise and time. These resources make scientific, conservation and social objectives possible, but their full value

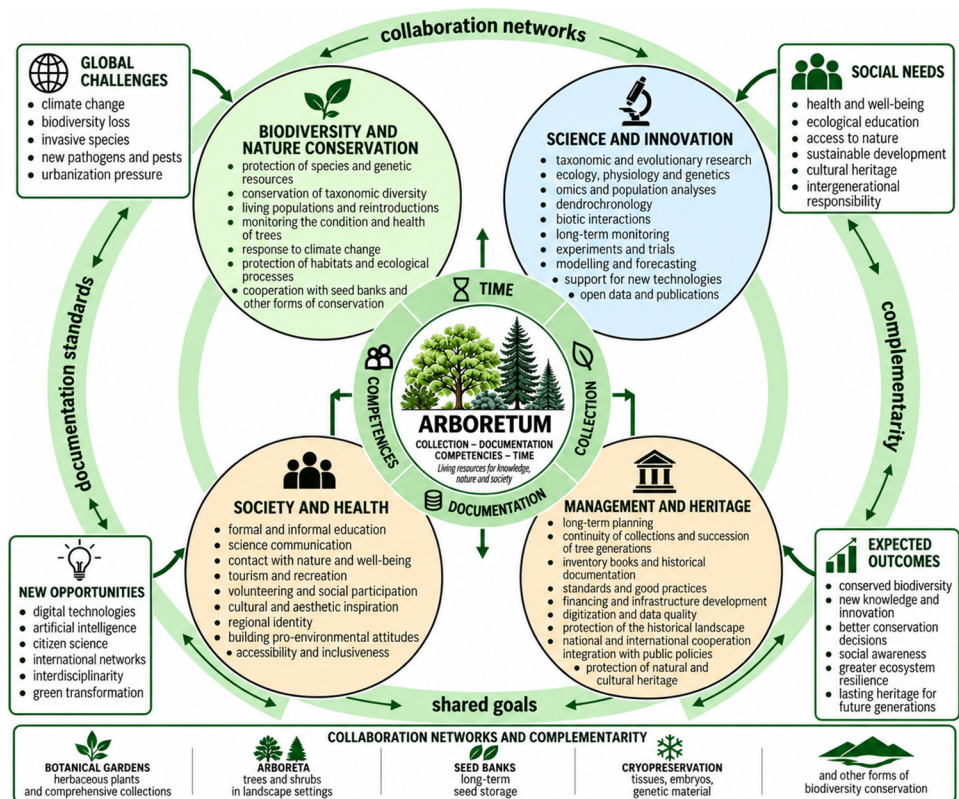


Fig. 7. The arboretum as long-term infrastructure for knowledge, conservation and the public good

emerges only when they are connected with durable management, institutional cooperation and complementary forms of biodiversity conservation. An arboretum is thus not an isolated collection but an element of a system encompassing research, nature conservation, education, public policy, gene banks and other institutions that preserve and interpret plant diversity. Its development is simultaneously a response to global environmental challenges, changing social needs and the opportunities offered by new technologies and networks of cooperation. The future of arboreta therefore depends not on maximising any single function, but on maintaining relationships among these functions without compromising the quality of the collection or the information associated with it (fig. 7).

Acknowledgements

We would like to thank Prof. Lee E. Frelich, Director of the University of Minnesota Center for Forest Ecology, USA, for his valuable comments and careful linguistic revision of the manuscript. We also sincerely thank Dominik Tomaszewski, Professor of the Institute of Dendrology PAS, for his careful reading of the manuscript and valuable substantive and editorial comments.

References

- Barham E., Sharrock S., Lane C., Baker R. 2016. The International Plant Sentinel Network: a tool for Regional and National Plant Protection Organizations. EPPO Bulletin 46(1): 156–162.
- Bątkiewicz E. 2011. Tytus Działyński (1796–1861). Polityk. Społecznik. Twórca kultury. Praca doktorska, Zakład Archiwistyki Instytutu Historii UAM, Poznań.
- Bątkiewicz-Szymanowska E., Potocka M., Potocki M. 2023. Opowieść o Zamku w Kórniku. Przewodnik. PAN Biblioteka Kórnicka, Kórnik.
- Białobok S. 1946a. Ogrody Kórnickie w czasie okupacji (1939–1945) i w obliczu nowych celów. Pamiętnik Zakładu Badania Drzew i Lasu w Kórniku 1: 37–47.
- Białobok S. 1946b. Wspomnienie pośmiertne. Posthumous reminiscences of late Anton Wróblewski. Pamiętnik Zakładu Badania Drzew i Lasu w Kórniku 1: 26–36.
- Białobok S. 1955. Rys historyczny Zakładu Dendrologii i Pomologii w Kórniku oraz ogólna charakterystyka kolekcji drzew i krzewów. Arboretum Kórnickie 1: 7–30.
- Białobok S. 1958. Historia, stan i kierunki badawcze Zakładu Dendrologii i Pomologii PAN w Kórniku. Kosmos A 7(2): 231–239.
- Białobok S. 1960. Historia introdukcji i aklimatyzacji drzew i krzewów w Arboretum Kórnickim. Arboretum Kórnickie 5: 141–200.
- Białobok S. 1961. Działalność Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego. Nauka Polska 2: 141–147.
- Białobok S. 1968. Sprawozdanie z działalności Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego PAN za rok 1967. Arboretum Kórnickie 13: 323–329.
- Białobok S. 1969. Problematyka naukowa Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego na tle historycznym. Arboretum Kórnickie 14: 275–289.
- Białobok S. 1975. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w historycznym rozwoju. Arboretum Kórnickie 20: 5–21.
- Blackmore S., Gibby M., Rae D. 2011. Strengthening the scientific contribution of botanic gardens to the second phase of the Global Strategy for Plant Conservation. Botanical Journal of the Linnean Society 166(3): 267–281.
- Blinkova O., Rawlik K., Jagodziński A.M. 2024. Effects of limiting environmental conditions on functional traits of *Hedera helix* L. vegetative shoots. Frontiers in Plant Science 15: 1464006.
- Bojarczuk K., Karliński L., Hazubska-Przybył T., Kieliszewska-Rokicka B. 2015. Influence of mycorrhizal inoculation on growth of micropropagated *Populus ×canescens* lines in metal-contaminated soils. New Forests 46: 195–215.
- Bojarczuk T. 1970. Wiek niektórych drzew w Arboretum Kórnickim. Arboretum Kórnickie 15: 29–45.
- Bojarczuk T., Bojarczuk K. 1971. Wykaz drzew i krzewów w Arboretum Kórnickim. Arboretum Kórnickie 16: 63–80.
- Boratyński A., Dolatowski J., Oleksyn J. 1993. Stefan Białobok (1909–1992). Wiadomości Botaniczne 37(1/2): 93–98.
- Brockington S.F., Malcolm P., Aiello A.S., et al. 2026. High-performance living plant collections require a globally integrated data ecosystem to meet twenty-first-century challenges. Nature Plants 12: 18–25.
- Browicz K. 1952. Pnącza w Arboretum Kórnickim. Prace Zakładu Dendrologii i Pomologii w Kórniku: 3–41.
- Browicz K. 1993. Stefan Białobok (1909–1992). Nauka Polska 41(5): 161–164.
- Browicz K., Bugała W. 1958. Mały przewodnik po Arboretum Kórnickim. Zakład Dendrologii i Pomologii PAN, Kórnik.

- Bugała W. 1955. Kolekcja topoli w Arboretum Kórnickim. *Arboretum Kórnickie* 1: 43–60.
- Bugała W. 1971. *Arboretum Kórnickie*. Przewodnik. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Bugała W. 1978. *Arboretum Kórnickie*. Przewodnik. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa–Poznań.
- Bugała W. 1980. Jubileusz 35-letniej działalności naukowej prof. dra S. Białoboka w Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku. *Arboretum Kórnickie* 25: 5–11.
- Bugała W. 1992. Prof. dr Stefan Białobok (1909–1992). *Arboretum Kórnickie* 37: 5–8.
- Bugała W. 1993. Prof. dr Stefan Białobok (1909–1992). *Wiadomości Botaniczne* 37(1/2): 110–112.
- Bugała W. 1996. Od Ogrodów Kórnickich do Instytutu Dendrologii. *Arboretum Kórnickie* 41: 5–13.
- Bugała W., Bojarczuk T. 1998. Nowe kolekcje drzew i krzewów w Arboretum Kórnickim na terenie Lasu Doświadczalnego Zwierzyniec. *Arboretum Kórnickie* 43: 85–95.
- Burczyk J. 2013. Wkład Instytutu Dendrologii PAN w rozwój genetyki drzew leśnych. In: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (eds.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych*. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. Kórnik–Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 64–67.
- Catahan N., Hopwood M., Suraweera P. 2024. Botanic Garden Tourism, Social Value, Health, and Well-Being. *Journal of Zoological and Botanical Gardens* 5(2): 187–199.
- Celichowski Z. 1906. Ogród zamkowy w Kórniku. Biblioteka Kórnicka, Poznań.
- Chałupka W. 2003. 70 years of the Institute of Dendrology of the Polish Academy of Sciences in Kórnik, Poland. *Silvae Genetica* 52(3–4): 180.
- Chałupka W. 2004. 70 years of the Institute of Dendrology of the Polish Academy of Sciences in Kórnik, Poland. *Forest Genetics* 11(1): 86.
- Chałupka W. 2005. Władysława Zamoyskiego umiłowanie lasu. *Pamiętnik Biblioteki Kórnickiej* 27: 81–90.
- Chałupka W. 2006. Początki badań genetycznych drzew leśnych w Kórniku. In: J. Sabor (ed.), *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, pp. 29–34.
- Chałupka W. 2008. 75 lat Instytutu Dendrologii w Kórniku (1933–2008): wybrane karty z historii. *Rocznik Dendrologiczny* 56: 53–73.
- Chylarecki H. 1961. Rodzaj *Carya* Nutt. i wyniki jego aklimatyzacji w Arboretum Kórnickim. *Arboretum Kórnickie* 6: 73–92.
- Chylarecki H., Straus H. 1968. Wyniki dziesięcioletnich obserwacji fenologicznych nad drzewami i krzewami w Arboretum Kórnickim. *Arboretum Kórnickie* 13: 37–120.
- Dolatowski J. 1997a. Dawne plany Arboretum Kórnickiego. *Biuletyn Ogrodów Botanicznych, Muzeów i Zbiorów* 6: 75–84.
- Dolatowski J. 1997b. Notatki Jana Działyńskiego na marginesach książek o drzewach. *Rocznik Dendrologiczny* 45: 113–125.
- Dosmann M., Groover A. 2012. The importance of living botanical collections for plant biology and the “next generation” of evo-devo research. *Frontiers in Plant Science* 3: 137.
- Dosmann M.S. 2006. Research in the garden: averting the collections crisis. *The Botanical Review* 72(3): 207–234.
- Dylewski Ł., Adamczyk D., Żytkowiak R., Jagodziński A.M. 2024. Seed mass and seed resources – testing the defense trade-off hypothesis in woody plants. *Dendrobiology* 91: 32–41.

- Fuchs H., Staszak A.M., Vargas P.A., Sahrawy M., Serrato A.J., Dyderski M.K., Klupczyńska E.A., Głodowicz P., Rolle K., Ratajczak E. 2024. Redox dynamics in seeds of *Acer* spp.: unraveling adaptation strategies of different seed categories. *Frontiers in Plant Science* 15: 1430695.
- Giertych M. 1989. Prace z zakresu genetyki drzew leśnych w Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu* 204: 5–10.
- Giertych P. 2000. Factors determining natural regeneration of yew (*Taxus baccata* L.) in the Kórnik Arboretum. *Dendrobiology* 45: 31–40.
- Hirons A.D., Watkins J.H.R., Baxter T.J., Miesbauer J.W., Male-Muñoz A., Martin K.W.E., Bassuk N.L., Sjöman H. 2021. Using botanic gardens and arboreta to help identify urban trees for the future. *Plants, People, Planet* 3(2): 182–193.
- Hoban S. 2019. New guidance for *ex situ* gene conservation: sampling realistic population systems and accounting for collection attrition. *Biological Conservation* 235: 199–208.
- Hoban S., Callicrate T., Clark J., et al. 2020. Taxonomic similarity does not predict necessary sample size for *ex situ* conservation: a comparison among five genera. *Proceedings of the Royal Society B* 287(1926): 20200102.
- Ignaczak P. 2023. Ogród i park jako dopełnienie programu muzealnego Zamku w Gołuchowie w czasach Jana Działyńskiego i Izabeli z Czartoryskich Działyńskiej (ok. 1872–1899). *TECHNE, Seria Nowa* 2(12): 289–307.
- Instytut Dendrologii PAN. 2021. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2021 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Instytut Dendrologii PAN. 2022. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2022 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Instytut Dendrologii PAN. 2023. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2023 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Instytut Dendrologii PAN. 2024. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2024 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Instytut Dendrologii PAN. 2025. Sprawozdanie z działalności Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w 2025 r. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Iszkuło G. 2005. Wpływ natężenia światła oraz nawożenia azotem na rozwój siewek cisa pospolitego *Taxus baccata* L. PhD thesis, Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Jagodziński A.M. 2018. Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences, Kórnik. In: A.K. Jasińska, A.M. Jagodziński, L. Fazan, K. Sękiewicz, Ł. Walas (eds.), *Relict woody plants: linking the past, present and future. The International Scientific Conference. Kórnik, 19th June 2018. Book of Abstracts*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 17–24.
- Jagodziński A.M. 2019. 110-lecie urodzin twórcy Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. *Las Polski* 10: 29–30.
- Jagodziński A.M. 2022. Instytut Dendrologii PAN. In: M. Światoński, K. Sobkowska (eds.), *Oddział PAN w Poznaniu w latach 1972–2022. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna GIMPO, Warszawa*, pp. 92–94.
- Jagodziński A.M. 2023. Instytut Dendrologii PAN – czerpiąc z historii, tworząc przyszłość. In: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (eds.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 90-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. Kórnik–Poznań, 9–11 października 2023. Materiały konferencyjne*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 23–46.
- Jagodziński A.M. 2024. Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences (1933–2023): a history in brief. In: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (eds.), *Research and Practice in Forest Ecology. Book of abstracts*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 23–32.

- Jagodziński A.M. 2025. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk. In: M. Biniś-Szkopek, M. Cieliczko (eds.), Ostatnie dzieło Władysława Zamoyskiego. 100 lat Fundacji Zakłady Kórnickie. Fundacja Zakłady Kórnickie, Kórnik, pp. 140–145.
- Jagodziński A.M. 2026a. Kolekcje dendrologiczne jako żywe archiwum tradycji leśnictwa: dziedzictwo, ryzyko, odpowiedzialność. *Studia i Materiały Ośrodka Kultury Leśnej* 23: 73–102.
- Jagodziński A.M. 2026b. Kórnik Arboretum: the living heart of the Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences. In: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (eds.), Research and Practice in Forest Ecology. 2nd International Scientific Conference for Young Scientists. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 19–34.
- Jagodziński A.M. 2026c. Ogrody botaniczne – czy tylko współczesne Arki Noego? In: K. Nowak, K. Broniewska (eds.), Przewodnik. Arboretum Kórnickie. Spotkanie z przyrodą. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik, pp. 12–17.
- Jagodziński A.M., Biniś-Szkopek M. 2024. Władysław hr. Zamoyski – nasz Fundator. *Kórniczanin* 1: 16–17.
- Jagodziński A.M., Nowak-Dyjeta K. 2012. Przyrodniczy pomnik historii. Arboretum Kórnickie. *Las Polski* 12: 18–19.
- Jagodziński A.M., Ratajczak E., Pers-Kamczyc E. 2019. Prof. dr Stefan Białobok – wybitny dendrolog i zasłużony kórniczanin. *Kórniczanin* 9: 12–13.
- Kalisz Z. 1979. Fundacja Zakłady Kórnickie w latach 1925–1953. *Pamiętnik Biblioteki Kórnickiej* 15: 137–202.
- Kalisz Z. 1980. Gospodarka Fundacji Zakłady Kórnickie w latach 1925–1953. *Pamiętnik Biblioteki Kórnickiej* 16: 35–161.
- Kalisz Z. 2013. Zakład Badania w zamiarach Władysława Zamoyskiego i realiach Fundacji Zakłady Kórnickie. In: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (eds.), Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. Kórnik-Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 60–63.
- Kalisz Z. 2017. Fundacja Zakłady Kórnickie w latach 1925–1953. Fundacja Zakłady Kórnickie, Kórnik.
- Kijowska-Oberc J., Staszak A.M., Wawrzyniak M.K., Ratajczak E. 2020. Changes in proline levels during seed development of orthodox and recalcitrant seeds of genus *Acer* in a climate change scenario. *Forests* 11(12): 1362.
- Korbik M., Kosiński P. 2023. Revisiting the taxonomy of *Populus lasiocarpa* × *P. wilsonii* hybrids. *Dendrobiology* 90: 86–94.
- Korczyńska E. 1977. Bibliografia prac Antoniego Wróblewskiego za lata 1926–1944. *Arboretum Kórnickie* 22: 323–325.
- Kosiński P., Tomaszewski D., Zieliński J. 2022. *Thuja* × *soeegaardii* (Cupressaceae) – a new name for an old hybrid. *Dendrobiology* 87: 113–121.
- Mounce R., Smith P., Brockington S. 2017. *Ex situ* conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. *Nature Plants* 3: 795–802.
- Nowak K. 2020. Najstarsze drzewa Arboretum Kórnickiego: zarys historii kolekcji dendrologicznej na trzech planach parku. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 68: 63–76.
- Nowak K. 2021. Płeć jako czynnik determinujący wzrost i chemizm roślin dwupiennych - cisa pospolitego (*Taxus baccata* L.) i jałowca pospolitego (*Juniperus communis* L.) PhD thesis, Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Nowak K. 2026. Arboretum Kórnickie – zabytek nietypowy. *Renowacje i Zabytki* 1(97): 126–132.

- Nowak K., Broniewska K. (eds.) 2026. Przewodnik. Arboretum Kórnickie. Spotkanie z przyrodą. Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, Kórnik.
- Nowak K., Giertych M.J., Pers-Kamczyc E., Thomas P.A., Iszkuło G. 2021. Rich but not poor conditions determine sex-specific differences in growth rate of juvenile dioecious plants. *Journal of Plant Research* 134: 947–962.
- Nowak K., Ratajczak E. 2023. Arboretum Instytutu Dendrologii PAN. Kolekcje dla nauki. *Kosmos* 72(2): 149–158.
- Nowak Z. 1976. Proces Tytusa Działyńskiego w latach 1831–1838 z rządem pruskim o zakwestrowane dobra kórnickie. *Pamiętnik Biblioteki Kórnickiej* 12: 93–115.
- O'Donnell K., Sharrock S. 2017. The contribution of botanic gardens to ex situ conservation through seed banking. *Plant Diversity* 39(6): 373–378.
- Oleksyn J. 2013. Historia i misja Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku – wypełnienie testamentu Władysława Zamoyskiego. In: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (eds.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku*. Kórnik–Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 23–59.
- Oleksyn J. 2018. Osiągnięcia naukowe Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk. In: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (eds.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 85-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku*. Kórnik–Poznań, 11–15 czerwca 2018 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 103–114.
- Pawłowski T.A. 2009. Proteome analysis of Norway maple (*Acer platanoides* L.) seeds dormancy breaking and germination: influence of abscisic and gibberellic acids. *BMC Plant Biology* 9: 48.
- Paż-Dyderska S. 2024. Cechy reprodukcyjne roślin drzewiastych jako narzędzie ekologii funkcjonalnej: analiza zmienności i potencjału. PhD thesis, Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Paż-Dyderska S., Dyderski M.K., Nowak K., Jagodziński A.M. 2020. On the sunny side of the crown – quantification of intra-canopy SLA variation among 179 taxa. *Forest Ecology and Management* 472: 118254.
- Paż-Dyderska S., Jagodziński A.M. 2024. Potential of reproductive traits in functional ecology: a quantitative comparison of variability in floral, fruit, and leaf traits. *Ecology and Evolution* 14: e11690.
- Paż-Dyderska S., Żytkowiak R., Jagodziński A.M. 2022. Intra- and interspecific variability of non-structural carbohydrates and phenolic compounds in flowers of 70 temperate trees and shrubs. *Forests* 13(8): 1256.
- Pers-Kamczyc E., Suszka J. 2022. Long-term maternal fertilizer addition increased seed size but decreased germination capacity and offspring performance in *Taxus baccata* L. *Forests* 13(5): 670.
- Primack R.B., Ellwood E.R., Gallinat A.S., Miller-Rushing A.J. 2021. The growing and vital role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist* 231(3): 917–932.
- Primack R.B., Miller-Rushing A.J. 2009. The role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist* 182: 303–313.
- Ratajczak E., Dietz K.J., Kalemba E.M. 2019a. The occurrence of peroxiredoxins and changes in redox state in *Acer platanoides* and *Acer pseudoplatanus* during seed development. *Journal of Plant Growth Regulation* 38: 298–314.

- Ratajczak E., Staszak A.M., Wojciechowska N., Bagniewska-Zadworna A., Dietz K.J. 2019b. Regulation of thiol metabolism as a factor that influences the development and storage capacity of beech seeds. *Journal of Plant Physiology* 239: 61–70.
- Rudawska M., Leski T., Wilgan R., Karliński L., Kujawska M., Janowski D. 2018. Mycorrhizal associations of the exotic hickory trees, *Carya laciniosa* and *Carya cordiformis*, grown in Kórnik Arboretum in Poland. *Mycorrhiza* 28: 549–560.
- Stanulewicz M. 2016. Jana Kantego Działyńskiego działalność we władzach powstańczych zaboru pruskiego w latach 1863–1864. *Studia Iuridica Lublinensia* 25(3): 849–865.
- Staszak A.M., Pawłowski T.A. 2014. Proteomic analysis of embryogenesis and the acquisition of seed dormancy in Norway maple (*Acer platanoides* L.). *International Journal of Molecular Sciences* 15(6): 10868–10891.
- Stecki K., Kulesza W. 1926. Opis parku w Kórniku. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 1: 70–104.
- Stolarska E., Bilska K., Wojciechowska N., Bagniewska-Zadworna A., Rey P., Kalembe E.M. 2020. Integration of MsrB1 and MsrB2 in the redox network during the development of orthodox and recalcitrant *Acer* seeds. *Antioxidants* 9(12): 1250.
- Susza B. 1959. Dotychczasowe wyniki hodowli forsyj w Kórniku. *Arboretum Kórnickie* 4: 205–226.
- Susza B. 1993. Leśny Bank Genów w Kostrzycy – wizja i rzeczywistość. *Sylwan* 137(11): 17–27.
- Susza J., Przybył K. 1980. Poplar bibliography: list of papers published by scientists of the Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences, within the period 1930–1980. Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences, Kórnik.
- Teixeira C.P., Ferreira V.R. 2026. Mapping arboretum research: Trends, gaps, and opportunities for biodiversity conservation, society, and climate resilience. *Plants, People, Planet* 8(5): 1457–1475.
- Tomaszewski D. 2019. Digitalizacja zbiorów zielnikowych – krok w dobrą stronę. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 67: 119–127.
- Tomaszewski D., Walas Ł., Guzicka M. 2026. Tracing holotype trajectories: Mapping the movement of the most valuable herbarium specimens. *Plants, People, Planet* 8(4): 1304–1321.
- Tyburska-Woś J., Nowak K., Kieliszewska-Rokicka B. 2019. Influence of leaf damage by the horse chestnut leafminer (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimić) on mycorrhiza of *Aesculus hippocastanum* L. *Mycorrhiza* 29: 61–67.
- Tylkowski T., Plitta-Michalak B.P., Chmielarz P. (eds.) 2015. *Biologia i technologia w nasiennictwie drzew i krzewów. Materiały konferencji naukowej dedykowanej prof. dr. hab. Bolesławowi Suszce w 90. rocznicę urodzin*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Ustawa z dnia 30 lipca 1925 r. o Zakładach Kórnickich (Dz.U. 86 z 1925 r., poz. 592).
- Volis S. 2017. Conservation utility of botanic garden living collections: setting a strategy and appropriate methodology. *Plant Diversity* 39(6): 365–372.
- Wassenberg C.L., Goldenberg M.A., Soule K.E. 2015. Benefits of botanical garden visitation: a means-end study. *Urban Forestry & Urban Greening* 14(1): 148–155.
- Wesoły W. 2013. Biologia nasion. Nauka – praktyce. In: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (eds.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku*. Kórnik–Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 80–83.
- Westwood M., Cavender N., Meyer A., Smith P. 2021. Botanic garden solutions to the plant extinction crisis. *Plants, People, Planet* 3(1): 22–32.

- Wilczyński H. 1926. W obronie „Zakładów Kórnickich” Fundacji Narodowej Zamoyskich. Uwagi, przestrogi i ocena pierwszego sprawozdania. Nakładem autora, Warszawa.
- Wilczyński H. 1927. Obrony „Zakładów Kórnickich” Fundacji Narodowej Zamoyskich ciąg dalszy. Nakładem autora, Warszawa.
- Wilgan R. 2022. Interakcje pomiędzy obcymi gatunkami drzew liściastych a rodzimymi symbiontami mykoryzowymi. PhD thesis, Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Wilgan R., Leski T. 2022. Ectomycorrhizal assemblages of invasive *Quercus rubra* L. and non-invasive *Carya* Nutt. trees under common garden conditions in Europe. *Forests* 13(5): 676.
- Williams R.L. 2004. An intellectual biography of Élie-Abel Carrière (1818–1896). *Brittonia* 56(4): 365–374.
- Wróblewski A. 1928a. Park w Kórniku. *Przegląd Ogrodniczy* 3: 81–87; 4: 105–109.
- Wróblewski A. 1928b. Projekt organizacji Instytutu drzewoznawczego w Kórniku. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 2: 166–171.
- Wróblewski A. 1930. Wpływy zimy 1928/29 na roślinność drzewiastą w Kórniku. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 3: 33–48.
- Wróblewski A. 1936. Historia, charakter i zadania Ogrodów Kórnickich. *Wiadomości z Ogrodów Kórnickich* 1–2: 1–7.
- Zajac A., Zajac M. 2013. Fitogeografia i taksonomia drzewiastych Europy Środkowej i Bliskiego Wschodu w badaniach Instytutu Dendrologii PAN. In: D. Tomaszewski, A.M. Jagodziński (eds.), *Biologia i ekologia roślin drzewiastych*. Konferencja naukowa połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. Kórnik–Poznań, 21–23 października 2013 roku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 84–86.
- Zieliński J. 1997. 50-lecie pracy naukowej Profesora dr hab. Kazimierza Browicza. *Arboretum Kórnickie* 42: 7–29.
- Zieliński J. 2009a. Prof. Kazimierz Browicz (1925–2009). *Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego* 57: 9–11.
- Zieliński J. 2009b. Profesor Kazimierz Browicz (1925–2009). *Wiadomości Botaniczne* 53(3/4): 83–100.

Harnessing ArbNet, the global network of arboreta, for collaborative research and conservation

Andrea N. Brennan

ArbNet, Science and Conservation Department, The Morton Arboretum, 4100 Illinois Route 53, Lisle, IL 60532-1288, USA, abrennan@mortonarb.org

Abstract:

ArbNet, the award-winning, global community of arboreta and tree-focused professionals, is instrumental in helping establish, grow, and network nearly 1000 accredited arboreta across 43 countries. Through ArbNet, arboreta, tree-focused professionals, scientists, and conservationists connect and collaborate on high-impact global research in topics such as climate change, plant conservation, and ecology, to name a few. In support of this, ArbNet offers the only international arboretum accreditation program, a vast database of arboretum-related data, grant programs, comprehensive resource library, and a new initiative to better connect arboreta with research and conservation partners across the globe.

Introduction

At its core, “an arboretum is a living museum of trees and other woody plants curated by an organization that has a commitment to care for the collection and educate the public about trees and other woody plants” (ArbNet 2026a). More than just a collection of trees, arboreta of all sizes across the globe may conduct scientific research and conservation, engage in public outreach and education, and manage beautiful and often diverse tree collections (Rakow, Lee 2011, Smith, Harvey-Brown 2017, ArbNet 2026a). Arboreta can take many forms, from organizations whose primary purpose is to be an arboretum, to cemeteries, zoos, college and university campuses, and even entire city street tree systems, to name a few. In this way, arboreta and public gardens elevate and expand the numerous ecological, health, social, economic, and climate-change-mitigation benefits of trees (Turner-Skoff, Cavender 2019, Rakow et al. 2020, Donnelly 2022, Turner-Skoff et al. 2022).

ArbNet, the award-winning, global community of arboreta and tree-focused professionals, is instrumental in helping establish, grow, and network nearly 1000 accredited arboreta across 43 countries. Celebrating its 15th anniversary this year, this initiative was founded by The Morton Arboretum (outside of Chicago, IL, USA) in 2011, with the cooperation and endorsement of Botanic Gardens Conservation International and the American Public Gardens Association (ArbNet 2026b). ArbNet’s mission is “to foster the establishment and professionalism of arboreta; identify arboreta capable of participating or collaborating in certain

scientific, collections, or conservation activity; and advance the planting and conservation of trees” (ArbNet 2026b). This manuscript outlines the key programs, resources, and opportunities available to arboreta, scientists, conservationists, and tree-focused professionals through ArbNet.

The Morton Register of Arboreta

In order to bring awareness to tree-focused institutions, facilitate networking, and build professional partnerships, ArbNet created and maintains the Morton Register of Arboreta (The Morton Register of Arboreta 2026). This resource is a comprehensive, global database of arboreta, botanical gardens, and other similar organizations with a substantial focus on woody plants. As of August 2026, the Register lists over 2700 known arboreta throughout 100 countries, and includes extended profiles and information for all ArbNet-accredited arboreta.

ArbNet Arboretum Accreditation Program

The ArbNet Arboretum Accreditation Program establishes and shares a widely recognized set of industry standards to empower and unify the arboretum community around the world (ArbNet 2026c). The benefits of arboretum accreditation include:

- opportunities for scientific and conservation collaborations,
- increased access to funding,
- distinction in local and professional communities,
- motivation for planting more trees (both at the arboretum and in the surrounding community), and
- serving as a model for other arboreta and organizations.

To be inclusive of differing sizes and capacities of arboreta, the ArbNet Arboretum Accreditation Program has four levels, with criteria involving planning, governance, number of woody plant taxa, staff or volunteer support, educational programming, research, and conservation related to woody plants (tab. 1). Accreditation is free and renewal is required every five years.

The world’s arboreta

The ArbNet-accredited arboretum community has grown rapidly over the years (fig. 1) to nearly 1000 arboreta in 43 countries (fig. 2) as of August 2026.

While organizations whose primary purpose is to be an arboretum or botanical garden comprise the largest number of accreditations, the ArbNet Arboretum Accreditation Program has evolved into a highly diverse community of arboreta, with many different types of organizations committing to excellence in woody plant care, education, science, and conservation (fig. 3).

Tab. 1. Overview of the required criteria for the four different levels of the ArbNet Arboretum Accreditation Program

	L-I	L-II	L-III	L-IV
Arboretum plan				
Organizational or governance group				
Labeled tree and woody plant taxa				
25+				
100+				
500+				
Staff or volunteer support				
Volunteer or paid				
Paid management				
Curator				
Scientific or conservation staff				
Public dimension				
Public access and at least one event per year				
Enhanced public and educational programs				
Substantial educational programming				
Collections policy				
Collaboration with other organizations				
Collections data sharing with networked collections				
Tree science, planting, and conservation activities				
Substantial and integrated woody plant conservation (<i>ex situ</i> and <i>in situ</i>)				

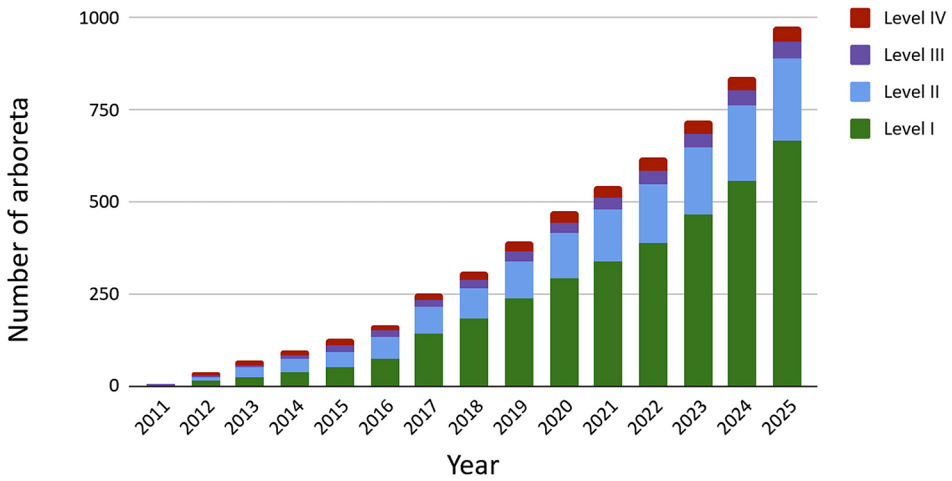


Fig. 1. Total number of ArbNet-accredited arboreta by the end of each year since ArbNet’s establishment in 2011 to 2025, by level of arboretum accreditation

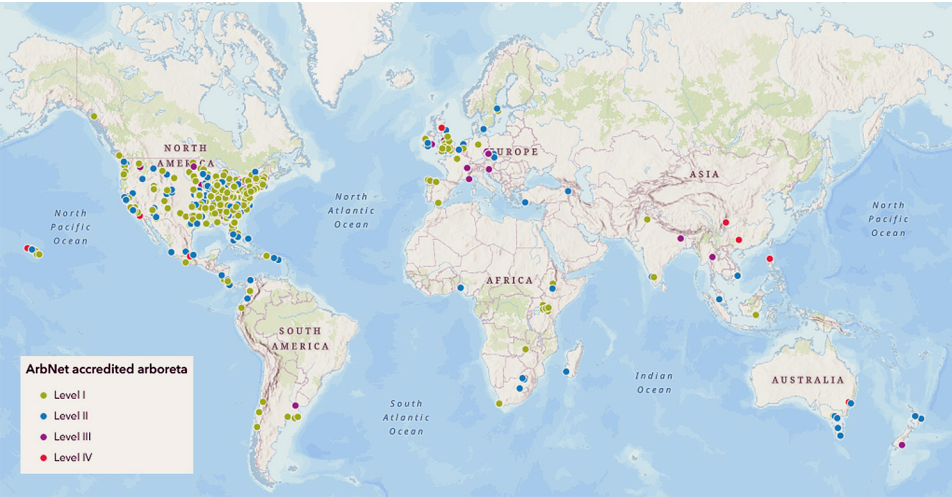


Fig. 2. Locations of ArbNet-accredited arboreta around the world by level as of August 14, 2026 (n = 993)

The inclusiveness afforded through this four-level program has enabled the innumerable benefits of trees (Cavender et al. 2019, Turner-Skoff, Cavender 2019) to reach and engage individuals and communities that might not normally be able to access more traditional types of arboreta. This, in turn, supports the positive influence of environmental learning, attitudes, and perceptions (Williams et al. 2015, Derewnicka, Vergou 2016, Zelenika et al. 2018).

ArbNet maintains an extensive database related to its accredited arboreta that is separate from The Morton Register of Arboreta. Select data from this database

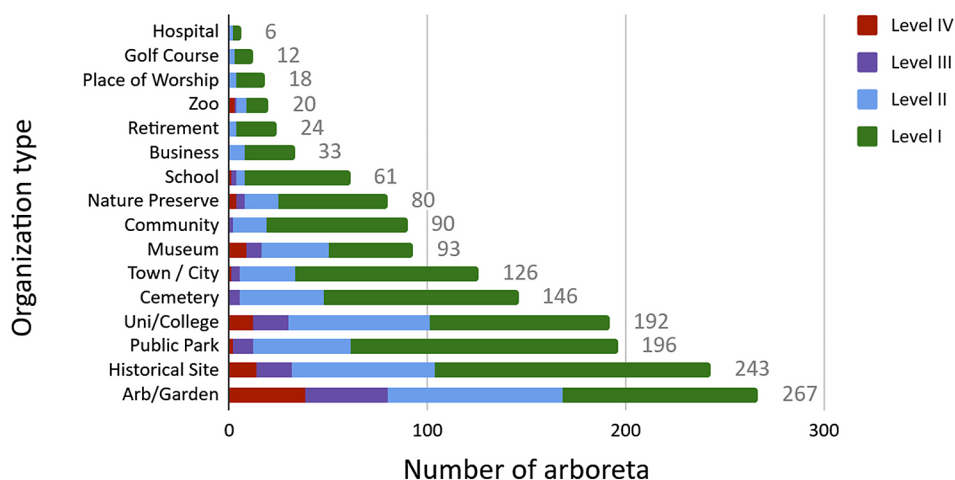


Fig. 3. Number of all ArbNet-accredited arboreta representing each type of organization, by level of arboretum accreditation as of August 14, 2026 (n = 993). Arboreta can belong to more than one category

can be made available, depending on the purpose and use plan, upon reasonable request from qualified researchers.

ArbNet resource library

ArbNet maintains and curates a comprehensive arboretum and tree-focused resource library of literature, guides, tools, templates, and examples (ArbNet 2026d). Resources are currently available in the following categories (which are also curated further into subcategories on each library topic page):

- arboretum management,
- education and public engagement,
- tree collections and management,
- labeling and mapping,
- tree science and conservation,
- funding opportunities,
- starting an arboretum,
- collaboration and networks,
- urban and community forestry,
- sustainability,
- climate change adaptation, and
- marketing and communications.

Included in the resource library are ArbNet-created arboretum tool kits which contain customized resources specifically for cemetery, city, school, and university/college arboretum types. Tool kits for additional arboretum types are planned for the future.

Collaborative research and conservation opportunities

Arboreta and botanical gardens are well-positioned to lead and support efforts to address today's greatest challenges, such as climate change, biodiversity loss, pollution, food insecurity, and social inequity (Miller et al. 2015, Blackmore 2017, Chen, Sun 2018, Cavender et al. 2019, Rakow et al. 2020, Kitching et al. 2023). To meet these challenges, arboreta, scientists, and conservationists must work together to enhance their present research and conservation efforts with collaborative, strategic action. ArbNet provides several opportunities to support such projects and partnerships (Donnelly 2022, Turner-Skoff et al. 2022).

Botanic Gardens Conservation International (BGCI) / ArbNet Partnership Programme

The BGCI/ArbNet Partnership Programme is a recurring, annual funding opportunity created in 2017 “to support collaborations between tree-focused botanic gardens and arboreta for the purpose of exchanging skills, resources and expertise to advance tree conservation efforts” (ArbNet 2026e). The grant awards are usually USD 2,500–5,000 and priority is given to collaborative tree conservation projects that target biodiversity hotspots, capacity building in developing countries, and/or international partnerships. Over the past nine years, 72 arboreta and botanical gardens have been awarded funding through the Partnership Programme.

Arboretum Research Partner Directory

The Arboretum Research Partner Directory is a new resource launched in 2026 by ArbNet, in partnership with the Tree Research and Education Endowment Fund (TREE Fund), to help connect researchers and conservationists with arboreta (Arboretum Research Partner Directory 2026). The creation of the directory was prompted by the 2024–2025 comprehensive evaluation of ArbNet, which revealed that many arboreta are interested in increasing their visibility as potential research and conservation project partners, and expanding their partnership opportunities. Additionally, many arboreta indicated that they did not feel that they had the capacity, expertise, or funds to lead those projects on their own, but nonetheless hold a strong interest in collaborative research and conservation and a willingness to share their valuable tree collections, data, and other resources of their arboretum with partners.

Through this initiative, ArbNet-accredited arboreta around the world have expressed their interest in collaborating on scientific and conservation projects in a variety of forms and at different scales by signing up to be included in the directory. These partnerships could include access to land, plant collections, plant material, and data; connection with scientific expertise; and/or project proposals and implementation, to name a few. Arboreta can also indicate scientific topics

of interest for collaboration, including various fields of plant science, ecology, climate, soil, wildlife, sustainability, aquatic sciences, and even social science (audience engagement, learning impact, behavior change, etc.). As of August 27, 2026, 119 accredited arboreta in 16 countries have signed up to participate and ArbNet has already begun receiving reports of partnerships being initiated and facilitated through use of the directory.

Other, time-bound collaborative opportunities

At any one moment, ArbNet is generally involved in one or more term-limited projects and special opportunities. These can include special grant-funded projects to support the arboretum community, opportunities to provide expertise and input on important tree-related topics and resource creation, targeted convenings for different arboretum topics and types of arboreta, and special funding opportunities. ArbNet's free, open-access quarterly newsletter provides updates on such opportunities and new resources that become available (ArbNet 2026f).

Conclusion

Arboreta strive to raise awareness about the importance of trees in supporting biodiversity and ecosystems, their role in mitigating climate change, and their cultural and historical significance. Across the globe all types and sizes of arboreta are conducting scientific research, participating in conservation activities, engaging in public outreach and education, and managing beautiful and often diverse tree collections. ArbNet seeks to support arboreta in these efforts and magnify their positive local and global impacts.

References

- ArbNet 2026a. What is an arboretum? <https://arbnet.org/about/what-is-an-arboretum/>.
- ArbNet 2026b. Mission and history. <https://arbnet.org/about-arbnet/mission-and-history>.
- ArbNet 2026c. ArbNet Arboretum Accreditation Program. <https://arbnet.org/accreditation/>.
- ArbNet 2026d. Resources. <https://arbnet.org/resources/>.
- ArbNet 2026e. BGCI/ArbNet Partnership Programme. <https://arbnet.org/projects/bgci-arbnet-partnership-programme/>.
- ArbNet 2026f. ArbNet Newsletter. <https://arbnet.org/about/newsletter/>.
- Arboretum Research Partner Directory 2026. Directory. <https://arbnet.org/projects/arboretum-research-partner-directory/>.
- Blackmore S. 2017. The future role of botanical gardens. *Scientia Danica. Series B, Biologica* 6: 285–297.
- Cavender N., Smith P., Marfleet K. 2019. The role of botanic gardens in urban greening and conserving urban biodiversity. BGCI Technical Review. Botanic Gardens Conservation International, Richmond.

- Chen G., Sun W. 2018. The role of botanical gardens in scientific research, conservation, and citizen science. *Plant Diversity* 40(4): 181–188.
- Derewnicka L., Vergou A. (eds.) 2016. Sharing science. *Roots* 13(1).
- Donnelly G. 2022. A time for trees, a time for arboreta. *Arnoldia* 79(1): 54–57.
- Kitching M., Sharrock S., Smith P. 2023. Purpose and trends in exchange of plant material between botanic gardens. BGCI Technical Review. Botanic Gardens Conservation International, Richmond.
- Miller A.J., Novy A., Glover J., Kellogg E.A., Maul J.E., Raven P., Wyse Jackson P. 2015. Expanding the role of botanical gardens in the future of food. *Nature Plants* 1: 15078.
- Rakow D., Lee S. (eds.) 2011. Public garden management: a complete guide to the planning and administration of botanical gardens and arboreta. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Rakow D.A., Gough M.Z., Lee S.A. 2020. Public gardens and livable cities. Cornell University Press, Ithaca.
- Smith P., Harvey-Brown Y. 2017. Defining the botanic garden, and how to measure performance and success. BGCI Technical Review. Botanic Gardens Conservation International, Richmond.
- The Morton Register of Arboreta 2026. Database. <https://arbnet.org/morton-register>.
- Turner-Skoff J.B., Cavender N. 2019. The benefits of trees for livable and sustainable communities. *Plants, People, Planet* 1(4): 323–335.
- Turner-Skoff J.B., Paist S., Byrne A., Westwood M. 2022. ArbNet: 10 years of fostering collaborations, furthering professionalism, and advancing the planting and conservation of trees through the global network of arboreta. *Plants, People, Planet* 4(2): 128–135.
- Williams S.J., Jones J.P.G., Gibbons J.M., Clubbe C. 2015. Botanic gardens can positively influence visitors' environmental attitudes. *Biodiversity and Conservation* 24(7): 1609–1620.
- Zelenika I., Moreau T., Lane O., Zhao J. 2018. Sustainability education in a botanical garden promotes environmental knowledge, attitudes and willingness to act. *Environmental Education Research* 24(11): 1581–1596.

Trends and perspectives in aerial extraction systems: possible pathways towards reduced impact logging

Rodolfo Picchio

*Department of Agricultural and Forest Sciences (DAFNE), University of Tuscia,
Via San Camillo de Lellis snc, 01100 Viterbo, Italy, r.picchio@unitus.it*

Abstract:

Cable yarder systems, though often overlooked, are at the core of the evolution of logging. The implementation of Forestry 4.0 technologies is underway, and recent developments are increasingly aligned with Forestry 5.0 principles, aiming to enhance the sustainability of forest operations. Initially, the introduction of cable yarding systems transformed timber harvesting operations on steep slopes, but nowadays these systems are often associated with flat areas too. Subsequent developments have led to substantial improvements in versatility of use, safety, productivity, and environmental performance. In detail, these new technologies make it possible to maintain economic viability in smaller operations, expected to become the norm in the future, by reducing machine costs and enabling faster relocation, all while ensuring increasingly strong environmental protection. This represents a further approach to sustainable forest operations.

Introduction

The development of mobile skyline yarders has primarily been associated with mountain forestry, where partial or full load suspension enables timber extraction on slopes that restrict the mobility and stability of ground-based equipment (Spinelli et al. 2021, Papandrea et al. 2023). Within the broader field of aerial extraction, cable-based systems remain especially relevant because they separate load movement from the need for an extraction machine to travel repeatedly through the stand. This functional distinction explains their established role on steep terrain and also the more recent interest in flat areas with soft or wet soils. In a survey of European cable-yarder manufacturers, 14 of the 15 respondents reported requests for flat-terrain applications; permanent or temporary inaccessibility, environmental considerations and regulatory constraints were the principal motivations reported by manufacturers (Erber, Spinelli 2020). The extension beyond mountain forestry is therefore not a change in the basic principle of cable extraction. It is an attempt to use suspension where ground traffic is technically or environmentally undesirable, provided that the cable system can still be installed and operated economically.

A mobile skyline yarder is a self-contained system that normally combines a carrier, tower, tower-raising mechanism, winches and the blocks, sheaves and

cables required by the selected rigging. The carrier supports and transports the yarding unit, but its present role extends further: its mass and undercarriage affect stability and access; its powertrain determines energy conversion and fuel use; and its electronic architecture connects machine control with operational data (Erber et al. 2025). Recent carrier development has followed three connected directions. The first is greater mobility and faster relocation, especially through excavator-based unguyed configurations. The second is hybridisation and electrification, which use energy recuperation to reduce fuel demand and emissions. The third is the use of the carrier and carriage as sources and platforms for machine and environmental data. Together, these developments may improve the feasibility of cable extraction in smaller operations while strengthening control over environmental and safety performance. The following sections trace this change from a specialised steep-terrain system towards a more flexible aerial-extraction platform, and then consider the conditions under which that change can constitute a pathway towards reduced-impact logging.

Widening the operating window of aerial extraction

The wider role now proposed for mobile skyline yarders is rooted in a long process of technical development. Motorisation that took place in the middle of the last century made cable equipment more mobile, and the first tower yarders combined tower, winch and power unit on a single vehicle. European manufacturers subsequently integrated hydraulic cranes, processing heads, rotating platforms and operator stations because landing space was often restrictive. Hydraulic power transmission improved machine control and made it possible to transfer part of the energy absorbed by one drum to another through interlock systems. These changes did more than increase the technical complexity of the machine. By reducing installation effort and coordinating yarding with landing-side handling, they shifted attention from the winch alone to the performance of the complete mobile system. The same logic continues in current carriers, where stability, relocation, processing and control functions are designed as parts of one operation.

Excavator-based unguyed yarders are one expression of this integration. They have become more common during the last 15 years, particularly in the Southern Hemisphere and North America, in response to steep-slope harvesting and to stands that are difficult to harvest economically with larger conventional equipment, including lower-volume stands and short steep slopes (Erber et al. 2025). A tracked excavator supplies a heavy base, off-road mobility and boom support. It is also a widely available machine that can be converted for yarding and, depending on the design, reconfigured for processing, loading or other work. Commercial arrangements range from a tower extension above the excavator boom with winches on the upper structure to detachable tower-and-winch units connected through quick couplers. Their practical advantage is therefore not simply greater carrier mass. It is the possibility of combining operational stability with a base machine that can be moved and retasked (Talbot et al. 2014).

Operating without tower guylines changes both installation and landing organisation. An unguyed carrier does not depend on suitable trees or stumps at the landing and avoids the time and cost of artificial anchors. This is relevant where neighbouring stands contain younger or smaller trees with insufficient anchoring capacity and where wet soils make the stability of trees and stumps uncertain (Erber, Spinelli 2020). Conventional corridor installation has been reported to require approximately 6 to 12 h, whereas line shifts averaged about 1 h in long-term Malaysian records and 1 to 1.5 h in a New Zealand study of excavator-based unguyed systems (Engelbrecht et al. 2017, Spinelli et al. 2022, Visser et al. 2024). The absence of guylines also leaves the area behind the yarder available for traffic and allows the machine to be repositioned if stacking space becomes insufficient. Faster line shifts can justify more frequent relocation and closer corridors, thereby shortening lateral yarding distance and reducing waiting by downstream machines (Engelbrecht et al. 2017, Visser et al. 2024).

The productivity evidence shows why this flexibility is important, but also why it cannot be generalised without reference to operating conditions. Twelve unguyed grapple yarders observed in Malaysian plantations completed more than 55,000 cycles. At a mean yarding distance of 103 m, with 4.6 pieces and 2.4 m³ per load, mean productivity was 63 m³ per productive hour (Engelbrecht et al. 2017). In New Zealand, three EMS Harvestline systems produced 58 to 86 t per productive machine hour at mean distances of 105 to 181 m and mean piece masses of 1.9 to 2.3 t. The associated model indicated approximately 100 t per productive hour at 100 m and 70 t at 200 m (Visser et al. 2024). These results were obtained with mechanised grapple yarding in plantation conditions and do not represent the output expected in every forest type. They identify the variables that govern the economic opportunity: line-shift time, yarding distance, piece size, load size and the coordination of the machines working at the landing.

Flat terrain presents a different set of constraints. Without a favourable slope, gravity cannot provide carriage movement in the same way as on an inclined corridor; a haulback line or self-propelled carriage is therefore required. Manufacturers also identified limited skyline clearance and the stability of trees used as anchors as central problems. Proposed adaptations include higher towers, artificial or machine anchors, three-drum systems, self-propelled carriages and mobile self-anchoring tail spars (Erber, Spinelli 2020). This means that flat-terrain cable yarding is not merely a steep-terrain system moved to level ground. Its configuration must create carriage control, clearance and anchoring without allowing installation costs to outweigh the benefit of avoiding traffic. The manufacturer survey concluded that cable yarding was not cost-competitive where ground-based machines could operate acceptably without subsidies. Its strongest niche is therefore on soft, wet or otherwise inaccessible sites where the consequences of repeated machine travel are the reason for selecting aerial extraction (Erber et al. 2025).

Mechanisation also changes worker exposure. Motorised, remotely controlled grapple carriages guided by onboard cameras can remove choker setters from the loading area. Combined with winch-assisted felling and processing machines,

this configuration has extended fully mechanised operations onto steep slopes and has been introduced specifically to improve occupational safety (Holzfeind et al. 2020, Varch et al. 2021b). Erber et al. (2025) also report that these systems require fewer personnel than larger conventional machines, which can reduce labour cost and respond to shortages of skilled workers. These outcomes belong to the complete harvesting configuration: the excavator carrier, camera-guided carriage and winch-assisted machines operate as a coordinated system rather than as independent substitutions.

Energy, information and reduced-impact operation

The next stage in this development concerns the energy used to move cables and loads. Most current mobile yarders employ diesel-hydraulic drivetrains, which are robust and well understood but lose energy through idling, conversion and braking. Cable yarding offers recurrent opportunities for recuperation because the movement of the carriage and the braking of drums can create a positive energy balance during parts of the cycle. Electrically powered slack-pulling carriages already use recovered energy, while hybrid carrier drivetrains can transfer it to other winches or store it for later work phases (Varch et al. 2021a, Leitner et al. 2022). Electrification also permits the combustion engine to operate within a more efficient load range and may allow engine downsizing. The potential environmental gain is therefore linked to the specific work cycle, not simply to the presence of an electric component.

Field measurements on a Koller K507e-H hybrid tower yarder covered 915 cycles in four closed-loop uphill configurations. The diesel generator operated for 38.2 to 73.6% of the recorded time, overall energy efficiency ranged from 35.3 to 41.4%, and a mean of 2.56 kWh was recovered per cycle. Estimated fuel savings ranged from 0.27 to 0.55 l m⁻³ (Cadei et al. 2021). A separate analytical simulation compared conventional and series-hybrid drivetrains in closed-loop uphill and downhill yarding. Under its baseline conditions, the model estimated fuel savings of 45% and 63% and greenhouse-gas reductions of 46 to 61%; sensitivity analysis retained a fuel saving of at least 22% across the tested variation in payload, geometry, friction, slope and cable pre-tension (Leitner et al. 2023). These results cannot be merged into a single expected saving. The field values describe one commercial machine and four setups, whereas the larger reductions are model outputs. Together they demonstrate technical potential and the need to report drivetrain, rigging, extraction direction and duty cycle whenever energy performance is compared (Erber et al. 2025).

The carrier is also becoming the main access point for operational information. Electronic control units communicate through the Controller Area Network, while onboard loggers or cloud systems can store production, fuel consumption, operating status, machine location and maintenance intervals. These data can support production control, condition-based maintenance and analysis of fuel and emissions over periods that exceed the practical limits of manual observation (Erber et al. 2025). Varch et al. (2023) tested the automatic delimitation of

tower-yarder work cycles from standard machine data. Mean cycle duration did not differ significantly from the video-based reference, but the association of processed pieces with individual yarding cycles remained difficult because delivery and processing were separated in time. Machine data can therefore improve the resolution and duration of monitoring, while interpretation still requires knowledge of how the actual operation is represented in the recorded signals.

Additional sensors extend this information from the machine to the surrounding forest. Carriage-based laser scanning has been tested for detecting standing trees and estimating tree dimensions along cable corridors. In the most favourable scan configuration evaluated by Gollob et al. (2023), more than 92% of trees within 10 m of the skyline were detected automatically in each of two stands; detection and measurement performance depended on point density, distance and occlusion. Terrestrial LiDAR data have also been used to simulate cable corridors and to compare alternative layouts, intermediate supports and environmental or ergonomic criteria before installation (Retzlaff et al. 2024a, b). In this form, the data pathway reconnects directly with reduced impact: it can help planners evaluate clearance, lateral yarding workload and residual-stand damage before the corridor is established. Its value depends on measurement quality and on field verification of the digital representation.

Simulation can connect corridor geometry and machine data with the behaviour of the wider harvesting system. Discrete-event models represent work phases, delays, queues and interactions among yarders, processors, loaders and transport, while hybrid models can combine event-based operation with other decision or process representations. They allow alternatives to be tested without repeated full-scale trials, but their conclusions remain conditional on the quality and representativeness of input data (Zamora-Cristales et al. 2026). Forest operations contain heterogeneous terrain, variable loads and disruptions that may be poorly described by limited datasets. Model structure, uncertainty and validation therefore need to remain transparent. Greater model complexity does not by itself provide greater accuracy, especially when the output affects cable forces, anchor selection, machine coordination or worker safety.

These energy and information pathways place cable yarding within the transition from Forestry 4.0 to Forestry 5.0. Forestry 4.0 supplies connected machines, sensors, automation and data-based planning. Forestry 5.0 adds an explicit concern for sustainability, resilience and human-centred technology. In the framework proposed by Holzinger et al. (2024), artificial intelligence should augment professional capability while humans retain control of decisions and responsibility for their consequences. For aerial extraction this distinction is concrete. An optimisation model may compare corridors, and sensor data may identify recurring delays or abnormal fuel use, but operators must still assess anchors, soil condition, changing loads and local hazards that are incompletely represented in the data. Digitalisation contributes to reduced-impact logging when it improves these decisions and makes their consequences more visible, not when it substitutes an unexplained output for field judgement.

Discussion

The emerging role of mobile skyline yarders in other contexts can be understood as a widening of the conditions under which aerial extraction is technically and economically feasible. On steep terrain, their established advantage is the ability to move partly or fully suspended loads where ground-based machines face mobility and stability limits. Unguyed excavator carriers, faster relocation and grapple carriages extend that role to short slopes and smaller operational units. On flat terrain, the same principle becomes relevant where soft or wet soils make repeated extraction traffic undesirable. Hybrid drivetrains and machine data do not create a separate application; they improve energy and information management within these operations. The three directions are therefore parts of one trajectory from a specialised transport machine towards a configurable aerial-extraction system (Erber et al. 2025).

Reduced impact is not an intrinsic property of that trajectory. A hybrid drivetrain can lower fuel consumption and noise, but the magnitude depends on cycle conditions and energy storage. An unguyed carrier can reduce line-shift time and anchoring requirements, while load suspension can avoid extraction traffic within the stand. On flat ground, however, achieving carriage control, clearance and anchoring may require additional drums, higher towers, artificial or machine anchors, or a mobile self-anchoring tail spar (Erber, Spinelli 2020). Each benefit must therefore be assessed against the documented requirements of the machine configuration and corridor design.

The economic case is equally conditional. Faster relocation reduces the share of installation time in short jobs, and a convertible excavator platform may be used for other tasks. These features can lower the volume required to justify a setup and are pertinent to farm forestry, fragmented ownership and lower-volume stands. They do not remove the effects of distance, payload, transport between sites or skilled-labour availability. The plantation benchmarks reported by Engelbrecht et al. (2017) and Visser et al. (2024) were associated with mechanised grapple loading, comparatively large pieces and short-to-moderate yarding distances. Visser et al. (2024) identify effective yarding distance and tree size as limitations, and Erber et al. (2025) note that excavator-based yarders still represent a substantial investment. The economic opportunity in smaller operations is therefore linked to the operating conditions documented for the complete system, not only to the use of an excavator carrier.

Planning and monitoring are the means by which these conditions can be made explicit. Machine records can show how much time and fuel are assigned to installation, production, delays and relocation. LiDAR-based corridor models can compare layouts before equipment enters the stand, and simulation can test the interaction of the yarder with processing and transport. Zamora-Cristales et al. (2026) identify data availability, heterogeneous datasets, model validation, uncertainty and transparency as continuing limitations of forest-engineering simulation. The resulting decision support is therefore credible only when input data, assumptions and uncertainty are documented and when outputs

are checked against field conditions (Retzlaff et al. 2024a, b, Zamora-Cristales et al. 2026).

The perspective suggested by Forestry 5.0 is consequently useful because it keeps the operator inside the technical system. Cable extraction relies on experience with terrain, trees, ropes, loads and landing organisation. Sensors and models can extend observation and improve consistency, while trained crews remain responsible for recognising changes that are absent from the digital description. Further development should focus on comparable machine-data standards, long-term field measurements of hybrid drivetrains, validation of corridor models and productivity studies in selective and small-scale operations. Such evidence would make it possible to specify where a new carrier, powertrain or sensor genuinely reduces impact and where a conventional cable or ground-based system remains the more appropriate choice.

Conclusions

Mobile skyline yarders are moving beyond their original role as specialised machines for steep mountain terrain. Excavator-based unguyed carriers can reduce anchoring requirements and relocation time; hybrid and electric drivetrains can recover energy within the yarding cycle; and machine and environmental data can improve monitoring and corridor planning. Together, these developments may support short steep-slope operations, smaller harvested units and selected flat, soft or wet sites where ground traffic is undesirable. They also offer specific routes to lower fuel use, reduced worker exposure and better control of where and how the operation affects the stand.

Their contribution to reduced-impact logging remains dependent on context. Stand structure, piece size, extraction distance, terrain, soil bearing capacity, anchoring, landing space, corridor design, capital cost and operator competence determine whether the potential becomes an operational advantage. Forestry 4.0 provides the connected machines and data needed to describe these conditions; Forestry 5.0 requires that they strengthen sustainable, resilient and human-centred decisions. The most credible pathway is therefore the deliberate matching of carrier, carriage, rigging, energy system, data and work organisation to each site.

References

- Cadei A., Mologni O., Marchi L., Sforza F., Röser D., Cavalli R., Grigolato S. 2021. Energy efficiency of a hybrid cable yarding system: a case study in the North-Eastern Italian Alps under real working conditions. *Journal of Agricultural Engineering* 52: 1185.
- Engelbrecht R., McEwan A., Spinelli R. 2017. A robust productivity model for grapple yarding in fast-growing tree plantations. *Forests* 8: 396.
- Erber G., Spinelli R. 2020. Timber extraction by cable yarding on flat and wet terrain: a survey of cable yarder manufacturer's experience. *Silva Fennica* 54: 10211.
- Erber G., Visser R., Leitner S., Harrill H., Spinelli R., Picchio R., Varch T., Stampfer K. 2025. Advances in cable yarding: a review of recent developments in carriers for mobile skyline cable yarding. *Current Forestry Reports* 11: 14.

- Gollob C., Krassnitzer R., Ritter T., et al. 2023. Measurement of individual tree parameters with carriage-based laser scanning in cable yarding operations. *Croatian Journal of Forest Engineering* 44: 401–417.
- Holzfeind T., Visser R., Chung W., Holzleitner F., Erber G. 2020. Development and benefits of winch-assist harvesting. *Current Forestry Reports* 6: 201–209.
- Holzinger A., Schweier J., Gollob C., et al. 2024. From Industry 5.0 to Forestry 5.0: bridging the gap with human-centered artificial intelligence. *Current Forestry Reports* 10: 442–455.
- Leitner S., Perez Estevez M.A., Renzi M., Spinelli R., Mazzetto F., Vidoni R. 2023. Tower yarder powertrain performance simulation analysis: electrification study. *European Journal of Forest Research* 142: 739–761.
- Leitner S., Renzi M., Spinelli R., Vidoni R. 2022. On the design of hybrid tower yarder drivetrains: a case study. *Forests* 13: 1520.
- Papandrea S.F., Stoilov S., Angelov G., Panicharova T., Mederski P.S., Proto A.R. 2023. Modeling productivity and estimating costs of processor tower yarder in shelterwood cutting of pine stand. *Forests* 14: 195.
- Retzlaff C.O., Gollob C., Nothdurft A., Stampfer K., Holzinger A. 2024a. Multi-objective optimization of cable-road layouts in smart forestry. *International Journal of Forest Engineering* 35: 444–455.
- Retzlaff C.O., Gollob C., Nothdurft A., Stampfer K., Holzinger A. 2024b. Simulating cable corridors based on terrestrial LiDAR data. *European Journal of Forest Research* 143: 1083–1095.
- Spinelli R., Magagnotti N., Cosola G., Engler B., Leitner S., Vidoni R. 2022. Fuel and time consumption in Alpine cable yarder operations. *Forests* 13: 1394.
- Spinelli R., Magagnotti N., Cosola G., Labelle E.R., Visser R., Erber G. 2021. The effect of yarding technique on yarding productivity and cost: conventional single-hitch suspension vs. horizontal double-hitch suspension. *Croatian Journal of Forest Engineering* 42: 369–380.
- Talbot B., Tarp P., Nitteberg M. 2014. Selecting an appropriate excavator-based yarder concept for Norwegian conditions through the analytic hierarchy process. *International Journal of Forest Engineering* 25: 113–123.
- Varch T., Erber G., Spinelli R., Magagnotti N., Stampfer K. 2021a. Productivity, fuel consumption and cost in whole tree cable yarding: conventional diesel carriage versus electrical energy-recuperating carriage. *International Journal of Forest Engineering* 32: 20–30.
- Varch T., Erber G., Visser R., Spinelli R., Harrill H., Stampfer K. 2021b. Advances in cable yarding: a review of recent developments in skyline carriage technology. *Current Forestry Reports* 7: 181–194.
- Varch T., Malle D., Erber G., Gollob C., Spinelli R., Visser R., Holzinger A., Stampfer K. 2023. A prototype for automated delimitation of work cycles from machine sensor data in cable yarding operations. *Croatian Journal of Forest Engineering* 44: 233–243.
- Visser R., Abeyratne H., Spinelli R. 2024. Productivity benchmarks for unguyed excavator-based tower yarders. *International Journal of Forest Engineering* 35: 421–427.
- Zamora-Cristales R., Kogler C., Sessions J., Väättäinen K., Contreras M., Alzamora R.M., Spinelli R. 2026. Simulation in forest engineering: planning the next generation of forest operations and logistics for the challenges of the XXI century. *Current Forestry Reports* 12: 8.

Botanical gardens as places to study and communicate climate change: Progress and prospects

Richard B. Primack^{1*}, Elizabeth R. Ellwood², Amanda S. Gallinat³,
Abraham J. Miller-Rushing⁴

¹Department of Biology, Boston University, 5 Cummington Mall, Boston, MA 02215, USA,
[*primack@bu.edu](mailto:primack@bu.edu)

²iDigBio, Florida Museum of Natural History, University of Florida, Dickinson Hall,
1659 Museum Road, Gainesville, FL 32611-7800, USA

³Department of Environmental Studies, Colby College, 4000 Mayflower Hill Drive, Waterville,
ME 04901, USA

⁴US National Park Service, Acadia National Park, 20 McFarland Hill Drive, Bar Harbor,
ME 04609-0177, USA

Abstract:

Botanical gardens occupy a unique position in climate change science. They hold taxonomically and biogeographically diverse living collections grown side by side under shared conditions, archives that can reach back centuries, specialist horticultural and botanical staff, and an audience of hundreds of millions of visitors a year. Over the past decade, these assets have been used to measure how plant phenology, anatomy, and physiology track a warming climate, and to test why species differ in their responses. Progress has come both from new tools – e.g., phylogenetic and trait-based analyses, digitized herbarium collections, machine learning, and dormant-twig experiments – and from new institutional arrangements, including multi-garden observation networks and alliances organized around climate adaptation. Gardens have also expanded community and citizen science, extending monitoring efforts well beyond what staff alone could achieve, while also giving visitors a direct stake in the research. Even so, the research potential of the world's gardens remains largely unrealized, particularly outside Europe and North America. Here we summarize what gardens have contributed to date, and where we think the most valuable next steps lie.

Introduction

Over the past 25 years, the scientific community has described a range of ways that climate change affects plants – influencing phenology, physiology, anatomy, and other aspects of plant ecology and evolution (Primack et al. 2021). The timing of plant leaf-out, flowering, fruiting, and senescence is changing, as are plant traits and carbon budgets (Gallinat et al. 2015, Sporbert et al. 2022). Climate change is also influencing plant conservation, with biologists taking actions to identify and preserve plant species most threatened by changing environmental conditions. As part of these efforts, scientists and educators are increasingly en-

gaging the public in botany and plant ecology, including through community and citizen science initiatives aimed at tracking plant responses to climate change (Ellwood et al. 2017). With the vast botanical resources they house and visitors they draw, botanical gardens are uniquely suited for timely climate change research, conservation, and public engagement (Krishnan, Novy 2016, Primack et al. 2021, Yajima et al. 2025).

Several features of botanical gardens allow researchers to answer questions they could not elsewhere. Botanical gardens are located around the world (fig. 1) and have large living collections of plants representing both diverse taxa and historical biogeographies growing in shared conditions. As such, botanical gardens can be used as common gardens where researchers can conduct unmatched comparative studies of plant physiology, anatomy, and responses to climate change (Primack et al. 2021, D'Antraccoli et al. 2023). Many botanical gardens also hold historical records that document plant responses to climate change over decades or centuries. Sometimes these specimens and records are linked to individual plants with known histories growing on garden grounds, again providing data that are difficult to find elsewhere (Miller-Rushing et al. 2006, Lang et al. 2019); while some historical records describe abiotic conditions, such as weather and

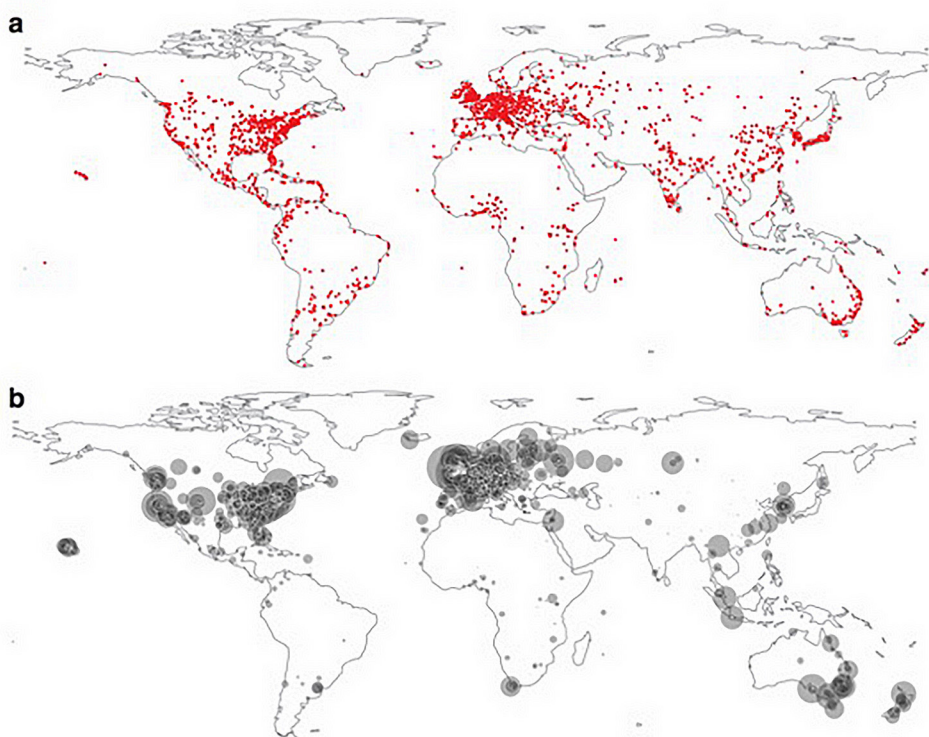


Fig. 1. (a) Thousands of botanical gardens are distributed throughout the world. (b) Concentrations of species are found in botanical gardens, particularly in Europe, North America, eastern Asia, and eastern Australia (from Mounce et al. 2017)

air quality, which can be used to examine plants' responses to climate change over long periods. Botanical gardens also facilitate connections among botanists, ecologists, students, and volunteers investigating plants through place-based research networks. By attracting hundreds of millions of visitors each year (Miller et al. 2020), and through their connections with local communities, botanical gardens serve as a point of outreach and exchange with the public, providing opportunities for people to learn about the impacts of climate change on plants and to participate in real research through community and citizen science.

Despite these advantages, we believe botanical gardens remain underutilized for climate change research. Here we review what gardens have contributed, focusing on work that draws on their distinctive features – diverse living collections, associated herbarium specimens and photographs, and documentation of where source material was collected – and we set out where we think effort is best directed next. This article condenses and updates a longer review published previously (Primack et al. 2021), to which we refer readers for fuller treatment of the topics covered here.

Phenology

Shifts in phenology – the timing of seasonal events like leafing out, flowering, fruiting, and leaf senescence – are among the most immediate and easily observed impacts of climate change on plants. However, many basic features of these shifts in plants remain unknown, including how species vary in their phenological sensitivity to environmental factors like temperature and precipitation, the extent to which evolution and environment constrain phenology, and which traits mediate interactions between plants and their environments. It has become increasingly common for botanical gardens to record the phenology of their living collections (fig. 2), and such monitoring is often matched with a renewed appreciation and rediscovery of past records of phenological monitoring at these gardens. This has resulted in publications demonstrating that plants at botanical gardens in temperate regions are now flowering and leafing out earlier in the spring than in the past as a result of warming temperatures (Du et al. 2017).

Explaining variation in phenological responses to climate change. An informal network of eight botanical gardens studied leaf phenology of 1597 tree, shrub and vine species, and fruit phenology for over 400 species, growing at gardens in North America, Europe, and Asia (Panchen et al. 2014, 2015, Gallinat et al. 2018). This research is unusual for the large number of species monitored at multiple botanical gardens using a standard protocol. The design allowed researchers to assess factors that drive variation in species responses to climate change, resulting in four key findings.

First, the studies reveal that the timing of phenological events varies substantially across species. For example, plant species vary by as much as three months in their leafing out times at individual botanical gardens, with some species leafing out in early March and others leafing out in early June.



Fig. 2. Phenological studies at botanical gardens now often cover the full range of major plant phenophases including, clockwise from top left: flowering, fruiting, leaf senescence, leaf out, and leaf senescence again

Second, these studies collectively show that leaf-out and fruit phenology are constrained across species – i.e., species tend to leaf out and fruit in the same sequence in different years and at different botanical gardens. By contrast, leaf senescence phenology (defined as the date when 50% of leaves had changed color or fallen) is much more flexible and is only weakly correlated across botanical gardens. This result suggests that leaf senescence may respond to a more varied set of environmental cues, including local site conditions, or may be a more plastic trait compared to leaf-out and fruit phenology.

Third, leaf-out times are related to functional characters of wood anatomy, and deciduous species tend to leaf out before evergreen species, both across large taxonomic groupings, such as angiosperms versus gymnosperms, and within particular genera.

Fourth, the studies found that leaf-out, flowering, and fruiting times exhibit moderate to strong phylogenetic signals, while leaf senescence does not. In other words, closely related species tend to leaf out, flower, and fruit at similar times to

one another, but this is not the case for leaf senescence, suggesting that there are evolutionary constraints on the extent to which phenology shifts under climate change.

Related work has also found that biogeography explains some of the variation in phenology. Within particular genera and families, species of eastern North America tend to leaf out later in the spring than species from Europe and East Asia (Zohner, Renner 2017), which may reflect that the more variable weather of eastern North America, and greater possibility of late-spring frosts, has selected for greater winter chilling and spring forcing requirements to help plants avoid damage.

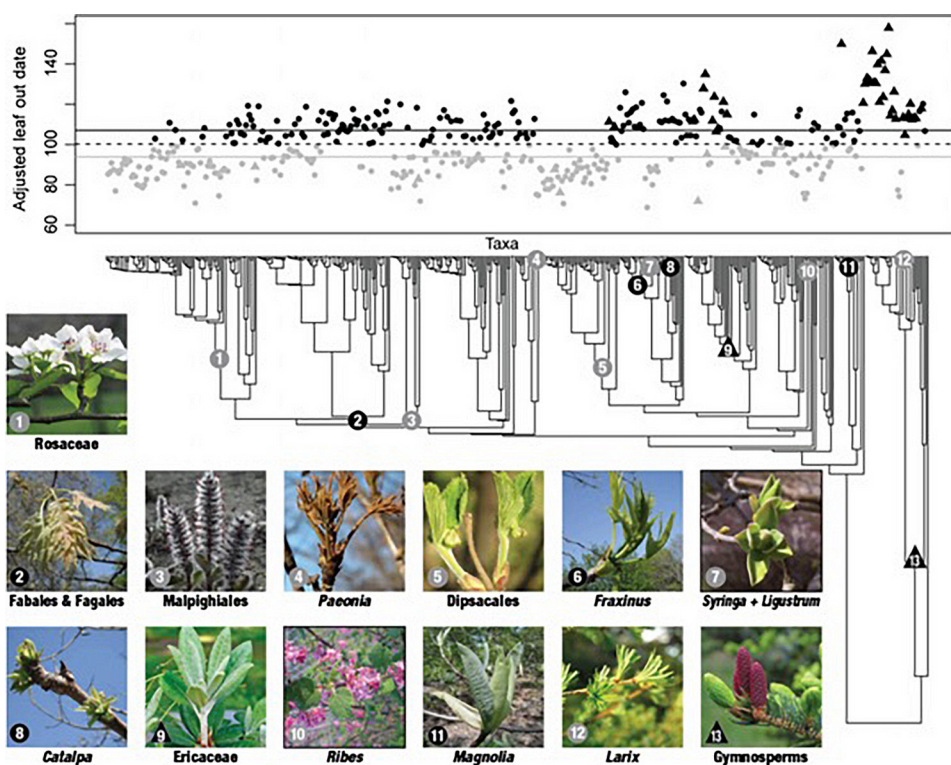


Fig. 3. Spring leaf out times are phylogenetically conserved, meaning closely related species tend to leaf out at similar times. The dotted line shows the mean date of leaf emergence for all species in this evolutionary tree. The solid black line indicates the date above which species leaf out significantly later than the average; the gray line indicates the date below which species leaf out significantly earlier. Black and gray dots represent species that leaf out late or early, respectively. Circles are deciduous species; triangles are evergreen. Numbers correspond to pictured clades; for example, species above number 1 are Rosaceae species that are primarily deciduous and leaf out early, and species above number 13 are Gymnosperms that are primarily evergreen and leaf out late (from Panchen et al. 2014)

Frost damage and stem anatomy. One of the greatest challenges faced by temperate deciduous plants in adapting to a changing climate is the trade-off between leafing out early enough to obtain the greatest carbon gain and maintain a competitive advantage, and avoiding leafing out so early as to incur tissue damage from late-season frosts (Polgar, Primack 2011). A research team at the Longenecker Horticultural Garden at the University of Wisconsin-Madison Arboretum documented the sensitivity of different woody species growing at their site to unusual periods of winter warming associated with climate change (Ladwig et al. 2019). Following six days of exceptionally warm weather in February 2017, they found that 45 of the 101 species they studied showed evidence of budbreak, exposing them to greater risk of frost. Frost risk itself is shifting unevenly, declining in North America but rising across Europe and Asia (Zohner et al. 2020). Because gardens grow many species well outside their native ranges, they are unusually well placed to reveal which traits confer frost tolerance, which is the piece missing from continental-scale estimates of frost risk.

Environmental triggers for the onset of spring activity. Spring leaf and flower phenology of many temperate plant species is regulated through a combination of winter chilling, spring warming, and daylength. Many plants have advanced their spring phenology with warming temperatures, but recent research suggests the strength of those advances is beginning to weaken, possibly due to unmet chilling and photoperiod requirements (Fu et al. 2015). Botanical gardens, with their diverse collections of plants, provide excellent sites to investigate when, where, and for which species chilling requirements and other factors will limit plants' phenological responses to climate, and how this might affect ecological relationships within and across taxa.

A promising technique involves cutting dormant twigs from plants in the living collections at botanical gardens and bringing them into the lab to examine the relative importance of factors determining spring leaf-out and flowering (fig. 4). Researchers cut the twigs at different times during the winter and early spring, place them in water in the lab, and expose them to different conditions, such as different temperatures and light environments (Primack et al. 2015, Vaughn et al. 2025). Using this technique, researchers have found that species vary considerably in their winter chilling requirements and the length of time needed to respond to spring forcing, and that photoperiod requirements may be much weaker or even absent for many species.

Autumn remains the least settled part of this picture. The proposal that higher growing-season productivity advances leaf senescence (Zani et al. 2020) has been actively contested (Norby 2021, Lu, Keenan 2022), and later work indicates that warming before and after the summer solstice has opposite effects on the onset and the duration of senescence (Zohner et al. 2023). These analyses rest largely on satellite and flux-tower data. Botanical gardens, where hundreds of species of known provenance grow side by side under the same conditions, offer a complementary test that few other sites can provide.



Fig. 4. Dormant twigs can be used for laboratory experiments to test the environmental determinants of plant phenology. (a) Dormant twigs being collected for an experiment. (b) Dormant twigs in controlled conditions. (c) Dormant twigs in a lab setting with natural and supplemental lighting. (d) Extended day length led to earlier leaf out in American beech

Traits, physiology, and anatomy

In addition to seasonal vegetative and reproductive timing, plants may exhibit climate-driven changes in other functional traits. Many anatomical and physiological plant traits vary along environmental gradients, suggesting that they may respond to climate change and allow plants to tolerate changing conditions around the world (Guittar et al. 2016). The diversity of living collections and specimens at botanical gardens can help researchers document the plasticity and role of plant functional traits in climate responses within and across species (Sporbert et al. 2022, Deilmann et al. 2024).

Water use efficiency and stomata. Increasing atmospheric CO₂ concentrations around the world are pushing plants to adapt their anatomy and physiology, and

this can be investigated at botanical gardens by looking at how water use efficiency and stomata vary among species and have changed over time (Miller-Rushing et al. 2009). In one study, researchers at the Arnold Arboretum compared leaves from contemporary specimens with those collected decades, or even a century, ago from the same individual trees (Miller-Rushing et al. 2009). They found that water use efficiency did not change over time, while stomatal density declined.

Interpreting comparisons of this kind increasingly depends on accounting for evolutionary history. Advances in phylogenetic tools (e.g. Smith, Walker 2019) and global trait databases such as TRY (Kattge et al. 2020) and BIEN (Maitner et al. 2018) let researchers test how functional traits and their evolutionary history mediate relationships between plants and their environments (Xu et al. 2025), and make sharper comparisons among groups such as deciduous and evergreen species, growth forms, and provenances. For understudied taxa, including many tropical species, botanical gardens may be among the best places to collect trait data in the first place.

Collections, networks, and shared data

Growing botanical garden networks. The power of comparative analyses at single botanical gardens is magnified by connections across gardens. Networks of botanical gardens allow researchers to study the same species growing in different locations under different present-day climate conditions, such as the pioneering efforts and valuable long-term records kept by the International Phenological Gardens (IPG) network, which was founded in 1957 and spans approximately 90 locations across Europe (Chmielewski et al. 2013). Recently, the network's data have been incorporated into larger data sets – e.g., the Pan European Phenological database (Templ et al. 2018) – and have supported a number of larger scale studies (Zani et al. 2020). Newer networks and programs in the United States also link observations across botanical gardens and other research sites – e.g., the National Phenology Network (www.usa-npn.org), Project Budburst (www.budburst.org), and iNaturalist (www.inaturalist.org). Informal networks focused on a specific research topic represent another approach (see Phenology above).

Improved access to herbarium specimens, photographs, and other historical records. Access to herbarium specimens, photographs, and historic observations is dramatically improving and researchers are identifying new ways to use them, often at botanical gardens, to provide data critical to climate change research (Younis et al. 2018, Pearson et al. 2020). In the past, researchers had to visit herbaria in person to examine large numbers of herbarium specimens covering broad regions. Now, tens of millions of herbarium specimens, collected from all around the world, have been imaged and are available online, including through the Global Biodiversity Information Facility (Heberling et al. 2021). This facilitates the combining of detailed observations and experiments from botanical gardens with the broad geographical perspectives supplied by herbarium specimens collected across regions, continents, and the world. Machine learning is now being used to score phenological state directly from specimen images at scales far beyond

what manual annotation allows, and the workflows for doing so are maturing quickly (Davis 2023, Ahlstrand et al. 2026). Additional specialized collections of preserved wood, seed, and pollen collected and stored at some gardens provide further under-explored research opportunities.

Conservation

Preserving rare species and genetic variation in living collections and seed banks. As the climate changes, botanical gardens are playing a growing role in preserving living collections and seed banks to store and maintain rare plants for later use in restorations and recovery in the wild (Wang et al. 2023, Brockington et al. 2026, Zhan et al. 2026). At an international level, these activities are coordinated by Botanic Gardens Conservation International (www.bgci.org). ArbNet similarly coordinates activities among arboreta, botanical gardens specializing in trees, shrubs, and vines (<http://www.arbnet.org/>). Roughly 350 botanical gardens also maintain seed collections (O'Donnell, Sharrock 2018), which can provide material for conservation activities. The value of this material is enhanced when collections include detailed records of where the parent material was collected (i.e., provenance) to ensure that there is a good match between the genotype and site conditions. Botanical garden seed collections also have special importance in facilitating the genetic adaptation of agricultural and timber crops to a changing climate (Smith 2019).

Ecology and managed relocation of rare species. Botanical gardens offer the opportunity to investigate the responses of rare species and populations at the edge of a species' range to climate change by measuring their performance in different climates across networks of botanical gardens. Studies at botanical gardens in Switzerland have demonstrated that rare species may be more susceptible to the damaging effects of a changing climate than common species (Vincent et al. 2020).

Experiments at botanical gardens can inform the potential use of managed relocation (also known as assisted migration or assisted colonization), in which individuals of rare and endangered species are introduced outside their current range in response to a changing climate (Ali, Trivedi 2011). This may be necessary because most plant species are not able to migrate fast enough to track the pace of a changing climate and are already being harmed by it (Corlett, Westcott 2013). Botanical gardens can take the lead in managed relocation efforts by growing species outside their historic ranges, testing new locations where they may be able to persist, developing methods to help species survive translocation, and screening species for potential invasiveness, pests, and diseases.

Botanical gardens, such as the Royal Botanic Gardens Victoria, Australia, are incorporating managed relocation-type methods into their landscape plans – planning to transition their living collections to species that are likely to succeed in future climate conditions (Kendal, Farrar 2017). In 2018, a group of botanical gardens formed the Climate Change Alliance of Botanic Gardens (CCABG) to promote collective preparedness for climate change in living botanical collections

(CCABG 2018). The Alliance has since grown to more than 500 member gardens, arboreta, and related organizations, and has released a climate assessment tool and a landscape succession toolkit to help members plan for the conditions their collections will face (Climate Change Alliance of Botanic Gardens 2022).

In addition, botanical gardens can monitor other ecological changes, including insects, fungi, and soil conditions. They have a special role to play as early warning systems to detect emerging plant pests and diseases, many of which are shifting their range due to climate change (Smith 2019).

Public engagement

Together, botanical gardens attract more than 500 million visitors each year and have thousands of dedicated volunteers (Miller et al. 2020). They engage visitors in free-choice learning and host student groups during field trips, which results in positive impacts on knowledge and environmental attitudes, including on topics specifically related to plants and climate change (Eberbach, Crowley 2017). Botanical gardens are making efforts to grow and improve these education programs (Suárez-López, Eugenio 2018). These efforts include engaging the public in projects related to climate change, biodiversity conservation, edible gardening, enhancing food security, and sharing personal stories about the value of trees to local communities (Vergou, Willison 2016). On a practical level, botanical gardens can communicate local stories of how they are changing the management of their gardens and the plants they grow in response to climate change, such as the need to water more frequently and the addition of new species of plants.

Community and citizen science. Botanical gardens have expanded their engagement of the public in monitoring the effects of climate change on plants in their living collections as part of community and citizen science projects (Miller, Derewnicka 2019; fig. 5). Most of these projects focus on phenology and encourage volunteers to record stages of plant life throughout the growing season, including leaf-out, flowering, fruiting, and leaf senescence. Some gardens tie these observations to past records to help people see how phenology has changed over time. In most cases, these observations follow established protocols, which allow data from different gardens (and other locations) to be combined, informing studies of phenological events over broad geographic areas (e.g., Denny et al. 2014). The availability of smart phone apps – like Nature’s Notebook, iNaturalist, and custom apps for specific gardens – has made it easier for more people to participate in these programs. The data these programs generate are now substantial enough to be tested against other sources of phenological information: a comparison in Denmark found that herbarium-derived and community science records detected broadly similar flowering responses to temperature, although each carried its own biases (Ahlstrand et al. 2022).

In addition to phenology, botanical gardens are engaging the public in studies of the impacts of climate change on pollinator communities (Prudic et al. 2022), in monitoring rare plant populations (Havens et al. 2012), and in the digitization of herbarium specimens used in climate change research (Willis et al. 2017).

Increased communication and public outreach. We recommend that botanical gardens continue to communicate about their efforts to preserve species threatened by climate change and the actions they are taking to adapt their gardens as climate conditions change. For example, gardens could prominently display species that are threatened by climate change in the wild. Additionally, they could collect and display species that are not currently hardy in their climate zones but will likely be hardy in coming years as the climate continues to warm (Friedman et al. 2016). As an example, in Boston, camellias (*Camellia* sp.), crepe myrtles (*Lagerstroemia* sp.), and fig trees (*Ficus carica*) are not generally hardy but will likely become so in coming decades. Botanical gardens could feature such species on their grounds, using them to highlight the effects of climate change, including noting when they survive winters or are killed by cold weather.

In recent years, botanical gardens have increased their investments to engage underserved audiences. It is increasingly recognized that diversity, equity, and inclusion are critical for climate change science, engagement, and action (Mason, Rigg 2019). Botanical gardens are situated to engage with underserved



Fig. 5. Methods for monitoring phenology, clockwise from top left: a drone being launched to monitor leaf out phenology at the Arnold Arboretum; volunteers at the Royal Botanic Garden Edinburgh evaluating plant phenology; students planting a phenology garden at their school, with support from the Chicago Botanic Garden; students learning to monitor phenology at the Chicago Botanic Garden

audiences – including children, low-income groups, and racial and ethnic minorities – in meaningful discussions and actions (including citizen science) related to climate change impacts that are relevant to these communities.

Priorities for the next decade

Broaden geographic distribution of climate change research and engagement. Climate change research in botanical gardens has been disproportionately concentrated in Europe and North America, and underrepresented in Africa and South America (fig. 1). The imbalance is not only between continents. Within Europe, gardens in the central and eastern part of the region hold substantial collections and long observational records, yet appear far less often in the climate change literature than gardens in western and northern Europe – a gap that can be closed, since the collections and records already exist (see fig. 1, from Mounce et al. 2017). Broadening the geographic distribution of climate change research at gardens will improve our understanding of how a greater diversity of species respond to a greater variety of climate conditions. This highlights the need to improve, establish, and support botanical gardens in under-studied regions and ecosystems, such as tropical rain forests, tropical dry forests, savannas, and deserts, in terms of their responses to climate change (Ho et al. 2024, Magaya, Fitchett 2026). When possible, well-resourced gardens could partner with gardens in under-represented regions – in the Global South and in central and eastern Europe – to encourage and support climate change research. Networks of botanical gardens should make additional efforts to include gardens from underrepresented regions.

Continued monitoring of phenology and other traits and digitization of historical records. We strongly urge botanical gardens to continue and expand programs to monitor their collections, especially for phenology, including more species, more phenophases, and more observers. Recent syntheses offer practical frameworks for establishing such long-term monitoring with living collections, including which variables to record and how to tie them to existing garden records (Yajima et al. 2025). For example, coring living trees and collecting wood samples to determine growth rates could complement historical trait information held in herbarium specimens, which generally focus on leaves and flowers. New observations in extreme climate conditions – including heat waves, drought, flooding, and lack of winter snowpack – will likely yield additional important insights. We also recommend that botanical gardens continue to digitize their past records, including records of when plants were planted and died, and make those records available online so they can be used in larger regional and international comparisons (Willis et al. 2017, Pearson et al. 2020).

More comprehensive and integrated studies of phenology. We recommend that botanical gardens expand their phenology research to include more herbaceous plants. There is a surprising paucity of studies on the leaf-out, leaf senescence, and fruiting times of herbaceous species at botanical gardens, even though they represent the greatest diversity of vascular plants in terrestrial ecosystems and are crucial for providing food for insects and other species. The PhenObs net-

work of botanical gardens, based in Germany, aims to correct this gap in our knowledge and provide standard methods for monitoring phenology (e.g., first leaf-out, which can be difficult) of herbaceous plants in botanical gardens (Nordt et al. 2021, Sporbert et al. 2022, Plos et al. 2026). The network is actively recruiting, and its protocol was designed to be workable with modest staff time, which makes joining it one of the most practical ways for a garden to start contributing.

Conclusion

Botanical gardens have a distinctive part to play in climate change science. They hold large, well-documented living collections that can be studied as common gardens, the botanical and horticultural expertise to interpret them, and an audience that arrives already interested in plants. New tools and new networks are widening what is possible. We encourage garden staff, researchers, and science communicators to keep working together to advance climate change-related science, conservation, and public engagement.

Acknowledgments

Funding was provided by a grant from the OPUS program of the U.S. National Science Foundation (NSF DEB 1950447). The findings and conclusions presented in this paper are those of the authors and do not necessarily reflect those of the U.S. Government or the U.S. Department of the Interior.

References

- Ahlstrand N.I., Primack R.B., Austin M.W., Panchen Z.A., Römermann C., Miller-Rushing A.J. 2026. The promise of digital herbarium specimens in large-scale phenology research. *New Phytologist* 251: 617–624.
- Ahlstrand N.I., Primack R.B., Tøttrup A.P. 2022. A comparison of herbarium and citizen science phenology datasets for detecting response of flowering time to climate change in Denmark. *International Journal of Biometeorology* 66: 849–862.
- Ali N.S., Trivedi C. 2011. Botanic gardens and climate change: a review of scientific activities at the Royal Botanic Gardens, Kew. *Biodiversity and Conservation* 20: 295–307.
- Brockington S.F., Malcolm P., Aiello A.S., et al. 2026. High-performance living plant collections require a globally integrated data ecosystem to meet twenty-first-century challenges. *Nature Plants* 12: 18–25.
- CCABG. 2018. Climate Change Alliance of Botanic Gardens Charter. Royal Botanic Gardens Victoria, Melbourne.
- Chmielewski F.M., Heider S., Moryson S., Bruns E. 2013. International phenological observation networks: concept of IPG and GPM. In: Schwartz M.D. (ed.), *Phenology: an integrative environmental science*. Springer, Dordrecht, 137–153.
- Climate Change Alliance of Botanic Gardens. 2022. Landscape succession for ‘climate ready’ botanic gardens: a landscape succession toolkit. Botanic Gardens Australia & New Zealand Ltd. Version 1.
- Corlett R.T., Westcott D.A. 2013. Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution* 28: 482–488.

- D'Antraccoli M., Weiger N., Cocchi L., Peruzzi L. 2023. The trees of the Pisa Botanic Garden under climate change scenarios: what are we walking into? *Sustainability* 15: 4585.
- Davis C.C. 2023. The herbarium of the future. *Trends in Ecology & Evolution* 38: 412–423.
- Deilmann T.J., Ulrich J., Römermann C. 2024. Habitat conditions filter stronger for functional traits than for phenology in herbaceous species. *Ecology and Evolution* 14: e11505.
- Denny E.G., Gerst K.L., Miller-Rushing A.J., Tierney G.L., Crimmins T.M., Enquist C.A.F., Guertin P., Rosemartin A.H., Schwartz M.D., Thomas K.A., Weltzin J.F. 2014. Standardized phenology monitoring methods to track plant and animal activity for science and resource management applications. *International Journal of Biometeorology* 58: 591–601.
- Du Y., Chen J., Willis C.G., Zhou Z., Liu T., Dai W., Zhao Y., Ma K. 2017. Phylogenetic conservatism and trait correlates of spring phenological responses to climate change in northeast China. *Ecology and Evolution* 7: 6747–6757.
- Eberbach C., Crowley K. 2017. From seeing to observing: how parents and children learn to see science in a botanical garden. *Journal of the Learning Sciences* 26: 608–642.
- Ellwood E.R., Crimmins T.M., Miller-Rushing A.J. 2017. Citizen science and conservation: recommendations for a rapidly moving field. *Biological Conservation* 208: 1–4.
- Friedman W.E., Dosmann M.S., Boland T.M., Boufford D.E., Donoghue M.J., Gapinski A., Hufford L., Meyer P.W., Pfister D.H. 2016. Developing an exemplary collection: a vision for the next century at the Arnold Arboretum of Harvard University. *Arnoldia* 73: 2–18.
- Fu Y.H., Zhao H., Piao S., et al. 2015. Declining global warming effects on the phenology of spring leaf unfolding. *Nature* 526: 104–107.
- Gallinat A.S., Primack R.B., Wagner D.L. 2015. Autumn, the neglected season in climate change research. *Trends in Ecology & Evolution* 30: 169–176.
- Gallinat A.S., Primack R.B., Willis C.G., Nordt B., Stevens A.D., Fahey R., Whitemore A.T., Du Y., Panchen Z.A. 2018. Patterns and predictors of fleshy fruit phenology at five international botanical gardens. *American Journal of Botany* 105: 1824–1834.
- Guittar J., Goldberg D., Klanderud K., Telford R.J., Vandvik V. 2016. Can trait patterns along gradients predict plant community responses to climate change? *Ecology* 97: 2791–2801.
- Havens K., Vitt P., Masi S. 2012. Citizen science on a local scale: the Plants of Concern program. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10: 321–323.
- Heberling J.M., Miller J.T., Noesgaard D., Weingart S.B., Schigel D. 2021. Data integration enables global biodiversity synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118: e2018093118.
- Ho B.C., Chia E.J.J., Chong K.Y., Tan J.S.Y., Tan W.X., Lai S., Choo T.Y.S., Tan P.Y., Er K.B.H. 2024. Changes in tropical leafing behaviour with climate change over nine decades: a case study from the Singapore Botanic Gardens. *Plants, People, Planet* 6: 1469–1479.
- Kattge J., Bönisch G., Díaz S., et al. 2020. TRY plant trait database – enhanced coverage and open access. *Global Change Biology* 26: 119–188.
- Kendal D., Farrar A. 2017. Assessment of the climate change risk to the living plant collections in the Melbourne Gardens, Royal Botanic Gardens Victoria. University of Melbourne and Royal Botanic Gardens Victoria, Melbourne.
- Krishnan S., Novy A. 2016. The role of botanic gardens in the twenty-first century. *CAB Reviews* 11: 1–10.
- Ladwig L.M., Chandler J.L., Guiden P.W., Henn J.J. 2019. Extreme winter warm event causes exceptionally early bud break for many woody species. *Ecosphere* 10: e02542.

- Lang P.L.M., Willems F.M., Scheepens J.F., Burbano H.A., Bossdorf O. 2019. Using herbaria to study global environmental change. *New Phytologist* 221: 110–122.
- Lu X., Keenan T.F. 2022. No evidence for a negative effect of growing season photosynthesis on leaf senescence timing. *Global Change Biology* 28: 3083–3093.
- Magaya S., Fitchett J.M. 2026. Acknowledging a Global South phenological science: the use of phenological and meteorological indicators in indigenous knowledge systems in rural South Africa. *International Journal of Biometeorology* 70: 128.
- Maitner B.S., Boyle B., Casler N., et al. 2018. The BIEN R package: a tool to access the Botanical Information and Ecology Network (BIEN) database. *Methods in Ecology and Evolution* 9: 373–379.
- Mason L.R., Rigg J. (eds.) 2019. *People and climate change: vulnerability, adaptation, and social justice*. Oxford University Press.
- Miller H., Bailey C., Smith P. 2020. BGCI technical review: the role of botanical gardens in practising and promoting environmental sustainability. *Botanic Gardens Conservation International*, Richmond.
- Miller H., Derewnicka L. 2019. Citizen science. *Roots* 16: 4–5.
- Miller-Rushing A.J., Primack R.B., Primack D., Mukunda S. 2006. Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming. *American Journal of Botany* 93: 1667–1674.
- Miller-Rushing A.J., Primack R.B., Templer P.H., Rathbone S., Mukunda S. 2009. Long-term relationships among atmospheric CO₂, stomata, and intrinsic water use efficiency in individual trees. *American Journal of Botany* 96: 1779–1786.
- Mounce R., Smith P., Brockington S. 2017. Ex situ conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. *Nature Plants* 3: 795–802.
- Norby R.J. 2021. Comment on “Increased growing-season productivity drives earlier autumn leaf senescence in temperate trees”. *Science* 371: eabg1438.
- Nordt B., Hensen I., Bucher S.F., et al. 2021. The PhenObs initiative: a standardised protocol for monitoring phenological responses to climate change using herbaceous plant species in botanical gardens. *Functional Ecology* 35: 821–834.
- O'Donnell K., Sharrock S. 2018. Botanic gardens complement agricultural gene bank in collecting and conserving plant genetic diversity. *Biopreservation and Biobanking* 16: 384–390.
- Panchen Z.A., Primack R.B., Gallinat A.S., Nordt B., Stevens A.D., Du Y., Fahey R. 2015. Substantial variation in leaf senescence times among 1360 temperate woody plant species: implications for phenology and ecosystem processes. *Annals of Botany* 116: 865–873.
- Panchen Z.A., Primack R.B., Nordt B., et al. 2014. Leaf out times of temperate woody plants are related to phylogeny, deciduousness, growth habit and wood anatomy. *New Phytologist* 203: 1208–1219.
- Pearson K.D., Nelson G., Aronson M.F.J., et al. 2020. Machine learning using digitized herbarium specimens to advance phenological research. *BioScience* 70: 610–620.
- Plos C., Hornick T., Dunker S., Sporbert M., Jakubka D., Nordt B., Lenk A., Walther F., Hensen I., Römermann C. 2026. Interspecific phenological variation in herbaceous species is more strongly reflected in vegetative traits than in floral traits. *Journal of Ecology* 114: e70370.
- Polgar C.A., Primack R.B. 2011. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems. *New Phytologist* 191: 926–941.
- Primack R.B., Ellwood E.R., Gallinat A.S., Miller-Rushing A.J. 2021. The growing and vital role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist* 231: 917–932.

- Primack R.B., Laube J., Gallinat A.S., Menzel A. 2015. From observations to experiments in phenology research: investigating climate change impacts on trees and shrubs using dormant twigs. *Annals of Botany* 116: 889–897.
- Prudic K.L., Cruz T.M.P., Winzer J.I.B., Oliver J.C., Melkonoff N.A., Verbais H., Hogan A. 2022. Botanical gardens are local hotspots for urban butterflies in arid environments. *Insects* 13: 865.
- Smith P. 2019. The challenge for botanic garden science. *Plants, People, Planet* 1: 38–43.
- Smith S.A., Walker J.F. 2019. PyPHLAWD: a Python tool for phylogenetic dataset construction. *Methods in Ecology and Evolution* 10: 104–108.
- Sporbert M., Jakubka D., Bucher S.F., et al. 2022. Functional traits influence patterns in vegetative and reproductive plant phenology – a multi-botanical garden study. *New Phytologist* 235: 2199–2210.
- Suárez-López R., Eugenio M. 2018. Wild botanic gardens as valuable resources for innovative environmental education programmes in Latin America. *Environmental Education Research* 24: 1102–1114.
- Templ B., Koch E., Bolmgren K., et al. 2018. Pan European Phenological database (PEP725): a single point of access for European data. *International Journal of Biometeorology* 62: 1109–1113.
- Vaughn S.R., Austin M.W., Primack R.B. 2025. Using easily reproducible twig experiments to quantify curvilinear temperature responses of flowering and leafing times. *American Journal of Botany* 112: e70079.
- Vergou A., Willison J. 2016. Relating social inclusion and environmental issues in botanic gardens. *Environmental Education Research* 22: 21–42.
- Vincent H., Bornand C.N., Kempel A., Fischer M. 2020. Rare species perform worse than widespread species under changed climate. *Biological Conservation* 246: 108586.
- Wang L., Zhan Q., Liao J., Huang H. 2023. Vascular plant diversity of National Key Protected Wild Plants, threatened species, and endemic species ex situ conserved in botanic gardens of China. *Biodiversity Science* 31: 22495.
- Willis C.G., Law E., Williams A.C., et al. 2017. CrowdCurio: an online crowdsourcing platform to facilitate climate change studies using herbarium specimens. *New Phytologist* 215: 479–488.
- Xu H., Song Y., Tan Y.H., He D., Yang Y., van Bodegom P.M., Peñuelas J., Pan Y., Chen L. 2025. Convergent strategies for leaf traits in tree species from divergent habitats. *Global Change Biology* 31: e70108.
- Yajima M., Murray M., Chondrogiannis C., Waldren S., McElwain J. 2025. A framework for long-term environmental monitoring using living plant collections in botanic gardens: a global review and case study from Trinity College Botanic Garden. *Plants, People, Planet* 7: 954–968.
- Younis S., Weiland C., Hoehndorf R., Dressler S., Hickler T., Seeger B., Schmidt M. 2018. Taxon and trait recognition from digitized herbarium specimens using deep convolutional neural networks. *Botany Letters* 165: 377–383.
- Zani D., Crowther T.W., Mo L., Renner S.S., Zohner C.M. 2020. Increased growing-season productivity drives earlier autumn leaf senescence in temperate trees. *Science* 370: 1066–1071.
- Zhan Y., Fan M., Yang X., Pan X., Sun M., Yang T., Antonelli A., Chen Z., Ye J. 2026. Data-driven optimisation of national botanical garden systems for ex situ conservation. *Biological Conservation* 316: 111762.
- Zohner C.M., Mirzagholi L., Renner S.S., et al. 2023. Effect of climate warming on the timing of autumn leaf senescence reverses after the summer solstice. *Science* 381: eadf5098.

- Zohner C.M., Mo L., Renner S.S., et al. 2020. Late-spring frost risk between 1959 and 2017 decreased in North America but increased in Europe and Asia. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117: 12192–12200.
- Zohner C.M., Renner S.S. 2017. Innately shorter vegetation periods in North American species explain native – non-native phenological asymmetries. *Nature Ecology & Evolution* 1: 1655–1660.

Maladaptation to changing environments in California oaks

Victoria L. Sork^{1,2*}, Ryan C. Buck^{1,3}, Alexander R.B. Goetz¹, Lily D. Peck¹

¹Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of California, Los Angeles, CA 90095-7239, USA, *vlork@ucla.edu

²Institute of the Environment and Sustainability, University of California, Los Angeles, CA 90095-1496, USA

³La Kretz Center for California Conservation Science, University of California, Los Angeles, CA 90095-1496, USA

Abstract:

Oaks are a remarkably resilient group of tree species that have dominated ecosystems across the Northern Hemisphere for over 50 million years. Yet the rapidly changing climate is exposing California oak populations to ever hotter and drier conditions that may profoundly differ from those to which they are locally adapted. California presents an excellent natural laboratory for understanding how oaks respond to these changes: its diverse landscapes support 21 oak species, nine of which are of conservation concern, and widespread restoration projects create the opportunity to consider new management approaches. In this paper, we discuss the potential for climate maladaptation at different biological scales: from the response of individual trees to differences among populations, and species-wide patterns. At the organismal level, we consider how physiological, epigenetic, and gene expression responses reveal how trees experience environmental stress, and their potential to buffer or exacerbate maladaptation. At the population level, we present evidence from a provenance study, in which trees sourced from across the species' range are grown together, showing that populations can differ in their growth under contemporary climatic conditions. At the species-wide level, we use climate-associated genetic variation across the landscape to identify regions where populations are most likely to become mismatched to future climates. Finally, we discuss how assisted gene flow, the movement of seeds between populations, could introduce trees better suited to future climates, thereby enhancing the resilience and long-term persistence of California oak ecosystems under climate change.

Introduction

Rapid climate change threatens many tree species because the immediate stress of new environments may outpace their ability to evolve to those conditions. Regardless of whether local populations are adapted to historical or current climates, they can become maladapted to rapidly changed environments (Aitken et al. 2008). Understanding maladaptation in trees is urgent to ameliorate population decline, loss of biodiversity, reduced carbon sequestration, and even extinction. However, while scores of studies have investigated local adaptation, few have

focused on maladaptation (Brady et al. 2019). Maladaptation is the reduction in fitness (i.e., reduced survival, growth, and reproduction), which can result from a mismatch between the traits of individuals in a population and their environment. As a result of natural selection, individuals are likely to possess genotypes and phenotypes adapted to their local environment at a given time point (fig. 1: T1). However, when the environment shifts (fig. 1: T2), trees are not able to move to a new and more suitable set of conditions and are consequently mismatched to their new environment. Maladaptation does not mean populations “fail to adapt” because selection on maladapted individuals can eventually favor traits that enable populations to become adapted to the new conditions. However, the initial mismatch between individuals and their altered environment results in maladaptation. Long-lived trees are particularly vulnerable to this temporal mismatch.

Individuals located in different parts of the species range are unlikely to respond to environmental change in the same way. Trees growing in a cool, wet environment are likely to be very different from those growing in warmer, drier environments (fig. 2). We would expect that individuals from these contrasting environments have different **organismal-level** responses, in that they have evolved different morphological (e.g., leaf thickness) or physiological (e.g., photosynthetic rate) phenotypes. These differences may result from genetic or epigenetic differences, or individuals may simply respond differently based on the environment they experience through phenotypic plasticity. If those differences affect how well trees grow and produce seeds in new environments, they influence the extent of maladaptation. At the **population level**, differences in response can be identified using common gardens, where seeds from families originating across the species range are grown in one place, experiencing the same climate. Such gardens reveal the extent to which trees from different climate origins differ in response and whether climate differences between the origin and garden sites affect their growth and reproduction, influencing the level of maladaptation that a population will experience. At the **species-wide level**, we can incorporate genetic differences across populations, associating this variation with geographic and climate

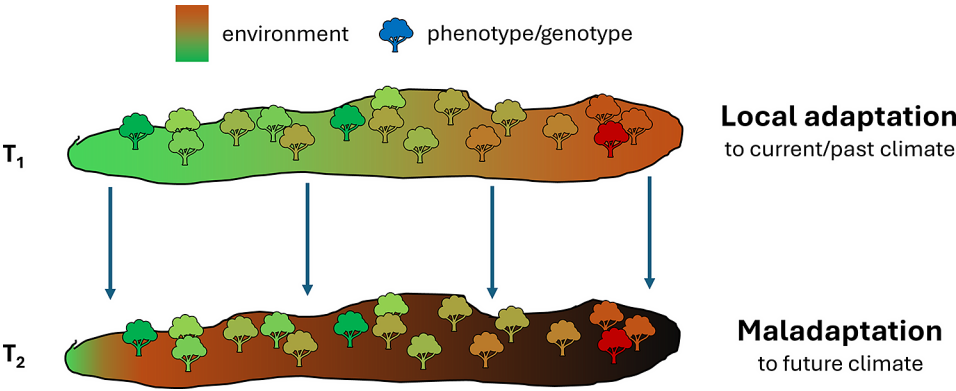


Fig. 1. Illustration of the mismatch of genotypes and phenotypes adapted to one environment and maladapted to a future different environment (taken from Sork et al. 2026)

gradients to map patterns of local adaptation. We can then use that information to predict future responses to climate change across the species range. Thus, maladaptation can be examined at the organismal, population, and species-wide levels.

The goal of this paper is to examine maladaptation at different biological levels using studies on California oaks (genus *Quercus*). Understanding how trees respond to climate change and the consequences of maladaptation can inform strategies for managing oak populations under stress to promote their persistence and maintain healthy oak ecosystems. Given the ecological importance of oaks in California and throughout the Northern Hemisphere (Cavender-Bares 2016, Kremer, Hipp 2020), we conclude by illustrating how assisted gene flow through the transfer of climate-adapted genotypes into vulnerable populations could enhance the resilience and long-term persistence of oak ecosystems under climate change.

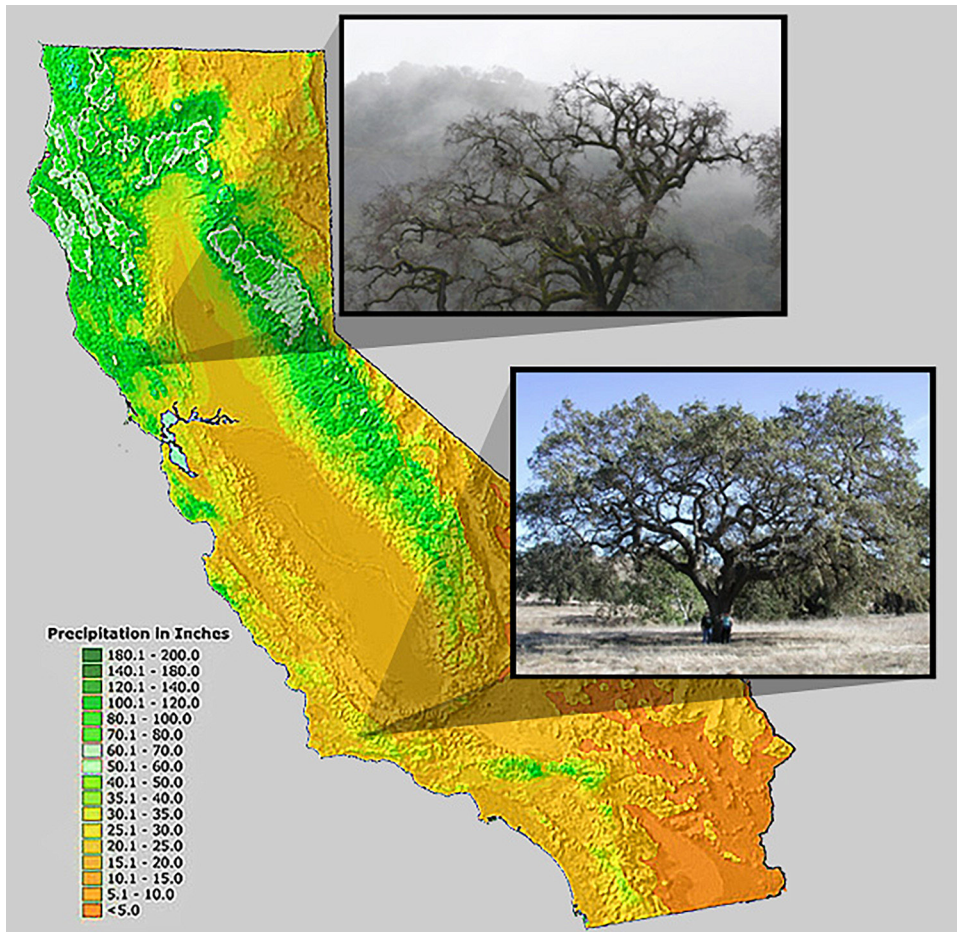


Fig. 2. Precipitation gradient in California, USA, and location of *Q. lobata* trees growing at different extremes of gradient

Potential for maladaptation across biological levels

Organismal response to climate change

Organisms can respond to changing environments by turning on and off genes. These changes in gene expression help produce physiological responses such as changes in photosynthesis, stomatal conductance, respiration rates, and drought tolerance. Gene activity can also be influenced by epigenetic processes, such as methylation of DNA sequences within or near specific genes, which can alter their expression without changing the underlying DNA sequence (Bräutigam et al. 2013, Klupczyńska, Ratajczak 2021, Peck, Sork 2024). Measuring physiological performance, gene expression, and DNA methylation can therefore reveal whether a tree is experiencing stress, how it responds to that stress, and whether populations differ in their responses.

California is predicted to have increased frequency of drought. Populations of the same species have experienced different climate histories and therefore may respond differently when exposed to the same environmental stress. Drought stress experiments using seedlings collected from different parts of the species range and grown under the same conditions offer a useful way to assess these differences in organismal response (fig. 3).

A drought stress experiment of *Quercus lobata* seedlings illustrates how different populations might differ in their climate response. Seedlings collected from six populations across California were grown in a greenhouse and subjected to drought. Surprisingly, all six populations showed similar physiological responses to water deprivation (Mead et al. 2019), but their molecular responses were very different. Across all populations, the same 689 genes responded to the stress,

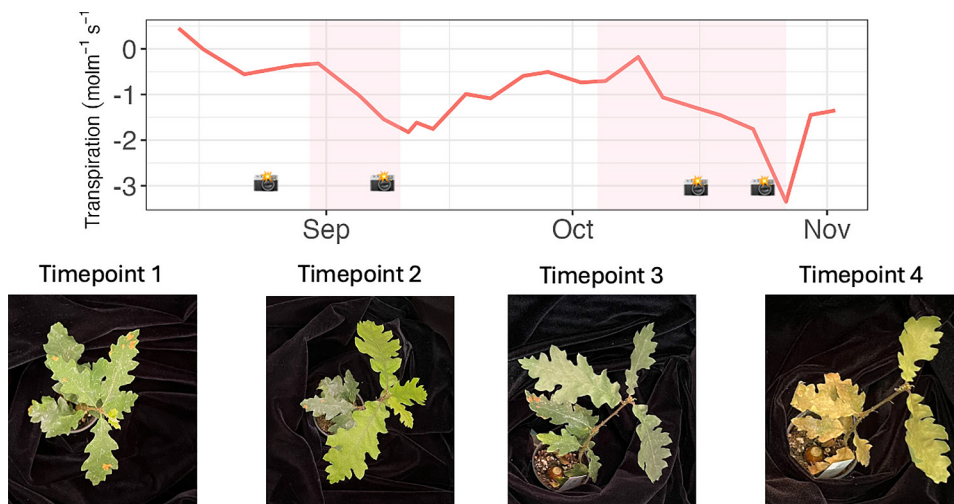


Fig. 3. *Quercus lobata* seedlings respond to soil drying, a drought stress treatment, and rehydration, through changes in their transpiration rates and in their chlorophyll observable in the seedlings over time. These changes are shaped by which genes are expressed or suppressed

but they changed their activity levels, while another 470 responded differently across populations. Remarkably, only five of these population-specific drought-responsive genes were shared between more than one population. This experiment demonstrates that different local populations will respond to climate change differently. Such studies provide evidence that selection may be acting on levels of methylation. Further experiments are needed to demonstrate whether these methylation changes cause phenotypic changes, but their presence can provide a signal that the plant is experiencing stress.

Epigenetic responses can also differ in response to environment. For example, we observed in *Q. lobata* that DNA methylation levels can differ between environments due to plasticity (Sork unpublished data) and that variation in methylation levels can correlate with temperature gradients across the species range (Gugger et al. 2016). Subsequently, we conducted an experiment to identify how *Q. lobata* responds to drought stress (Peck, Sork 2026), we exposed seedlings to two successive soil drying treatments. The first drought produced relatively little change, but after a second drought the response was much larger due to increases in the number of sites within the DNA sequence that became methylated (fig. 4A). Overall, genes with higher levels of methylation were significantly expressed at higher levels (fig. 4B). Most of these methylation changes were concentrated around genes and transposable elements, which are repetitive regions of the genome. These results suggest that repeated drought can alter how the oak genome is regulated, and that a tree's molecular response may depend partly on its previous exposure to environmental stress, or its level of maladaptation.

As climates change, studies of gene expression and DNA methylation could reveal aspects of environmental mismatch that are not immediately apparent from physiological measurements alone (Sork et al. 2026b). Gene-expression studies show that populations can respond to the same stress through different molecular pathways, while epigenetic studies reveal how genome regulation involving DNA

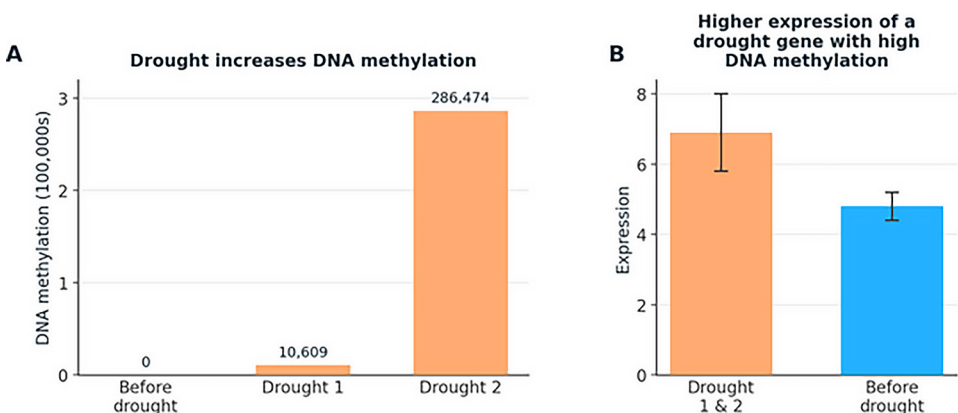


Fig. 4. Drought stress can stimulate methylation of DNA at sites throughout the genome. The increase begins with the first drought treatment, but after rehydrating the seedlings and then exposing them to a 2nd drought, the number of sites that are methylated increases log-fold and the genes involved show higher expression

methylation and transposable elements can change as individual trees experience repeated stress. Combined with measurements of growth, survival, and physiology, these approaches could identify populations whose responses are becoming poorly matched, or maladapted, to the environments they now experience.

Evidence of maladaptation across populations

Populations can differ in response to climate change due to a history of selection by local environmental conditions and resulting local adaptation. Common gardens provide a robust experimental design to detect local adaptation or maladaptation to current or future climate. Common garden provenance trials, in which plants from multiple source locations are planted under shared field conditions, are among the oldest methods used by foresters to guide silvicultural practices (Baldwin 1933), provide the ideal test of adaptation and maladaptation. In the context of climate change, common gardens allow us to compare performance among trees and determine whether some populations are better adapted to predicted future conditions than others (Matyas 1994, 1996, Aitken et al. 2008).

In 2012, Victoria Sork and Jessica Wright started a long-term common garden experiment of the widespread endemic oak of California, *Quercus lobata*, by collecting over 17,000 acorns from 673 trees located in 94 localities distributed across the species range (Delfino Mix et al. 2015). Acorns from each family were germinated (fig. 5) and then planted into two gardens located on USDA Forest Service experimental stations (fig. 6). These plots have been measured annually to assess differentiation among families in growth and survival under two environments.



Fig. 5. Germinated *Q. lobata* seedlings waiting to be transplanted into common gardens

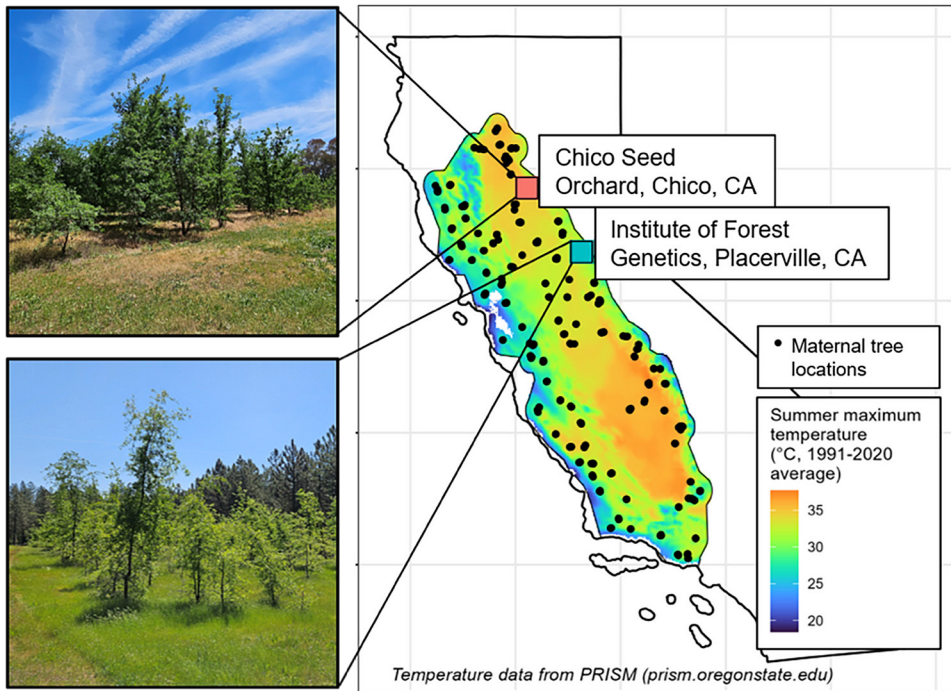


Fig. 6. Two common garden plots with 9-year-old *Quercus lobata* trees and map of the localities across the species range overlaid on the temperature gradient

Under a local adaptation hypothesis that trees are currently adapted to their local climate, we would expect that the best-growing trees in the common gardens should be those from origins with similar climates as the gardens (Callahan 1963, Mátyás 1996). We tested this hypothesis in *Q. lobata* through our common garden experiment (Goetz et al. 2026). If trees are adapted to current climates, the resulting pattern would show a roughly normal distribution of fitness along the temperature gradient, with the peak centered around a temperature difference of zero (fig. 7, dotted black curve). Instead, we found that the best-growing trees in the gardens were from hotter origins than the gardens (fig. 7, solid red curve). This pattern suggests that *Q. lobata* trees are maladapted to their current local environments and instead are adapted to cooler temperatures. When we extrapolated our findings to include theoretical cooler origin temperatures, we found that the hypothetical peak in fitness occurs close to the average temperature during the Last Glacial Maximum period (fig. 7, dotted red curve) (Karger et al. 2023). Therefore, we find evidence of an adaptational lag, possibly because climate adaptation has been outpaced by postglacial warming over the last ~20,000 years, and current populations are maladapted. This existing maladaptation foreshadows serious declines in future fitness resulting from rapid warming throughout the range of this California oak.

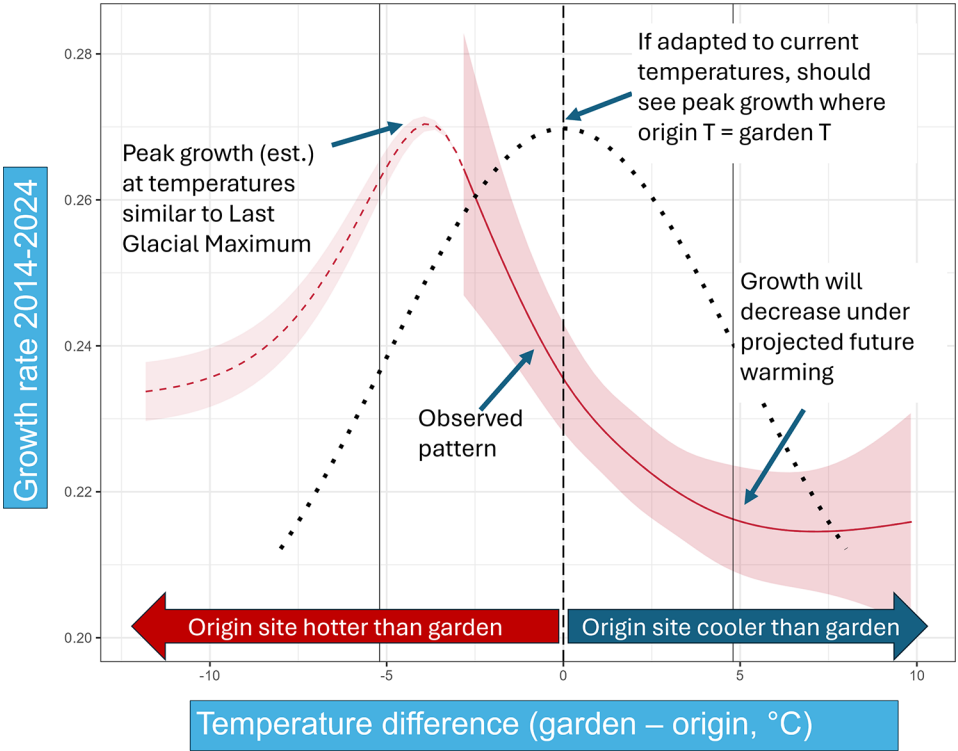


Fig. 7. Twelve-year common garden study shows evidence of lag-adaptation to summer temperature maxima in valley oak. Horizontal axis shows the range of temperature differences analyzed in the study. The area to the left of the dashed black line represents trees originating from sites with higher temperatures than the common gardens, while the area to the right of the dashed black line represents trees originating from sites cooler than the gardens. Under a local adaptation hypothesis, we would expect the highest growth in trees from sites that experience the same temperatures as the gardens (dotted black curve). Instead, we observed that trees from warmer environments than the gardens were the best growers, while trees from cooler environments than the gardens grew poorly (solid red curve). The dashed red curve represents a hypothetical extrapolation of where the fitness peak should occur, if the underlying relationship between growth and temperature has a roughly parabolic shape. We find that the best-growing trees should come from sites roughly 5 degrees warmer than the gardens, which is close to the average temperature change across the valley oak range between the Last Glacial Maximum (~21 kya; Karger et al. 2023) and the present. The growth metric shown here is cumulative relative growth rate between 2014 and 2024 (see Goetz et al. 2026)

Species-wide variation in maladaptation

Detecting the relative risk of maladaptation to climate at a species-wide level can be done through landscape genomic tools, which are the study of geographic patterns of genomic variation associated with climate gradients (Sork et al.

2013). Under the assumption that current populations are at least partially adapted to their current environments, associations between genetic variation and environmental variables, referred to as genotype-environment associations, can be made to reveal patterns of environmentally associated genetic variation. Regions of the genome that are significantly associated with a specific environment can be mapped across the species' range, revealing patterns of local adaptation. These current genotype-environment associations can then be carried forward in time with future climate models to predict where local adaptation will be disrupted (see fig. 1). Stands with a greater mismatch between their existing genotypes and future climates are deemed more at risk of maladaptation because of this disruption to local adaptation (fig. 8). Due to natural variation, some stands may have the genetic composition needed to persist under future climates, which we refer to as high "adaptedness" (*sensu* Allard 1988, but see Buck et al. 2026a, b, c for use), whereas other areas may experience relatively little climatic change. Further, some stands may have the genetic composition that matches the future climate of another location, in which case they would be ideal candidates for what we call climate-adapted seed transfer.

One example of this mismatch is illustrated by our landscape genomic study of coast live oak, *Quercus agrifolia*, another foundation oak species in California, conducted in collaboration with The Nature Conservancy. Our goal was to identify coast live oak stands that are more likely to be threatened by future climate change (Buck et al. 2026a). To draw these conclusions, we found that maximum temperature and climate water deficit, among other environmental variables, were strongly correlated with genetic variation at loci across the genome of *Q. agrifolia*. Our map of these associations revealed that stands in the northern- and southernmost portions of coast live oak's range are more at risk of maladaptation to future climates (fig. 9, red areas), while stands along the Central Coast may be pre-adapted (fig. 9, green areas). Thus, these patterns identify regions where *Q. agrifolia* is likely to be most maladapted to future climates.

Our genomic studies of California oaks demonstrate how landscape genomic tools can be used to assess the risk of maladaptation to future climate across a species' range. This risk reflects both spatial patterns of genetic variation due to local adaptation and the extent to which climate is predicted to change in those regions. We use these studies to inform strategies for managing and restoring oak populations at risk of maladaptation.

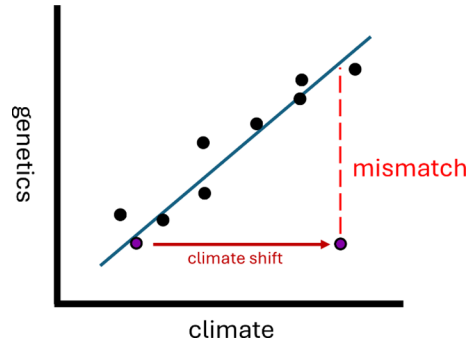


Fig. 8. Under the assumption of local adaptation, genetic gradients should be closely aligned with climate gradients (blue line). In a different climate, represented by the climate shifting (dark red arrow), the same genotype (purple dot) is now mismatched with the genetics needed for that climate

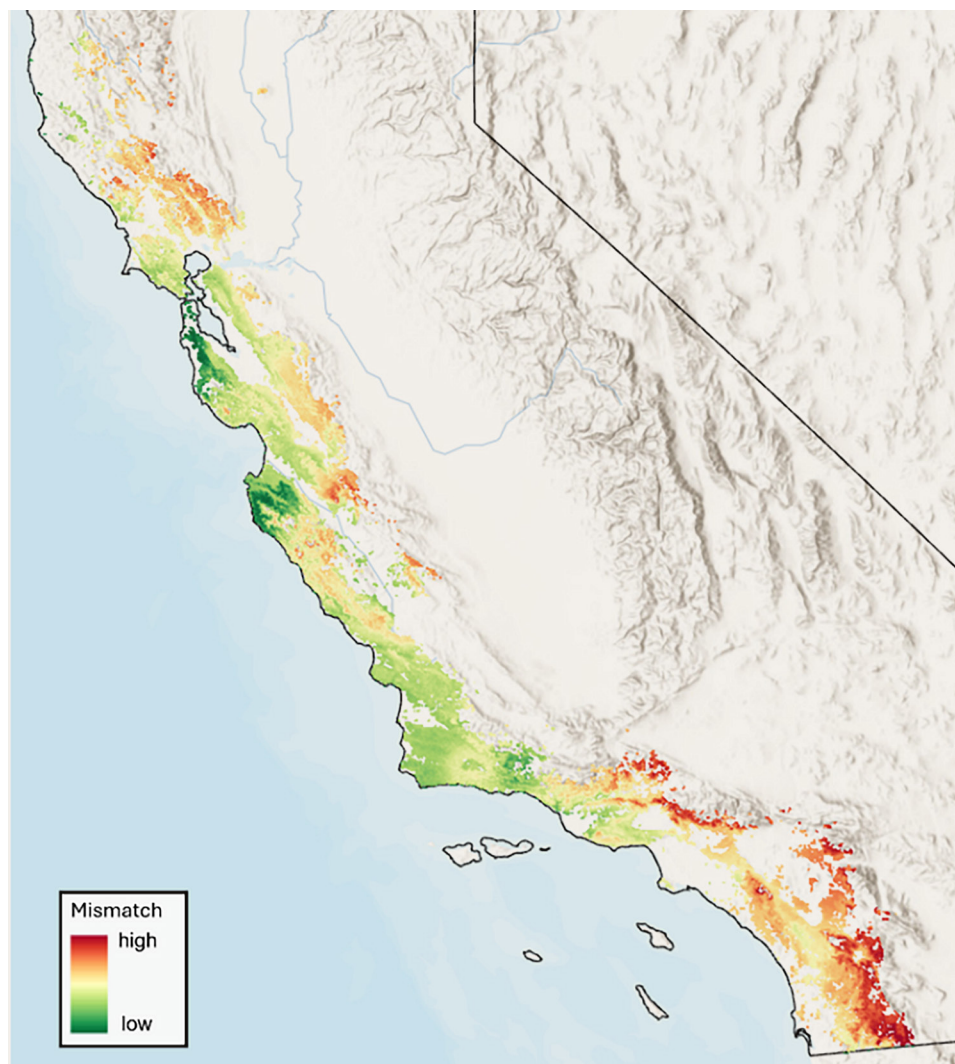


Fig. 9. Map of California with the distribution of *Quercus agrifolia* indicated by the colored portion of the map. The color gradients are produced by the landscape genomic models. Redder areas indicate stands more at risk for maladaptation to future climate, while greener areas indicate less risk (adapted from Buck et al. 2026a)

Restoring and managing oak populations

Recently, over ten million trees in California (20% of its forests) died in just two years in response to historically high wildfire and drought (Potter 2016). Many of those fire-destroyed regions will be restored by replanting trees. In addition, other oak ecosystems are being restored because their landscapes had been previously transformed into rangelands or agricultural lands and are now being

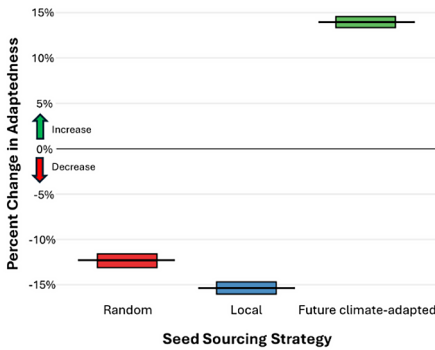


Fig. 10. Illustration of predicted consequences for changes in the adaptedness (inversely correlated with degree of maladaptation) of future oak populations of *Q. douglasii* as a consequence of three seed sourcing strategies: randomly sampled (red); locally sampled within 500 m of planting site (blue); and seeds with genotypes modeled to match predicted future climates (green). The percentage change is relative to the change expected if no action was taken in restoration sites. Each black horizontal line represents the mean percentage increase in adaptedness of each seed source strategy compared to doing nothing, with the box-plots indicating the 95% confidence intervals (modified from Sork et al. 2026a and Buck et al. 2026b)

restored back to their native ecosystem. Throughout California, governmental and nongovernmental organizations are purchasing and protecting land. In many cases, they are encountering problems with oak regeneration. In all these cases, resource managers are planting seeds or seedlings of oaks and other species to restore and manage those populations. Because oaks are ecosystem foundation species, the long-term success of those projects will rely on the use of genotypes that will be adapted to future climates so that the trees can grow and reproduce. Healthy future populations will support biodiversity and provide other ecosystem services.

One of the promising tools for restoration and management is assisted gene flow by transferring seeds or seedlings with genotypes adapted to future climates into vulnerable populations (Aitken, Whitlock 2013, Aitken, Bemmels 2016). These efforts can be informed by stress experiments in greenhouses, common garden studies, or landscape genomic studies. Our research team has demonstrated across a range of oak species and methods (Browne et al. 2019, Mead et al. 2024, Buck et al. 2026a, b, c, Goetz et al. 2026) that incorporating information about the genetic match between seeds and their planting environments into restoration and management strategies has the potential to reduce maladaptation of future populations.

We will illustrate the use of landscape genomic analyses for informing strategies for selecting seed sources for assisted gene flow with a study of *Q. douglasii*, which is another widespread, ecologically important oak species in California. Buck et al. (2026b) compared three different seed source strategies for restoring established oak populations (fig. 10). The first strategy would be to collect seeds randomly from the population with the assumption that underlying genetic variation will not affect the future fitness of the adult trees. The second strategy

would be to select seeds that are within 500 m of the planting site with the assumption that those genotypes will be locally adapted to the climate, soils, microbiome, and other local environmental factors. The third strategy would be to select seeds with genotypes that match the future climate of the planting site, and located within 50 km of the planting site. Our analysis indicates that the future climate-adapted seed source strategy would result in a significant increase in adaptedness (inversely correlated with degree of maladaptation) relative to no action and would therefore reduce future maladaptation.

We point out that a limitation of landscape genomic analyses is that the extent to which fitness would be reduced is difficult to predict without ground-truthing data. Nonetheless, this example illustrates the potential benefit of climate-adapted seed transfer as a management practice and demonstrates how landscape genomic information can help guide assisted gene flow under climate change.

Conclusions

Oaks, like other tree species, are likely to become maladapted to rapidly changing environments. This risk will not be uniform, and some local populations are likely to be more vulnerable due to different historical climates and differences in the magnitude of future climate change. Consequently, traits that were advantageous under past conditions may become increasingly mismatched to the environments that trees experience today and in the future. This maladaptation will be exhibited across biological scales. At the organismal level, physiological and molecular responses can reveal different stress responses, while at the population level, common garden studies can identify different population responses. At the species-wide level, landscape genomic approaches can identify where populations are most likely to become mismatched to future climates. These approaches together can help identify not only where maladaptation is likely to occur, but also which populations may contain traits better suited to future conditions. Yet, maladaptation need not simply signal future decline; with assisted gene flow, it can reveal opportunities to mitigate some of its effects. By understanding maladaptation, we can use that knowledge to build more resilient oaks for the future.

References

- Aitken S.N., Bemmels J.B. 2016. Time to get moving: assisted gene flow of forest trees. *Evolutionary Applications* 9: 271–290.
- Aitken S.N., Whitlock M.C. 2013. Assisted gene flow to facilitate local adaptation to climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 44: 367–388.
- Aitken S.N., Yeaman S., Holliday J.A., Wang T., Curtis-McLane S. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1: 95–111.
- Allard R.W. 1988. Genetic changes associated with the evolution of adaptedness in cultivated plants and their wild progenitors. *Journal of Heredity* 79: 225–238.
- Baldwin H.I. 1933. The importance of the origin of forest seeds. *Empire Forestry Journal* 12: 198–210.

- Brady S.P., Bolnick D.I., Angert A.L., et al. 2019. Causes of maladaptation. *Evolutionary Applications* 12: 1229–1242.
- Bräutigam K., Vining K.J., Lafon-Placette C., et al. 2013. Epigenetic regulation of adaptive responses of forest tree species to the environment. *Ecology and Evolution* 3: 399–415.
- Browne L., Wright J.W., Fitz-Gibbon S., Gugger P.F., Sork V.L. 2019. Adaptational lag to temperature in valley oak (*Quercus lobata*) can be mitigated by genome-informed assisted gene flow. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116: 25179–25185.
- Buck R.C., Butterfield H.S., Hiroyasu E., Howard J., Knapp J., Principe Z., Sork V.L. 2026a. Landscape genomic analyses of *Quercus agrifolia* Née predict patterns of adaptedness to future climate and provide guidance for conservation. *Evolutionary Applications* 19: e70322.
- Buck R.C., Butterfield H.S., Hiroyasu E.H.T., Howard J., Principe Z., Rose M.B., Sork V.L. 2026b. Applying both landscape genomic and ecological niche model predictions to inform conservation strategies of a California foundational oak species. *Molecular Ecology* 35: e70322.
- Buck R.C., Zapata D.J., Sork V.L. 2026c. Landscape genomic tools can inform future rootstock and farmland selection for an agricultural tree nut from its wild relatives. *Molecular Ecology* 35: e70420.
- Callahan R.Z. 1963. Provenance research: investigation of genetic diversity associated with geography. *Unasylva* 18(2–3): 2–12.
- Cavender-Bares J. 2016. Diversity, distribution, and ecosystem services of the North American oaks. *International Oaks* 27: 37–48.
- Delfino Mix A., Wright J.W., Gugger P.F., Liang C., Sork V.L. 2015. Establishing a range-wide provenance test in valley oak (*Quercus lobata* Née) at two California sites. In: Standiford R.B., Purcell K.L. (tech. coords), *Proceedings of the seventh California oak symposium: managing oak woodlands in a dynamic world*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-251. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Berkeley, 413–424.
- Goetz A.R.B., Ochoa M.E., Badillo B., Wright J.W., Sork V.L. 2026. Persistent adaptational lag to climate threatens future tree populations, but phenotype-informed assisted gene flow can mitigate its effects. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.64898/2026.02.06.704494>.
- Gugger P.F., Fitz-Gibbon S., Pellegrini M., Sork V.L. 2016. Species-wide patterns of DNA methylation variation in *Quercus lobata* and their association with climate gradients. *Molecular Ecology* 25: 1665–1680.
- Karger D.N., Nobis M.P., Normand S., Graham C.H., Zimmermann N.E. 2023. CHESA-TraCE21k – high-resolution (1-km) downscaled transient temperature and precipitation data since the Last Glacial Maximum. *Climate of the Past* 19: 439–456.
- Klupczyńska E.A., Ratajczak E. 2021. Can forest trees cope with climate change? Effects of DNA methylation on gene expression and adaptation to environmental change. *International Journal of Molecular Sciences* 22: 13524.
- Kremer A., Hipp A.L. 2020. Oaks: an evolutionary success story. *New Phytologist* 226: 987–1011.
- Matyas C. 1994. Modeling climate change effects with provenance test data. *Tree Physiology* 14: 797–804.
- Mátyás C. 1996. Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests. *Euphytica* 92: 45–54.
- Mead A., Fitz-Gibbon S., Knapp J., Sork V.L. 2024. Comparison of conservation strategies for California Channel Island oak (*Quercus tomentella*) using climate suitability predicted from genomic data. *Evolutionary Applications* 20: e70057.

- Mead A., Peñaloza Ramirez J., Bartlett M.K., Wright J.W., Sack L., Sork V.L. 2019. Seedling response to water stress in valley oak (*Quercus lobata*) is shaped by different gene networks across populations. *Molecular Ecology* 28: 5248–5264.
- Peck L.D., Sork V.L. 2024. Can DNA methylation shape climate response in trees? *Trends in Plant Science* 29: 1089–1102.
- Peck L.D., Sork V.L. 2026. CHH methylation is recruited to gene-proximal transposable elements during repeated drought stress. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.64898/2026.07.14.738593>.
- Potter C.S. 2016. Landsat image analysis of tree mortality in the southern Sierra Nevada region of California during the 2013–2015 drought. *Journal of Earth Science & Climatic Change* 7: 342.
- Sork V.L., Aitken S.N., Dyer R.J., Eckert A.J., Legendre P., Neale D.B. 2013. Putting the landscape into the genomics of trees: approaches for understanding local adaptation and population responses to changing climate. *Tree Genetics & Genomes* 9: 901–911.
- Sork V.L., Buck R.C., Goetz A. 2026a. Preserving oaks and oak ecosystems vulnerable to climate change. *International Oaks* 37: 165–174.
- Sork V.L., Buck R.C., Peck L.D. 2026b. Using genomics to inform management of tree populations in a warming world. *Journal of Forestry*. <https://doi.org/10.1007/s44392-026-00115-7>.

Las Modelowy w Obornikach jako żywe laboratorium. Korzenie, praktyka i wyzwania przyszłości

Jarosław Bator

*Nadleśnictwo Oborniki, ul. Gajowa 1, Dąbrówka Leśna, 64-600 Oborniki,
Jaroslaw.Bator@poznan.lasy.gov.pl*

Koncepcja lasów modelowych i Międzynarodowa Sieć Lasów Modelowych (International Model Forest Network)

Lasy Modelowe reprezentują oddolne, obywatelskie oraz instytucjonalne inicjatywy nakierowane na ochronę i zrównoważone użytkowanie zasobów naturalnych. Różnorodne grupy społeczne dobrowolnie współpracują w celu zdefiniowania spójnej wizji rozwoju wybranego regionu, budowania kompleksowych planów działania i ich konsekwentnej realizacji. Koncepcja lasu modelowego opiera się na sześciu filarach: partnerstwie, podejściu krajobrazowym, zrównoważonym rozwoju, przejrzystej strukturze zarządzania, planowaniu strategicznym oraz stałej wymianie wiedzy i doświadczeń. W ujęciu krajobrazowym lasy modelowe to konkretne przestrzenie, które łączą pełen wachlarz wartości przyrodniczych, kulturowych, społecznych i gospodarczych.

Światową koordynację nad tymi inicjatywami sprawuje Sekretariat Międzynarodowej Sieci Lasów Modelowych (IMFN – International Model Forest Network), utworzony w 1995 roku i prowadzony pod parasolem rządu Kanady przy wsparciu kanadyjskiej służby leśnej. IMFN skupia ponad 60 lasów modelowych w 30 krajach na pięciu kontynentach, obejmujących powierzchnię ponad 70 mln ha. Las Modelowy w Obornikach jest pierwszym i jedynym tego typu obszarem w Polsce, stanowiąc ważną część europejskiej sieci, obok inicjatyw ze Szwecji (Vilhelmina, Bergslagen, Helge å River) oraz Czech (Czech Republic Model Forest).

Geneza i rozwój Lasu Modelowego w Obornikach

W latach 2012–2014 Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Poznaniu była partnerem w projekcie „Baltic Landscapes in change – innovative approaches towards sustainable forested landscape” (skrótowo: Bałtycki Krajobraz). Jednym z założeń przedsięwzięcia było utworzenie lasu modelowego w granicach Polski. Spośród jednostek biorących udział w projekcie jedynie Nadleśnictwo Oborniki przeprowadziło pomyślnie proces utworzenia Lasu Modelowego w swoim zasięgu administracyjnym. Po oficjalnym wniosku złożonym przez RDLP w Poznaniu w marcu 2015 roku, decyzją dyrektora IMFN Petera Besseau 6 listopada

2015 roku Las Modelowy w Obornikach został oficjalnie przyjęty do Międzynarodowej Sieci Lasów Modelowych.

Pierwsza deklaracja partnerstwa, stanowiąca podstawę utworzenia Lasu Modelowego w Obornikach, została podpisana 15 września 2015 roku. Porozumienie skupiło 17 partnerów reprezentujących samorządy, uczelnie wyższe, instytucje ochrony środowiska i gospodarki wodnej oraz lokalne stowarzyszenia. W skład sygnatariuszy weszły m.in. Starostwo Powiatowe w Obornikach, Gmina Oborniki, Gmina Rogoźno i Gmina Ryczywół, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Poznaniu, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Poznaniu, Nadleśnictwo Oborniki oraz lokalne organizacje pozarządowe.

Struktura partnerstwa podlegała w ostatnich latach pewnym zmianom (wymogi formalne i potrzeby lokalne). W 2020 roku w miejsce Wielkopolskiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych do porozumienia przystąpiło Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie (RZGW w Poznaniu). W 2024 roku do inicjatywy dołączyło Stowarzyszenie Jezioro Rogozińskie, a swoją działalność zakończyło Towarzystwo Przyjaciół Rzeki Wełny. Bilans podmiotów zrzeszonych w 2026 roku wynosi nadal 17.

Kluczowe osiągnięcia i obszary działalności (2015–2022)

Działalność Lasu Modelowego w Obornikach koncentrowała się wokół trzech głównych filarów zapisanych w Planie Strategicznym: środowiska, edukacji i badań naukowych oraz turystyki i zagospodarowania przestrzennego.

Ochrona środowiska i gospodarka wodna. W ramach ochrony wód i ekosystemów odtworzono strefę buforową rzek Wełny i Flinty poprzez nasadzenia 6,3 km ciągów drzew (olcha, klon, lipa, dąb). Zaprzeszono niszczących prac melioracyjnych oraz usuwania drzewostanu ze stref brzegowych. Gmina Rogoźno przeprowadziła kompleksową rekultywację Jeziora Rogozińskiego (inaktywacja fosforu, aeracja, zarybienie drapieżnikami) oraz rozbudowała sieć kanalizacyjną (poziom skanalizowania aglomeracji przekroczył 98%). W Obornikach utworzono miejski skwer miododajny, a w ramach łagodzenia zmian klimatycznych wdrażano projekt Leśnych Gospodarstw Węglowych. Istotną inicjatywą obywatelską było także podjęcie projektu „Rzeka nie jest rzeczą”.

Edukacja i działalność naukowa. Wydano monografię naukową poświęconą dolinie Wełny i Flinty pod redakcją J. Batora, M. Gąbki i E. Jakubas. Opracowano kluczową dokumentację hydrologiczno-środowiskową pod kierunkiem prof. C. Przybyły dla LKP Puszcza Notecka. Przeprowadzono dwa szerokie projekty edukacyjne finansowane z Wielkopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego zakończone otwarciem nowoczesnego Multimedialnego Centrum Edukacji Leśnej w Nadleśnictwie Oborniki. Wydział Biologii UAM prowadził liczne prace badawcze oraz dyplomowe w dolinie Wełny. Organizowano cykliczne spotkania i konferencje z zakresu leśnictwa, ochrony przyrody i gospodarki wodnej.

Turystyka i zagospodarowanie przestrzenne. Rozwinięto infrastrukturę odpowiadającą na zapotrzebowanie społeczne (wyznaczenie szlaków nordic walking,

konnych, psich zaprzęgów, tras biegowych i kolarskich MTB). W 2019 roku utworzono Punkt Obsługi Turystów nad rzeką Wełną we współpracy z Powiatem Obornickim, Gminą Rogoźno i Nadleśnictwem Oborniki. Zapoczątkowano prace nad utworzeniem Parku Kulturowego w Dolinie Wełny oraz rewitalizacją zabytków (np. kolumny w miejscowości Wełna). Założenia Lasu Modelowego zintegrowano z ustaleniami miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego (np. w gminie Rogoźno MPZP pokrywa niemal 40% obszaru), zabezpieczając krajobrazy priorytetowe przed niekontrolowaną suburbanizacją.

Kontekst międzynarodowy, finansowanie i perspektywy rozwoju do 2030 roku

W 2023 roku rząd Kanady ogłosił trzyletnie finansowanie na rzecz wsparcia odpornego, innowacyjnego i zrównoważonego sektora leśnego. Finansowanie skupia się między innymi na wsparciu partnerów zagranicznych, w tym tych należących do Międzynarodowej Sieci Lasów Modelowych. Dofinansowanie obejmuje te inicjatywy, które przyczyniają się do rozwoju i doskonalenia leśnictwa w zakresie:

- łagodzenia skutków zmian klimatu,
- ochrony różnorodności biologicznej i zrównoważonego rozwoju,
- badań naukowych w dziedzinach dotyczących zasobów naturalnych, zwłaszcza związanych z lasami i leśnictwem,
- wymiany wiedzy i doświadczeń na poziomie lokalnym, krajowym i międzynarodowym.

Dzięki tym środkom w marcu 2025 roku Sekretariat IMFN sfinansował Międzynarodową Konferencję Lasu Modelowego w Obornikach. Kolejna dotacja w 2026 roku ma na celu utworzenie struktur sekretariatu regionalnego dla północnej i centralnej Europy (Boreal and Temperate Model Forest Network) z siedzibą w Czechach (południe kontynentu traktowane jest jako oddzielna strefa śródziemnomorska).

Priorytetem w dalszej działalności Lasu Modelowego w Obornikach jest realizacja założeń planu strategicznego.

Ogrody botaniczne znajdujące się na gruntach PGL LP

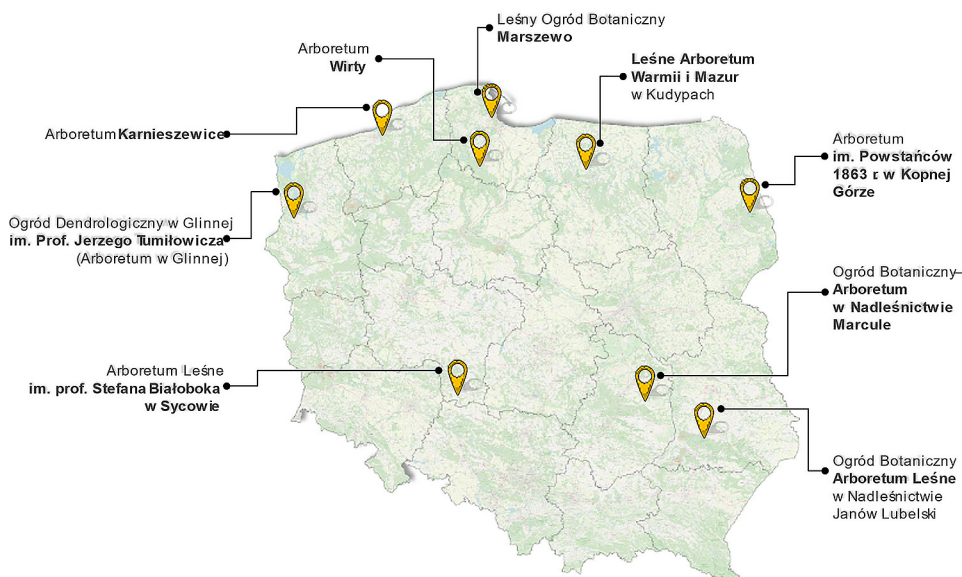
Jolanta Błasiak, Aleksandra Flis*

*Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, ul. Grójecka 127, 02-124 Warszawa,
jolanta.blasiak@lasy.gov.pl

Lasy Państwowe wśród wielu aktywności prowadzą także w wybranych jednostkach organizacyjnych ochronę *ex situ* wspierającą działania na rzecz restytucji wybranych gatunków roślin lub zachowania ich puli genetycznej. Zarządzają dziewięcioma ogrodami botanicznymi (zlokalizowanymi w nadleśnictwach: Kudypy, Kaliska, Gryfino, Syców, Gdańsk, Karnieszewice, Marcule, Janów Lubelski i Supraśl) oraz 13 arboretami (w nadleśnictwach: Cewice, Chmielnik, Kartuzy, Kwidzyn, Leśny Dwór, Lubsko, Strzebielino, Tuchola, Tułowice i Rzepin, w Leśnym Banku Genów Kostrzyca w Miłkowie, w Ośrodku Kultury Leśnej w Gołuchowie, a także Silvarium w Krynkach).

Obiekty te założone zostały na terenach dawnych szkółek, historycznych ogrodów lub po prostu w istniejących drzewostanach. Są różnej wielkości – od kilku do kilkuset hektarów; najstarsze powstały już w XIX wieku (Wirty w 1869 roku, Glinna w 1880, Karnieszewice w 1881), a najmłodsze w aktualnym stuleciu (Marszewo w 2010). W Lipnie koło Niemodlina w Nadleśnictwie Tułowice położony jest ogród dendrologiczny uznawany za najstarszy w Polsce, założony

Ogrody botaniczne znajdujące się w zarządzie PGL LP



w 1783 roku przez Jana Nepomucena Karola von Praschmę. Wchodzi w skład zespołu przyrodniczo-krajobrazowego „Lipno”, dzięki czemu stare drzewa rosną w specyficznym łagodnym mikroklimacie stworzonym przez otaczające je lasy.

W tym roku status Kolekcji Narodowej gatunków z rodzaju *Pinus* otrzymał ogród dendrologiczny przy Ośrodku Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Jeziorach Wysokich (Nadleśnictwo Lubsko, RDLP w Zielonej Górze). To pierwsza w historii Kolekcja Narodowa zlokalizowana na terenach Lasów Państwowych. Rosną w niej drzewa z 54 taksonów wyhodowane z nasion o udokumentowanym pochodzeniu. Pierwsze drzewa posadzono w 1997 roku.

Zagrożenia dla ekosystemów leśnych

Katarzyna Hutka

*Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Zespół Ochrony Lasu w Opolu, ul. Groszowicka 10,
45-517 Opole, katarzyna.hutka@lasy.gov.pl*

Współczesna ochrona lasu stoi przed szeregiem narastających zagrożeń wpływających na zdrowotność, stabilność i trwałość drzewostanów. Szczególne znaczenie mają czynniki abiotyczne i biotyczne, których oddziaływanie może prowadzić do osłabienia drzew, wzrostu podatności na zasiedlenie przez organizmy szkodliwe oraz postępującego zamierania drzewostanów. Jednym z najważniejszych problemów pozostaje deficyt wody, który może ograniczać możliwości regeneracyjne drzew i zwiększać ich podatność na patogeny grzybowe i szkodniki owadzie. Kolejnym problemem jest narastające występowanie jemioli, której silne zasiedlenie może dodatkowo pogłębiać osłabienie drzew.

W ochronie lasu coraz większe znaczenie ma także zagrożenie ze strony szkodników inwazyjnych i organizmów kwarantannowych, których pojawienie się może powodować poważne konsekwencje gospodarcze i fitosanitarne oraz wymagać szybkiego wykrywania i podejmowania działań ograniczających. To spore wyzwanie ze względu na możliwość szybkiego rozprzestrzeniania się oraz potencjalny brak naturalnych mechanizmów ograniczających.

Istotnym zagrożeniem pozostają również pożary lasów. Oprócz bezpośrednich strat powodowanych przez ogień szczególnego znaczenia nabiera stan drzewostanów i obszarów w okresie popożarowym, w tym zwiększone ryzyko zasiedlania uszkodzonych drzew przez szkodniki wtórne i możliwość dalszego zamierania drzew.

Problem stwarzają ponadto szkody wyrządzane przez zwierzynę, obejmujące m.in. zgryzanie, spalowanie, które mogą ograniczać odnowienie lasu, deformować młode drzewa oraz zwiększać koszty prowadzenia gospodarki leśnej.

Drzewa w postępowaniach administracyjnych

Marzena Pawłowska

*Referat ds. Przyrody i Leśnictwa, Wydział Ochrony Środowiska, Rolnictwa i Leśnictwa,
Starostwo Powiatowe w Poznaniu, ul. Jackowskiego 18, 60-509 Poznań,
marzena.pawlowska@powiat.poznan.pl*

Powiat poznański, największy pod względem liczby mieszkańców powiat ziemski w Polsce i największy obszarowo w województwie wielkopolskim, jest przykładem terenu, na którym intensywna presja urbanizacyjna i inwestycyjna zderza się ze znaczącym zasobem przyrodniczym. Nadzór nad gospodarką leśną w lasach niestanowiących własności Skarbu Państwa oraz wydawanie decyzji dotyczących usuwania drzew i krzewów na gruntach nieleśnych to dwa kluczowe zadania administracji powiatowej, w których wiedza przyrodnicza przekłada się bezpośrednio na treść rozstrzygnięć administracyjnych.

Podstawę prawną nadzoru stanowi ustawa o lasach. Praktyczne ograniczenia instrumentów administracyjnych obejmują między innymi brak możliwości powierzenia zadań nadzorczych podmiotom innym niż nadleśniczy Lasów Państwowych oraz brak mechanizmu wymuszającego sporządzanie uproszczonych planów urządzenia lasu przez właścicieli innych niż osoby fizyczne, co w praktyce prowadzi do funkcjonowania części lasów bez aktualnej dokumentacji urzędniczej. Starosta poznański sprawuje nadzór nad 6956 ha lasów niestanowiących własności Skarbu Państwa, w tym 2283 ha osób fizycznych, 376 ha osób prawnych oraz 4297 ha Leśnego Zakładu Doświadczalnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Nadzór głównie obejmuje zatwierdzanie i kontrolę realizacji uproszczonych planów urządzenia lasu, cechowanie pozyskanego drewna oraz wydawanie decyzji z zakresu gospodarki leśnej. W ostatniej dekadzie nastąpiło wyraźne pogorszenie stanu zdrowotnego drzewostanów wskutek wieloletnich susz, obniżenia poziomu wód gruntowych, uszkodzeń wiatrowych i nasilenia gradacji szkodników. Skutkuje to zmianą podejścia do wykonywania cięć rębnych – odchodzeniem od rębni zupełnych na rzecz rębni złożonych oraz ściślejszą kontrolą ekologiczną prowadzonych wycinek.

Starosta wydaje również decyzje dotyczące usuwania drzew i krzewów poza lasami na podstawie ustawy o ochronie przyrody. W 2025 roku wydano ponad 700 takich decyzji dla terenu obejmującego 17 gmin powiatu. Dominujące przyczyny usuwania drzew to: zamieranie (wysoki udział brzozy, lipy, topoli, sosny i świerka), zagrożenie bezpieczeństwa ludzi i mienia oraz realizacja inwestycji. Wnioski motywowane zagrożeniem bezpieczeństwa wynikają z odpowiedzialności cywilnej właściciela terenu za szkody wyrządzone przez drzewa. Najczęstsze przyczyny odmów wydania zezwolenia to brak potwierdzenia podanej we wniosku przyczyny usunięcia drzewa, domniemane zagrożenie

bezpieczeństwa oraz niewłaściwie zaprojektowane inwestycje (brak inwentaryzacji na etapie projektowania).

Kluczowe obszary zapotrzebowania pracowników administracji na wiedzę przyrodniczą obejmują: dobór materiału do nasadzeń zastępczych w warunkach zmiany klimatu i narastającego deficytu wody, adaptację dominujących w regionie drzewostanów do postępującej suszy oraz nadzór nad rozdrobnionymi lasami prywatnymi, tworzącymi obszar szczególnego ryzyka fitosanitarnego i pożarowego, gdzie granice własności nie stanowią bariery dla rozprzestrzeniania się patogenów czy szkodników.

Jako przykłady obiektów łączących funkcję ochronną i potencjał badawczy wskazano zabytkowe parki w zarządzie powiatu w Poznaniu: park przy Zespole Szkół w Rokietnicy z drzewostanem pomnikowym o obwodach pni dochodzących do 3 m; dwór i park w Skrzynkach z pomnikiem przyrody – dębem szypułkowym „Jan” oraz Park Orientacji Przestrzennej w Owińskach, nagrodzony w konkursie „Polska pięknieje”, łączący odtworzony ogród barokowy z aleją grabową z nowatorskimi rozwiązaniami służącymi oddziaływaniu na zmysły dzieci niewidomych.



Park Orientacji Przestrzennej w Owińskach (fot. Maciej Pawlik)

Sesja referatowa

Wpływ wilków, ludzi oraz struktury środowiska na intensywność żerowania jeleniowatych w ekosystemach leśnych

Zbigniew Borowski^{1*}, Krystian Szreder², Karol Zub³

¹Instytut Badawczy Leśnictwa, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, *z.borowski@ibles.waw.pl

²Nadleśnictwo Osusznica, Osusznica 3, 77-130 Osusznica

³Instytut Biologii Ssaków Polskiej Akademii Nauk, Stoczek 1, 17-230 Białowieża

Człowiek modyfikuje środowisko naturalne, w tym ekosystemy leśne, poprzez zmianę struktury siedlisk, polowanie oraz swoją obecność. Wpływ ten jest szczególnie widoczny w przypadku gatunków łownych, dla których zarówno człowiek, jak i duże drapieżniki kształtują tzw. krajobraz strachu. W prezentowanej pracy przeanalizowaliśmy, w jaki sposób ryzyko drapieżnictwa ze strony wilków modyfikuje żerowanie jeleni i saren w zależności od parametrów środowiska (osłony, odległości od ściany lasu), zróżnicowanego ryzyka drapieżnictwa w skali krajobrazu (prawdopodobieństwo spotkania z drapieżnikiem), ryzyka drapieżnictwa w skali lokalnej (zapach drapieżnika) oraz obecności ludzi w skali krajobrazu (prawdopodobieństwo spotkania z człowiekiem).

W badaniach tych wybrano cztery kompleksy leśne różniące się pod względem dostępności osłon, obecności wilków i antropopresji. Wpływ zmiennego ryzyka drapieżnictwa na zachowania pokarmowe jeleniowatych szacowano, analizując zgryzanie eksperymentalnie zasadzonych dębów usytuowanych w różnych odległościach od ściany lasu. Ryzyko drapieżnictwa w skali lokalnej różnicowano poprzez ekspozycję na zapach wilka (wysokie ryzyko) lub konia (niskie ryzyko) – gatunku niebędącego drapieżnikiem ani konkurentem jeleniowatych. Proporcja zgryzionych sadzonek dębów była parametrem informującym o intensywności żerowania jeleni i saren. Ponadto do analizy intensywności wykorzystania środowiska przez jeleniowate zastosowano zagęszczenie odchodów tych zwierząt.

Prawdopodobieństwo spotkania wilków w skali krajobrazu nie miało wpływu na poziom zgryzania sadzonek przez jeleniowate, podobnie jak odległość od ściany lasu. Natomiast wysokie ryzyko drapieżnictwa w skali lokalnej istotnie ograniczało zgryzanie sadzonek, podobnie jak występowanie naturalnych osłon w drzewostanie. Co ciekawe, obecność ludzi wiązała się z większą intensywnością żerowania jeleni i saren. W tych kompleksach leśnych, w których ludzie pojawiali się częściej, presja zgryzania sadzonek przez kopytne była istotnie wyższa niż w kompleksach rzadziej odwiedzanych przez ludzi.

Uzyskane wyniki wskazują, że choć zróżnicowanie prawdopodobieństwa spotkania wilków w skali krajobrazu nie miało wpływu na zachowania pokarmowe jeleni i saren, to jednak ryzyko związane z konkretnym miejscem w dużym stopniu modyfikowało żerowanie tych zwierząt. Intensywność żerowania była niższa w przypadku obecności zapachu wilka oraz naturalnych osłon, ponieważ czynniki te zwiększały ryzyko zaskoczenia zwierząt przez drapieżniki. Większa zaś intensywność żerowania jeleniowatych w kompleksach leśnych często odwiedzanych

przez ludzi może wspierać tzw. hipotezę ludzkiej tarczy, czyli zwiększanie intensywności żerowania w krajobrazie unikany przez drapieżniki. Analiza wykorzystania środowiska wskazuje, że ryzyko drapieżnictwa nie wpłynęło na unikanie przez jelenie i sarny miejsc wysoce ryzykownych, a jedynie na zmianę sposobu i efektywności ich żerowania.

Spadek jakości szyszek i nasion sosny zwyczajnej pod wpływem upałów w świetle jej potencjału adaptacyjnego

Sebastian Bury^{1*}, Marcin K. Dyderski², Jessie Foest¹, Maciej K. Barczyk¹,
Witold Wachowiak^{3,4}, Szymon Jastrzębowski⁵, Adam Guziejko⁵,
Andrew Hacket-Pain⁶, Michał Bogdziewicz¹

¹Centrum Biologii Lasu, Instytut Biologii Środowiskowej, Wydział Biologii,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań

*sebastian.bury@amu.edu.pl

²Zakład Systematyki i Botaniki Środowiskowej, Instytut Biologii Środowiskowej, Wydział Biologii,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań

³Zakład Ekologii Roślin i Ochrony Środowiska, Wydział Biologii,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań

⁴Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

⁵Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Instytut Badawczy Leśnictwa, ul. Braci Leśnej 3,
Sękocin Stary, 05-090 Raszyń

⁶Department of Geography and Planning, School of Environmental Sciences,
University of Liverpool, Liverpool L69 3BX, UK

Zmiana klimatu może wpływać na odnowienie lasów poprzez oddziaływanie na produkcję i jakość nasion oraz na strukturę, które je chronią, jednak większość badań koncentruje się wyłącznie na liczbie wytwarzanych nasion. W naszych badaniach wykorzystaliśmy dane dotyczące masy szyszek i nasion oraz liczby i jakości nasion ze 184 populacji sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) zlokalizowanych w całej Polsce, zebranych w latach 2010–2024. Przetestowaliśmy, czy zmiany temperatury i bilansu wodnego wpływają na cechy reprodukcyjne tego gatunku. Kluczowe w naszych badaniach było rozdzielenie efektów przestrzennych od czasowych, co pozwoliło nam odróżnić długoterminowe przystosowanie sosny do lokalnego klimatu (adaptacja) od jej bieżącej reakcji na nagłe fale upałów i susze (plastyczność).

Analizując wyniki w ujęciu przestrzennym, wykazaliśmy, że drzewa z populacji z cieplejszych rejonów wykształcały nasiona o większej masie (o ok. 8%), lecz lżejsze szyszki (spadek o ok. 15%). Z kolei masa nasion była większa o około 10% na siedliskach wilgotnych niż suchych, a szyszek o około 20%. Zbadanie reakcji na roczne anomalie pogodowe pokazało jednak dodatkowe zagrożenia:

w cieplejszych lokalizacjach wystąpienie wyjątkowo gorących okresów prowadziło do spadku masy nasion (o ok. 8%) i szyszek (o ok. 14%), a także ograniczało liczbę nasion zawiązywanych w pojedynczej szyszce (o ok. 23%).

Wyniki pokazują, że stres termiczny może hamować potencjał reprodukcyjny sosny zwyczajnej, negatywnie wpływając zarówno na liczbę, jak i na jakość nasion. Z jednej strony różnicowanie przestrzenne sugeruje, że gatunek ten potrafi dostosowywać się do lokalnego klimatu w wyniku wieloletniej adaptacji. Z drugiej strony odpowiedzi na ekstrema temperaturowe ujawniają mniejszą plastyczność badanego gatunku i mogą sugerować pogorszenie się jego zdolności reprodukcyjnych. Ponieważ sosna zwyczajna jest głównym gatunkiem lasotwórczym w wielu krajach Europy, badania nad jej zdolnościami adaptacyjnymi oraz reakcją na ekstremalne zjawiska pogodowe mają kluczowe znaczenie praktyczne. Wyniki te mogą wspomóc efektywniejsze zarządzanie populacjami, usprawnić monitoring urodzaju szyszek i nasion, a przede wszystkim posłużyć do długoterminowego planowania gospodarki nasiennej w warunkach zmieniającego się klimatu.

Kriokonserwacja i hodowla *in vitro* merystemów w celu zachowania leśnych zasobów genowych *ex situ*

Paweł Chmielarz^{1*}, João Paulo Rodrigues Martins¹,
Juan Manuel Ley-López¹, Mikołaj K. Wawrzyniak¹, Marcin Michalak²,
Christina Walters³, Małgorzata Pałucka⁴, Urszula Wasileńczyk⁴

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

*pach@man.poznan.pl

²Katedra Genetyki i Fizjopatologii Roślin, Wydział Rolnictwa i Leśnictwa,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. M. Oczapowskiego 1A, 10-721 Olsztyn

³National Laboratory for Genetic Resources Preservation, 1111 S. Mason Street, Fort Collins
80521, Colorado, USA

⁴Leśny Bank Genów Kostrzyca, Lasy Państwowe, Miłków 300, 58-535 Miłków

Zasoby genowe gatunków roślin wytwarzających nasiona tolerujące podsuszenie, należące do kategorii *orthodox*, mogą być przechowywane *ex situ* w bankach genów z wykorzystaniem tradycyjnych metod, w szczelnie zamkniętych pojemnikach w temperaturze -18°C . Takie nasiona można też przechowywać w ciekłym azocie (-196°C , kriokonserwacja) w bezpiecznym zakresie wilgotności nasion jako dodatkowe zabezpieczenie tradycyjnych metod przechowywania.

Przechowywanie w ciekłym azocie jest jedyną metodą zachowania zasobów genowych roślin wytwarzających nasiona wrażliwe na podsuszenie i przechowywanie, należące do kategorii *recalcitrant*, a także materiału roślinnego reprezentującego elitarne genotypy lub linie hodowlane. Wymaga to zwykle odpowiedniego przysposobienia tkanki (krioprotekcja) do przeżycia ekspozycji na tak niskie temperatury. Do wykorzystywanych materiałów wyjściowych poddawanych

kriokonserwacji, oprócz tkanki embriogennej, należą merystemy zarodków zygotycznych nasion *recalcitrant* lub pąki pędów.

Procedura kriokonserwacji obejmuje po rozmrożeniu hodowlę *in vitro*, umożliwiającą regenerację merystemów do kompletnych roślin. Przed zamrożeniem materiału stosuje się protokoły witryfikacji lub otoczkowania, zabezpieczające tkankę, połączone z kontrolowanym podsuszeniem merystemów. Powodzenie kriokonserwacji zależy od takich czynników, jak gatunek, genotyp, warunki wstępnej hodowli z zastosowaniem krioprotektantów, czas podsuszania oraz stan fizjologiczny tkanki przed zamrożeniem.

W badaniach nad skuteczną kriokonserwacją merystemów dębów stwierdzono, że osie zarodkowe i merystemy sześciu amerykańskich gatunków dębów wykazują zróżnicowane reakcje fizjologiczne tkanek na podsuszenie oraz ekspozycję na temperaturę ciekłego azotu. Określono krytyczną zawartość wody częściowo podsuszonych merystemów osi zarodkowych dla tych gatunków z wykorzystaniem hodowli *in vitro*, natomiast zawartość wody niezamarzającej w komórkach merystemów zbadano za pomocą różnicowej kalometrii skaningowej. Dla dwóch gatunków dębów rodzimych, dębu szypułkowego (*Quercus robur*) i dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea*) opisano skuteczną kriokonserwację merystemów (plumul) zamkniętych w otoczkach alginianowych po ich witryfikacji w roztworze sacharozy, podsuszeniu na płytkach aluminiowych oraz bezpośrednim schłodzeniu w ciekłym azocie, z których otrzymano kompletne rośliny. Kriokonserwacja *Q. robur* i *Q. petraea* stosowana jest w praktyce leśnej w Polsce w Leśnym Banku Genów Kostrzyca.

W przypadku pomnikowych, 800-letnich dębów (*Quercus robur*) sama hodowla *in vitro* dębów, która towarzyszy kriokonserwacji merystemów, umożliwiła skuteczną ochronę *ex situ* tych genotypów poprzez sklonowanie dębów z zachowaniem oryginalnego genotypu zarówno pędu, jak i korzenia. Siedmioletnie sklonowane dęby uzyskane *in vitro*, w postaci drzew o wysokości 2 m, sadzone są na terenie Polski (posadzono już ok. 60 sztuk takich dębów) z myślą o przyszłych pokoleniach. Siedmioletnie obserwacje pokazały, że sklonowane dęby rosną bardzo dobrze, pamiętają swój genetyczny wiek i już w pierwszych latach produkują nasiona.

Badania były finansowane przez Narodowe Centrum Nauki i Dyрекję Generalną Lasów Państwowych.

Wpływ odkrycia powierzchni za pomocą rębni zupełnej na temperaturę i wilgotność gleby na zrębie

*Bogdan Chojnicki^{1*}, Patryk Poczta¹, Damian Józefczyk¹, Kamila Harenda¹,
Miłosz Nowak¹, Joanna Kocięcka²*

¹Katedra Bioklimatologii, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet
Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94B, 60-649 Poznań,

^{*}bogdan.chojnicki@puls.edu.pl

²Katedra Melioracji, Kształtowania Środowiska i Gospodarki Przestrzennej, Wydział Inżynierii
Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94B,
60-649 Poznań

Dno lasu charakteryzuje się specyficznym mikroklimatem, przede wszystkim dzięki złożonej strukturze pokrywy roślinnej, która stabilizuje parametry termiczne i wilgotnościowe zarówno warstwy powietrza przyziemnego, jak i gleby, a usunięcie drzew w wyniku zrębu zupełnego wpływa nie tylko na funkcjonowanie flory i fauny dna lasu, ale także na procesy wymiany masy i energii na powierzchni i w samej glebie. Głównym celem prezentowanych badań było porównanie parametrów termiczno-wilgotnościowych powietrza i gleby w lesie na siedlisku lasu mieszanego świeżego (LMśw). Pomiary wykonano w okresie od 1 września 2022 r. do 31 sierpnia 2023 r. w Nadleśnictwie Oborniki – były one prowadzone równocześnie pod okapem drzewostanu i na powierzchni pozrębowej za pomocą rejestratorów TMS (TOMST, Czechy) – trzy sztuki na każdej powierzchni. Rejestrację prowadzono w trybie ciągłym z częstotliwością co 15 minut. Analizie poddano następujące parametry: temperaturę powietrza 15 cm nad powierzchnią gruntu, temperaturę powierzchni, temperaturę oraz wilgotność gleby na głębokości 8 cm. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że usunięcie drzew radykalnie zmienia mikroklimat przy gruncie, powodując wzrost zarówno miesięcznych, jak i dobowych amplitud temperatur na zrębie, a jest to szczególnie zauważalne w miesiącach letnich, gdy odkryta powierzchnia gruntu jest poddana większej insolacji. Ponadto usunięcie okapu drzew przyspiesza pojawianie się dobowych minimów i maksimów temperatury o około godzinę. Wilgotność gleby była istotnie wyższa na powierzchni pozrębowej i mogła wynikać z mniejszej intercepcji opadu.

Czy możemy polegać na latach nasiennych? Jakość nasion buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) w warunkach zmiany klimatu

Hanna Fuchs^{1*}, Marcin K. Dyderski², Szymon Jastrzębowski³,
Ewelina Ratajczak¹

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

²Zakład Botaniki Systematycznej i Środowiskowej, Instytut Biologii Środowiska, Wydział Biologii,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6,
61-614 Poznań

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

Powodzenie odnowienia lasu zależy nie tylko od liczby wytwarzanych nasion, ale również od tego, czy nasiona te są fizjologicznie zdolne do kiełkowania i czy powstaną z nich wysokiej jakości siewki. Wpływ zmiany klimatu na wielkość produkcji nasion i regularność lat nasiennych jest dobrze udokumentowany, natomiast to, czy zmiana klimatu obniża również fizjologiczną jakość wytwarzanych nasion, pozostaje słabo poznane.

W badaniu wykorzystaliśmy ogólnopolski zbiór danych operacyjnych dla buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.), obejmujący 13 387 partii nasion z 380 nadleśnictw z lat 1996–2024. Analizy klimatyczne oparto na 5381 świeżo zebranych partiach z 352 nadleśnictw z lat 2004–2023. Zbadaliśmy trzy wymiary jakości nasion: masę 1000 nasion, czystość (udział nasion wypełnionych) oraz żywotność nasion wypełnionych. Jako zmienne klimatyczne przyjęliśmy średnią temperaturę i sumę opadów wiosny, lata i jesieni w roku zbioru oraz w roku poprzedzającym, ponieważ kolejne etapy cyklu reprodukcyjnego buka (zawijanie pąków kwiatowych, pylenie i zapłodnienie oraz dojrzewanie nasion) przypadają na różne pory roku. Sprawdziliśmy, czy (1) trzy wymiary jakości zmieniły się w ciągu dwóch dekad, (2) związane są z temperaturą lub opadami w różnych porach roku, (3) klimat roku zbioru związany jest z żywotnością nasion podczas wieloletniego przechowywania w chłodni.

Trzy wymiary jakości były ze sobą niemal nieskorelowane ($p \leq 0,11$ na poziomie nadleśnictwa i roku) i zmieniały się w czasie w różny sposób. Skorygowana średnia roczna masa 1000 nasion malała o 2,33 g rocznie (16% w ciągu 20 lat), a cały rozkład przesunął się w dół jednakowo w całym kraju. Mediana czystości zmieniła się nieznacznie, natomiast częstość partii o czystości poniżej 85% wzrosła z około 1% do około 14%. Żywotność nasion wypełnionych nie wykazywała trendu, choć jako jedyna była związana z klimatem, i to wyłącznie z temperaturą: cieplejsze lato roku poprzedzającego zbiór i cieplejsza jesień roku zbioru wiązały się z wyższą żywotnością, a cieplejsza wiosna i lato roku zbioru z niższą. Opady w żadnej porze roku nie były związane z żywotnością; związek z opadami ujawnił się natomiast dopiero podczas przechowywania. Związki z temperaturą nie zmieniały się po uwzględnieniu wielkości urodzaju. Masa i czystość nasion nie

były związane ani z temperaturą, ani z opadami. W czasie długoterminowego przechowywania żywotność malała, przy czym tempo jej utraty zależało bardziej od rocznika niż od samego czasu przechowywania. Klimat roku rozwoju nasion nie zmieniał tego tempa, decydował natomiast o poziomie żywotności, od którego rozpoczynał się spadek: nasiona z lat o ciepłym lecie i wilgotnej wiosnie miały niższą żywotność przez cały okres przechowywania.

W latach 2004–2023 ociepliły się lato i jesień, czyli te pory roku, w których wyższa temperatura sprzyjała żywotności, natomiast wiosna, w której wyższa temperatura ją obniżała, nie ociepliła się. Opady nie wykazywały istotnych trendów. Żywotność, jedyny wymiar związany z klimatem, pozostała stabilna, a masa nasion i udział partii niewypełnionych zmieniły się, lecz nie wykazywały związku z temperaturą ani opadami. Wydaje się zatem, że za tymi zmianami stoją procesy, których nie odzwierciedlają średnie sezonowe wartości temperatury i opadów. Ich konsekwencje dla odnowienia lasu, gospodarki leśnym materiałem rozmnożeniowym i ochrony *ex situ* wymagają bezpośredniego sprawdzenia.

Badania sfinansowano ze środków Instytutu Dendrologii PAN. Autorzy dziękują Państwowemu Gospodarstwu Leśnemu Lasy Państwowe za udostępnienie danych z wieloletniego monitoringu jakości nasion.

Od pola do lasu: rola leśnych pasów buforowych w retencji biogenów z rolnictwa

Renata Gaj^{1*}, Katarzyna Wielgusz²

¹Katedra Chemii Rolnej i Biogeochemii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71F, 60-625 Poznań,

*renata.gaj@up.poznan.pl

²Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich PIB-Poznań, ul. Wojska Polskiego 71B,
60-625 Poznań

Współczesne rolnictwo nastawione jest na maksymalizację plonów, co wiąże się z intensywnym stosowaniem nawozów mineralnych i organicznych. Presja rolnictwa na środowisko jest nieunikniona, jednak jej negatywne skutki dla jakości wód, gleby i powietrza można łagodzić poprzez wdrażanie zasad racjonalnej gospodarki nawozowej oraz precyzyjne zarządzanie obiegiem azotu i fosforu.

Zanieczyszczenia z rolnictwa mają charakter obszarowy (rozproszony), przez co są trudne do zidentyfikowania u źródła i stanowią jedno z głównych zagrożeń dla ekosystemów wodnych. Azot (N) i fosfor (P) są kluczowymi pierwiastkami plonotwórczymi, jednak ich znaczna część nie jest pobierana przez rośliny i ulega wymyciu lub, w przypadku azotu, podlega innym procesom prowadzącym do strat gazowych w postaci amoniaku (NH₃), podtlenku azotu (N₂O) oraz tlenków azotu (NO_x). W całkowitej ilości azotu wymytego z gleby udział azotu pochodzącego z nawozów mineralnych wynosi około 15%, natomiast pozostała część

pochodzi z zasobów glebowych. Na wymywanie narażony jest przede wszystkim azot mineralny pozostający w glebie jesienią po zbiorach roślin. Różnica w zawartości $N_{\min}$ w profilu glebowym między jesienią a wiosną może służyć do oceny wielkości strat azotu na skutek wymywania tego składnika z gleby. Straty fosforu z gleby są natomiast niewielkie, gdyż mobilność fosforanów w profilu glebowym jest mniejsza niż mobilność innych makroskładników. Zmniejszenie zawartości fosforu mineralnego w glebie następuje głównie w procesie pobierania przez rośliny i w określonych warunkach także w wyniku spływu powierzchniowego, erozji, wymywania.

Nadmierny i niekontrolowany dopływ biogenów do zbiorników powierzchniowych prowadzi do eutrofizacji wód, zakwitów glonów (w tym toksycznych sinic), deficytów tlenowych i zaburzenia funkcjonowania całych ekosystemów wodnych.

Tradycyjne, hydrotechniczne metody ochrony wód są często zbyt kosztowne i mało skuteczne w walce z zanieczyszczeniami rozproszonymi. Dlatego kluczową rolę odgrywają ekologiczne rozwiązania oparte na tworzeniu leśnych pasów buforowych (zadrzewień przybrzeżnych). Do tworzenia leśnych stref buforowych przy polach uprawnych w Polsce zaleca się rodzime gatunki drzew i krzewów oraz roślin zielnych, które są odporne na suszę, dobrze znoszą wiatr, tworzą głęboki system korzeniowy i nie są podatne na te same choroby co przyległe uprawy rolne.

Pośród różnych grup roślin to właśnie drzewa wykazują największą efektywność w ograniczaniu wymywania biogenów do wód powierzchniowych. Strefy buforowe, zlokalizowane na styku pól uprawnych i ekosystemów wodnych, pełnią funkcję naturalnego filtra biologicznego i mechanicznego. Strefa taka powinna charakteryzować się piętrową budową, tzn. składać się roślin zielnych, z niskich krzewów od strony pola, wyższych krzewów w środku oraz wysokich drzew od strony lasu. W pierwszej linii od strony rzeki sadi się wierzby i olsze, które poprzez system korzeniowy pobierają biogeny bezpośrednio z wody i płytkich wód gruntowych, natomiast w drugiej linii dęby, klony czy jesiony, które przechwytyują biogeny z głębszych warstw gleby. Głęboki i rozbudowany system korzeniowy oraz duża biomasa drzew sprawiają, że transpirują one o 22% więcej wody niż zbiorowiska trawiaste (łąki, miedze) i o 34% więcej niż pola uprawne, co znacząco ogranicza przesiąkanie wody z biogenami w głąb profilu glebowego. Ponadto wysoka skuteczność redukcji wymywania biogenów ma bezpośredni związek z trwałym ich włączaniem do obiegu: roślinność drzewiasta niemal w całości (94–97% azotu) wbudowuje we własny lokalny obieg materii.

Rzeczywista skuteczność retencyjna pasów buforowych zależy od ich szerokości, ukształtowania terenu, właściwości gleby, warunków hydrologicznych oraz doboru gatunkowego. Szczególną rolę pełnią gatunki szybko rosnące i hydrofilne, takie jak wierzba, topola i olsza, które najefektywniej kumulują nadmiar składników pokarmowych spływających z pól uprawnych.

AI w naukach leśnych – szansa czy zagrożenie?

Marian J. Giertych

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

Sztuczna inteligencja (AI) staje się jednym z najważniejszych narzędzi wspierających rozwój nauk leśnych i nowoczesnej gospodarki leśnej. Dzięki analizie dużych zbiorów danych pochodzących z teledetekcji satelitarnej, skanowania laserowego (LiDAR), dronów, sieci czujników oraz monitoringu terenowego możliwe jest szybsze i dokładniejsze rozpoznawanie zmian zachodzących w ekosystemach leśnych. Algorytmy AI znajdują zastosowanie między innymi w monitorowaniu stanu zdrowotnego drzewostanów, wykrywaniu gradacji szkodników, prognozowaniu zagrożenia pożarowego, szacowaniu zasobów biomasy oraz modelowaniu wpływu zmian klimatu na lasy.

Jednocześnie dynamiczny rozwój AI rodzi pytania dotyczące jakości danych, wiarygodności modeli, przejrzystości procesu podejmowanych decyzji oraz roli specjalistów w procesie zarządzania lasami. Istnieje ryzyko nadmiernego zaufania do algorytmów, błędnej interpretacji wyników oraz ograniczenia znaczenia wiedzy eksperckiej i obserwacji terenowych.

Celem wystąpienia jest przedstawienie, co sztuczna inteligencja może, a czego nie może zrobić w naukach leśnych. Chodzi też o podkreślenie, że AI nie powinna zastępować leśnika ani badacza, ale raczej pomagać im w podejmowaniu decyzji opartych zarówno na wiedzy naukowej, jak i praktycznym doświadczeniu. Dobrze wykorzystana sztuczna inteligencja może znacznie ułatwić i usprawnić monitorowanie lasów, ich ochronę oraz zrównoważone gospodarowanie zasobami leśnymi. Trzeba jednak korzystać z niej odpowiedzialnie i zawsze krytycznie podchodzić do wyników, które generuje.

Czy liść dębu zapewnia różnym gatunkom galasówek odmienną dietę?

Marzenna Guzicka^{1*}, Agnieszka Marasek-Ciołakowska²,
Leszek S. Jankiewicz²

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

²Instytut Ogrodnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Konstytucji 3 Maja 1/3,
96-100 Skierniewice

Tworzenie galasów to jedna z najbardziej wyspecjalizowanych form interakcji owad-roślina. Owady galasotwórcze manipulują rozwojem roślin żywicielskich, wymuszając wykształcenie nowych struktur zapewniających schronienie oraz

pokarm dla rozwijających się larw. Te specyficzne struktury traktowane są jako nowe organy roślinne. Ich zróżnicowana morfologia i histologia zależą od gatunku owada inicjującego ich powstanie, jednak podstawowy plan architektury galasu tworzą trzy warstwy: ochronna, parenchymatyczna i odżywcza. Do najbardziej wyspecjalizowanych owadów galasotwórczych należą błonkówki (Hymenoptera) z rodziny galasówkowatych (Cynipidae), spośród których w Europie większość (ok. 70%) związana jest troficznie z rodzajem *Quercus*.

Układ *Cynipidae* – dęby stanowi modelowy system do badania interakcji owad galasotwórczy – gospodarz roślinny. W naszych badaniach skoncentrowaliśmy się na analizie galasów liściowych indukowanych przez trzy gatunki monofagicznych galasówek: galasówkę dębiankę (*Cynips quercusfolii*), galasówkę długobrzuszkę (*C. longiventris*) oraz rewisia dębownika (*Neuroterus numismalis*), ściśle związanych z dębem szypułkowym (*Quercus robur*). Podczas pobierania materiału niekiedy stwierdzano ich jednoczesne występowanie na tym samym liście dębu. Materiał badawczy (liście niezainfekowane, bez galasów oraz liście wraz z wykształconymi galasami tylko jednego typu) pobierano z nasłonecznionej strony drzew w wieku 5–25 lat, przy czym wybierano liście w pełni wykształcone, bez widocznych śladów uszkodzeń. W celu określenia anatomii, histologii i ultrastruktury galasów (a także liści kontrolnych) wykorzystano metody mikroskopii świetlnej, fluorescencyjnej oraz elektronowej (transmisyjnej i skaningowej).

Wykazano różnice strukturalne między galasami poszczególnych gatunków oraz w ramach tego samego gatunku między galasami młodymi i dojrzałymi. Największą gatunkową odrębność morfologiczną i histologiczną odnotowano w przypadku warstwy ochronnej, co wskazuje na różnorodne sposoby izolacji larwy od środowiska zewnętrznego, ale także odrębne strategie obronne poszczególnych gatunków. Uwagę zwrócono zwłaszcza na tkankę odżywczą galasu, której charakterystyka cytologiczna wskazywała na wysoką aktywność metaboliczną. Odzwierciedlała ją ultrastruktura organelli komórkowych: jądra komórkowego, mitochondriów oraz siateczki śródplazmatycznej (RER i SER). W komórkach obserwowano też liczne struktury o charakterze autofagicznym. Materiały zapasowe (skrobia, lipidy, białka) identyfikowane w komórkach warstwy odżywczej różniły się zarówno między galasami różnych gatunków galasówek będącymi na tym samym etapie rozwoju, jak i w ramach tego samego gatunku na różnych etapach rozwoju galasu. W galasach *C. quercusfolii* tkanka odżywcza była wyjątkowo bogata w białka. Białka dominowały także w młodych galasach *N. numismalis*, podczas gdy w dojrzałych galasach tego gatunku materiałem zapasowym była głównie skrobia. Z kolei komórki tkanki odżywczej w dojrzałych galasach *C. longiventris* wypełniały ciała lipidowe.

Wyniki sugerują, że profil materiałów zapasowych w tkance odżywczej galasu może być ściśle dostosowany do specyficznych wymagań pokarmowych danego gatunku owada oraz etapu rozwoju jego larwy. Choć pierwotnym źródłem substancji odżywczych, w tym węglowodanów, pozostaje liść żywiciela, synteza i przetwarzanie białek oraz lipidów mogą, jak się wydaje, zachodzić *in situ*, bezpośrednio w galasie. Kluczową rolę w specyficznej remobilizacji tych składników odżywczych może odgrywać proces autofagii.

Badania zostały sfinansowane ze środków na działalność statutową Instytutu Dendrologii PAN oraz Instytutu Ogrodnictwa PIB w Skierniewicach.

Od komórki do lasu przyszłości – zastosowanie embriogenezy somatycznej w ochronie europejskich gatunków drzew leśnych

Teresa Hazubska-Przybył^{1*}, Caroline Teyssier², Nieves Vidal³,
Itziar Montalban Perez⁴, Paloma Moncaleán⁴, Andrea Rupps⁵,
Ulrika Egertsdotter⁶, Sakari Välimäki⁷, Tuija Aronen⁸

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

²INRAE, ONF, BioForA, UMR 0588, 45075 Orleans, France

³Misión Biológica de Galicia sede Santiago, CSIC, Avda de Vigo s/n,
15705 Santiago de Compostela, Spain

⁴Basque Research and Technology Alliance (BRTA), NEIKER – Basque Institute for Agricultural Research and Development, Arkaute Campus, N-104, km 355, 01192 Arkaute, Álava, Spain

⁵Humboldt University of Berlin, Department of Plant Evolution and Biodiversity, Späth-Arboretum,
Späthstr. 80/81, 12437 Berlin, Germany

⁶Umeå Plant Science Centre (UPSC), KBC Building, Linnaeus väg 6, 907 36 Umeå, Sweden

⁷Lauka Biotech Ltd., Laitaatsillantie 3, FI-57170 Savonlinna, Finland

⁸Natural Resources Institute Finland, Vipusenkuja 5, FI-57200, Savonlinna, Finland

Zmiany klimatyczne, nasilające się zjawiska ekstremalne, presja patogenów oraz ograniczona naturalna regeneracja stanowią poważne wyzwania dla europejskiego leśnictwa. Ze względu na długowieczność drzew i powolne tempo adaptacji szczególnego znaczenia nabiera ochrona różnorodności genetycznej i cennych zasobów genowych. W tym kontekście embriogeneza somatyczna (SE) i inne metody biotechnologiczne mogą wspierać ochronę zasobów leśnych i zrównoważone zarządzanie nimi.

SE wykorzystuje totipotencję komórek roślinnych do regeneracji roślin z tkanek somatycznych. W przypadku drzew leśnych SE umożliwia klonalne namnażanie wybranych genotypów, zachowanie cennego materiału genetycznego oraz jego długoterminowe przechowywanie dzięki kriokonserwacji kultur embriogenetycznych, w tym genotypów rzadkich i zagrożonych populacji. W Europie SE jest najlepiej rozwinięta u gatunków iglastych, szczególnie u świerka pospolitego (*Picea abies*). W Finlandii i Szwecji technologia ta została wykorzystana jako element programów hodowli drzew, umożliwiając namnażanie genotypów o wysokiej wartości hodowlanej oraz ich długoterminowe przechowywanie w kriobankach. W Niemczech badania skoncentrowały się na wykorzystaniu kultur embriogenetycznych, głównie *Larix x eurolepis*, w hodowli drzew leśnych oraz produkcji drzewek bożonarodzeniowych *Abies nordmanniana* i jej mieszańców. We Francji SE

stosowana jest w badaniach nad *Pinus pinaster*, *Pseudotsuga menziesii* i *Larix* spp. jako narzędzie wspierające zachowanie genotypów potencjalnie odpornych na przyszłe warunki klimatyczne. W krajach południowej Europy, m.in. w Hiszpanii, badania nad SE prowadzone są u sosny kalifornijskiej (*P. radiata*) oraz dębów – *Quercus robur* i *Q. suber* – w kontekście zwiększania odporności lasów na suszę i inne stresy środowiskowe. Polska również aktywnie uczestniczy w rozwoju i zastosowaniu technologii SE we współpracy z ośrodkami badawczymi z innych krajów europejskich. W Instytucie Dendrologii Polskiej Akademii Nauk prowadzone są badania nad wykorzystaniem SE i kriokonserwacji do zachowania zasobów genowych europejskich gatunków drzew leśnych, ze szczególnym uwzględnieniem świerka pospolitego, świerka serbskiego (*P. omorika*) oraz buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*). Badania te obejmują opracowanie metod inicjacji i utrzymania kultur embriogennych oraz poznanie mechanizmów regulujących ich potencjał regeneracyjny. Szczególne znaczenie mają badania nad możliwością zabezpieczenia unikalnych populacji, takich jak świerk istebniański czy białowieski, których zasoby genetyczne mogą być zagrożone w wyniku postępujących zmian środowiskowych.

Przyszłość europejskich lasów będzie wymagała nie tylko integracji klasycznych metod ochrony i hodowli z nowoczesnymi narzędziami biologii molekularnej i biotechnologii, ale również ścisłej współpracy naukowców i instytucji ponad granicami państw. Lasy nie znają granic wytyczonych przez człowieka, a zmiany klimatyczne, patogeny i inne zagrożenia dla ich trwałości mają charakter ponadnarodowy. Połączenie SE, kriokonserwacji, analiz genomowych oraz badań fizjologicznych, oparte na wymianie wiedzy i wspólnych działaniach europejskich zespołów badawczych, może stworzyć nowe możliwości zachowania potencjału adaptacyjnego drzew i wspierania odporności ekosystemów leśnych w warunkach dynamicznie zmieniającego się środowiska.

Kiedy tempo nie mówi wszystkiego: złożoność dekompozycji liści w różnych drzewostanach

Paweł Horodecki^{1*}, Andrzej M. Jagodziński^{1,2}

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

*phorodecki@man.poznan.pl

²Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii DREWNA, Uniwersytet

Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań

Dekompozycja ściółki jest jednym z kluczowych procesów regulujących obieg węgla i składników pokarmowych w ekosystemach leśnych. Jej tempo i przebieg zależą zarówno od jakości rozkładanego substratu, jak i od warunków środowiskowych w miejscu jego rozkładu, kształtowanych m.in. przez skład gatunkowy drzewostanów. W badaniach dekompozycji wpływ tych czynników często opisu-

je się za pomocą empirycznej stałej k , charakteryzującej ogólne tempo procesu. Pojedyncza wartość tego parametru może jednak maskować różnice w przebiegu ubytku masy w kolejnych etapach dekompozycji. Celem badań było określenie, w jakim stopniu skład gatunkowy drzewostanu modyfikuje tempo i przebieg dekompozycji liści różnych gatunków drzew oraz czy znaczenie warunków związanych z drzewostanem zmienia się w czasie.

Badania przeprowadzono w Wielkopolskim Parku Narodowym na 14 powierzchniach reprezentujących siedem typów drzewostanów, różniących się składem gatunkowym oraz udziałem rodzimych i obcych gatunków drzew. W doświadczeniu wykorzystano świeżo opadłe liście pięciu rodzimych gatunków (*Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *Pinus sylvestris*, *Quercus petraea* i *Sorbus aucuparia*) oraz trzech obcych (*Prunus serotina*, *Q. rubra* i *Robinia pseudoacacia*). Materiał eksponowano w woreczkach ściółkowych przez 36 miesięcy, w tym czasie przeprowadzając 12 zbiorów. Wpływ typu drzewostanu, rodzaju ściółki i czasu ekspozycji analizowano przy użyciu liniowych modeli mieszanych. Analiza obejmowała zarówno wartości stałej dekompozycji k , jak i rzeczywiste ubytki masy w kolejnych etapach rozkładu.

Tempo dekompozycji różniło się istotnie pomiędzy rodzajami ściółki i typami drzewostanów, a wpływ typu drzewostanu zależał od rodzaju ściółki i zmieniał się w czasie. W większości typów drzewostanów najszybciej rozkładały się liście *S. aucuparia* oraz *P. serotina*, natomiast najwolniej – igły *P. sylvestris* oraz liście *Q. petraea* i *Q. rubra*. Odmienne trajektorie ubytku masy obserwowano zarówno pomiędzy gatunkami, jak i w przypadku tego samego substratu w różnych typach drzewostanów. Różnice te nie zawsze znajdowały odzwierciedlenie w wartościach współczynnika k obliczonego dla całego okresu doświadczenia.

Wpływ typu drzewostanu na ubytek masy był silnie zależny od czasu ekspozycji. Różnice między trajektoriami rozkładu liści jednego gatunku w różnych drzewostanach, początkowo niewykrywalne, w kolejnych etapach mogły się nasilać, a następnie ponownie zmniejszać. W konsekwencji liście o podobnych wartościach k mogły wykazywać wyraźnie odmienne trajektorie dekompozycji. Przykładowo, w jednym z typów drzewostanów sosnowych wartości k dla liści *P. serotina* i *R. pseudoacacia* były bardzo zbliżone (odpowiednio 0,687 i 0,698 rok⁻¹), podczas gdy ubytek ich masy różnił się o ponad 10 punktów procentowych już po trzech miesiącach ekspozycji. Różnica ta zmniejszyła się w środkowej fazie dekompozycji, a następnie ponownie wzrosła w jej końcowych etapach.

Uzyskane wyniki wskazują, że skład gatunkowy drzewostanu wpływa nie tylko na ogólne tempo dekompozycji, ale również na jej przebieg w czasie, a siła tego wpływu zależy od jakości rozkładanego substratu. Ocena dekompozycji wyłącznie na podstawie stałej k może pomijać istotne różnice w przebiegu procesu w czasie. Może to mieć istotne znaczenie dla interpretacji szybkości uwalniania składników pokarmowych, ponieważ podobne wartości empirycznej stałej k nie muszą oznaczać podobnego tempa ich uwalniania w poszczególnych etapach rozkładu. Uwzględnienie trajektorii zmian ubytków masy dostarcza zatem dodatkowej informacji o funkcjonowaniu ekosystemów leśnych. W kontekście obecności gatunków inwazyjnych zróżnicowanie to może dodatkowo wpływać na lokalne

pule składników pokarmowych i konkurencyjność gatunków rodzimych poprzez modyfikację procesów zachodzących w środowisku glebowym.

Badania zrealizowano w ramach projektu „W jaki sposób dekompozycja liści oraz konkurencja wpływa na sukces ekologiczny inwazyjnych oraz rodzimych gatunków drzew?” (nr rej. 2018/31/N/NZ8/01602) finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Jemioła w drzewostanach sosnowych – czynniki ryzyka i znaczenie dla gospodarki leśnej w warunkach zmieniającego się klimatu

Grzegorz Iszkulo

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

Jemioła pospolita podgatunek rozpięzchła (*Viscum album* subsp. *austriacum*) stanowi coraz większe zagrożenie dla trwałości drzewostanów sosnowych. Rozpoznanie czynników sprzyjających jej występowaniu ma zatem ogromne znaczenie dla monitorowania stanu zdrowotnego lasów i planowania działań gospodarczych. Celem badań było określenie znaczenia czynników klimatycznych, siedliskowych i cech struktury drzewostanów dla występowania jemioły w polskich lasach oraz wskazanie obszarów o podwyższonej potencjalnej przydatności siedliskowej.

Dane o obecności jemioły uzyskano w ramach ogólnopolskiej ankiety przeprowadzonej w nadleśnictwach. Odpowiedzi otrzymano z 403 nadleśnictw, co stanowiło 93,7% wszystkich jednostek tego szerebu w Polsce. Do modelowania wykorzystano metodę MaxEnt, uwzględniającą zmienne klimatyczne, środowiskowe oraz dane opisujące strukturę i skład drzewostanów.

Obecność jemioły potwierdzono w 223 nadleśnictwach. W 57% nadleśnictw objętych problemem jej występowanie zauważono w ciągu ostatnich pięciu lat. Najważniejszym czynnikiem kształtującym potencjalne występowanie jemioły była średnia temperatura najcieplejszego kwartału, której udział w modelu wyniósł 48,1%. Spośród czynników pozaklimatycznych największe znaczenie miało bogactwo gatunkowe górnej warstwy drzewostanu (18,6%). Większe bogactwo gatunkowe drzew może ograniczać podatność drzewostanów na zasiedlanie przez jemiołę.

Najwyższą potencjalną przydatność siedliskową stwierdzono przede wszystkim w centralnej Polsce. Wyraźne obszary podwyższonego ryzyka odnotowano również wzdłuż dolin dużych rzek. Zależność ta może być związana nie tylko ze specyficznymi warunkami mikroklimatycznymi, lecz także z ich znaczeniem jako siedlisk i korytarzy przemieszczania się ptaków owocożernych, które rozsiewają nasiona jemioły. Większa liczebność i różnorodność ptaków w dolinach

rzecznych może sprzyjać lokalnemu rozprzestrzenianiu się jemioli oraz zagęszczaniu jej populacji w sąsiadujących drzewostanach sosnowych.

Identyfikacja obszarów o podwyższonej podatności na zasiedlenie przez jemiolę może mieć szczególne znaczenie dla ukierunkowania monitoringu oraz wczesnego wykrywania ekspansji tego gatunku na tereny, na których obecnie występuje on sporadycznie. Do takich obszarów mogą należeć doliny dużych rzek, w tym dolina Wisły, gdzie warunki siedliskowe i obecność ptaków rozsiewających nasiona mogą sprzyjać jej rozprzestrzenianiu. Wyniki modelowania mogą służyć do wyznaczania obszarów wymagających intensywniejszego monitoringu oraz wspierania działań hodowlanych zwiększających odporność i stabilność drzewostanów sosnowych w warunkach zmieniającego się klimatu.

Badania były finansowane przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe w ramach grantu nr EZ.271.3.24.2021.

Znaczenie badań akarologicznych w ocenie funkcjonowania i zmian ekosystemów leśnych

Jacek Kamczyc

Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, jacek.kamczyc@up.poznan.pl

Roztocze (Acari: Mesostigmata) są istotnym elementem fauny glebowej lasów. Charakteryzują się dużym zróżnicowaniem gatunkowym i mogą osiągać wysokie zagęszczenia, a ich występowanie jest związane z warunkami siedliskowymi, właściwościami gleby i ściółki, składem gatunkowym oraz strukturą drzewostanu. Wieloletnie badania akarologiczne prowadzone w ekosystemach leśnych pozwoliły nie tylko poznać zróżnicowanie gatunkowe tych mikrostawonogów, ale także lepiej zrozumieć ich reakcję na zmiany zachodzące w środowisku leśnym. Celem wystąpienia jest przedstawienie możliwości wykorzystania badań akarologicznych w ocenie stanu i zmian ekosystemów leśnych. Szczególną uwagę poświęcono roztoczom z rzędu Mesostigmata, których liczebność, bogactwo gatunkowe i skład zgrupowań mogą zmieniać się w zależności od typu siedliska, składu gatunkowego i wieku drzewostanu, jakości ściółki, obecności murszejącego drewna, warunków glebowych oraz historii użytkowania terenu. Dotychczasowe badania wskazują, że akarofauna reaguje zarówno na naturalne zmiany zachodzące w drzewostanach, jak i na skutki gospodarki leśnej. Reakcje te obserwuje się w związku z przebudową drzewostanów, zmianami ich składu gatunkowego, sposobem zagospodarowania powierzchni leśnych, występowaniem zaburzeń oraz procesami sukcesji i odtwarzania ekosystemów. Wyniki badań wskazują również, że wzrost liczebności lub bogactwa gatunkowego roztoczy nie zawsze oznacza pełną odbudowę zgrupowania. Jego skład gatunkowy może przez długi czas odzwierciedlać wcześniejsze warunki siedliskowe i historię użytkowania lasu.

Badania akarologiczne mogą zatem stanowić wartościowe uzupełnienie oceny stanu ekosystemów leśnych. Pozwalają pełniej określić wpływ składu gatunkowego i struktury drzewostanu, warunków siedliskowych oraz sposobu zagospodarowania lasu na środowisko glebowe. Mogą być również pomocne w ocenie kierunku i tempa regeneracji siedlisk po zaburzeniach oraz skuteczności działań związanych z przebudową, ochroną i odtwarzaniem lasów. W tym ujęciu badania roztoczy mogą dostarczać informacji przydatnych w badaniach nad funkcjonowaniem lasu oraz w ocenie skutków gospodarki leśnej.

Wpływ zmian klimatu na kolekcje roślinne Ogrodu Botanicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

Krzysztof Kapala, Patrycja Fałowska, Michał H. Węgrzyn*

Ogród Botaniczny Uniwersytetu Jagiellońskiego, ul. Kopernika 27, 31-501 Kraków,

**krzysztof.kapala@uj.edu.pl*

Zmiany klimatu nie tylko pogarszają warunki życia niektórych gatunków roślin, ale również stwarzają nowe możliwości dla gatunków, które wcześniej miały trudności z przetrwaniem w klimacie Polski. Wzrost średnich temperatur, łagodniejsze zimy oraz wydłużający się okres wegetacyjny sprawiają, że część roślin wrażliwych na mróz może obecnie lepiej zimować, rozwijać się, a nawet regularnie kwitnąć i owocować. Zjawisko to ma szczególne znaczenie dla kolekcji Ogrodu Botanicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, w którym uprawiane są gatunki pochodzące z różnych stref klimatycznych.

W przeszłości niskie temperatury zimą często powodowały przemarzanie roślin, zwłaszcza gatunków o niewielkiej odporności na mróz. Wymagały one szczególnej ochrony, a niektóre z nich po surowych zimach całkowicie zamierały. Obecnie coraz łagodniejsze zimy pozwalają części z nich przetrwać okres zimy bez poważnych uszkodzeń. Przykładem może być figa pospolita (*Ficus carica*). Niegdyś uzyskanie owoców tego gatunku w warunkach Krakowa było niemożliwe, a obecnie dzięki łagodniejszym zimom figa zimuje bez okrywania, corocznie kwitnie i owocuje.

Ogród Botaniczny UJ stanowi zatem szczególnie interesujące miejsce do obserwowania zmian zachodzących w roślinności pod wpływem zmieniającego się klimatu. Wieloletnie kolekcje pozwalają porównywać kondycję i zachowanie poszczególnych gatunków w różnych warunkach pogodowych. Obserwacja takich zjawisk, jak zimowanie, kwitnienie czy owocowanie, może dostarczać cennych informacji o tym, jak rośliny reagują na stopniowe ocieplanie się klimatu.

W przyszłości łagodniejsze warunki termiczne mogą umożliwić uprawę w Krakowie kolejnych gatunków, które wcześniej były trudne do utrzymania

przez cały rok. Jednocześnie konieczne będzie monitorowanie roślin i ochrona kolekcji przed nowymi zagrożeniami, takimi jak susze, gwałtowne przymrozki czy pojawianie się nowych szkodników. Ogród Botaniczny UJ może więc pełnić ważną funkcję nie tylko w ochronie różnorodności roślin, ale również w dokumentowaniu biologicznych skutków zmian klimatu i obserwowaniu, jak nowe warunki wpływają na możliwość uprawy poszczególnych gatunków.

Dendroflora czy gleba? Czyli o tym, co kształtuje mykobiotę Wielkopolskiego Parku Narodowego

Leszek Karliński*, Tomasz Leski, Daniel Janowski, Mariola Matelska,
Marta Kujawska, Robin Wilgan, Adrianna Bryja-Karlińska,
Maria Rudawska

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

*leszekk@man.poznan.pl

Grzyby glebowe odgrywają kluczową rolę w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych, uczestnicząc w rozkładzie materii organicznej i obiegu pierwiastków oraz tworząc związki symbiotyczne z roślinami, w tym z drzewami. Zmiany zachodzące w strukturze ich zbiorowisk mogą wpływać na funkcjonowanie całych ekosystemów. Pomimo powszechnego uwzględniania właściwości chemicznych gleby w badaniach nad mykobiotą, znaczenie lokalnego składu drzewostanu dla kształtowania zbiorowisk grzybów pozostaje stosunkowo słabo rozpoznane.

Celem pracy było porównanie znaczenia składu drzewostanu, właściwości chemicznych gleby i odległości geograficznej w kształtowaniu struktury zbiorowisk grzybów glebowych oraz określenie czynników związanych z produkcją biomasy grzybni zewnętrznej grzybów mykoryzowych w skali krajobrazu.

Badania przeprowadzono na 20 stanowiskach leśnych o powierzchni 400 m², zlokalizowanych na terenie Wielkopolskiego Parku Narodowego. Określono skład gatunkowy, liczebność i parametry wzrostowe drzew oraz objętość martwego drewna. Zbiorowiska grzybów scharakteryzowano metodą sekwencjonowania nowej generacji regionu ITS2, natomiast biomasę grzybni zewnętrznej oznaczono na podstawie stężenia ergosterolu w pułapkach grzybniovych typu *ingrowth mesh bags* z wykorzystaniem HPLC. Określono też podstawowe parametry chemiczne gleby i grubość ścióły.

W wyniku metabarkodingu zidentyfikowano 13010 ASV grzybów, w tym taksony istotne z punktu widzenia ochrony przyrody, np. *Tuber mesentericum*, *Cortinarius umbrinolens*, *Byssocorticium atrovirens*. Zarówno skład drzewostanu, jak i chemizm gleby były istotnie związane ze strukturą zbiorowisk grzybów. Analiza MRM wykazała jednak, że efekt składu drzewostanu był około sześciokrotnie silniejszy niż efekt chemizmu gleby, podczas gdy odległość geograficzna między

stanowiskami nie miała istotnego znaczenia. Walidacja krzyżowa potwierdziła, że skład drzewostanu skuteczniej przewidywał niepodobieństwo zbiorowisk grzybów niż chemizm gleby i zmienne geograficzne, a połączenie informacji o drzewostanie i chemizmie gleby poprawiało jakość predykcji.

Biomasa grzybni zewnętrznej była znacząco zróżnicowana między stanowiskami i wykazywała związek z ich położeniem wzdłuż gradientu topograficzno-hydrologicznego. Stanowiska zlokalizowane w dolinie Warty charakteryzowały się wyższą biomasa grzybni niż te położone w głębi Parku. Spadkowi biomasy towarzyszyło obniżenie równocЕННОści zbiorowisk grzybów ektomykoryzowych, zmniejszenie udziału gatunków o strategii eksploracji dalekiego zasięgu oraz wzrost udziału gatunków o strategii krótkiego zasięgu. Wyniki wskazują, że lokalny skład drzewostanu stanowi istotny czynnik kształtujący strukturę mykobioty glebowej, natomiast gradient topograficzno-hydrologiczny może wpływać zarówno na produkcję grzybni, jak i funkcjonalną organizację zbiorowisk ektomykoryzowych. Zastosowanie uzupełniających się metod molekularnych i biochemicznych pozwala na pełniejszą ocenę jakościowych i ilościowych zmian zachodzących w zbiorowiskach grzybów w skali krajobrazu.

Projekt dofinansowano ze środków funduszu leśnego przez Lasy Państwowe (T/2025/24).

Biochemiczna tarcza drzew w obliczu zmian klimatu. Rola proliny jako substancji ochronnej oraz wskaźnika odporności na suszę

Joanna Kijowska-Oberc¹, Mikołaj K. Wawrzyniak¹, Łukasz Dylewski²,
Ewelina Ratajczak¹*

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

**joberc@man.poznan.pl*

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

Susza, nasilająca się w rezultacie zmian klimatycznych, wzmacnia zamieranie drzew na niespotykaną dotąd skalę i przyczynia się do destabilizacji ekosystemów leśnych. W obliczu tych zagrożeń zrozumienie podstaw biochemicznych reakcji drzew na suszę ma fundamentalne znaczenie dla praktyki leśnej oraz ochrony bioróżnorodności lasów. W warunkach ograniczonej dostępności wody w komórkach dochodzi do nadmiernego powstawania cząsteczek reaktywnych form tlenu (RFT), które uszkadzają strukturę i zaburzają funkcje komórek. Nasiona i siewki drzew są szczególnie podatne na uszkodzenia oksydacyjne struktur komórkowych powodowane przez te cząsteczki.

Akumulacja proliny stanowi odpowiedź obronną roślin m.in. na stres suszy. Prolina jest aminokwasem, który uczestniczy w ochronie struktur komórkowych

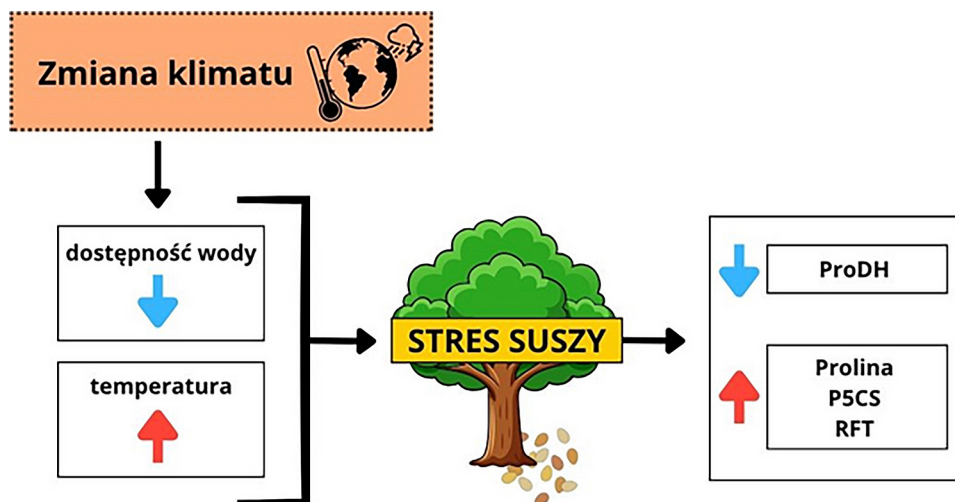
oraz neutralizacji RFT, ograniczając wywoływane przez nie zaburzenia i ich konsekwencje, takie jak spadek żywotności nasion i kondycji siewek. Wykazuje ponadto właściwości osmoregulacyjne, dzięki czemu ogranicza wpływ wody z komórek, co ma kluczowe znaczenie w warunkach suszy. Prolina jest powszechnie wykorzystywana jako biochemiczny marker odpowiedzi roślin na stres. Jednak rola tego aminokwasu oraz enzymów zaangażowanych w jego metabolizm w odpowiedzi na stres abiotyczny związany ze zmianą klimatu pozostawała dotąd słabiej poznana. Aby zbadać to zagadnienie, przeprowadzono zarówno badania eksperymentalne, jak i metaanalizę dostępnych danych literaturowych.

Wykazano, że poziom proliny w czasie dojrzewania nasion zmienia się w zależności od warunków termiczno-wilgotnościowych, szczególnie w nasionach wrażliwych na podsuszanie (kategoria *recalcitrant*). Zawartość proliny w nasionach klonu jaworu (*Acer pseudoplatanus* L. – *recalcitrant*) była dodatnio skorelowana ze średnią dwutygodniową temperaturą, natomiast w nasionach klonu zwyczajnego (*Acer platanoides* L. – kategoria nasion *orthodox*, odporne na podsuszanie) nie stwierdzono takiej zależności.

Pierwsza metaanaliza obejmująca rolę proliny w warunkach suszy w nasionach i siewkach drzew pozwoliła wykazać, że poziom proliny zależy od czasu trwania suszy oraz masy nasion, z których rozwinęły się siewki. Ponadto siewki gatunków liściastych oraz gatunków wytwarzających nasiona kategorii *recalcitrant* akumulują prolinę intensywniej niż gatunki iglaste i gatunki wytwarzające nasiona kategorii *orthodox*.

W liściach siewek drzew aktywność syntetazy $\Delta 1$ -pirrolino-5-karboksylanowej (P5CS), uczestniczącej w biosyntezie proliny, oraz dehydrogenazy prolinoowej (ProDH), odpowiedzialnej za jej katabolizm, jest dużo bardziej zależna od nasilenia suszy niż sam poziom proliny. Aktywność tych enzymów nie znajduje jednak bezpośredniego odzwierciedlenia w zawartości wolnej proliny w tkankach, na którą wpływa również szereg innych, równoległe zachodzących mechanizmów, m.in. wykorzystywanie proliny przez organizm rośliny jako alternatywnego substratu energetycznego. Zastosowanie pomiaru aktywności tych enzymów do identyfikacji populacji wykazujących zwiększoną tolerancję na stres oraz wykorzystanie potomstwa tych populacji w procesie odnawiania lasu może mieć istotne znaczenie dla ograniczenia strat ekonomicznych w lasach gospodarczych oraz zachowania trwałości i stabilności ekosystemów leśnych.

Uzyskane wyniki mogą w przyszłości znaleźć zastosowanie w praktyce leśnej, szczególnie w zakresie oceny jakości leśnego materiału rozmnożeniowego w obliczu zmiany klimatu. Prolina stanowi obiecujący, choć zależny od kontekstu, wskaźnik biochemiczny, który może posłużyć jako element szerszej oceny stanu fizjologicznego rośliny. Aktywność enzymów zaangażowanych w metabolizm proliny stanowi bardziej precyzyjny wskaźnik nasilenia stresu suszy.



Ryc. 1. Wpływ zmian klimatu na metabolizm proliny w nasionach i siewkach drzew

Zmiany w mykobiomie glebowym na stanowiskach daglezi zielonej i modrzewia europejskiego dotkniętych pożarem

Marta Kujawska*, Tomasz Leski, Daniel Janowski, Leszek Karliński,
Maria Rudawska, Robin Wilgan

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

Pożary lasów odgrywają istotną rolę w kształtowaniu ekosystemów leśnych na świecie. Choć historycznie były stosunkowo rzadkie w Europie Środkowo-Wschodniej, ich ryzyko wzrasta wraz z nasilaniem się susz i ekstremalnych zjawisk pogodowych oraz postępującą zmianą klimatu. Reakcje mikroorganizmów glebowych lasów strefy umiarkowanej na pożary są wciąż słabo poznane. Dotyczy to zwłaszcza zmian w zbiorowiskach grzybów, które mają kluczowe znaczenie dla obiegu węgla, składników odżywczych oraz procesów regeneracji drzewostanów po zaburzeniach. Szczególną rolę w tych procesach odgrywają grzyby ektomykoryzowe (ECM), tworzące ścisłe symbiozy z drzewami i wpływające na ich odżywianie, kondycję oraz odporność na stres środowiskowy.

Celem badań było określenie zmian mykobiomu glebowego oraz porównanie jego regeneracji w dotkniętych pożarem drzewostanach dwóch gatunków iglastych o odmiennych cechach ekologicznych i odporności na ogień – rodzimego

modrzewia europejskiego (*Larix decidua*) oraz obcego gatunku – daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii*). Badania przeprowadzono na obszarze Lasu Doświadczalnego Zwierzyniec w Kórniku, na sąsiadujących powierzchniach proveniencyjnych obu gatunków, co pozwoliło ograniczyć wpływ różnic siedliskowych na obserwowane wzorce. Oba gatunki rosły na tym samym typie podłoża. Zbiorowiska grzybów glebowych analizowano metodą sekwencjonowania nowej generacji (NGS) na platformie Illumina, sekwencjonując region ITS rybosomalnego DNA (rDNA) grzybów. Próbkę gleby pobierano w latach 2021–2023 w siedmiu terminach po pożarze, odpowiadających kolejnym etapom regeneracji mykobioty.

Pożar silniej wpłynął na mykobiotę glebową modrzewia niż daglezi, co potwierdziły zarówno wyższe wartości η^2 , jak i niższe bogactwo wariantów sekwencji ampikonowych (ASV, amplicon sequence variants) na spalonej powierzchni modrzewiowej. Pożar wyjaśniał 55,7% zmienności składu mykobioty, podczas gdy gatunek drzewa odpowiadał za 15,5%. Jednocześnie na powierzchniach kontrolnych niedotkniętych pożarem zbiorowiska grzybów były bardziej zróżnicowane między drzewostanami obu gatunków drzew, natomiast po pożarze stały się bardziej podobne. Spośród analizowanych właściwości gleby największe znaczenie dla zmian mykobioty miała zawartość magnezu, wapnia i przyswajalnego azotu.

W drzewostanach obu gatunków obserwowano podobną dynamikę zmian zbiorowisk grzybowych w czasie, wskazującą na równoległy przebieg regeneracji. Wyraźne różnice dotyczyły jednak udziału grzybów ektomykoryzowych, który był wyższy na powierzchniach daglezjowych. Większej obfitości ECM towarzyszyła również wyraźnie lepsza przeżywalność drzew: większość daglezi przetrwała pożar, podczas gdy modrzewie uległy silnej defoliacji i obumarły. Wyniki wskazują zatem, że odporność części nadziemnej drzewa na ogień może być powiązana z zachowaniem lub szybszą odbudową jego podziemnych relacji mykoryzowych.

Większość gatunków kolonizujących glebę po pożarze była wspólna dla drzewostanów obu gatunków drzew, jednak ich skład się różnił. Na spalonych powierzchniach modrzewia wyróżniał się *Oidiodendron*, natomiast na powierzchniach daglezjowych duży udział miały grzyby z rodzaju *Diplogelasinospora* oraz grzyby ektomykoryzowe, takie jak *Thelephora* i *Tylospora*. Na powierzchni modrzewiowej odnotowano znaczący udział grzybów erikoidowych, potencjalnie uczestniczących we wczesnych etapach rozkładu materii organicznej i przemianach azotu, natomiast na powierzchniach daglezjowych liczniej występowały grzyby saprotroficzne związane ze środowiskiem pożarzyskowym, w tym *Pholiota highlandensis* i *Diplogelasinospora grovesii*.

Uzyskane wyniki wskazują, że pożar silnie przekształca podziemne zbiorowiska ekosystemów leśnych, a tożsamość gatunku drzewa może modyfikować skalę i charakter tych zmian. Większa odporność daglezi oraz wyższy udział grzybów ECM mogą wskazywać na większą stabilność jej relacji symbiotycznych z grzybami ektomykoryzowymi, szczególnie w obliczu pożaru. Jednocześnie, ze względu na obce pochodzenie daglezi oraz jej lokalnie obserwowany potencjał do rozprzestrzeniania się w Europie, większa odporność tego gatunku na pożar powinna być rozpatrywana w szerszym kontekście ekologicznym, biorącym pod

uwagę zarówno cechy adaptacyjne daglezi, jak i wpływ na rodzime ekosystemy. Wyniki podkreślają znaczenie grzybów glebowych i symbiozy mykoryzowej w ocenie odporności oraz regeneracji ekosystemów leśnych w warunkach narastającego zagrożenia pożarowego i zmian klimatu.

Badania sfinansowano ze środków Instytutu Dendrologii PAN (DEC-2024/04/ZB/FBW/06).

Integrating stakeholder preferences into forest extraction planning: a decision-support approach

Francesco Latterini^{1*}, Aurora Bonaudo², Rachele Venanzi²,
Rodolfo Picchio²

¹*Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences, Parkowa 5, 62-035 Kórnik, Poland*
**latterini@man.poznan.pl*

²*Department of Agriculture and Forest Sciences, University of Tuscia, Via San Camilo de Lellis
01100 Viterbo, Italy*

Extraction system selection is a critical component of sustainable forest operations because it directly influences productivity, environmental impacts and worker safety. GIS-based decision-support systems (DSS) can improve the transparency and consistency of this process, but the extent to which stakeholder preferences influence their recommendations remains insufficiently understood. This study assessed the effect of stakeholder-specific preferences on extraction system allocation within a GIS-based DSS applied to three Mediterranean forest areas in central and southern Italy. The DSS integrated six spatial and operational criteria: terrain slope, surface roughness, extraction distance, road density, soil bearing capacity and timber amount. System suitability was calculated using Analytic Hierarchy Process weights provided by four stakeholder groups: researchers, forest owners, forestry technicians and forest workers. Differences in system allocation were evaluated using Stuart–Maxwell tests and agreement statistics. Generalised linear mixed models were used to assess the influence of stakeholder role, while variance partitioning quantified the relative contribution of stakeholder identity and spatial factors to decision variability. Extraction system allocation differed significantly among stakeholder groups. Operational stakeholders were more likely to select ground-based extraction systems than researchers and forest owners (odds ratio = 3.18, $p < 0.001$). Nevertheless, most variability was explained by parcel-level factors (53.9%) and differences among study areas (44.0%), whereas stakeholder identity accounted for only 2.2% of the total variance. Spatial disagreement was concentrated mainly in areas where different extraction systems showed similar suitability values. The results indicate that environmental and logistical conditions remain the primary drivers of extraction system selection, while stakeholder preferences exert a smaller but

still relevant influence. GIS-based DSS can therefore provide robust recommendations while also identifying spatially explicit areas of uncertainty where participatory discussion and expert judgement are particularly valuable.

Co kryje martwe drewno? Różnorodność grzybów nadrewnowych buczyn Wolińskiego Parku Narodowego

Tomasz Leski^{1*}, Maria Rudawska¹, Daniel Janowski¹,
Małgorzata Stasińska², Marta Kujawska¹, Robin Wilgan¹,
Leszek Karliński¹

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

*tleski@man.poznan.pl

²Instytut Nauk o Morzu i Środowisku, Uniwersytet Szczeciński, ul. Felczaka 3c, 70-383 Szczecin

Martwe drewno odgrywa kluczową rolę w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych, stanowiąc zarówno zasób pokarmowy, jak i złożone środowisko dla wielu grup organizmów. Grzyby nadrewnowe są szczególnie wrażliwymi wskaźnikami procesów ekologicznych zachodzących w lasach i często są wykorzystywane jako wyznacznik ich naturalności. Prezentowane badania przeprowadzono w Wolińskim Parku Narodowym (WPN), uwzględniając cztery zespoły leśne: kwaśną buczynę niżową (*Luzulo-Fagetum*; Natura 2000, siedlisko 9110), żyzną buczynę niżową (*Asperulo-Fagetum*; siedlisko 9130), pomorski las dębowo-bukowy (*Fago-Quercetum petraeae*) oraz występującą wyłącznie na terenie WPN storczykową buczynę nadmorską (*Cephalanthero-Fagetum*, siedlisko priorytetowe 9150-5). W każdym z wytypowanych zespołów wyznaczono po pięć powierzchni badawczych o powierzchni 400 m², na których prowadzono szczegółowe obserwacje owocników. Jednocześnie przeprowadzono metabarkodowanie próbek martwego drewna pobranych z leżących kłód w trzech klasach rozkładu poprzez masowe sekwencjonowanie regionu ITS2 z wykorzystaniem platformy Illumina.

Na podstawie obserwacji owocników odnotowano łącznie 219 gatunków grzybów nadrewnowych. Największe bogactwo gatunkowe stwierdzono w kwaśnej buczynie (135 gatunków), a najmniejsze w buczynie storczykowej (115). Na pojedynczych powierzchniach liczba gatunków wahała się od 38 do 63, co wskazuje na wysoką heterogeniczność lokalną. Czterdzieści gatunków występowało we wszystkich typach siedlisk, natomiast liczba gatunków wyłącznych była silnie zróżnicowana – od 12 w żyznej buczynie do 30 w lesie bukowo-dębowym. Analiza podobieństw ANOSIM oraz analiza NMDS, wykonane na podstawie współczynnika Jaccarda, wykazały, że zbiorowiska grzybów nadrewnowych występujące na powierzchniach reprezentujących różne zespoły roślinne różnią się istotnie pod względem jakościowym. Aż 76 z 219 gatunków stwierdzonych na podstawie

owocników było nowych dla mykobioty WPN. Na terenie parku odnotowano również 42 gatunki grzybów nadrewnowych znajdujących się na polskiej czerwonej liście grzybów wielkoowocnikowych oraz cztery gatunki objęte ochroną prawną: *Hericium erinaceus*, *Fistulina hepatica*, *Hericium coralloides* i *Inonotus obliquus*.

Analizy molekularne ujawniły 6309 ASV (Amplicon Sequence Variant, wariant sekwencji ampliconu) grzybowych, z dominacją Ascomycota i Basidiomycota. Różnorodność taksonomiczna i troficzna wyraźnie wzrastała wzdłuż gradientu rozkładu drewna. W trzech klasach rozkładu stwierdzono odmienne zbiorowiska, a największe różnice obserwowano między klasą I i III. W późnym stadium rozkładu (III) wzrastał udział grzybów związanych z substratami innymi niż drewno, w tym saprotrofów wielotroficznych oraz grzybów symbiotycznych, zwłaszcza ektomykoryzowych. We wczesnych stadiach działał silny filtr substratowy: zespoły grzybów były bardziej podobne, niż oczekiwano losowo, co wynikało z dominacji grzybów saproksylicznych. W klasie III filtr ten słabł, a zbiorowiska stawały się bardziej zróżnicowane i podatne na wpływ lokalnych warunków siedliskowych. Choć rozkład drewna był głównym czynnikiem różnicującym zbiorowiska grzybów, wpływ typu siedliska stwierdzono dopiero w klasie III, w której zespoły grzybów w kwaśnej i storczykowej buczynie różniły się istotnie. Wynik ten wskazuje, że dopiero zaawansowany rozkład umożliwia kolonizację martwego drewna przez grzyby pochodzące z gleby i roślinności charakterystycznych dla danego siedliska.

Połączenie danych owocnikowych i molekularnych pokazuje, że różnorodność grzybów nadrewnowych w WPN jest wyjątkowo wysoka, a procesy kształtujące zbiorowiska są dwufazowe: wczesne stadia rozkładu są kształtowane głównie właściwościami substratu, natomiast w późnych stadiach rośnie znaczenie lokalnych warunków siedliskowych. Wyniki podkreślają konieczność zachowania martwego drewna w różnych klasach rozkładu i we wszystkich typach buczyn, aby skutecznie chronić pełne spektrum różnorodności grzybów oraz wspierać naturalne procesy ekologiczne w lasach bukowych.

Archiwa klonów – szansa na przyszłość topoli czarnej

Andrzej Lewandowski*, Weronika B. Żukowska

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

*alew@man.poznan.pl

Topola czarna (*Populus nigra* L.), jako gatunek pionierski, jest jednym z głównych drzew tworzących lasy łęgowe. Lasy te, rosnące na żyznych siedliskach, od dawna były trzebione i przekształcane na pastwiska oraz grunty orne, co w konsekwencji doprowadziło niemal do ich całkowitej zagłady. Ograniczenie powierzchni lasów łęgowych przyczyniło się do drastycznego zmniejszenia zarówno liczby, jak i wielkości populacji topoli czarnej. Na skutek przekształceń siedlisk praktycznie

brakuje odpowiednich terenów do naturalnego odnowienia gatunku. W istniejących populacjach szybko postępuje natomiast redukcja liczebności związana z osiągnięciem przez drzewa wieku terminalnego. W konsekwencji topola czarna jest obecnie gatunkiem zagrożonym wyginięciem w wielu krajach Europy, w tym w Polsce.

Pomimo że na terenach należących do Lasów Państwowych praktycznie nie ma topoli czarnej, są one jedynym podmiotem, który może w obrębie całego kraju prowadzić skuteczne, długofalowe działania związane z ochroną i restytucją tego gatunku. W pierwszym etapie, zgodnie z wynikami naszych badań, należałoby utworzyć sieć archiwów klonów dla odpowiednich odcinków rzek. Materiał z tych archiwów służyłby następnie do namnażania wegetatywnego zgromadzonych klonów oraz ich późniejszego wysadzania w terenie. Pierwsze takie archiwa zostały założone przez pracowników Instytutu Dendrologii PAN na terenie Wielkopolskiego Parku Narodowego i Parku Narodowego „Ujście Warty”, a także w szkółkach leśnych nadleśnictw: Ostrów Mazowiecka, Toruń i Rudnik nad Sanem. W najbliższej przyszłości należałoby też dążyć do utworzenia odpowiedniej bazy nasiennej w celu pozyskiwania nasion.

Zaproponowane działania mogą pomóc w zachowaniu puli genowej ginącej topoli czarnej, natomiast brak działań może prowadzić do utraty gatunku nad większością polskich rzek już w perspektywie obecnego pokolenia.

Badania realizowane są w ramach usługi badawczej pt. „Wybór populacji i genotypów topoli czarnej na potrzeby ochrony i restytucji gatunku na obszarach zarządzanych przez Lasy Państwowe”, finansowanej przez DGLP w Warszawie.

Rozwiązanie zagadki rodzimej dendroflory: genomowe spojrzenie na historię hybrydyzacji *Pinus uliginosa*

Bartosz Łabiszak¹, Witold Wachowiak^{1,2}

¹Zakład Ekologii Roślin i Ochrony Środowiska, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań,
bartosz.labiszak@amu.edu.pl

²Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
witoldw@man.poznan.pl

Hybrydyzacja międzygatunkowa może zwiększać zmienność genetyczną, przyspieszać adaptację poprzez introgresję, a także sprzyjać powstawaniu nowych gatunków mieszańcowych. Ze względu na słabe bariery rozrodcze, efektywny przepływ genów oraz często nakładające się zasięgi geograficzne niektóre gatunki drzew leśnych stanowią dobry model do badań nad powtarzalnością procesów hybrydyzacyjnych. Badania stref mieszańcowych z wykorzystaniem wysokopręciwych danych pochodzących zarówno z genomu jądrowego, jak i organel-

lowego pozwalają ustalić, czy hybrydyzacja pozostawia powtarzalne i przewidywalne wzorce genomowe, czy też jej przebieg jest w dużej mierze determinowany przez lokalne warunki środowiskowe.

W prezentowanych badaniach przeanalizowaliśmy ponad 1700 osobników z 29 populacji obejmujących trzy niezależne strefy hybrydyzacji sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) i gatunków z kompleksu *P. mugo*, zlokalizowane w odmiennych warunkach siedliskowych: w dwóch systemach torfowiskowych oraz na podłożu piaszczystym. Analizy uzupełniono o allopatryczne populacje referencyjne *P. sylvestris*, *P. mugo* i *P. uliginosa*. Zmienność genomu jądrowego oceniano z wykorzystaniem dedykowanej macierzy SNP obejmującej regiony kodujące wytypowane na podstawie transkryptomu. Markery chloroplastowego DNA wykorzystano do określenia kierunku przepływu genów podczas hybrydyzacji. Dodatkowo w celu poznania wpływu hybrydyzacji na strukturę genomu mitochondrialnego zastosowaliśmy innowacyjne podejście obejmujące izolację frakcji mitochondrialnej i sekwencjonowanie długich odczytów w technologii Oxford Nanopore. Pozwoliło to na złożenie genomów mitochondrialnych oraz ocenę ich struktury u mieszańców.

We wszystkich analizowanych strefach kontaktu hybrydyzacja była powszechna. Hybrydy będące wynikiem wielokrotnych krzyżówek wstecznych stanowiły większość osobników z populacji mieszańcowych, natomiast udział osobników pokolenia F1 był niewielki. Pomimo wyraźnych różnic siedliskowych skład genomu jądrowego był zaskakująco podobny we wszystkich strefach. W większości przypadków introgresja miała charakter asymetryczny, z wyraźnym udziałem genomu *P. mugo*. Skanowanie genomu oraz analizy klinów genomowych wskazały loci wykazujące nielosowe wzorce introgresji, co sugeruje, że czynniki ekologiczne mogą wpływać na los genomów o mieszanym pochodzeniu.

Analizy genomów mitochondrialnych wykazały ich niezwykle strukturę: składają się one z trzech niezależnych, kolistych chromosomów o łącznej wielkości około 2,5 Mbp. Analizy mieszańców pozwoliły również scharakteryzować sposób dziedziczenia genomu mitochondrialnego oraz zidentyfikować markery mitochondrialne różnicujące badane gatunki. Ponadto nasze badania umożliwiły precyzyjne ustalenie pochodzenia genetycznego osobników klasyfikowanych morfologicznie jako *P. uliginosa*. Osobniki te nie tworzyły odrębnej linii genetycznej, co wspiera pogląd, że takson ten stanowi część dynamicznego kontinuum hybrydyzacyjnego, a nie niezależną jednostkę gatunkową.

Wyniki pokazują, że strefy hybrydyzacji sosen łączą powtarzalne wzorce obserwowane w genomie jądrowym ze złożonym dziedziczeniem cytoplazmatycznym. Integracja informacji o pochodzeniu genomowym uzyskanych na podstawie markerów jądrowych, haplotypów chloroplastowych oraz struktury genomów mitochondrialnych pozwala lepiej zrozumieć, w jaki sposób hybrydyzacja kształtuje granice gatunkowe, zmienność adaptacyjną oraz ewolucję genomów organelowych u długowiecznych drzew leśnych.

Badania sfinansowano ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach projektów nr 2020/39/B/NZ9/00051 oraz 2021/41/N/NZ8/00125.

Czy Puszcza Białowieska byłaby inna? Wpływ roślinożernych ssaków kopytnych na skład gatunkowy drzewostanów

Stanisław Miścicki^{1*}, Anna Gazda², Emilia Wysocka-Fijorek³

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

²Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

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

Za jedną z przyczyn słabego odnawiania się niektórych gatunków drzew w Białowieskim Parku Narodowym (BPN) uważa się nadmierne zagęszczenie, a przez to zbyt dużą presję roślinożernych ssaków kopytnych.

Celem pracy było udzielenie odpowiedzi na dwa pytania: (1) czy żerowanie roślinożernych ssaków kopytnych hamuje proces odnowienia drzew, mimo występowania odpowiednich warunków do rozwoju nalotu i podrostu oraz (2) czy żerowanie to zmienia skład gatunkowy odnowienia drzew w porównaniu ze składem odnowienia powstającego naturalnie na powierzchniach, z których wykluczono tych roślinożerców.

Jednostką terytorialną, w której obrębie badano wpływ roślinożernych ssaków kopytnych na młode pokolenie drzew, były łącznie traktowane drzewostany tzw. Rezerwatu Ścisłego BPN, czyli jego najstarszej części. Wpływ ten oceniono przez porównanie zmian stanu odnowienia niedostępnego dla tych zwierząt ze zmianami stanu odnowienia w pełni dla nich dostępnego. Pomiarów wykonywano zasadniczo co cztery lata w okresie 2000–2023. Dane zebrano na 29 próbnych powierzchniach porównawczych, stanowiących jednostki statystyczne. Każda z nich składała się z dwóch działek (wielkości po ok. 50 m²) – ogrodzonej i nieogrodzonej, zlokalizowanych parami w podobnych warunkach ekologicznych, w miejscach wylosowanych na obszarze całego Rezerwatu Ścisłego. W tych samych terminach przeprowadzano porównawczą ocenę stanu nalotu i podrostu, w tym uszkodzeń drzew dokonanych przez roślinożerne ssaki kopytne. Wykorzystano do tego rezultaty pomiarów 160 stałych koncentrycznych powierzchni próbnych rozmieszczonych schematycznie na obszarze całego Rezerwatu Ścisłego.

Określono, czy między poszczególnymi terminami obserwacji oraz między dwoma rodzajami działek próbnych „górna” wysokość odnowienia oraz ilość odnowienia, w tym z uwzględnieniem poszczególnych gatunków drzew (mierzona przy użyciu sumy wysokości drzew), różniły się istotnie. Do oceny wykorzystano test Friedmana. Ponadto za pomocą wskaźnika Morisity określono zmiany podobieństwa struktury gatunkowej drzew pomiędzy oboma rodzajami działek, a także zmiany tego podobieństwa w obrębie tego samego rodzaju działek.

Struktura odnowienia pozostającego pod wpływem czterech gatunków kopytnych: jelenia (*Cervus elaphus*), sarny (*Capreolus capreolus*), łosia (*Alces alces*) i żubra (*Bos bonasus*) różniła się od struktury odnowienia wyłączonego spod oddziaływania tych zwierząt. Po upływie 23 lat średnia górna wysokość drzew

była ponadtrzykrotnie większa na działkach ogrodzonych niż na działkach nieogrodzonych. Na działkach ogrodzonych większa była także suma wysokości drzew odnowienia: początkowo różnica była trzykrotna, ale w ostatnim okresie, 2019–2023, zmniejszyła się do dwukrotnej. W przypadku podrostu o wysokości co najmniej 0,5 m i pierśnicy poniżej 7,0 cm w 2023 roku różnica była ponadczterokrotna. Ilość odnowienia grabu, klonu i świerka była istotnie mniejsza na działkach nieogrodzonych niż na ogrodzonych.

Po 23 latach wskaźnik podobieństwa struktury gatunkowej drzew między działkami zmniejszył się z 0,98 do 0,63. W okresie 2000–2023 wartość tego wskaźnika dla działek nieogrodzonych pozostawała niemal bez zmian (0,97 w roku 2023), ale zmniejszyła się dla działek ogrodzonych (0,47 w roku 2023). Oznaczało to, że po wyłączeniu oddziaływania roślinożernych ssaków kopytnych skład gatunkowy młodego pokolenia drzew zmieniał się systematycznie: dominację grabu zastąpiła dominacja klonu zwyczajnego.

W okresie 2000–2023 presja ssaków kopytnych mierzona za pomocą udziału drzew o wysokości 0,3–1,3 m z pędem głównym zgryzionym w ciągu ostatniego roku zwiększyła się dwukrotnie (z 34 do 71%).

Chociaż badania wskazały, że roślinożerne ssaki kopytne powodują znaczące zmiany składu gatunkowego odnowienia drzew, przełożenie ich rezultatów na sposób ochrony przyrody nie jest jednoznaczne. Wynika to z odmiennych interpretacji, wyrażanych w dwóch przeciwstawnych opiniach: (1) „kopytne są nieodłączną częścią ekosystemu leśnego i powinniśmy akceptować nie tylko obecność tych zwierząt, ale także każde nasilenie uszkodzeń młodych drzew powodowane przez nie”; (2) „nadmierne oddziaływanie kopytnych (które może być traktowane jako pośredni czynnik antropogeny) powoduje nienaturalne zmiany składu gatunkowego i struktury odnowienia, a w rezultacie późniejsze nienaturalne zmiany macierzystej warstwy drzew”.

Zakorzenione w przeszłości: kształtowanie cech korzeni i związanych z nimi mikrobiomów przez miejsce pochodzenia drzew

Joanna Mucha^{1*}, Jacek Oleksyn¹, Marcin Zadworny²

¹*Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
[jmucha@man.poznan.pl](mailto:jmuch@man.poznan.pl)

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

Dynamiczne zmiany klimatu ograniczają potencjał przystosowawczy drzew do ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak fale upałów, osłabiając znaczenie migracji populacji i procesów adaptacji genetycznej jako mechanizmów adaptacyjnych. Przewidywanie reakcji drzew na zmiany klimatu powinno opierać się

zarówno na ocenie różnorodności genetycznej populacji występujących na obszarach poddanych silnej presji klimatycznej, jak i na analizie zdolności gatunków o szerokim zasięgu geograficznym do przystosowywania się do wzrostu w zróżnicowanych warunkach środowiskowych. System korzeniowy wraz z powiązanymi z nim mikroorganizmami glebowymi będzie miał kluczowe znaczenie dla kształtowania reakcji drzew na zmieniające się warunki środowiskowe. Układ ten stanowi funkcjonalne ogniwo między pędem, reagującym na krótkoterminowe zmiany pogody, a środowiskiem glebowym, którego właściwości zmieniają się wolniej.

Wyniki wieloletnich doświadczeń proveniencyjnych wskazują na trwały wpływ klimatu miejsca pochodzenia nasion na wzrost korzeni dojrzałych drzew, utrzymujący się nawet po kilkudziesięciu latach wzrostu w jednakowych warunkach środowiskowych. Północne proveniencje sosny zwyczajnej, zachowujące wyższą biomasę korzeni absorpcyjnych, różnią się od proveniencji południowych pod względem przystosowania do pozyskiwania składników mineralnych. Różnice te są również widoczne w składzie chemicznym korzeni, w tym zawartości węgla i składników mineralnych. Cechy korzeni związane z pochodzeniem drzewa wpływają z kolei na zbiorowiska bakterii i grzybów żyjących w korzeniach i ich bezpośrednim otoczeniu. Wpływ na kształtowanie korzeni i powiązanych z nimi mikroorganizmów mają również zdarzenia, których drzewa doświadczają w ciągu życia. Susza może zmieniać skład zbiorowisk grzybów glebowych, aktywność enzymów oraz procesy związane z obiegiem składników mineralnych. Nie wszystkie elementy mikrobiomu reagują jednak równie silnie. Grzyby związane bezpośrednio z korzeniami wykazują większą stabilność niż zbiorowiska grzybów glebowych. Obecny stan korzeni i ich mikrobiomu jest więc wynikiem zarówno klimatu, do którego populacja była przystosowana, jak i warunków, których drzewo doświadczyło podczas swojego życia.

Korzenie drzew i związane z nimi mikrobiomy mogą przechowywać ślady przeszłości przez dziesięciolecia. Zapis ten wpływa na sposób pozyskiwania składników mineralnych, funkcjonowanie mikroorganizmów i reakcję drzewa na aktualne warunki. Reakcja drzew na zmiany klimatu oraz kierunek ich przyszłego rozwoju mogą zależeć nie tylko od przyszłych warunków klimatycznych, lecz także od warunków, w których drzewa i ich populacje funkcjonowały w przeszłości.

Mechanizm adaptacji buka do warunków środowiskowych w procesie kiełkowania nasion

Tomasz A. Pawłowski^{1*}, Marlène Davanture²,
Emilia Pers-Kamczyc¹, Andżelika Drozda¹, Jan Suszka¹, Paweł Chmielarz¹,
Mélisande Blein-Nicolas²

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

*tapawlow@man.poznan.pl

²GQE-Le Moulon, Université Paris-Saclay, INRAE, CNRS, AgroParisTech, 91190 Gif-sur-Yvette, France

Spoczynek nasion to kluczowa adaptacja, która synchronizuje ich kiełkowanie z występowaniem warunków środowiskowych korzystnych dla dalszego rozwoju siewek. Rola mechanizmów regulujących spoczynek nasion w warunkach naturalnych pozostaje słabo poznana. W niniejszym badaniu przeanalizowano kilka populacji buka pospolitego pochodzących z różnych siedlisk i różniących się cechami spoczynku i kiełkowania. Wykorzystano dojrzałe nasiona spoczynkowe, nasiona niespoczynkowe po stratyfikacji chłodnej oraz nasiona skiełkowane. Stwierdzono, że populacje buka wykazywały różne strategie kiełkowania, co znalazło odzwierciedlenie w skoordynowanym, ale różniącym się ilościowo i jakościowo przeprogramowaniu proteomicznym i transkryptomicznym.

Analiza proteomiczna wykazała, że w populacji Miękinia w porównaniu z populacją Wisła zwiększona była akumulacja białek uczestniczących w biosyntezie cukrów nukleotydowych, metabolizmie S-adenozylometioniny oraz biosyntezie flawonoidów. Zwiększona biosynteza cukrów nukleotydowych wskazuje na intensywniejszą przebudowę ściany komórkowej i nasilony metabolizm węglowodanów, co sprzyja wzrostowi zarodka i szybszemu kiełkowaniu. Nasilony metabolizm S-adenozylometioniny sugeruje wzrost epigenetycznej i hormonalnej regulacji kiełkowania nasion populacji Miękinia. Wyższa biosynteza flawonoidów wskazuje na większą zdolność antyoksydacyjną związaną z ochroną przed czynnikami środowiskowymi. W populacji Wisła odnotowano większą akumulację białek biorących udział w przetwarzaniu RNA, co sugeruje ściślejszą regulację potranskrypcyjną i reorganizację proteomu podczas kiełkowania. Głębszy spoczynek i późniejsze kiełkowanie nasion populacji Wisła wydają się w większym stopniu podlegać regulacji na poziomie RNA, podczas gdy kiełkowanie nasion populacji Miękinia opiera się głównie na aktywacji metabolicznej. Analiza transkryptomiczna wykazała pozytywną rolę genów regulujących transdukcję sygnałów hormonalnych oraz negatywną rolę genów regulacji ekspresji genów w środowiskowej kontroli kiełkowania nasion buka. Podsumowując, wyniki potwierdziły, że populacje buka przejawiają odmienne strategie adaptacyjne w zakresie kiełkowania nasion zarówno na poziomie proteomicznym, jak i transkryptomicznym. Zaobserwowano generalnie silniejszy wpływ fizjologiczny ustępowania spoczynku i kiełkowania nasion oraz słabszy wpływ genetyczny pochodzenia populacji. Kontrastujące profile ekspresji genów odzwierciedlały specyficzne dla

poszczególnych populacji strategii kiełkowania związane z głębokością spoczynku, stanowiące przejaw adaptacji buka pospolitego do różnorodnych warunków środowiska.

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

Od genów do fenotypu, od fenotypu do genów – molekularne podstawy odpowiedzi drzew na zmieniające się środowisko

Emilia Pers-Kamczyc

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

Drzewa należą do organizmów szczególnie narażonych na zmiany środowiskowe. Długowieczność, osiadły tryb życia oraz często bardzo szeroki zasięg geograficzny sprawiają, że w ciągu życia jednego osobnika warunki środowiskowe mogą ulegać znacznym wahaniom. Wzrost temperatury, coraz częstsze i intensywniejsze susze, fale upałów, późne przymrozki czy zmiany sezonowości wymagają od drzew ciągłego dostosowywania procesów fizjologicznych i rozwojowych. Zrozumienie, w jaki sposób drzewa odpowiadają na zmieniające się środowisko, wymaga zatem połączenia wiedzy o genomie, regulacji ekspresji genów, fizjologii, plastyczności fenotypowej i procesach adaptacyjnych zachodzących na poziomie populacji.

Kluczowym zagadnieniem współczesnej biologii drzew jest relacja między genotypem, środowiskiem i fenotypem. Klasyczny schemat „gen–cecha” okazuje się niewystarczający do wyjaśnienia większości cech związanych z odpornością na stres środowiskowy. Fenotyp drzewa jest zazwyczaj efektem współdziałania wielu genów oraz środowiska, w tym interakcji genotyp $\times$ środowisko. Ten sam genotyp może w różnych warunkach środowiskowych wytwarzać odmienne fenotypy, natomiast różne genotypy mogą reagować na ten sam bodziec z różną intensywnością. Zdolność do modyfikowania cech w odpowiedzi na warunki otoczenia, określana jako plastyczność fenotypowa, ma szczególne znaczenie dla drzew – organizmów długowiecznych. Badania relacji między genami a fenotypem można jednak prowadzić również w przeciwnym kierunku. Punktem wyjścia może być obserwowana zmienność fenotypowa między osobnikami lub populacjami. Drzewa mogą różnić się między innymi terminem pęknięcia pąków, rozpoczęciem i zakończeniem wzrostu, odpornością na suszę, tolerancją niskiej lub wysokiej temperatury, efektywnością wykorzystania wody czy tempem wzrostu. Pojawia się wówczas pytanie: jakie mechanizmy genetyczne odpowiadają za obserwowane różnice? Nowoczesna genomika umożliwia poszukiwanie odpowiedzi na to pytanie w skali całego genomu. Badania asocjacyjne, analizy QTL czy porównania

genomów osobników o odmiennych fenotypach pozwalają identyfikować regiony genomu i warianty genetyczne związane z określonymi cechami. Sama korelacja między wariantem DNA a fenotypem nie wyjaśnia jednak mechanizmu tej zależności. Dlatego wyniki analiz genomowych należy łączyć z informacjami o ekspresji genów, funkcji białek, metabolizmie i fizjologii. Dopiero integracja tych poziomów pozwala przejść od statystycznej asocjacji do wyjaśnienia mechanizmu biologicznego. Rozwój technologii „omicznych” znacząco rozszerzył możliwości badania tych procesów. Genomika dostarcza informacji o zmienności DNA, epigenomika – o regulacji aktywności genomu, transkryptomika – o zmianach ekspresji genów, proteomika – o białkach, a metabolomika – o końcowych produktach wielu procesów komórkowych. Dane te można następnie łączyć z pomiarami fizjologicznymi i fenotypowymi oraz szczegółową charakterystyką środowiska. Pozwala to uzyskać wielopoziomowy obraz zależności: od środowiska, przez regulację molekularną, po cechy całego organizmu.

Relację między genami, środowiskiem i fenotypem należy więc analizować jako system dynamiczny. W jednym kierunku można pytać, w jaki sposób informacja zawarta w genomie, poprzez regulację ekspresji genów i procesy fizjologiczne, prowadzi do powstania określonego fenotypu. W drugim można rozpocząć od pytania o przyczyny obserwowanej zmienności fenotypowej i poszukiwać jej molekularnych oraz genetycznych podstaw. Oba podejścia służą temu samemu celowi – zrozumieniu mechanizmów adaptacji. Wyjaśnienie tych mechanizmów będzie wymagało od badaczy połączenia genetyki, genomiki funkcjonalnej, epigenetyki, fizjologii, ekologii i nauk o środowisku. Dwukierunkowe podejście – od genów do fenotypu i od fenotypu do genów – pozwala pełniej zrozumieć, w jaki sposób drzewa i lasy odpowiadają na coraz szybciej zmieniające się warunki środowiska.

Genetyczne i biometryczne wzorce rozmieszczenia, ekspansja połodowcowa i wpływ człowieka na współczesny zasięg kłokoczki południowej (*Staphylea pinnata*)

Lukasz Piechnik^{1*}, Bartosz Łabiszak², Elżbieta Cieślak¹,
Sebastian Szczepański³, Przemysław Kurek², Andriy Novikov⁴,
Leonardo Rosati⁵, Ali A. Dönmez⁶, Monika Dering⁷, Tomasz Wójcik⁸,
Blanka Wiatrowska⁹, Magdalena Żywiec¹, Witold Wachowiak^{2,10}

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

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

³Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk, ul. Strzeszyńska 34, 60-479 Poznań

⁴State Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine, Teatralna 18,
Lviv 79008, Ukraine

⁵Scuola di Scienze Agrarie, Forestali e Ambientali, Università della Basilicata, Via Ateneo Lucano
10, Potenza 85100, Italy

⁶Department of Biology, Faculty of Science, Hacettepe University, Beytepe, Ankara, Türkiye

⁷Katedra Hodowli Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71A,
60-625 Poznań

⁸Katedra Ochrony Przyrody i Ekologii Krajobrazu, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4,
35-601 Rzeszów

⁹Katedra Botaniki i Siedliskoznawstwa Leśnego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71D, 60-625 Poznań

¹⁰Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

Kłokoczka południowa (*Staphylea pinnata* L.) jest jedynym przedstawicielem rodziny kłokoczkowatych Staphyleaceae w Europie Środkowej. To okazały krzew charakterystyczny dla termofilnych, żyznych i widnych lasów liściastych. Od wieków gatunek ten budził zainteresowanie człowieka w kontekście użytkowym i kulturowym. Z jego niezwykle wytrzymałego drewna wykonywano narzędzia, a pędy i owocostany służyły ludziom do obrzędów religijnych. W przeszłości stawiano hipotezę, że obecne rozmieszczenie *Staphylea pinnata* zostało częściowo ukształtowane przez intencjonalną działalność człowieka (wykopywanie osobników z naturalnych stanowisk i ich transport na nowe obszary). Celem niniejszych badań było zweryfikowanie tej hipotezy przez integrację danych genetycznych, filogeograficznych i morfometrycznych w całym zasięgu występowania gatunku. Uzyskane wyniki zestawiono z istniejącymi danymi archeobotanicznymi i etnobotanicznymi.

Materiał badawczy zebrano z 87 populacji (979 osobników) z obszaru Europy, Kaukazu i Półwyspu Anatolijskiego. Analizy genetyczne przeprowadzono przy użyciu nowo opracowanych markerów chloroplastowych (cpDNA) oraz

jądrowego regionu ITS. Równolegle wykonano analizę biometryczną 11 cech morfologicznych liści w 49 populacjach.

Zarówno dane genetyczne, jak i morfometryczne wykazały, że współczesny zasięg kłokoczki w Europie jest przede wszystkim efektem naturalnej, polodowcowej rekolonizacji z dwóch głównych refugium plejstocenских: apenińskiego (haplotyp H3) oraz bałkańskiego (haplotyp H1). W średnich szerokościach geograficznych zidentyfikowano tzw. „strefy szwów” (*suture zones*) o podwyższonej różnorodności genetycznej, powstałe w wyniku wtórnego kontaktu linii migracyjnych. Populacje z Kaukazu i Anatolii okazały się wysoce zróżnicowane i unikalne, jednak nie brały udziału w kolonizacji środkowej Europy. Kluczowym wynikiem było wskazanie na punktowy, wyraźny wpływ człowieka na strukturę genetyczną na północnej granicy zasięgu gatunku. Obecność obcych geograficznie linii genetycznych stwierdzono m.in. we wschodniej Francji, na Podolu (Ukraina) oraz w Polsce na Dolnym Śląsku, co pośrednio wskazuje na historyczną introdukcję i antropochorię. To właśnie na tych obszarach zaobserwowano znaczący wpływ człowieka na rozmieszczenie gatunku. Ponadto stwierdzono, że rozkład haplotypów na tych terenach częściowo odbiega od naturalnych wzorców, a tutejsze stanowiska *Staphylea pinnata* często znajdują się na obszarach o dużym nagromadzeniu pozostałości osad ludzkich z okresu od epoki brązu do wczesnego średniowiecza.

Zmienność morfologiczna liści częściowo pokrywała się ze strukturą genetyczną, odzwierciedlając jednak silny wpływ lokalnych warunków środowiskowych i plastyczność fenotypową krzewów. Badania przeprowadzone przez zespół dostarczyły nowych danych na temat rozmieszczenia *Staphylea pinnata*, rzadkiego gatunku krzewu, który po raz pierwszy został poddany analizie molekularnej. Uzyskane wyniki wnoszą istotny wkład w zrozumienie procesów kształtowania różnorodności genetycznej rzadkich składników naszych lasów i stanowią podstawę do opracowania strategii ich ochrony w dobie globalnych zmian klimatycznych.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki (NCN), grant nr 2021/41/N/NZ9/02430 oraz ze środków statutowych Instytutu Botaniki im. W. Szafera PAN.

Daglezja zielona w polskich lasach

Marcin Pietras*, Tomasz Sobczak, Paweł Horodecki

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

*mpietras@man.poznan.pl

Daglezja zielona (*Pseudotsuga menziesii*) jest jednym z najważniejszych gatunków lasotwórczych w skali świata. Uważana jest za jeden z najczęściej introdukowanych gatunków drzew iglastych na świecie. Dlatego też znaczenie gospodarcze daglezji w Europie stale rośnie. Szacuje się, że w Polsce gatunek ten zajmuje do

5000 ha i wprowadzany był głównie ponad 100 lat temu na powierzchniach doświadczalnych. Z jednej strony wiemy, że obecnie panujące w Europie warunki klimatyczne pozwalają na bardzo dobrą aklimatyzację daglezi, z drugiej strony prognozy zmian klimatu na następne lata wskazują, że utraci ona swoje optimum klimatyczne w Europie. Negatywne skutki zmian środowiskowych dla rozmieszczenia geograficznego drzew mogą łagodzić związane z nimi organizmy, zwłaszcza grzyby ektomykoryzowe. Koinrodukcja obcych gatunków drzew z ich rodzimymi symbiontami grzybowymi stanowi istotny, lecz słabo poznany element inwazji biologicznych.

Badania przeprowadzone w ostatnich latach w Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku potwierdzają wpływ daglezi zielonej na rodzime ekosystemy leśne. Wskutek zwiększonej depozycji ścióły bogatej w makroelementy gleba w miejscach wprowadzenia daglezi cechuje się o 50% większą zawartością węgla całkowitego, głównie w formie organicznej, a także zwiększoną zawartością azotu zarówno ogółem (o 50%) oraz w formach dostępnych w glebie (o 25%). Zmiany w dostępności składników mineralnych w glebie pociągają za sobą zmiany w składzie gatunkowym roślin runa leśnego, całkowite przekształcenie zbiorowisk grzybów glebowych oraz zmianę tempa dekompozycji materii organicznej, w porównaniu z lasami referencyjnymi. Badania pozwoliły również stwierdzić obecność obcych gatunków grzybów symbiotycznych związanych z daglezą, których występowanie wpływać może na inwazyjność drzewa.

Wnioski z badań podkreślają negatywny wpływ wprowadzania daglezi zielonej na rodzime elementy przyrody, a tym samym, zgodnie z definicją Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody, pozwalają uznać dagleżę za gatunek inwazyjny w Polsce.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantu OPUS nr DEC2019/35/B/NZ8/01798.

Dymorfizm płciowy i zmiany sezonowe a różnicowanie cech fizjologicznych jemioły pospolitej (*Viscum album*)

Mariola Rabska^{1*}, Dawid Adamczyk¹, João Paulo Rodrigues Martins¹,
Piotr Robakowski², Magdalena Terlecka¹, Grzegorz Iszkuło^{1,3}

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

²Katedra Siedliskoznawstwa i Ekologii Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71E, 60-625 Poznań

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

Sprawność fotosyntetyczna roślin wieloletnich w strefie umiarkowanej jest silnie modyfikowana przez sezonową dynamikę czynników środowiskowych. U gatunków dwupiennych na tę zmienność nakładają się odmienne strategie alokacji zasobów i koszty reprodukcyjne obu płci. U półpasożytów, takich jak jemioła pospolita (*Viscum album* L.), relacje te są dodatkowo modyfikowane przez zależność od drzewa żywicielskiego (np. *Malus* sp.) oraz specyficzny przebieg cyklu życiowego, obejmujący m.in. zimowy termin kwitnienia oraz letnią wymianę roczników liści.

Celem pracy była ocena interakcji między dymorfizmem płciowym a sezonową zmiennością środowiskową w regulacji wybranych cech fizjologicznych, morfologicznych i funkcjonalnych *V. album*. Pomiary przeprowadzono w ciągu rocznego cyklu w sześciu kluczowych etapach fenologicznych: w sierpniu (po opadnięciu starych liści, gdy młode przejmują ciężar asymilacji), październiku (przygotowanie do zimy), grudniu (spadek temperatur i skrócony fotoperiod w okresie pełnego spoczynku gospodarza), lutym (kwitnienie przypadające na niskie temperatury i uśpienie hydrauliczne żywiciela), kwietniu (regeneracja po kwitnieniu i ruszanie wegetacji gospodarza) oraz w czerwcu (szczyt sezonu wegetacyjnego i etap końcowy dla jednorocznych liści przed ich zrzućeniem). Oceniono stan fizjologiczny i fotochemiczny aparatu fotosyntetycznego, wybrane wskaźniki gospodarki wodnej i mineralnej, a także cechy morfologiczno-funkcjonalne liści.

Uzyskane wyniki wskazują na wyraźną, przesuniętą w czasie zmienność między płciową w odpowiedzi na stresy środowiskowe i nakłady reprodukcyjne. Wyniki wskazują, że koszty fizjologiczne u osobników męskich i żeńskich ujawniają się w odmiennych momentach cyklu rocznego, zwłaszcza w krytycznym okresie lutowego kwitnienia oraz podczas letnio-jesiennej wymiany liści i rozwoju owoców. Prezentowane badania poszerzają wiedzę na temat mechanizmów adaptacyjnych półpasożytów oraz specyfiki kompromisów metabolicznych u obu płci w zmiennych warunkach środowiskowych.

Badania zostały sfinansowane ze środków Instytutu Dendrologii PAN (DEC-2022-03-ZB-FBW-00014).

Tioredoksyna h1 jako tiolowy regulator długowieczności nasion buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.)

Ewelina Ratajczak^{1*}, Aleksandra M. Staszak², Paola Vargas³,
Mariam Sahrawy³, Antonio J. Serrato³, Hanna Fuchs¹

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

²Pracownia Fizjologii Roślin, Katedra Biologii i Ekologii Roślin, Wydział Biologii,
Uniwersytet w Białymstoku, ul. Ciołkowskiego 1J, 15-245 Białystok

³Department of Stress, Development and Signaling in Plants, Estación Experimental del Zaidín,
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 18008 Granada, Spain

Nasiona buka zwyczajnego podczas przechowywania stopniowo tracą żywotność, co ogranicza możliwość ich wykorzystania jako materiału rozmnożeniowego w odnowieniach leśnych i ochronie zasobów genowych. Jednym z procesów towarzyszących starzeniu się jest utlenianie reszt cysteinowych, które może zmieniać aktywność i stabilność białek. Tioredoksyna h1 (TRX h1) uczestniczy w przywracaniu zredukowanego stanu tych reszt, lecz zakres procesów komórkowych, które może regulować w nasionach buka, pozostaje niepoznany. Celem badań była identyfikacja białek docelowych TRX h1, określenie zmian w puli białek tiolowych podczas wieloletniego przechowywania nasion buka oraz porównanie uzyskanego profilu z profilami gatunków różniących się tolerancją nasion na podsuszanie.

W nasionach buka zwyczajnego zidentyfikowano 161 białek docelowych TRX h1. Najliczniej reprezentowane były białka związane z przetwarzaniem informacji genetycznej (66) i metabolizmem (47). Analiza funkcjonalna wykazała, że zidentyfikowane białka uczestniczą przede wszystkim w syntezie i kontroli jakości białek, metabolizmie energetycznym oraz obronie przed stresem oksydacyjnym. Są to procesy istotne zarówno dla zachowania funkcjonalności osi zarodkowej nasion podczas przechowywania, jak i dla wznowienia metabolizmu w trakcie kiełkowania.

W osiach zarodkowych nasion buka przechowywanych przez 15 lat całkowita zawartość białek rozpuszczalnych była o około 47% niższa niż w osiach zarodkowych nasion świeżych. Równocześnie zawartość zredukowanych grup tiolowych, wyrażona w przeliczeniu na jednostkę białka, była niższa o około 60% ($p = 0,005$). Analiza porównawcza wykazała, że profil zidentyfikowanych białek docelowych TRX h1 w nasionach buka był bardziej zbliżony do profilu nasion klonu jaworu, wrażliwych na podsuszanie, niż do profilu tolerujących utratę wody nasion klonu zwyczajnego. Łącznie wyniki te sugerują, że TRX h1 może uczestniczyć w zachowaniu funkcjonalności białek związanych z utrzymaniem żywotności nasion i ich zdolności do kiełkowania podczas długotrwałego przechowywania.

Podczas starzenia się nasion buka zmniejsza się udział zredukowanych reszt cysteinowych w proteomie. TRX h1 może uczestniczyć w utrzymaniu homeostazy

tiolowej białek zaangażowanych w metabolizm energetyczny, kontrolę jakości białek i obronę antyoksydacyjną. Zachowanie funkcjonalności tych białek może mieć duże znaczenie dla prawidłowej reaktywacji metabolizmu podczas kiełkowania. Zidentyfikowane białka docelowe TRX h1 mogą zatem stanowić potencjalne molekularne wskaźniki starzenia się nasion buka zwyczajnego oraz ich zdolności do zachowania żywotności podczas przechowywania.

Badania sfinansowano ze środków NCN (2018/31/B/NZ9/01548) oraz Instytutu Dendrologii PAN.

Fenologia, wzrost i fotosynteza sadzonek jodły pospolitej północnych proveniencji w różnych warunkach świetlnych

*Piotr Robakowski^{1*}, Adrian Łukowski¹, Zipiao Ye^{2,3},
Wojciech Kowalkowski¹*

¹Katedra Hodowli Lasu, Wydział Leśny i Technologii DREWNA, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71E, 60-625 Poznań,

**piotr.robakowski@up.poznan.pl*

²New Quality Productivity Research Center, Guangdong ATV College of Performing Arts, Deqing, 526600, China

³Institute of Biophysics, Math & Physics College, Jianggangshan University, Ji'an, 343009, China

Światło jest źródłem energii w fotosyntezie i steruje kluczowymi dla roślin procesami fotomorfogenetycznymi. Przystosowanie do ocienienia decyduje o przeżywalności i prawidłowym rozwoju drzew w młodocianej fazie rozwoju, szczególnie gatunków cieniznośnych, do których należy jodła pospolita. Różnice między gatunkami drzew leśnych w reakcji na światło były często badane, jednak ich zmienność wewnątrzgatunkowa, nawet w przypadku ważnych gospodarczo gatunków, jest stosunkowo słabo poznana. W prezentowanych badaniach przyjęto następujące hipotezy: (1) otwieranie pąków wierzchołkowych opóźnia się wzdłuż gradientu geograficznego z południa na północ; (2) dynamika wzrostu sadzonek zależy od interakcji między proveniencją a warunkami świetlnymi, sadzonki zaś wcześniej otwierające pąki wytwarzają większe przyrosty wysokości niż sadzonki później otwierające pąki; (3) sadzonki jodły pospolitej przystosowują się do pełnego światła lub ocienienia dzięki wysokiej plastyczności fotosyntetycznej.

Założono doświadczenie doniczkowe z dwuletnimi sadzonkami sześciu północnych proveniencji jodły pospolitej, w dwóch wariantach warunków świetlnych: w świetle pełnym i przy 36% światła pełnego. W odróżnieniu od wcześniejszych doświadczeń proveniencyjnych z jodłą do badań włączono zarówno populacje z niskich położań górskich (Międzyzlesie, Kamienna Góra), jak i populacje niżowe (Syców, Kolumna, Brzeziny), w tym jedną spoza naturalnego zasięgu

jodły pospolitej (Osusznica). Doświadczenie zaplanowano w układzie bloków losowych ($2 \text{ bloki} \times 2 \text{ warianty świetlne} \times 6 \text{ proveniencji} \times 10 \text{ sadzonek} = 240 \text{ sadzonek}$).

Obserwacje fenologiczne i pomiary dynamiki wzrostu wykonano w dwóch sezonach wegetacyjnych. Krzywe świetlne fotosyntezy (A/Q) wyznaczono w drugim roku aklimacji do światła. Do badań fenologicznych zastosowano metodę analizy przeżywalności Kaplana-Meiera. Obliczono wartości skumulowanego prawdopodobieństwa otwarcia pąka wierzchołkowego. Wyniki obserwacji skorelowano z sumami temperatur efektywnych. Dane wzrostowe analizowano za pomocą liniowego modelu mieszanego (LMM). Do krzywych A/Q dopasowano model fotosyntezy i obliczono kluczowe parametry.

W ocienieniu sadzonki południowych proveniencji (Międzylesie, Kamienna Góra) otwały pąki o około dwa tygodnie wcześniej niż północne (Osusznica). Wartości skumulowanego prawdopodobieństwa były wyższe w ocienieniu. Średnia wysokość 4-letnich sadzonek w 36% światła pełnego wynosiła $293 \pm 11 \text{ mm}$, a w świetle pełnym $285 \pm 12 \text{ mm}$, co potwierdza wysoką tolerancję i plastyczność sadzonek jodłowych w reakcji na światło. W warunkach ocienienia sadzonki zredukowały straty CO_2 i H_2O poprzez zmniejszenie przewodności aparatów szparkowych. Zwiększenie zysku węglowego zacienionych sadzonek było możliwe dzięki wzmocnieniu wydajności kwantowej fotosyntezy. Poziom asymilacji netto CO_2 był niższy w ocienieniu w porównaniu do światła pełnego ($10,0 \pm 0,4$ vs $12,0 \pm 0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a jednocześnie niższe było tempo oddychania ($0,40 \pm 0,04$ vs $1,1 \pm 0,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) i świetlny punkt kompensacji fotosyntezy ($7,0 \pm 0,7$ vs $23 \pm 1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Proveniencje jodły pospolitej na północnej granicy zasięgu różnią się terminem otwierania pąków wierzchołkowych i dynamiką przyrostu wysokości, a zatem mogą istotnie różnić się wrażliwością na późne przymrozki. Wysoka plastyczność fotosyntetyczna i wzrostowa sprawia, że młode jodły rosną zarówno w pełnym świetle, jak i w ocienieniu. Otrzymane wyniki wskazują, że sadzonki jodłowe powinny być sadzone w warunkach świetlnych zbliżonych do tych, które panowały w szkółce. Zmienność wewnątrzgatunkowa jodły pospolitej określona na podstawie fenotypowej plastyczności sadzonek w reakcji na światło wpływa na udatność upraw i potencjał adaptacyjny tego gatunku. Otrzymane wyniki są uwzględniane w planowaniu restytucji i migracji wspomaganej jodły pospolitej.

Wykorzystanie danych fenologicznych do szacowania wielkości strumieni CO₂ na torfowisku w Rzecinie

Monika Anna Różańska*, Patryk Poczta, Bogdan Chojnicki

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

*monika.rozanska@puls.edu.pl

Torfowiska na terenach leśnych stanowią cenne ekosystemy, które, jeśli są dobrze zachowane i odpowiednio zarządzane, mogą być pochłaniaczami netto CO₂ z atmosfery. Do szacowania bilansu węgla, pozwalającego określić, czy mokradło jest pochłaniaczem, czy emitentem netto CO₂, służy m.in. metoda kowariancji wirów. Typowe pokrycie czasowe danymi w tej metodzie wynosi około 60–70%, co wynika m.in. z awarii czujników, odrzucania danych ze względu na niekorzystne warunki meteorologiczne czy zamoczenia czujników podczas opadów. Konwencjonalne metody uzupełniania nieciągłości w seriach danych opierają się na wykorzystaniu wartości parametrów abiotycznych, takich jak promieniowanie (R) i temperatura powietrza (TA), często z pominięciem aktualnego stanu roślinności, który może mieć znaczący wpływ na wartość wymiany ekosystemu netto (NEE). Prosty sposób monitorowania roślinności, wykorzystywanym coraz częściej w ostatnich latach, są kamery monitoringowe (fenologiczne). Kamera zainstalowana na torfowisku w Rzecinie (województwo wielkopolskie, gmina Wronki) rejestruje obraz roślin w trzech kanałach – czerwonym, zielonym i niebieskim (RGB). Skierowana na fragment torfowiska (ROI), rejestruje zmiany stanu roślinności co 5 minut. Uzyskane z kamery uśrednione dla ROI szeregi czasowe parametrów kolorów zostały przekształcone w wartości dzienne, by następnie wraz z podstawowymi danymi meteorologicznymi (TA, R) oraz mierzonymi wartościami NEE stanowić dane uczące dla modeli regresji liniowej i losowego lasu (*random forest*). Uzyskane modele zostały następnie przetestowane pod kątem możliwości szacowania NEE na zbiorze danych niewykorzystanym do uczenia.

W przypadku zastosowania regresji liniowej uzyskano błąd średniokwadratowy (RMSE) równy 2,82 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, podczas gdy dla losowego lasu wyniósł on 1,74 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Wyniki uzyskane dla modeli uczenia maszynowego oraz stosunkowo wysokie wartości współczynników korelacji NEE z częścią parametrów kolorów (dla siedmiu parametrów $r > 0,49$, co jest wartością wyższą niż dla TA) wskazują, że opracowane metody mogą być wykorzystywane do szacowania NEE na podstawie prostych parametrów biotycznych (RGB) i abiotycznych (R i TA). Ich niewątpliwą zaletą jest uwzględnienie podczas obliczeń aktualnego stanu pokrywy roślinnej, co może mieć znaczenie przy szacowaniu bilansu węgla dla nieciągłości danych obejmujących wiele dni.

Nowa fala *Sequoiadendron giganteum* w Polsce – możliwości i ograniczenia zastosowania gatunku na terenach zielonych (parki, skwery, lasy miejskie)

Agnieszka Ryzza-Woźniak, Kacper Woźniak*

*Tajemniczy Ogród, Projektowanie-Zakładanie-Konserwacja Terenów Zielonych, Olbrachtów 68a,
68-200 Żary, *a_ryzza@o2.pl*

Drzewa mają olbrzymie znaczenie zarówno dla krajobrazu naturalnego (lasy pierwotne, puszcze, tereny podmokłe, góry), jak i kulturowego (parki, skwery, lasy miejskie, okrajki, nasadzenia śródpolne, sady, szpalery, aleje, solitery). Drzewa jednocześnie kształtują krajobraz i są od niego zależne. Mają „swoje” miejsca, które obecnie na skutek wielu, często gwałtownych zmian, ulegają przekształceniu. Zmieniające się warunki środowiskowe, w tym zmiany klimatu, wywołują liczne, złożone problemy w funkcjonowaniu rodzimych drzew, otwierają jednak nowe możliwości dla niektórych zaaklimatyzowanych obcych gatunków drzewiastych, znanych dotąd z nielicznych stanowisk w ogrodach botanicznych, arboretach i dawnych prywatnych majątkach ziemskich.

Niniejsze wystąpienie, oparte na ponadtrzydziestoletnich doświadczeniach terenowych z północnoamerykańskim gatunkiem *Sequoiadendron giganteum*, stanowi próbę odpowiedzi na pytanie, jakie są możliwości i ograniczenia jego zastosowania jako nowego komponentu zieleni miejskiej lub lasów w warunkach zachodzących zmian środowiskowych. Czy jest możliwe rozpowszechnienie gatunku *Sequoiadendron giganteum* bez ryzyka nieprzewidzianych konsekwencji jego szerszego wprowadzenia? Czy nadszedł już na to czas?

Wpływ rozległych intensywnych zaburzeń na proces naturalnego odnowienia lasu

Jerzy Szwagrzyk¹, Tomasz Zwijacz-Kozica², Antoni Zięba²,
Aklilu B. Madalcho^{1,3}, Jan Bodziarczyk¹, Zbigniew Maciejewski⁴,
Andrzej Tomski⁵, Wojciech Krawczyk⁶, Anna Gazda¹

¹Katedra Bioróżnorodności Leśnej, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja
w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

²Tatrzański Park Narodowy, Kuźnice 1, 34-500 Zakopane

³Department of Natural Resource Management, College of Agriculture, Wolaita Sodo University,
P.O. Box 138, Wolaita Sodo, Ethiopia

⁴Roztoczański Park Narodowy, ul. Plażowa 2, 22-470 Zwierzyniec

⁵Instytut Matematyki, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski w Katowicach,
ul. Bankowa 14, 40-007 Katowice

⁶Katedra Zarządzania Zasobami Leśnymi, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona
Kołłątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Rozległe naturalne zaburzenia o dużej intensywności wywierają istotny wpływ na dynamikę lasu. O ile w przypadku lasów zagospodarowanych skutkuje to zwykle powstaniem zrębów sanitarnych i wieloletnią akcją sadzenia nowego lasu, w lasach wyłączonych z gospodarowania wpływ naturalnych zaburzeń na dynamikę lasu jest złożony. Dotyczy to szczególnie procesu naturalnego odnowienia lasu; na jego przebieg, oprócz skali i intensywności zaburzenia, wpływają bowiem także inne czynniki, na przykład zgryzanie młodych drzew przez zwierzęta kopytne.

W naszych badaniach skupiliśmy się na wpływie rozległych i intensywnych naturalnych zaburzeń na odnowienie gatunków chętnie zgryzanych przez jeleniowate; ich odnowienie w lasach gospodarczych wymaga zwykle grodzenia upraw. Badania przeprowadziliśmy w dwóch parkach narodowych wyraźnie różniących się pod względem reżimu zaburzeń. W Tatrzańskim Parku Narodowym zaburzenia w ciągu ostatnich dekad były rozległe i intensywne, natomiast w Roztoczańskim Parku Narodowym zaburzenia były ograniczone do powstawania niewielkich luk w drzewostanie. W każdym z obszarów badawczych prace terenowe przeprowadziliśmy na 22 prostokątnych transektach o wymiarach 30 × 5 m, z których każdy obejmował zarówno lukę, jak i fragment sąsiadującego z nią drzewostanu. Na powierzchniach tych mierzyliśmy podrosty drzew (od 0,5 do 3,0 m wysokości) i mierzyliśmy średnice wszystkich zgryzionych pędów, a także wykonywaliśmy hemisferyczne zdjęcia okapu leśnego w celu scharakteryzowania warunków świetlnych. Na podstawie pomiarów grubości młodych drzew i grubości zgryzionych pędów wyliczyliśmy dla każdego transektu wskaźnik zgryzania przez zwierzęta kopytne.

Dwa porównywane obiekty badawcze różniły się skrajnie pod względem frakcji powierzchni pozbawionej okapu drzewostanu; w TPN było to ponad 35%, a w RPN niecałe 0,7%. Bardzo wyraźne różnice wystąpiły także w warunkach świetlnych na powierzchniach badawczych (średnio 42% światła pełnego w TPN i 9% światła pełnego w RPN). Dla ogółu podrostów związek między

intensywnością zgryzania a dostępnością światła był negatywny, ale bardzo słaby. Duże i istotne statystycznie różnice wystąpiły natomiast przy porównaniu wskaźnika zgryzania podrostów między TPN i RPN. W przypadku większości porównywanych gatunków wskaźnik zgryzania był istotnie wyższy w RPN niż w TPN. Jedynie w przypadku świerka (który w obu obiektach badawczych był najmniej zgryzanym gatunkiem) oraz jarzębiny (która w RPN występowała na powierzchniach badawczych bardzo nielicznie) różnice w intensywności zgryzania między TPN i RPN były nieistotne statystycznie. Wynika z tego, że znaczący wpływ na zgryzanie podrostów ma nie tyle intensywność światła w danym miejscu, ile warunki świetlne w szerszej skali przestrzennej, odpowiadającej wielkości obszarów bytowania zwierząt jeleniowatych. Gdy powierzchnie pozbawionych okapu drzew jest w krajobrazie dużo, presja jeleniowatych rozprasza się na bardzo liczne i bujnie rosnące odnowienia, przez co nawet gatunki chętnie zgryzane przez jeleniowate mają duże szanse na wyrośnięcie poza zasięg zgryzania.

Zmienność ekotypowa sosny zwyczajnej w Polsce w świetle genomiki: konsekwencje dla zarządzania zasobami genetycznymi w zmieniającym się środowisku

Witold Wachowiak^{1,2*}, Martyna Lasek¹, Bartosz Łabiszak²,
Paweł Kozakiewicz³

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

**witoldw@man.poznan.pl*

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

³*Katedra Nauki o Drewnie i Ochrony Drewna, Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa*

Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) należy do najważniejszych gatunków lasotwórczych w Polsce, a jej zmienność fenotypowa stanowi podstawę wyróżniania ekotypów i regionów pochodzenia leśnego materiału rozmnożeniowego. W warunkach szybkich zmian klimatu kluczowe staje się pytanie, w jakim stopniu obecna regionalizacja odzwierciedla rzeczywistą strukturę zmienności genetycznej i adaptacyjnej oraz czy zasada „lokalne jest najlepsze” pozostaje wystarczającą podstawą gospodarowania zasobami genowymi.

Prezentowane badania obejmowały populacje sosny z całej Polski oraz populacje referencyjne z europejskiego zasięgu gatunku, które analizowano z wykorzystaniem markerów mitochondrialnych i dziesiątek tysięcy SNP. W najcenniejszych nizinnych drzewostanach nasiennych stwierdzono wysoką różnorodność genetyczną, słabą strukturę przestrzenną i ślady historycznej admiksji linii

europejskich. Obraz ten kontrastuje z populacjami góorskimi południowej Polski, wyraźnie zróżnicowanymi i zawierającymi unikalne haplotypy mitochondrialne oraz sygnały długotrwałej izolacji. Analizy genomiki krajobrazu wykazały, że zmienność loci potencjalnie związanych z lokalną adaptacją jest silnie skorelowana ze średnią roczną temperaturą, a prognozowane przesunięcia częstości alleli w przyszłym klimacie mogą przekraczać tempo możliwej odpowiedzi ewolucyjnej.

Uzupełnieniem analiz populacyjnych są wyniki około 60-letniego doświadczenia proveniencyjnego w Rogowie. W analizie dziewięciu proveniencji, obejmującej 362 drzewa i 16 cech wzrostu, igieł oraz drewna, wykazano wysoką zmienność osobniczą przy słabym zróżnicowaniu między proveniencjami. Dla wielu cech stwierdzono komponent genomowy, a panel wybranych 166 markerów SNP pozwalał przewidywać najlepiej modelowane cechy z korelacją 0,40–0,53. Wyniki wskazują, że istotna część zmienności użytkowej może być związana z genotypem poszczególnych drzew, a nie tylko z przynależnością do regionu pochodzenia.

Łącznie wyniki pozwalają stwierdzić, że granice regionów pochodzenia nie zawsze w pełni odzwierciedlają rzeczywisty układ zmienności genetycznej sosny zwyczajnej w Polsce. W zarządzaniu zasobami genetycznymi gatunku warto zatem rozważyć podejście łączące szerokie wykorzystanie zróżnicowanych populacji nizinnych, w tym w badaniach nad możliwością przemieszczania materiału rozmnożeniowego między regionami, z jednoczesną szczególną ochroną odrębnych populacji górskich. Istotnym kolejnym krokiem będzie sprawdzenie, czy obserwowane zależności genetyczne przekładają się na wzrost, jakość i odporność drzew w doświadczeniach terenowych. Takie podejście może pomóc lepiej dostosować zasady wykorzystania leśnego materiału rozmnożeniowego do zmieniających się warunków środowiskowych, przy zachowaniu zarówno wartości użytkowej, jak i długoterminowego potencjału adaptacyjnego populacji.

Badania sfinansowano ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach projektów nr 2021/43/I/NZ9/02809 oraz 2020/37/B/NZ9/01496.

Zielona Tama w Algierii: nowe gatunki zamiast monokultury

Łukasz Walas^{1*}, Asma Taib^{2,3}, Monika Dering⁴

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

*lukaswalas@man.poznan.pl

²Faculty of Sciences, Algiers University 1, 2 Rue Didouche Mourad, Alger Centre 16000, Alger, Algeria

³Laboratoire de Ressources Génétiques et Biotechnologies (ENSA), Avenue Hassan Badi, El-Harrach, Alger 16200, Algeria

⁴Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71A, 60-637 Poznań

Algieria od dawna zмага się z problemem pustynnienia, prowadzącym do postępującej utraty roślinności i degradacji gleby. W celu przeciwdziałania tym procesom w latach 70. XX wieku rozpoczęto realizację inicjatywy Zielonej Tamy (ang. *Green Dam*, fr. *Barrage Vert*). Projekt zakładał utworzenie pasa leśnego, który miał ograniczyć pustynnienie w strefie stepowej rozciągającej się na północ od Sahary. Niestety nie przyniósł on oczekiwanych rezultatów, ponieważ w wielu miejscach monokultury sosny alepskiej (*Pinus halepensis* Mill.) nie przetrwały. Z tego powodu postanowiono zmienić założenia projektu i w przyszłości wprowadzić więcej gatunków drzewiastych, co ma ograniczyć ryzyko związane z tworzeniem się monokultur.

Celem naszych analiz była wstępna identyfikacja gatunków drzew odpowiednich dla warunków klimatycznych północnej Algierii. Ocenie poddano 20 taksonów rodzimych dla Afryki Północnej, a ich potencjalne rozmieszczenie prognozowano za pomocą metod modelowania rozmieszczenia gatunków (SDM, *Species Distribution Modelling*) w obecnych warunkach klimatycznych oraz w trzech scenariuszach zmian klimatu. Dane klimatyczne pozyskano z bazy CHELSA; dodatkowo w modelowaniu zastosowano dane glebowe z bazy SoilGrids. Na podstawie wyników modelowania, zestawu zmiennych środowiskowych oraz mapy ryzyka pożarowego obszar Zielonej Tamy podzielono na trzy główne regiony: południowy, wschodni i północny. Dla każdego z nich zaproponowano zestaw taksonów, których potencjalne zasięgi wykazywały stabilność we wszystkich testowanych scenariuszach.

Dwa z testowanych gatunków mogą być wykorzystywane na całym obszarze Zielonej Tamy; są to jałowiec kolczasty (*Juniperus oxycedrus* L.) i pistacja kleista (*Pistacia lentiscus* L.). Wyniki sugerują, że sosna alepska również się nadaje, aczkolwiek w południowej części badanego obszaru przewidywane dopasowanie siedliskowe dla tego gatunku było niskie. Ocena ryzyka wykazała, że testowany region jest bardzo podatny na pożary lasów; biorąc pod uwagę ten czynnik, należy również rozważyć wykorzystanie pistacji atlantyckiej (*Pistacia atlantica* Desf.), która charakteryzuje się większą odpornością na pożary niż sosna alepska. Pozostałe analizowane gatunki mogą być wykorzystywane na mniejszą skalę lub

w określonych lokalizacjach, przyczyniając się do zwiększenia bioróżnorodności zbiorowisk roślinnych.

Badania były częściowo finansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki (projekt 2023/51/B/NZ8/00839), Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu oraz Instytutu Dendrologii PAN.

Priming nasion drzew leśnych – metoda wspomagania kiełkowania i adaptacji do stresu środowiskowego

Mikołaj K. Wawrzyniak^{1*}, Joanna Kijowska-Oberc¹, Sergio Pedro Junior²

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

[*mikwaw@man.poznan.pl](mailto:mikwaw@man.poznan.pl)

²Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445 Km 380, Campus Universitário, Cx. Postal 10.011, CEP 86.057-970, Londrina, Paraná, Brazil

Zdecydowana większość ważnych gospodarczo gatunków drzew leśnych w Europie rozmnażana jest generatywnie, z wykorzystaniem nasion. Jakość materiału siewnego ma zatem kluczowe znaczenie zarówno dla zachowania zasobów genetycznych gatunków leśnych, jak i dla produkcji wysokiej jakości materiału sadzeniowego używanego w odnowieniach i zalesieniach. W przeciwieństwie do gatunków rolniczych technologie uszlachetniania nasion gatunków leśnych stosowane są w ograniczonym zakresie.

Nasiona po zbiorze, nawet prawidłowo wysuszone i przechowywane, stopniowo tracą żywotność. Proces ich starzenia się związany jest m.in. z nasileniem stresu oksydacyjnego, uszkodzeniami lipidów, białek i kwasów nukleinowych, zaburzeniami funkcjonowania błon komórkowych oraz ograniczeniem aktywności metabolicznej. W konsekwencji nasiona mogą charakteryzować się obniżoną zdolnością kiełkowania i wydłużonym czasem kiełkowania, a uzyskane z nich siewki – zmniejszonym wigorem i żywotnością.

Jedną z metod potencjalnie pozwalających na poprawę jakości fizjologicznej nasion jest priming, czyli kontrolowane, częściowe uwodnienie nasion prowadzone w warunkach umożliwiających rozpoczęcie procesów metabolicznych związanych z kiełkowaniem, lecz bez dopuszczenia do wyrastania korzenia zarodkowego. Kiełkowanie nasion obejmuje szereg procesów fizjologicznych i biochemicznych, które mogą zostać zainicjowane już podczas primingu. Odpowiednio przeprowadzony zabieg może prowadzić do skrócenia czasu kiełkowania, zwiększenia jego synchronizacji oraz poprawy wigoru siewek, a także zwiększenia tolerancji na niektóre czynniki stresowe występujące podczas kiełkowania i wczesnego rozwoju.

Istotnym elementem odpowiedzi nasion na priming jest regulacja równowagi oksydacyjnej. Reaktywne formy tlenu (ROS), choć w nadmiernym stężeniu

prowadzą do uszkodzeń komórkowych, pełnią również funkcję cząsteczek sygnałowych uczestniczących w regulacji spoczynku i kiełkowania. Priming może wpływać na kontrolę ich poziomu poprzez zwiększenie sprawności systemu antyoksydacyjnego, obejmującego zarówno enzymatyczne mechanizmy ochronne, m.in. katalazę, jak i związki nieenzymatyczne, takie jak glutation czy kwas askorbinowy. W efekcie nasiona poddane primingowi mogą być lepiej przygotowane do kontrolowanego uruchomienia metabolizmu podczas kiełkowania oraz do ograniczania skutków stresu oksydacyjnego.

W celu określenia wpływu primingu na nasiona sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) zastosowano 24-godzinny hydropriming z dodatkiem trzech różnych antyoksydantów: spermidyny, kwasu askorbinowego oraz glutationu. Nasiona wykorzystane w doświadczeniu podzielono na trzy grupy: nasiona kontrolne oraz postarzone przez 6 i 12 dni w 45°C przy wilgotności 60%. Tak przygotowane nasiona wysiano do podłoża z torfu i piasku i przeprowadzono test wschodzenia przez 21 dni od wysiewu. Następnie określono parametry kiełkowania nasion (odsetek siewek kiełkujących, szybkość i synchronizację) oraz parametry fizjologiczne i biochemiczne uzyskanych siewek: H_2O_2 , malondialdehyd (MDA), potencjał antyoksydacyjny (TAC) oraz zawartość chlorofilu i karotenoidów.

Hydropriming nasion istotnie obniżał wartości H_2O_2 , MDA i TAC oraz zwiększał zawartość pigmentów fotosyntetycznych. Efekty te były najsilniejsze dla nasion niepoddanych starzeniu, słabły wraz z czasem postarzenia i były silnie zależne od zastosowanego antyoksydantu oraz jego stężenia. Użycie spermidyny zmniejszyło odsetek siewek kiełkujących nasion, co wskazuje na jej niekorzystne działanie w pewnych stężeniach. Glutation oraz kwas askorbinowy wykazały potencjał w regulacji stresu oksydacyjnego, jednak ich skuteczność była ściśle uzależniona od stężeń. Priming nasion drzew leśnych może stanowić narzędzie poprawy ich jakości fizjologicznej, jednak kluczowa jest właściwa optymalizacja jego warunków.

Czynniki determinujące różnorodność i trwałość epifitów w ekosystemach leśnych

Sylvia Wierzcholska^{1*}, Anna Łubek², Marcin K. Dyderski³,
Patryk Czortek⁴, Beata Olesik², Andrzej M. Jagodziński⁵

¹Instytut Biologii, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Kozuchowska 7A, 51-631 Wrocław, *sylvia.wierzcholska@upwr.edu.pl

²Instytut Biologii, Wydział Nauk Ścisłych i Przyrodniczych, ul. Uniwersytecka 7, 25-406 Kielce

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

⁴Białowieska Stacja Geobotaniczna Uniwersytetu Warszawskiego, ul. Sportowa 19, 17-230 Białowieża

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

Epifity, w szczególności mszaki i porosty, należą do grupy organizmów, których występowanie i różnorodność są ściśle związane ze strukturą i składem gatunkowym lasu oraz ciągłością siedlisk leśnych. Celem badań było określenie najważniejszych czynników determinujących różnorodność i trwałość epifitów w ekosystemach leśnych o zróżnicowanym stopniu naturalności i przekształcenia. Analizy prowadzono w lasach zbliżonych do naturalnych w Puszczy Białowieskiej, przekształconych lasach dolin rzecznych i drzewostanach gospodarczych w Sudetach, a także na zrehabilitowanych terenach pogórnictwa w Bełchatowie.

Wykazano, że jednym z podstawowych czynników determinujących różnorodność epifitów jest skład gatunkowy drzewostanu. Poszczególne gatunki forofitów tworzą odmienne warunki mikrosiedliskowe, wynikające m.in. ze struktury kory, jej odczynu (pH), zdolności zatrzymywania wody i stosunku C/N, a także architektury koron wpływającej na dostępność światła. W konsekwencji zróżnicowanie gatunkowe drzew zwiększa liczbę dostępnych nisz ekologicznych i sprzyja utrzymaniu większej puli gatunków epifitycznych.

Zależność tę potwierdziły badania w przekształconych drzewostanach świerkowych, w których obecność drzew liściastych, zwłaszcza *Acer pseudoplatanus* i *Fraxinus excelsior*, wiązała się z wyższym bogactwem gatunkowym zarówno mszaków, jak i porostów. Różnorodność gatunkowa drzew okazała się istotnym czynnikiem warunkującym trwałość zbiorowisk epifitycznych w warunkach silnych zaburzeń.

Podobnych wniosków dostarczają dane z badań długoterminowych. Analiza przeprowadzona po 24 latach pozwoliła ocenić zmiany w zbiorowiskach mszaków epifitycznych związanych z *F. excelsior* w Puszczy Białowieskiej. Pomimo spadku liczebności drzew tego gatunku o 85% nie stwierdzono istotnego zmniejszenia bogactwa gatunkowego ani zmian w składzie związanych z nim mszaków. Utrzymanie ich wysokiej różnorodności było możliwe dzięki obecności zróżnicowanej puli alternatywnych forofitów, zwłaszcza gatunków wczesnosukcesyjnych, takich jak *Betula pendula* i *Populus tremula*. Analogiczny wzorec wykazano dla porostów związanych z jesionem, których większość może utrzymać się w skali krajobrazu

dzięki obecności alternatywnych forofitów, przede wszystkim *Quercus robur* i *Carpinus betulus*. Wyniki wskazują, że wysoka różnorodność gatunkowa drzew może zwiększać odporność zbiorowisk epifitycznych na utratę kluczowego forofitu poprzez zapewnienie alternatywnych siedlisk umożliwiających ich długotrwałe utrzymywanie się.

Znaczenie cech gatunkowych drzew w kształtowaniu warunków siedliskowych potwierdziły też badania prowadzone na terenach przemysłowych. Około 30 lat po zalesieniu skład gatunkowy drzewostanów istotnie różnicował bogactwo gatunkowe i strukturę brioflory. Obecność mszaków typowych dla siedlisk leśnych wskazywała, że odpowiedni dobór gatunków drzew może wspierać odtworzenie leśnej brioflory również w silnie przekształconych antropogenicznie nowych ekosystemach (*novel ecosystems*).

Istotnym czynnikiem determinującym różnorodność i trwałość epifitów jest ponadto obecność siedlisk pełniących funkcję refugium. W silnie przekształconych lasach górskich niewielkie powierzchniowo pozostałości naturalnych lasów liściastych koncentrowały nieproporcjonalnie dużą część całkowitej puli gatunków mszaków. Dominujące w krajobrazie monokultury świerkowe, zajmujące około 84% powierzchni, obejmowały około 60% puli gatunków mszaków, podczas gdy pozostałości lasów łęgowych, stanowiące zaledwie około 1,5% powierzchni, skupiały aż 41% tej puli. Wyniki te wskazują na szczególne znaczenie takich siedlisk jako lokalnych rezerwuarów różnorodności, które mogą jednocześnie stanowić źródło rekolonizacji przekształconych fragmentów krajobrazu leśnego Sudetów przez mszaki.

Badania realizowano we współpracy Instytutu Dendrologii PAN i Parku Narodowego Gór Stołowych, przy finansowaniu ze środków Funduszu Leśnego Lasów Państwowych (umowy nr 383.DU.2017.3, ZA.0610.1.2021 i ZRB.371.01.2023) oraz Polsko-Norweskiego Programu Badawczego, prowadzonego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2009–2014 (projekt KlimaVeg, nr umowy Pol-Nor/196829/87/2013).

Dlaczego niektóre nasiona są zielone? Opracowanie na przykładzie drzew z rodzaju *Acer*

Natalia Wojciechowska¹, Julia Minicka², Amir M. Mokhtari²,
Ewa M. Kalemba^{3*}

¹Zakład Botaniki Ogólnej, Instytut Biologii Eksperymentalnej, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań

²Zakład Wirusologii i Bakteriologii, Instytut Ochrony Roślin, ul. Władysława Węgorka 20, 60-318 Poznań

³Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
*kalemba@man.poznan.pl

Szacuje się, że na świecie około 10–15% gatunków roślin nasiennych wytwarza zielone nasiona nazywane chloroembrionami. Zawartość chlorofilu i/lub aktywnych chloroplastów może być przyczyną potencjalnie anomalnie szybkiego starzenia się przechowywanych nasion. Ograniczona długowieczność nasion stanowi poważne wyzwanie dla banków genów i ochrony bioróżnorodności lasów, ponieważ jakość wszystkich nasion ulega pogorszeniu, nawet jeśli są przechowywane w optymalnych warunkach. Osiągnięcie założeń w obszarze ochrony bioróżnorodności, przechowywania zasobów genowych i ponownego zalesiania uzależnione jest od badań nad biologią nasion, które pozwolą określić molekularne mechanizmy odpowiadające za spadek ich żywotności.

Rodzaj *Acer* obejmuje 156 gatunków drzew i krzewów, z których większość występuje w Azji. W Polsce występują naturalnie trzy gatunki klonów: klon zwyczajny (*Acer platanoides* L.), klon jawor (*A. pseudoplatanus* L.) i klon polny (*A. campestre* L.). Wszystkie rodzime gatunki klonów wytwarzają zielone nasiona, ale różnią się fizjologią. Nasiona klonu zwyczajnego i klonu polnego zaliczane są do kategorii *orthodox*, ponieważ wykazują odporność na desykację (odwodnienie poniżej 10% zawartości wody) oraz niską temperaturę. Z kolei nasiona klonu jawora zaliczane są do kategorii *recalcitrant*, ponieważ są wrażliwe na desykację i niską temperaturę.

Celem badań była analiza barwników fotosyntetycznych, głównie zawartości chlorofilu *a* i *b*, oraz struktury chloroplastów w rozwijających się nasionach, ponieważ nasiona z aktywnymi chloroplastami uważane są za unikalne systemy fotosyntetyczne. Funkcjonowanie metabolizmu ma kluczowe znaczenie dla głównych cech nasion. Podczas przechowywania suche nasiona z kategorii *orthodox* mają silnie ograniczony metabolizm w porównaniu z nasionami z kategorii *recalcitrant*, które zachowują wyższą aktywność metaboliczną ze względu na uwodnienie sięgające 30–40% zawartości wody.

Większą zawartość chlorofilu *a*, a następnie silniejszą jego degradację podczas rozwoju nasion, obserwowano w nasionach klonu zwyczajnego niż w nasionach klonu jaworu. Synteza i późniejsza degradacja chlorofilu w dojrzewających nasionach odzwierciedlały zmiany zawartości kwasu abscysynowego, co sugeruje hormonalne podłoże obserwowanych zmian. Mniej wyraźne zmniejszenie zawartości barwników fotosyntetycznych i wyższa aktywność fotosyntetyczna w nasionach

klonu jaworu wskazują na odmienne strategie adaptacyjne nasion z kategorii *orthodox* i *recalcitrant*. Zachowanie aktywnych chloroplastów może ograniczać czas przechowywania nasion z kategorii *recalcitrant*.

Chociaż dojrzałe nasiona obu gatunków klonów zawierały podobne ilości chlorofilu *a* i *b*, pierwsze obserwacje w mikroskopie konfokalnym wykazały różnice w kształcie i stopniu kondensacji chloroplastów. Zmiany struktury chloroplastów w komórkach nasion są zazwyczaj związane z utratą chlorofilu w nasionach odpornych na desykację. Jednak szlaki autofagii chloroplastów nie były dotąd badane w odniesieniu do niskiej długowieczności nasion drzew. Obserwowano stopniowy spadek liczebności chloroplastów w rozwijających się nasionach zarówno klonu zwyczajnego, jak i jaworu. W nasionach klonu zwyczajnego zaobserwowano różne ścieżki degradacji chloroplastów. Natomiast w nasionach jaworu prawdopodobną przyczyną zmniejszenia liczebności chloroplastów były aktywnie przeprowadzana fotosynteza, akumulacja skrobi i przekształcanie chloroplastów w chloroamyloplasty.

Wsparcia finansowego udzieliły Narodowe Centrum Nauki (projekt nr 2023/49/B/NZ9/00828) oraz Instytut Dendrologii PAN.

Dynamika struktur drzewostanowych i sukcesji gatunkowej (na przykładzie Bukowej Góry w Roztoczańskim Parku Narodowym)

Emilia Wysocka-Fijorek^{1*}, Stanisław Miścicki²

¹Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie Starym, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn,

*e.wysocka-fijorek@ibles.waw.pl

²Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

Obszar Ochrony Ścisłej (OOŚ) Bukowa Góra stanowi najstarszy i jeden z najcenniejszych obiektów chronionych na terenie Roztoczańskiego Parku Narodowego. Jego historia sięga roku 1934 (choć nazwa funkcjonowała już wcześniej), kiedy to z inicjatywy hr. Maurycego Zamoyskiego utworzono rezerwat leśny o powierzchni około 95 ha. Przez dekady granice i status prawny obiektu zmieniały się, aż do ustalenia w 1957 roku obecnej powierzchni ochrony ścisłej wynoszącej 128,45 ha. Od 1974 roku Bukowa Góra pozostaje integralną częścią Parku.

Głównym przedmiotem naszych badań jest unikalny ekosystem leśny, w którym dominują drzewostany jodłowo-bukowe. Choć nazwa obiektu sugeruje przewagę buka, historycznie gatunkiem dominującym była jodła (w 1935 r. stanowiła 76% zapasu, podczas gdy buk zaledwie 11%). Celem niniejszego wystąpienia jest przedstawienie wyników wieloletnich obserwacji pozwalających prześledzić

transformację tego lasu z układu zdominowanego przez jodłę w kierunku lasu o stale zwiększającym się udziale buka.

Podstawę merytoryczną analizy stanowią trzy grupy badań: ogólne studia przyrodnicze, dane z planów urządzania lasu oraz specjalistyczny monitoring prowadzony w sieci stałych powierzchni próbnych. Sieć ta, założona w 1974 roku i sukcesywnie rozbudowywana (z 33 do obecnych 131 powierzchni), pozwala na śledzenie losów poszczególnych drzew (w tym drzew młodego pokolenia) w odstępach pięcioletnich.

Kluczowym momentem w historii drzewostanów był huragan w listopadzie 1974 roku, który spowodował gwałtowne zmniejszenie średniej zasobności o niemal jedną trzecią. Od tego czasu obserwowano intensywną odbudowę zasobności drzewostanu – zwiększała się ona systematycznie, przekraczając w 2016 roku poziom 600 m³/ha. Najnowsze pomiary wskazują na stabilizację i niewielkie zmniejszenie tej cechy, co jest naturalnym zjawiskiem w fazie dojrzałości drzewostanów o bardzo dużej zasobności.

Wyniki badań wskazują na postępujące „bukowacenie” Bukowej Góry. Udział buka w zasobności stale się zwiększa, a zmianie tej towarzyszy jego rosnąca przewaga w młodym pokoleniu. O ile w 1991 roku odnowienie było bardzo obfite (suma wysokości młodych drzew wynosiła ok. 6000 m/ha), o tyle do 2021 roku wartość tego wskaźnika zmniejszyła się 2,5-krotnie. W strukturze drzew młodej generacji buk osiągnął przewagę, stanowiąc obecnie ponad 80% podrostu. Jodła utrzymuje udział zbliżony do buka jedynie w warstwie nalotu.

Wystąpienie poruszy również kwestię martwego drewna, którego zasoby w 2016 roku oszacowano na 105 m³/ha. Monitoring wskazuje na stabilność tych zasobów, co sugeruje, że ubytek związany z rozkładem leżących kłód równoważony jest przez dopływ nowego posuszu. Procesy te, wraz z analizą przyrostu bieżącego (który w szczytowym okresie przekraczał 14 m³/(ha·rok)), pozwalają lepiej zrozumieć dynamikę naturalnego drzewostanu.

Bukowa Góra może posłużyć za poligon doświadczalny dla nowoczesnego zarządzania obszarami chronionymi. Wyniki wskazują, że w warunkach ochrony ścisłej ekosystem przechodzi głęboką reorganizację składu gatunkowego, a nie prostą regenerację. Zrozumienie tych procesów jest istotne dla prognozowania trwałości lasów w warunkach globalnych zmian klimatu i presji czynników biotycznych.

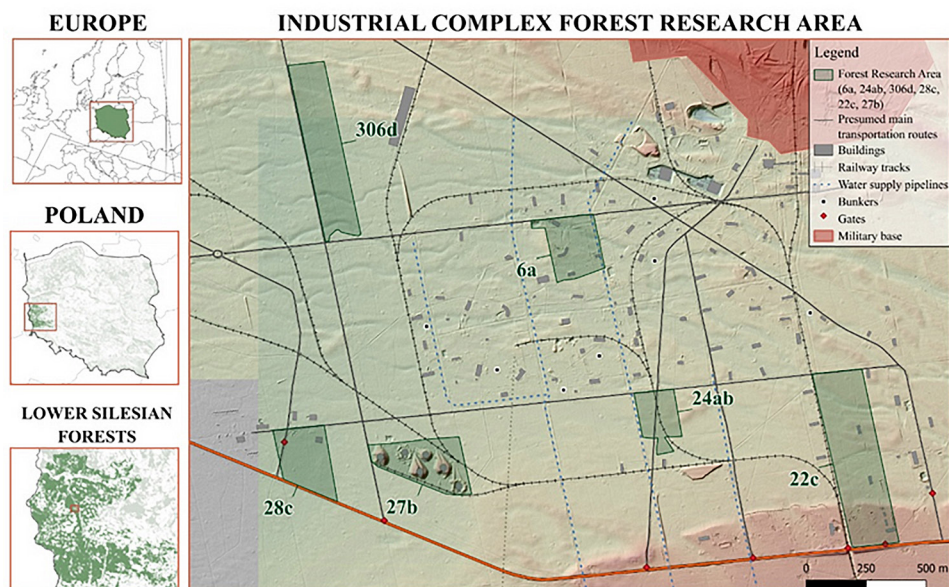
Wrażliwość klimatyczna sosny zwyczajnej w przemysłowym krajobrazie dawnej fabryki materiałów wybuchowych DAG Alfred Nobel w Krzystkowicach

Monika Ziemiańska^{1*}, Paweł Konczewski², Magdalena Kurlowicz¹

¹Katedra Architektury Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 55, 50-357 Wrocław, *monika.ziemianska@upwr.edu.pl

²Katedra Antropologii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Kozuchowska 5, 51-631 Wrocław

Teren dawnej fabryki materiałów wybuchowych DAG Alfred Nobel w Krzystkowicach, położony obecnie w granicach Nadleśnictwa Krzystkowice, stanowi przykład silnie przekształconego krajobrazu, w którym współczesne ekosystemy leśne rozwijają się na obszarze dawnego kompleksu przemysłowego. Budowę zakładu rozpoczęto w 1939 roku, a produkcję uruchomiono w 1942 roku. Według dokumentacji z 1942 roku teren fabryczny obejmował około 24,4 km² (2440 ha), a maksymalną zdolność produkcyjną określano na około 1600 ton materiałów wybuchowych miesięcznie. W lipcu 1944 roku w części produkcyjnej i budowlanej pracowało ponad 5 tys. osób, w tym robotnicy przymusowi i jeńcy wojenni. Po 1945 roku kompleks został w znacznym stopniu zdemontowany, a jego pozostałości stopniowo włączone w krajobraz leśny.



Ryc. 1. Lokalizacja powierzchni badawczych na terenie dawnego kompleksu DAG Alfred Nobel w Krzystkowicach

Celem badań pilotażowych była ocena wrażliwości klimatycznej sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) oraz znaczenia temperatury powietrza i opadów atmosferycznych dla jej przyrostu radialnego w przemysłowym krajobrazie leśnym.

Badania przeprowadzono na sześciu powierzchniach w obrębie boru mieszanego świeżego (BMśw). Materiał pobrano ze 136 zdrowych drzew górujących i dominujących według klasyfikacji Kraftha (min. 22 drzewa na powierzchnię). Szerokości przyrostów rocznych mierzono z dokładnością do 0,01 mm. Po datowaniu krzyżowym i synchronizacji opracowano chronologie stanowiskowe, których jakość oceniono na podstawie R_{bar} i EPS ($R_{bar} > 0,45$; $EPS > 0,90$). Serie opracowano, wykorzystując Coorecorder/CDendro, COFECHA i ARSTAN (standaryzacja).

Zależności między klimatem a przyrostem analizowano dla miesięcznych temperatur powietrza i sum opadów od października roku poprzedniego do września roku formowania przyrostu. Zastosowano analizy korelacji oraz regresji wielorakiej i krokowej (RStudio, Statistica 13). Wyznaczono dodatnie i ujemne lata wskaźnikowe, a reakcję przyrostową na ekstremalne zdarzenia klimatyczne analizowano za pomocą Superposed Epoch Analysis (SEA).

Uzyskane wyniki wskazują na wyraźną zależność przyrostu radialnego sosny od warunków termiczno-opadowych. Stwierdzono dodatnią zależność przyrostu od opadów w okresie wegetacyjnym, szczególnie w czerwcu, natomiast wysokie temperatury letnie ograniczały przyrost. Modele regresyjne potwierdziły duże znaczenie dostępności wody. Na wszystkich sześciu powierzchniach reakcja drzew na podstawowe czynniki klimatyczne wykazywała podobne prawidłowości. Lata wskaźnikowe cechowała znaczna zgodność między powierzchniami, przy niewielkich różnicach lokalnych; przeważały lata ujemne, szczególnie po 2000 roku. Wyniki wskazują, że sosna zwyczajna rosnąca w przemysłowym krajobrazie zachowuje czytelny zapis zmienności klimatycznej, a dostępność wody w okresie intensywnego wzrostu jest jednym z kluczowych czynników związanych z jej przyrostem radialnym.

Badania zrealizowano w ramach projektu „Fragiles Erbe/Kruche Erbe”, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu Interreg Polska-Saksonia 2021–2027.

Zmienność genetyczna odnowień topoli czarnej w warunkach presji antropogenicznej

Weronika B. Żukowska*, Dominika Robak, Andrzej Lewandowski

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

*wzukowska@man.poznan.pl

Topola czarna (*Populus nigra* L.) jest jednym z kluczowych gatunków lasów łęgowych, a jej występowanie i zdolność do naturalnego odnowienia zostały silnie ograniczone wskutek regulacji rzek, przekształcenia dolin rzecznych oraz zmian sposobu użytkowania terenów zalewowych. Zachowane populacje składają się głównie ze starych drzew, a niewielki udział młodego pokolenia może w dłuższej perspektywie zagrażać ich trwałości. Odnowienie generatywne topoli czarnej wymaga okresowego powstawania otwartych powierzchni zapewniających nasionom odpowiednie warunki do kiełkowania i rozwoju siewek. Obecnie dostępność takich siedlisk jest niewielka, co może sprzyjać rozmnażaniu wegetatywnemu lub prowadzić do powstawania odnowienia generatywnego z udziałem niewielkiej liczby osobników rodzicielskich. W konsekwencji młode pokolenie może charakteryzować się niższą zmiennością genetyczną, co potencjalnie ogranicza jego zdolność adaptacji do zmieniających się warunków środowiska.

Celem pracy było określenie zmienności genetycznej odnowień topoli czarnej w warunkach zróżnicowanej presji antropogenicznej w dolinach głównych rzek Polski. Badaniami objęto 13 populacji (1094 osobniki) znad Odry (4 populacje), Warty (1), Wisły (5), Bugu (1) i Dunajca (2), które analizowano przy użyciu zestawu jądrowych markerów mikrosatelitarnych. Identyfikację potencjalnych mieszańców przeprowadzono dodatkowo na podstawie markerów DNA specyficznych gatunkowo.

Uzyskane wyniki wskazują na wyraźny związek pomiędzy stopniem przekształcenia doliny rzecznej a sposobem odnowienia topoli czarnej. Na odcinkach Odry i Warty poddanych silnej antropopresji naturalne odnowienia są nieliczne i w większości mają charakter wegetatywny. W populacjach w Krośnie Odrzańskim, Cigacicach i Gozdowicach stwierdzono odpowiednio pojedyncze lub nieliczne klony, natomiast w nadwarciańskiej Pogorzeli odnowienie miało charakter mieszany, z klonalnością wynoszącą 38%. Szczególny przypadek odnotowano w Kędzierzynie-Koźlu, gdzie spośród 85 młodych osobników pochodzenia generatywnego znaczna część była potomstwem jednego drzewa matecznego. Sytuację tę można wiązać z pracami budowlanymi, które czasowo odsłoniły powierzchnię pozbawioną konkurencyjnej roślinności, stwarzając dogodne warunki do kiełkowania nasion. Podobną zależność zaobserwowano w Toruniu nad Wisłą, w pobliżu mostu kolejowego. W części badanych stanowisk młode pokolenie cechowało się niższym bogactwem genetycznym niż drzewa dojrzałe. Jednocześnie wykazywało większe zróżnicowanie genetyczne między lokalizacjami.

Na szczególną uwagę zasługują odnowienia w środkowym biegu Wisły, w populacjach z Kozienic i Wysoczyna. Powstały one wyłącznie z nasion, czyli

w wyniku rozmnażania generatywnego. W procesie odnowienia uczestniczyła duża liczba osobników rodzicielskich, a powstałe potomstwo charakteryzowało się wysoką zmiennością genetyczną. Obserwowane zależności świadczą o kluczowym znaczeniu utrzymania naturalnych procesów fluwialnych i dostępności odpowiednich mikrosiedlisk nie tylko dla występowania odnowień topoli czarnej, ale również dla zachowania ich różnorodności genetycznej.

Zagrożenie związane z hybrydyzacją topoli czarnej z kultywarami topoli euroamerykańskiej wydaje się obecnie niewielkie. Wśród wszystkich przebadanych osobników zidentyfikowano jedynie dwa osobniki mieszańcowe. Niska częstość ich występowania jest najprawdopodobniej związana przede wszystkim z różnicami w terminach kwitnienia, ograniczającymi możliwość krzyżowania. Zmiany klimatu mogą jednak prowadzić do większej synchronizacji kwitnienia, a tym samym sprzyjać hybrydyzacji.

W świetle przeprowadzonych badań strategia ochrony *ex situ* ma szczególne znaczenie poza środkowym odcinkiem Wisły, gdzie nadal występują warunki sprzyjające naturalnemu odnowieniu generatywnemu. W perspektywie długoterminowej powinna ona opierać się na tworzeniu lokalnych archiwów klonów reprezentujących różnorodność genetyczną zachowanych populacji. Pracownicy Instytutu Dendrologii PAN od kilku lat tworzą takie archiwa, zabezpieczając w nich zasoby genetyczne topoli czarnej w Polsce.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki (2021/41/B/NZ9/00722) oraz Dyрекję Generalną Lasów Państwowych (MZ.271.3.7.2023).

Sesja plakatowa

Climatic and anthropogenic pressures reshape habitat connectivity for *Quercus* and *Buxus* species in Iran's forests

Shirin Alipour*, Łukasz Walas

Institute of Dendrology, Polish Academy of Sciences, Parkowa 5, 62-035 Kórnik,
*salipour@man.poznan.pl

Climate change and long-term anthropogenic pressures are reshaping forest ecosystems in Iran, potentially altering species distributions, habitat continuity, and ecological connectivity. However, the combined effects of climate change, landscape modification, and existing protected areas on the future persistence of key forest species remain insufficiently understood. This study evaluates these effects for *Buxus hyrcana* Pojark., *Quercus brantii* Lindl., and *Q. macranthera* Fisch. & C.A.Mey. ex Hohen., representing ecologically important and increasingly vulnerable elements of Iran's Hyrcanian and Zagros forests.

We integrated species distribution modelling using MaxEnt with Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) to reconstruct potential habitat distributions, identify persistent and shifting habitat patches, and assess changes in structural connectivity from past climatic conditions to projected future scenarios.

Our results indicate substantial future contraction and fragmentation of suitable habitats across all three species, although the magnitude and spatial pattern of change differ among species and regions. *Q. brantii* is projected to experience considerable habitat loss in the central Zagros, while northwestern Zagros areas are projected to retain important long-term climatic refugia. *Q. macranthera* showed stronger range contraction, upslope shifts, and connectivity loss within the Hyrcanian forests. Similarly, *B. hyrcana* is projected to experience increasing fragmentation and a decline in core habitat under future climate scenarios, with human-modified landscapes potentially restricting movement toward newly suitable areas.

These findings demonstrate that conservation planning based solely on present-day species distributions may overlook future habitat shifts and connectivity loss. Integrating climatic refugia, future suitable habitats and structural corridors can provide a more effective basis for identifying gaps in protected-area coverage, prioritising conservation actions and supporting forest species persistence under climate and land-use change.

Liany w lasach strefy umiarkowanej Europy: reakcje na gradienty ekologiczne i zmienność cech funkcjonalnych

Olena Blinkova*, Roma Żytkowiak, Andrzej M. Jagodziński

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

*blinkova@man.poznan.pl

Liany stanowią odrębną formę życiową roślin drzewiastych; ich rozwój i stan funkcjonalny zależą od czynników abiotycznych i biotycznych. W lasach strefy umiarkowanej Europy na reakcje lian wpływają dostępność światła i wody, temperatura, struktura drzewostanu, zaburzenia i przekształcenia antropogeniczne, co przejawia się zmianami cech morfologicznych, alokacji biomasy, stanu uwodnienia oraz wskaźników fizjologicznych i biochemicznych. Lian nie można jednak traktować jako jednorodnego typu funkcjonalnego. Analiza lian z lasów strefy umiarkowanej Europy wykazała różnice międzygatunkowe w fenologii, sposobie wspinania się, związku z siedliskami i wykorzystywaniu drzew jako podpór. Zimozielona *Hedera helix* L. występuje w podszycie lasów liściastych, na skrajach lasów i w lasach miejskich; *Lonicera periclymenum* L. – w zbiorowiskach leśnych, na skrajach lasów i w zaroślach; *Clematis vitalba* L. częściej stwierdzano na skrajach lasów i w zaburzonych zbiorowiskach z udziałem roślin drzewiastych, natomiast *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* (Willd.) Hegi – w lasach łęgowych i aluwialnych oraz w korytarzach rzecznych. Gatunki obce: *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch., *P. inserta* (A.Kern.) Fritsch i *Celastrus orbiculatus* Thunb. związane są głównie z antropogenicznie przekształconymi i zaburzonymi siedliskami z roślinnością drzewiastą, a *P. inserta* także z lasami we wczesnych stadiach sukcesji.

Analiza publikacji indeksowanych w bazie Scopus od początku okresu objętego indeksowaniem do 22 czerwca 2026 roku wykazała nierównomierne rozpoznanie lian lasów strefy umiarkowanej. Najwięcej rekordów typu „takson–publikacja” dotyczyło występowania gatunków i ich związków z siedliskami (43,7%). Reakcje funkcjonalne i środowiskowe stanowiły przedmiot 25,3% rekordów, powstawanie, rozprzestrzenianie się i odbudowa populacji – 14,9%, relacje z drzewami podporowymi i sposoby wspinania się – 4,6%, zmiany roślinności, odnowienia i struktury lasu – 2,3%, a prace przeglądowe i syntetyczne – 9,2%. Spośród wszystkich rekordów 55,2% dotyczyło *H. helix*, co wskazuje na dysproporcję w badaniach gatunków i ogranicza możliwość przenoszenia prawidłowości stwierdzonych dla jednego gatunku na inne liany.

Na przykładzie *P. quinquefolia* i *H. helix* można prześledzić zmienność cech wzdłuż gradientów ekologicznych. U *P. quinquefolia* stwierdzono występowanie w szerokim zakresie warunków edaficznych i klimatycznych oraz zmiany cech biomorfologicznych wzdłuż gradientu przekształceń antropogenicznych. Największą zmienność wykazywała liczba kwiatów na roślinie, a najmniejszą plastyczność – średnica łodygi; populacje należały do typu równowagowego lub prosperującego niezależnie od intensywności antropopresji. U *H. helix* reakcje

na gradienty ekologiczne prześledzono na kilku poziomach organizacji. U pędów wegetatywnych cechy morfometryczne i specyficzna powierzchnia liścia (SLA) zmieniały się wzdłuż gradientu świetlnego: SLA malała wraz ze wzrostem dziennej całki światła (DLI), a wilgotność gleby była związana ze zmiennością morfologiczną i żywotnością subpopulacji. Gradientom światła i wilgotności gleby towarzyszyły zmiany alokacji biomasy nadziemnej i stanu uwodnienia, a zawartość wody w liściach była czułym wskaźnikiem jej dostępności w glebie. Wielopoziomowa ocena pędów wegetatywnych i generatywnych ze zdrowymi i uszkodzonymi liśćmi potwierdziła kluczową rolę objętościowej zawartości wody w glebie i DLI w kształtowaniu zmienności funkcjonalnej. Pędy wegetatywne wykazywały większą stabilność strukturalną i spójność reakcji funkcjonalnych, natomiast pędy generatywne, szczególnie te z uszkodzonymi liśćmi, wykazywały większą zmienność i mniejszą akumulację biomasy. Przy wyższych wartościach DLI malała zawartość chlorofili i karotenoidów, a zawartość białka dodatnio korelowała z zawartością chlorofilu.

Zatem odpowiedź funkcjonalną lian należy oceniać nie na podstawie pojedynczych cech, lecz zespołu ich spójnych zmian na różnych poziomach organizacji. Łączna analiza cech morfometrycznych, stanu uwodnienia oraz wskaźników pigmentowych i biochemicznych pozwala dokładniej oceniać stan funkcjonalny lian w niejednorodnych warunkach środowiskowych i stanowi podstawę porównań międzygatunkowych oraz identyfikacji wspólnych i gatunkowo swoistych prawidłowości reakcji w lasach strefy umiarkowanej.

Wskaźniki stabilności boru chrobotkowego na podstawie ogólnopolskiej oceny siedliska w gospodarczych drzewostanach sosnowych

Patrycja Fałowska^{1,2*}, Patrycja Dziurawicz^{1,2}, Karolina Waszkiewicz^{1,2},
Michał H. Węgrzyn¹

¹Pracownia Badań Polarnych, Instytut Botaniki, Wydział Biologii, Uniwersytet Jagielloński,
ul. Gronostajowa 3, 30-387 Kraków,

*patrycja.falowska@uj.edu.pl

²Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Przyrodniczych, Uniwersytet Jagielloński,
ul. Prof. St. Łojasiewicza 11, 30-387 Kraków

Bory chrobotkowe (*Cladonio-Pinetum*, siedlisko Natura 2000 o kodzie 91T0) należą do najuboższych i najbardziej wrażliwych ekosystemów leśnych Europy, a około 68% ich europejskich zasobów znajduje się w Polsce. Ich trwałość opiera się na skrajnie ubogim podłożu i luźnej, prześwietlonej strukturze drzewostanu, które umożliwiają dominację porostów z rodzaju *Cladonia*. Obserwowany od dekad zanik tych fitocenoz wiąże się zwykle z ociepleniem klimatu i depozycją azotu. Celem badań było ustalenie, które czynniki decydują o stabilności runa porosto-

wego, oraz opracowanie mierzalnych wskaźników stanu siedliska, możliwych do zastosowania w praktyce leśnej.

Badania przeprowadzono w 15 nadleśnictwach z całego kraju, w układzie sparowanym: w każdym z nich wytypowano po dwa stanowiska referencyjne (z dominacją porostów) i dwa zaburzone (z dominacją mszaków) – łącznie 60 stanowisk i 300 zdjęć fitosocjologicznych. Na każdym stanowisku opisano strukturę drzewostanu (wysokość, zwarcie koron, zagęszczenie, wiek, pierśnicę), mikroklimat (temperaturę i natężenie światła w dnie lasu) oraz morfologię profilu glebowego; próbki poziomu organicznego poddano analizie elementarnej (C, N, C/N). Wykonano także reanalizę dwudziestoletnich trendów termicznych na podstawie danych ERA5-Land. Różnice testowano modelami: LMM, RDA i PERMANOVA, a progi ekologiczne wyznaczono uogólnionymi modelami addytywnymi (GAM).

Mimo wyraźnego letniego ocieplenia (+0,78°C/dekadę) degradacja runa porostowego okazała się niezależna od lokalnych trajektorii termicznych – najlepiej wykształcone płaty trwają na obu krańcach badanego gradientu, od Nadleśnictwa Przymuszewo (+0,69°C/dekadę) po Nadleśnictwo Myszyniec (+0,92°C/dekadę). O stanie siedliska decyduje przestrzenna struktura drzewostanu i wynikający z niej reżim świetlny. Na podstawie przeprowadzonych analiz wyznaczono trzy progi ekologiczne przełomu porosty–mszaki: zwarcie koron 66,9%, miąższość poziomu organicznego 4,98 cm oraz wysokość drzewostanu 13,12 m. Po ich przekroczeniu pokrycie porostów spada niemal o połowę (z 62 do 30%), a liczba gatunków z 10,7 do 7,7; dominację przejmują mszaki, przede wszystkim *Pleurozium schreberi*. Pierśnica i zagęszczenie drzew nie różnicowały stanowisk, a stosunek C/N w poziomie organicznym wyznacza zakres optimum (ok. 31–96), z którego bór chrobotkowy może wypaść dwiema drogami – utraty lub akumulacji węgla.

Wyznaczone progi zintegrowano we wskaźniku kondycji boru chrobotkowego LSPF-CI (0–100), przekładającym strukturę drzewostanu na ocenę stanu ochrony w systemie Natura 2000: poniżej 28 – stan zły (U2), 28–68 – niezadowalający (U1), powyżej 68 – właściwy (FV). Wskaźnik zastępuje ocenę ekspercką powtarzalnym pomiarem cech drzewostanu i gleby. Wynikające z niego zalecenia ochronne obejmują przerzedzenia obniżające zwarcie koron poniżej 66,9%, a w płatach najsilniej zdegradowanych – usunięcie nagromadzonej ściółki. Ograniczanie depozycji azotu pozostaje konieczne, lecz niewystarczające, ponieważ sama obecność gatunku *P. schreberi* przyspiesza użyźnianie siedliska. Uzyskane progi dają nadleśnictwom narzędzie szybkiej i obiektywnej diagnozy stanu siedliska 91T0.

Brak kompromisu między wielkością a liczbą nasion u buka zwyczajnego: klimat kształtuje alokację zasobów na pojedyncze nasiono

Patrycja Jerzyńska*, Katarzyna Kondrat, Michał Bogdziewicz,
European Beech Reproduction Network

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

**patrycja.jerzynska@amu.edu.pl*

Drzewa charakteryzujące się występowaniem lat nasiennych mogą wykazywać różnice w produkcji nasion między poszczególnymi latami nawet o kilka rzędów wielkości. Nadal jednak nie wiadomo, czy duża produkcja nasion prowadzi do zmniejszenia alokacji zasobów przypadających na pojedyncze nasiono, jak przewidują modele alokacji oparte na założeniu stałego budżetu zasobów.

U buka zwyczajnego zbadaliśmy zależność między produkcją nasion a masą nasion u poszczególnych drzew. Analiza objęła 2792 drzewa ze 123 populacji rozmieszczonych w całym zasięgu gatunku. W 35 populacjach oznaczyliśmy również zawartość białka i lipidów w nasionach.

Masa nasion zwiększała się wraz z liczbą produkowanych nasion. Nasiona pochodzące z lat obfitego owocowania były o 14% cięższe niż nasiona z lat o mniejszym opadzie nasion. Nie znaleźliśmy zatem dowodów na kompromis między wielkością a liczbą nasion; wyniki wskazują natomiast na zmienną alokację zasobów w reprodukcję. Z kolei zawartość białka zmniejszała się wraz ze wzrostem produkcji nasion o 31%, podczas gdy zawartość lipidów wzrastała o 14%. Sugeruje to, że przy dużej produkcji nasion czynnikiem ograniczającym staje się azot, natomiast zaopatrzenie nasion w związki węgla pozostaje na podobnym poziomie. Warunki klimatyczne również kształtowały zaopatrzenie nasion: na krańcach zasięgu klimatycznego masa nasion i zawartość białka były najniższe: odpowiednio o 28% i 32% niższe niż w centrum niszy klimatycznej gatunku.

Buk zwyczajny może zwiększać produkcję nasion bez zmniejszania biomasy przypadającej na pojedyncze nasiono. Ograniczona dostępność azotu oraz ograniczenia klimatyczne mogą jednak utrudniać odnowienie populacji zarówno na wycofującym się, jak i rozszerzającym się krańcu zasięgu, szczególnie w miarę postępującego ocieplenia klimatu.

Presja drapieżników a możliwości reintrodukcji cietrzewia (*Lyrurus tetrix*) w Nadleśnictwie Spychowo

Jacek Kamczyc^{1*}, Szymon Pieńkowski², Aleksander Adamski²,
Emilia Pers-Kamczyc³, Jacek Skubis¹, Robert Kamieniarz¹,
Cezary Urbanowski¹, Jacek Malica¹, Maciej Skorupski¹

¹Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii DREWNA,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań,
*jacek.kamczyc@up.poznan.pl

²Nadleśnictwo Spychowo, ul. Mazurska 3, 12-150 Spychowo

³Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk, ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

Cietrzew (*Lyrurus tetrix* L.) należy do najbardziej zagrożonych kuraków leśnych w Polsce, a jego liczebność w ostatnich dekadach znacznie się zmniejszyła. Do głównych zagrożeń dla tego gatunku należą m.in. przekształcenia i utrata odpowiednich siedlisk oraz presja drapieżników, która może istotnie ograniczać sukces lęgowy i utrudniać odbudowę populacji.

Celem badań była ocena i porównanie presji drapieżników w pięciu historycznych ostojach cietrzewia na terenie Nadleśnictwa Spychowo na podstawie obserwacji z fotopułapek. Badania prowadzono od kwietnia do września 2025 roku w pięciu ostojach: Biele, Lnisko, Kowalik, Długi Borek i Suchoros. W każdej z nich założono po dwa sztuczne gniazda: jedno w terenie półotwartym, a drugie pod okapem drzewostanu, które monitorowano, rejestrując wizyty drapieżników, zniszczenia jaj oraz czas potrzebny do odnalezienia gniazda. Badane ostoje obejmowały zarówno kompleksy leśne, tereny podmokłe, jak i łąki oraz siedliska półotwarte.

W ostojach tych najczęściej rejestrowano kuny (*Martes* spp.), które były również głównymi sprawcami zniszczeń gniazd. Mniejsze znaczenie miały jenoty (*Nyctereutes procyonoides*) i lisy (*Vulpes vulpes*), przy czym presja jenotów była szczególnie wyraźna w ostoji Suchoros. Pozostałe gatunki drapieżników pojawiały się sporadycznie. Gniazda były często odnajdywane wkrótce po wyłożeniu jaj, a ogólny poziom presji był zbliżony w obu typach lokalizacji. Podsumowując, presja drapieżników, zwłaszcza kun, może stanowić istotne ograniczenie w odbudowie populacji cietrzewia. Przy planowaniu działań ochronnych i reintrodukcyjnych należy uwzględnić lokalne zróżnicowanie presji poszczególnych gatunków drapieżników oraz możliwości jej ograniczania.

Czy lasy przetrwają zmianę klimatu? Zastosowanie proliny jako markera odporności drzew na suszę

Joanna Kijowska-Oberc^{1*}, Mikołaj K. Wawrzyniak¹, Łukasz Dylewski²,
Ewelina Ratajczak¹

¹Instytut 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

Susza jest jednym z najpoważniejszych czynników stresowych zakłócających procesy fizjologiczne związane z rozwojem roślin. Zamieranie drzew leśnych spowodowane globalnym ociepleniem jest obecnie zjawiskiem wielkoskalowym i bezprecedensowym. W konsekwencji gwałtownych zmian warunków abiotycznych sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.), główny gatunek lasotwórczy Polski, może w ciągu najbliższych dekad utracić nawet 60% obecnego zasięgu w Europie. Proces aklimatyzacji drzew do lokalnych warunków środowiskowych przebiega znacznie wolniej niż zachodzą zmiany klimatyczne. Konieczna jest zatem identyfikacja populacji, których nasiona cechują się wysoką żywotnością i mogą dać początek drzewom bardziej odpornym na nowe warunki.

Nasiona, pierwszy etap rozwojowy roślin, są szczególnie interesującym materiałem do badań odpowiedzi drzew na stres suszy. Warunki występujące podczas ich rozwoju mogą wpływać na procesy metaboliczne, zdolność kiełkowania oraz późniejszy rozwój siewek. Jednocześnie wciąż niewiele wiadomo o tym, w jaki sposób lokalne warunki klimatyczne kształtują mechanizmy biochemiczne związane z żywotnością nasion gatunków drzew, gdyż badań na gatunkach zielnych nie można bezpośrednio odnosić do długoterminowego wpływu warunków zewnętrznych na zmiany biochemiczne zachodzące w nasionach roślin długowiecznych.

Opracowania wymaga zwłaszcza rola metabolizmu proliny w odpowiedzi nasion oraz siewek drzew na długotrwałe oddziaływanie suszy. Prolina jest jednym z najważniejszych metabolitów związanych z odpowiedzią roślin na stres. Uczestniczy m.in. w utrzymaniu równowagi redoks, osmoregulacji, ochronie struktur komórkowych oraz ograniczaniu skutków nadmiernej akumulacji reaktywnych form tlenu (RFT). Wstępne badania wykazały, że poziom proliny zależy od zmian warunków wilgotnościowo-termicznych podczas dojrzewania nasion. Ponadto zawartość proliny w siewkach gatunków roślin drzewiastych podczas stresu suszy zmienia się wraz z czasem trwania suszy, a zmiany te modyfikowane są przez cechy funkcjonalne nasion. Z kolei enzymy odpowiadające za biosyntezę i katabolizm proliny wydają się bardziej precyzyjnymi markerami nasilenia stresu suszy niż sam poziom proliny.

Podjęto badania mające na celu scharakteryzowanie proliny jako markera żywotności nasion sosny zwyczajnej dojrzewających w regionach o zróżnicowanych lokalnych warunkach klimatycznych. Doświadczenia prowadzone są

z wykorzystaniem nasion pochodzących z trzech regionów klimatycznych Polski. Różnice obserwowane na poziomie biochemicznym między wybranymi populacjami rosnącymi w różnych regionach klimatycznych mogą mieć charakter adaptacyjny. Projekt badawczy obejmuje zarówno analizy poziomu RFT gromadzących się w komórkach w warunkach stresu, poziomu dialdehydu malonowego (MDA), będącego markerem uszkodzeń oksydacyjnych błon komórkowych, poziomu proliny oraz enzymów zaangażowanych w jej metabolizm jako potencjalnych wskaźników odpowiedzi biochemicznej na stres, jak też poziomu ekspresji genów kodujących te enzymy.

Po raz pierwszy opisano zależność między aktywnością metabolizmu proliny a żywotnością nasion sosny zwyczajnej pochodzących z różnych regionów klimatycznych. Minimalizacja ryzyka utraty stabilności drzewostanów poprzez identyfikację populacji o bardziej żywotnych, a przez to odpornych na suszę nasionach może mieć kluczowe znaczenie zarówno dla ciągłości funkcjonowania ekosystemów leśnych, jak i lasów gospodarczych przeznaczonych do produkcji drewna. Wykorzystanie nasion o potwierdzonej wysokiej żywotności do produkcji sadzonek przeznaczonych do zalesiania lub odnowienia lasu może ograniczyć straty ekonomiczne w gospodarce leśnej w obliczu globalnego ocieplenia, a także łagodzić tempo zmian różnorodności gatunkowej.



Ryc. 1. Rozmieszczenie populacji, z których zebrano nasiona wykorzystane do badań

Badania realizowane w ramach projektu „Czy lasy przetrwają zmianę klimatu? Identyfikacja populacji sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) o nasionach odpornych na suszę” nr 2023/49/N/NZ9/01393 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Klimatyczne i genetyczne tło zróżnicowania fenotypowego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w Polsce oraz prognozy wskaźnika bonitacji w przyszłych modelach klimatycznych – implikacje dla regionalizacji nasiennej

Martyna Lasek^{1*}, Daniel J. Chmura¹, Łukasz Walas¹, Witold Wachowiak^{1,2}

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

*mlasek@man.poznan.pl

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

Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) to dominujący gatunek lasotwórczy w Polsce i jeden z kluczowych gatunków europejskiego leśnictwa. Zrozumienie jej zmienności fenotypowej i genetycznej w powiązaniu z klimatem ma kluczowe znaczenie dla zrównoważonej gospodarki leśnej, zwłaszcza w obliczu rosnącej częstotliwości ekstremalnych zjawisk pogodowych. Chociaż prognozy zmian klimatu wskazują na istotne przesunięcia zasięgu sosny zwyczajnej w Europie, wciąż niewiele wiadomo o tym, jak warunki klimatyczne i zmienność genetyczna wiążą się z różnicami w produktywności pomiędzy populacjami wykorzystywanymi jako źródła nasion.

W niniejszej pracy zbadano, czy różnice w produktywności pomiędzy populacjami reprezentującymi polskie regiony nasienne powiązane są z lokalnymi warunkami klimatycznymi i neutralnym tłem genetycznym. Określiliśmy również potencjalne różnice w produktywności między regionami nasiennymi w warunkach zmian klimatu. Analizie poddano 27 stanowisk sosny zwyczajnej w wieku 110–215 lat, reprezentujących wszystkie 24 regiony nasienne w Polsce, w tym wyłączone drzewostany nasienne (WDN). Dane dotyczące wysokości i średnicy 818 drzew posłużyły do porównania zmienności fenotypowej oraz wyznaczenia wskaźnika bonitacji (SI) w wieku bazowym 100 lat. Przy użyciu modeli liniowych zidentyfikowano trzy główne grupy czynników klimatycznych skorelowanych z SI: (1) warunki termiczne, (2) letni deficyt wilgoci oraz (3) warunki wczesnej wiosny. Powyższe korelacje posłużyły do prognozowania przyszłego SI w dwóch scenariuszach klimatycznych (RCP4.5 i RCP8.5) na rok 2080. Do oceny neutralnego zróżnicowania genetycznego wykorzystano wcześniej opublikowane dane SNP dla tych samych osobników.

Wyniki ujawniły istotne różnice fenotypowe między badanymi populacjami. Podczas gdy obecne wartości produktywności siedlisk są zróżnicowane, przyszłe prognozy wskazują na istotną zmianę wzorca tej zmienności. Według prognoz drzewostany o obecnie wysokiej produktywności mogą doświadczyć znacznych spadków, natomiast te o niskiej produktywności mogą pozostać bardziej stabilne, a miejscami wykazywać nawet niewielką poprawę. Analizy genetyczne wskazują

na nikłe zróżnicowanie pomiędzy badanymi populacjami ($F_{ST} = 0,007$), które nie korelowało ze zmiennością fenotypową ani klimatyczną. Nasze wyniki wskazują, że opracowywanie strategii zalesiania sosny zwyczajnej dostosowanych do przyszłych zmian środowiskowych wymaga sumarycznego uwzględnienia danych fenotypowych, klimatycznych i genomicznych.

Gospodarka leśna w lasach niepaństwowych i jej wpływ na ochronę najrzadszych gatunków zwierząt – przykład orlika grubodziobego (*Clanga clanga*)

Jan Maciorowski, Grzegorz Maciorowski, Maciej Skorupski*

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

Na obszarze Kotliny Biebrzańskiej, głównego lęgowiska orlika grubodziobego w Unii Europejskiej, ponad 20% powierzchni leśnej stanowią lasy niepaństwowe. Część tego obszaru to bagienne lasy położone w dolinie Biebrzy, preferowane przez ten silnie zagrożony gatunek jako miejsca gniazdowania. Ponad 30% wszystkich par gnieździ się w takich właśnie warunkach. Brak ścisłego nadzoru, często bardzo chaotyczna gospodarka zrębowa, silna penetracja terenu przez ludzi wczesną wiosną, pożary oraz konieczność wyboru niekiedy suboptymalnych drzew do zakładania gniazd wywierają bardzo negatywny wpływ na trwałość stanowisk i sukces gniazdowy gatunku. Poster prezentuje wyniki ponad 30-letnich badań tego dotychczas słabo rozpoznanego aspektu.

Zmienność cech morfometrycznych daniela (*Dama dama*) w Nadleśnictwie Podanin

Jan Maciorowski^{1*}, Emilia Pers-Kamczyc², Jacek Kamczyc¹, Jacek Skubis¹,
Robert Kamieniarz¹, Maciej Skorupski¹

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

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

Wielkość ciała i dynamika jego wzrostu są często wskaźnikami kondycji zwierząt, dlatego wiedza na ich temat może być pomocna w prowadzeniu gospodarki łowieckiej. Przebieg wzrostu i kostnienia żuchwy u jeleniowatych (Cervidae) jest szczególnie wrażliwy na warunki środowiskowe i zagęszczenie populacji.

W celu scharakteryzowania wybranych cech tej struktury u jednej z najliczniejszych populacji daniela w kraju, bytującej w Nadleśnictwie Podanin, wykonano 24 pomiary morfometryczne oraz określono masę tuszy u 294 osobników. Oszacowano także wiek zwierząt na podstawie stopnia zużycia uzębienia. Zwierzęta pozyskiwano podczas polowań w sezonach 2023/2024–2025/2026 na terenie Ośrodka Hodowli Zwierzyny nr 51. Lasy stanowią około 47% obwodu łowieckiego. Dominującymi typami siedliskowymi są: bór mieszany świeży oraz las mieszany świeży. Największy udział powierzchniowy mają wydzielienia z sosną w wieku 61–80 lat jako gatunkiem panującym. Okres wegetacji trwa średnio około 230 dni, a wieloletnia średnia roczna temperatura powietrza wynosi około 9°C. Wieloletnia średnia roczna suma opadów wynosi 550 mm.

W celu określenia korelacji między zmiennymi obliczono macierz korelacji Pearsona. Porównano krzywe wzrostu dopasowane za pomocą funkcji von Bertalanffy'ego z uwzględnieniem sezonu i płci osobników. Samce mają większą asymptotyczną długość całkowitą żuchwy niż samice, ale tempo wzrostu żuchwy jest u nich niższe. Zastosowano także regresję liniową po transformacji logarytmicznej długości całkowitej żuchwy oraz długości diastemy. U samic długość diastemy zmienia się proporcjonalnie do długości całkowitej żuchwy, natomiast u samców diastema zwiększa się względnie szybciej niż długość żuchwy.

Badania zostały przeprowadzone w porozumieniu z Regionalną Dyрекcją Lasów Państwowych w Pile. Składamy podziękowania Nadleśnictwu Podanin za współpracę przy niniejszym projekcie, w szczególności panu Przemysławowi Tarkowskiemu oraz panu Jakubowi Nowakowi.

Optymalizacja warunków chłodniczego przechowywania *Quercus robur*: odpowiedzi fizjologiczne, biochemiczne i cytokininy podczas konserwacji metodą spowolnionego wzrostu oraz regeneracji

João Paulo Rodrigues Martins*, Maciej Rajek, Ewa M. Kalemba, Mikołaj K. Wawrzyniak

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

Kultury *in vitro* stanowią ważne narzędzie klonalnego rozmnażania i ochrony zasobów genetycznych gatunków rodzaju *Quercus*, umożliwiające namnażanie cennych genotypów oraz dostarczanie wartościowego materiału do programów hodowlanych i ochrony zasobów genowych gatunków drzewiastych. Jednak efektywne rozmnażanie *in vitro* *Q. robur* pozostaje trudne pod względem technicznym, szczególnie ze względu na konieczność częstego pasażowania kultur. Przechowywanie w warunkach spowolnionego wzrostu (*slow-growth*, SG) może wydłużyć odstępy między pasażami, jednak jego wpływ na procesy fizjologiczne i biochemiczne pozostaje słabo poznany. W mikrorozmnażaniu *Quercus* powszechnie stosuje się 6-benzylaminopurynę (BAP) w celu stymulacji proliferacji pędów; związek ten może również przyczyniać się do zachowania funkcjonalności liści podczas przechowywania poprzez opóźnianie procesów starzenia się, ochronę chlorofilu przed degradacją oraz utrzymanie homeostazy cytokinin.

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu warunków przechowywania w niskiej temperaturze (*cold-storage*, CS), w szczególności stężenia BAP i temperatury, na stan fizjologiczny, zdolności regeneracyjne, stres oksydacyjny oraz metabolizm cytokinin eksplantatów *Q. robur*.

Pojedyncze pędy o długości około 2 cm przeniesiono do kolb poliwęglanowych o pojemności 372 ml zawierających pełne stężenie pożywki WPM uzupełnionej 40 g l⁻¹ sacharozy, 7 g l⁻¹ agaru oraz 3,5 lub 7,0 μM BAP. Kultury utrzymywano w standardowych warunkach (16-godzinny fotoperiod/8 godzin ciemności, 21°C) przez 7 dni, następnie poddano je aklimatyzacji w ciemności w temperaturze 15°C przez 48 godzin. Potem przechowywano w całkowitej ciemności w temperaturze 3 lub 10°C. Zmiany morfofizjologiczne oceniano co 45 dni przez okres 135 dni. Po 45, 90 i 135 dniach części eksplantatów przenoszono na pożywkę namnażającą (WPM z dodatkiem 3,5 μM BAP, 30 g l⁻¹ sacharozy i 7 g l⁻¹ agaru), a następnie hodowano w standardowych warunkach wzrostu (21°C) przez 45 dni w celu oceny regeneracji (*regrowth*, RG). Eksplantaty utrzymywane przez okres trwania doświadczenia w standardowych warunkach namnażania (3,5 μM BAP, 30 g l⁻¹ sacharozy, 21°C) stanowiły kontrolę.

Przeżywalność podczas CS utrzymywała się powyżej 95%. Zamieranie kultur w trakcie RG (~10%) obserwowano wyłącznie po przechowywaniu

w temperaturze 10°C przez 90 lub 135 dni. Pomimo zmniejszenia produkcji pędów i świeżej masy w czasie CS, eksplantaty zachowały wysoką zdolność regeneracyjną po przeniesieniu do standardowych warunków wzrostu. Przechowywanie w niskiej temperaturze prowadziło do stopniowego zmniejszania rezerw skrobi, które nie zostały odbudowane podczas RG, natomiast prolina akumulowała się głównie w temperaturze 3°C, a jej zawartość zmniejszała się po regeneracji, wskazując na ustępowanie stresu indukowanego niską temperaturą. Parametry funkcjonowania aparatu fotosyntetycznego były lepiej zachowane w temperaturze 3°C, szczególnie przy zastosowaniu 7,0 μ M BAP, co potwierdzały wyższe wartości Fv/Fm i Fv/Fo po długotrwałym przechowywaniu. Analiza profilu cytokinin wykazała stopniowe zmniejszanie zawartości 2-metylotio-zeatyny wraz z wydłużaniem okresu przechowywania. BAP sprzyjał akumulacji benzyloadeniny (BA), która utrzymywała się po przeniesieniu eksplantatów do warunków sprzyjających wzrostowi, jednak jej zawartość stopniowo zmniejszała się wraz z wydłużaniem okresu CS. Podsumowując, przechowywanie w temperaturze 3°C w połączeniu z 7,0 μ M BAP pozwalało najlepiej utrzymać integralność fizjologiczną, homeostazę cytokinin oraz zdolność do regeneracji po przechowywaniu, wskazując na potencjał tej kombinacji w średnioterminowej konserwacji *in vitro* Q. robur.

Autorzy dziękują Narodowemu Centrum Nauki za wsparcie finansowe projektu (2024/08/X/NZ9/00281).

Czy topola pamięta suszę? Fizjologiczne sygnały potencjalnej pamięci stresu u młodych roślin

Elwira Nawrocka*, Andrzej Lewandowski, Ewelina Ratajczak,
Hanna Fuchs

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

*enawrocka@man.poznan.pl

Postępujące zmiany klimatyczne, przejawiające się m.in. zwiększoną częstotliwością i intensywnością okresów suszy, stanowią poważne zagrożenie dla ekosystemów leśnych. Drzewa jako organizmy długowieczne wykształciły złożone mechanizmy adaptacyjne, wśród których coraz większą uwagę zwraca tzw. somatyczna pamięć stresu. Pozwala ona na modyfikację fizjologicznej i metabolicznej odpowiedzi podczas ponownej ekspozycji na deficyt wody. Celem niniejszych badań było określenie, czy wieloletnia historia suszy u roślin topoli czarnej (*Populus nigra* L.) wpływa na ich reakcję fizjologiczną w czasie ponownego, ostrego stresu suszy.

Doświadczenie przeprowadzono na czteroletnich roślinach reprezentujących cztery grupy o zróżnicowanej historii oraz bieżących warunkach podlewania: CP/P (nie była wcześniej suszona/podlewana podczas doświadczenia), CP/NP

(nie była wcześniej suszona/suszona podczas doświadczenia), CNP/P (była wcześniej suszona/podlewana podczas doświadczenia) oraz CNP/NP (była wcześniej suszona/suszona podczas doświadczenia). Wszystkie badane grupy poddano kontrolowanemu, ostremu stresowi suszy terminalnej (warianty NP) bądź utrzymywano w optymalnym nawodnieniu (warianty P). Próbki liści pobierano w 3. oraz 5. dniu deficytu wody w celu oznaczenia kluczowych wskaźników fizjologiczno-biochemicznych: kwasu abscysynowego (ABA), proliny (jako głównego osmolitu), nadtlenku wodoru (H_2O_2), właściwej aktywności peroksydazy (POD) oraz stężenia białka rozpuszczalnego.

Wczesna faza odpowiedzi na suszę (3. dzień stresu) ujawniła niezwykle ciekawy wzorzec, określany jako stłumiona wczesna odpowiedź u roślin z historią stresu. Podczas gdy grupa kontrolna bez historii suszy (CP/NP) zareagowała na deficyt wody gwałtownym wzrostem stężenia ABA oraz silną akumulacją proliny, rośliny o historii stresu (CNP/NP) wykazały niewielki wzrost wartości tych parametrów. Stosunek wartości wskaźników linii suszonej do kontrolnej (CNP/NP do CP/NP) w 3. dniu stresu był wyraźnie poniżej jedności (dla ABA: 0,53; a dla proliny 0,38). W 5. dniu suszy różnice te uległy zatarciu lub odwróceniu (grupa CNP/NP osiągnęła wartości zbliżone do CP/NP lub wyższe), co wskazuje na nieliniowy i przesunięty w czasie charakter tej odpowiedzi. Ponadto susza wywołała ogólny wzrost poziomu H_2O_2 oraz spadek aktywności POD, przy czym rośliny z historią stresu (grupy CNP) utrzymywały wyższe stężenia białka rozpuszczalnego (szczególnie w wariancie CNP/NP), co mogło sprzyjać ochronie struktur komórkowych przed skutkami odwodnienia.

Zaobserwowany wzorzec opóźnionej, mniej gwałtownej odpowiedzi hormonalno-osmotycznej może sugerować obecność nabytej, somatycznej pamięci stresu suszy u topoli czarnej. Zamiast natychmiastowej, kosztownej metabolicznie reakcji alarmowej na samym początku suszy, rośliny z historią stresu (CNP/NP) wydają się wykazywać mniej gwałtowną i opóźnioną odpowiedź obronną w porównaniu do CP/NP. Prawdopodobnie pozwala to na ograniczenie nieadaptacyjnych kosztów metabolicznych przy przejściowych wahaniach wilgotności gleby i może stanowić istotny element plastyczności fenotypowej tego gatunku w obliczu zmian środowiskowych. W ujęciu aplikacyjnym zrozumienie tych mechanizmów oraz potencjalne wykorzystanie zabiegów kontrolowanego hartowania (ang. *drought hardening*) może stanowić cenne narzędzie w produkcji szkółkarskiej. Poznanie fizjologicznych podstaw pamięci stresu u młodych drzew może ułatwić opracowanie nowych metod produkcji sadzonek o podwyższonej odporności na suszę, co ma kluczowe znaczenie dla powodzenia odnowień i zalesień w obliczu postępujących zmian klimatycznych.

Przegląd cennych zespołów leśnych na przykładzie rezerwatu „Pazurek”

Małgorzata Osmenda^{1*}, Katarzyna Nawrot-Chorabik²

¹Nadleśnictwo Olkusz, Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, ul. Ponikowska 32, 32-300 Olkusz, *malgorzata.osmenda@katowice.lasy.gov.pl

²Katedra Ochrony Ekosystemów Leśnych, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Rezerwat przyrody „Pazurek” został założony w 2008 roku. Położony jest w województwie małopolskim w pobliżu wsi Pazurek. Całkowita powierzchnia rezerwatu wynosi 187,91 ha. Rzeźba terenu jest zróżnicowana i obejmuje liczne dolinki oraz okazałe skały wapienne. Drzewostan rezerwatu jest zdominowany przez buka pospolitego, występującego licznie na wzniesieniach krajobrazu jurajskiego. Do największych formacji skalnych należą tzw. Zubowe Skały w centralnej części rezerwatu. Głównym celem utworzenia rezerwatu „Pazurek” była ochrona cennych zbiorowisk leśnych. Spośród wielu zespołów leśnych do najbardziej zróżnicowanych pod względem gatunkowym zaliczamy: kwaśną buczynę niżową (*Luzulo pilosae-Fagetum*), żyzną buczynę sudecką (*Dentario enneaphylli-Fagetum*), termofilną buczynę storczykową (*Cephalanthero-Fagenion*) oraz jaworzynę z jęczmikiem (*Phyllitido-Aceretum*). Przegląd wybranych zespołów leśnych został przeprowadzony w celu oceny kondycji cennych przyrodniczo drzewostanów oraz występowania populacji wielu gatunków roślin. Dzięki przeprowadzonym obserwacjom w przyszłości możliwe będzie określenie wpływu aktualnych zmian klimatycznych na zachowanie powyższych fitocenoz na obszarze rezerwatu.

Zespół kwaśnej buczyny niżowej (*Luzulo pilosae-Fagetum*) zajmuje największą powierzchnię w rezerwacie. W drzewostanie zespołu leśnego gatunkiem dominującym jest buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.). W runie możemy powszechnie spotkać konwalijkę dwulistną (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W.Schmidt) i śmiałka pogiętego (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.). Żyzna buczyna sudecka (*Dentario enneaphylli-Fagetum*) charakteryzuje się największym bogactwem gatunkowym roślin runa. Najlepiej zachowane zbiorowiska żyznej buczyny sudeckiej występują wokół charakterystycznych skał wapiennych. Najczęściej występującymi roślinami w tym typie zbiorowiska leśnego są żywiec dziewięciolistny (*Cardamine enneaphyllos* (L.) Crantz), szczyr trwały (*Mercurialis perennis* L.) oraz marzanka wonna (*Galium odoratum* (L.) Scop.). Natomiast na wypłaszczonych obszarach zespołu żyznej buczyny sudeckiej spotykamy takie gatunki, jak czosnek niedźwiedzi (*Alium ursinum* L.) oraz miesięcznicę trwałą (*Lunaria rediviva* L.).

Na uwagę zasługują płaty ciepłolubnej buczyny storczykowej, należącej do podzwiązku *Cephalanthero-Fagenion*, występujące na południowych zboczach wzniesień. W runie zespołu występują chronione gatunki storczyków m.in. buławnik wielkokwiatowy (*Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce), kruszczyk szerokolistny (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz) i gnieźnik leśny (*Neottia nidus-avis* (L.) Rich.). W runie leśnym często występuje konwalia majowa (*Convallaria majalis* L.).

Fragmenty jaworzyny z jęczyznikiem (*Phyllitido-Aceretum*) możemy zaobserwować w bliskim sąsiedztwie Zubowych Skał. W odróżnieniu od pozostałych zespołów leśnych drzewostan tworzy przede wszystkim klon jawor (*Acer pseudo-platanus* L.), lipa szerokolistna (*Tilia platyphyllos* Scop.), wiąz górski (*Ulmus glabra* Huds.) oraz jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.). Rośliną reprezentatywną dla tego zbiorowiska leśnego jest jęczyznik zwyczajny (*Asplenium scolopendrium* L.) wyrastający ze szczelin skalnych.

Rezerwat przyrody „Pazurek” ze względu na swoją lokalizację oraz występowanie dużej różnorodności gatunkowej stanowi cenny przykład zachowania i trwałości cennych przyrodniczo zespołów leśnych.

Wpływ intensywności kwitnienia na zapylenie jarzębu pospolitego (*Sorbus aucuparia*)

Łukasz Piechnik^{1*}, Jakub Szymkowiak², Michał Bogdziewicz²,
Waldemar Celary³, Mateusz Ledwoń⁴, Grażyna Szarek-Łukaszewska¹,
Barbara Seget¹, Katarzyna Kondrat², Karol Zubek³, Magdalena Żywiec¹

¹Institut Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków,

*l.piechnik@botany.pl

²Centrum Biologii Lasu, Institut Biologii Środowiska, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, 61-614 Poznań

³Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, ul. Żeromskiego 5, 25-369 Kielce

⁴Institut Systematyki i Ewolucji Zwierząt Polskiej Akademii Nauk, ul. Sławkowska 17, 31-016 Kraków

Masowe kwitnienie i owocowanie (*masting*) jest strategią rozrodczą licznych wieloletnich roślin. W latach obfitego kwitnienia może ono zwiększać sukces reprodukcyjny, m.in. dzięki poprawie efektywności zapylenia. Jednocześnie u roślin zapyłanych przez zwierzęta zakłada się, że nadmiar kwiatów może prowadzić do wysycenia zapyłaczy i ograniczać korzyści z takiej strategii. Czy zapyłacze rzeczywiście wyznaczają granice masowego kwitnienia i owocowania u gatunków owadopylnych? Odpowiedzi poszukiwaliśmy u jarzębu pospolitego (*Sorbus aucuparia*), gatunku drzewa wykazującego silną, synchroniczną zmienność owocowania.

W populacji jarzębu na Babiej Górze monitorowano 30 drzew w ciągu czterech lat (2017–2020), charakteryzujących się skrajnie różną intensywnością kwitnienia. Policzone kwiatostany i owocostany oraz monitorowano owady w koronach drzew za pomocą pułapek Moerickego. Efektywność zapylenia definiowano jako udział kwiatostanów, które wytworzyły owocostany, a zmiany w zespołach zapyłaczy analizowano również na poziomie sieci interakcji roślina–zapyłacz.

Wyniki pokazują, że intensywność kwitnienia nie prowadziła do wysycenia zapyłaczy. Efektywność zapylenia wzrastała wraz z liczbą kwiatostanów od około 15% przy bardzo słabym kwitnieniu do około 90% przy 90 kwiatostanach na

drzewo, a następnie utrzymywała się na poziomie 85–90%, nawet przy ponad 600 kwiatostanach. Co ważne, liczba owadów rejestrowanych na drzewo przy największej intensywności kwitnienia spadała, lecz nie powodowało to spadku efektywności zapylania. Zmieniała się natomiast struktura zespołu zapylaczy. W latach obfitego kwitnienia dominowały trzmiele (*Bombus* spp.), stanowiące około 65–91% liczebności. W latach słabego kwitnienia ich udział spadał do około 40%, a większe znaczenie zyskiwały pszczoły samotnicze z rodzajów *Andrena* i *Lasioglossum*. Towarzyszyła temu reorganizacja sieci interakcji: w latach obfitego kwitnienia dominacja trzmieli zmniejszała spójność i równomierność sieci, co wskazywało na silniejsze wykorzystanie zasobów przez kilka kluczowych grup zapylaczy.

Najważniejszym wynikiem jest więc brak negatywnego efektu „wysycenia” zapylaczy podczas masowego kwitnienia. Zamiast tego zespół zapylaczy zmienia się wraz z podażą kwiatów pod względem liczebności, składu i sposobu wykorzystania zasobów. Szczególnie istotną rolę odgrywają trzmiele, których cechy ekologiczne pozwalają szybko reagować na krótkotrwałe impulsy pokarmowe. Zmiany w sieci interakcji mogą zatem sprzyjać utrzymaniu efektywności zapylania w warunkach dużej zmienności kwitnienia.

Wyniki sugerują, że zapylanie przez zwierzęta nie musi ograniczać ewolucji masowego kwitnienia i owocowania, lecz może jedynie zmniejszać presję selekcyjną na ekstremalną zmienność kwitnienia. W przypadku *Sorbus aucuparia* skuteczne zapylanie jest utrzymywane zarówno w latach bardzo obfitego, jak i umiarkowanego kwitnienia, dzięki czemu silna zmienność reprodukcji może współistnieć z zależnością od zapylaczy.

Badania sfinansowano ze środków ERC ForestFuture (101039066) oraz środków statutowych Instytutu Botaniki im. W. Szafera PAN.

Czy płeć różnicuje wzrost siewek topoli czarnej (*Populus nigra*)? Wczesne przejawy dymorfizmu płciowego

Michalina Piegat^{1*}, Joanna Mucha¹, Jacek Kamczyc², Emilia Pers-Kamczyc¹

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

*mpiegat@man.poznan.pl

²Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu, Wydział Leśny i Technologii DREWNA,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań

Topola czarna (*Populus nigra* L.) jest rodzimym, dwupiennym gatunkiem drzewa związanym przede wszystkim z ekosystemami dolin rzecznych. W naturalnych populacjach proporcja osobników męskich i żeńskich teoretycznie powinna być zbliżona do 1:1. W populacjach roślin dwupienych często obserwuje się jednak

odchylenia od tej proporcji, przejawiające się przewagą jednej z płci. Jedną z przyczyn tego zjawiska mogą być odmienne strategie życiowe osobników męskich i żeńskich, związane m.in. z różnymi kosztami reprodukcji oraz alokacją zasobów. Dotychczasowe badania roślin dwupiennych wskazują na występowanie dymorfizmu płciowego, czyli różnic między osobnikami męskimi i żeńskimi. Różnice te dotyczą nie tylko cech reprodukcyjnych, lecz także wzrostu, morfologii, fizjologii oraz sposobu gospodarowania zasobami. Dotychczas zjawisko to analizowano przede wszystkim u osobników dojrzałych płciowo, natomiast na etapie przedreprodukcyjnym pozostaje ono nieopisane. W przypadku wielu gatunków dwupiennych nie wiadomo, czy dymorfizm płciowy ujawnia się dopiero wraz z osiągnięciem dojrzałości reprodukcyjnej, czy też różnice w strategiach wzrostu i alokacji zasobów między płciami występują już na wcześniejszym etapie rozwoju.

Celem badań było określenie, czy osobniki męskie i żeńskie topoli czarnej (*Populus nigra*) różnią się już na wczesnym etapie rozwoju m.in. pod względem wzrostu na wysokość, produkcji biomasy, jej alokacji między część nadziemną a podziemną oraz cech morfometrycznych liści i korzeni.

Materiał badawczy stanowiły dwuletnie siewki, pochodzące z nasion zebranych z drzewa matecznego rosnącego w naturalnej populacji. Siewki utrzymywano indywidualnie w donicach o pojemności 2,5 l, na jednakowym podłożu oraz w kontrolowanych i ujednoliconych warunkach przez cały czas trwania doświadczenia. Wszystkim roślinom zapewniono taką samą ilość wody oraz jednakowe warunki termiczne i świetlne. Wzrost siewek analizowano w dwóch sezonach wegetacyjnych. Do szczegółowych analiz wybrano po 10 siewek każdej płci. U każdego osobnika określono płeć, zmierzono długość i średnicę pędu głównego, ustalono alokację biomasy między część nadziemną (pędy i liście) a podziemną oraz przeprowadzono analizę morfometryczną korzeni i liści (WinFolia i WinRHIZO, Regent Instruments).

Wstępne wyniki badań wskazują na konieczność uwzględniania płci już na wczesnych etapach rozwoju topoli czarnej. Jednocześnie sugerują potrzebę dalszych badań nad specyficznymi dla płci preferencjami środowiskowymi, co może mieć duże znaczenie dla hodowli, ochrony i restytucji naturalnych populacji tego gatunku. Wyniki te mogą mieć także praktyczne znaczenie dla produkcji materiału szkółkarskiego oraz programów ochrony i restytucji *P. nigra* dzięki możliwości ograniczenia niezamierzonej selekcji jednej z płci i zachowania zrównoważonej struktury płciowej odtwarzanych populacji. Poznanie wczesnych przejawów dymorfizmu płciowego może przyczynić się do lepszego zrozumienia strategii wzrostu tego gatunku oraz procesów warunkujących rozwój młodych osobników w populacjach topoli czarnej.

Wpływ wcześniejszego stresu suszy na reakcję klonalnego potomstwa topoli czarnej na powtarzającą się suszę

Anita Rzakiewicz, Tomasz A. Pawłowski,
Andrzej Lewandowski, Weronika B. Żukowska, Daniel J. Chmura,
Emilia Pers-Kamczyc, Agnieszka Szuba*

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

*aszuba@man.poznan.pl

Zmiany klimatu zwiększają częstotliwość i intensywność okresów suszy, co szczególnie silnie wpływa na młode drzewa. Rośliny mogą jednak wykazywać pamięć wcześniejszego stresu, która modyfikuje ich reakcję na kolejne okresy niekorzystnych warunków. Celem badań było określenie, czy wielokrotne cykle suszy i regeneracji, których doświadczały rośliny mateczne topoli czarnej (*Populus nigra* L.), wpływają na reakcję ich klonalnego potomstwa na kolejną suszę. Materiał roślinny stanowiły genetycznie jednorodne rośliny uzyskane z drzew poddanych w poprzednim sezonie wegetacyjnym wielokrotnym cyklem suszy i regeneracji (priming) lub utrzymywanych w warunkach prawidłowego nawodnienia. W kolejnym sezonie potomstwo obu grup poddano analogicznemu, powtarzanemu cyklem suszy lub utrzymywano w warunkach kontrolnego nawodnienia. Materiał badawczy pobrano dobę po kolejnym cyklu podlewania, aby ograniczyć wpływ krótkotrwałych zmian turgoru wywołanych suszą na obserwowane różnice. Analizowano cechy biometryczne liści, pędów i korzeni, zawartość barwników fotosyntetycznych, rozpuszczalnych węglowodanów i skrobi oraz wybrane markery stresu oksydacyjnego i związki fenolowe.

Susza istotnie ograniczała wzrost części nadziemnych i korzeni, przy czym korzenie wykazywały największą wrażliwość na deficyt wody. Stres wpływał również na alokację suchej masy i zwiększał zawartość suchej masy w korzeniach. W liściach susza prowadziła do silnego, około sześciokrotnego zmniejszenia zawartości skrobi oraz wzrostu stężenia rozpuszczalnych węglowodanów i H_2O_2 . Jednocześnie reakcje roślin pochodzących z wcześniej stresowanych roślin matecznych różniły się od reakcji roślin kontrolnych, szczególnie w zakresie metabolizmu skrobi oraz akumulacji związków fenolowych. Najwyższe stężenia związków fenolowych obserwowano u roślin poddanych wcześniejszemu primingowi, zwłaszcza podczas kolejnego stresu suszy.

Uzyskane wyniki wskazują, że wcześniejsze doświadczenie suszy może modyfikować fizjologiczną i biochemiczną odpowiedź klonalnego potomstwa topoli czarnej na ponowny stres, co może wskazywać na długotrwałe utrzymywanie się pamięci stresu.

Badania zostały sfinansowane ze środków statutowych Instytutu Dendrologii PAN.

Rola Arboretum Leśnego im. prof. Stefana Białoboka w Nadleśnictwie Syców w czynnej ochronie rzadkich i chronionych gatunków drzew w Polsce

Jarosław Sęktas

Arboretum Leśne im. prof. Stefana Białoboka w Nadleśnictwie Syców, Nadleśnictwo Syców,
Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, ul. Leśna 6, 56-504 Stradomia Dolna,
arboretum@poznan.lasy.gov.pl

Zanik i fragmentacja stanowisk, niewielka liczebność populacji oraz ograniczone odnowienie naturalne sprawiają, że ochrona *in situ* części rzadkich gatunków drzew wymaga uzupełnienia działaniami *ex situ*. Celem pracy jest określenie roli Arboretum Leśnego im. prof. Stefana Białoboka w krajowym systemie czynnej ochrony wybranych gatunków drzew oraz wskazanie warunków niezbędnych, aby produkcja materiału sadzeniowego przynosiła trwałe efekty restytucyjne.

Studium przypadku oparto na dokumentacji programów realizowanych przez Arboretum i prowadzonych w nim kolekcji, danych dotyczących produkcji i przekazywania materiału sadzeniowego, wynikach uzyskanych na powierzchniach zachowawczych i rodowo-proweniencyjnych oraz krajowej literaturze dotyczącej ochrony cisa pospolitego (*Taxus baccata* L.), jarzębu brekinii (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz), a także innych wybranych rzadkich taksonów drzewiastych. Oceną objęto cały łańcuch działań: udokumentowanie pochodzenia materiału, zbiór, przechowywanie i przygotowanie nasion, rozmnażanie, uprawę kontrolowaną, zakładanie kolekcji i powierzchni zachowawczych, przekazywanie sadzonek oraz monitoring efektów po ich wprowadzeniu do środowiska.

Arboretum, zajmujące blisko 650 ha, łączy funkcje ogrodu botanicznego, specjalistycznej szkółki, żywego banku genów oraz poligonu doświadczalnego w zakresie czynnej ochrony przyrody. W latach 1995–2026 utrzymywano kolekcję obejmującą 112 taksonów roślin chronionych i zagrożonych. Założono również uprawy zachowawcze o łącznej powierzchni około 10 ha, reprezentujące 11 rzadkich taksonów drzew i krzewów, oraz opracowano metody rozmnażania 40 gatunków chronionych. Największą skalę osiągnęły działania związane z restytucją cisa pospolitego i jarzębu brekinii. Według opublikowanego podsumowania w latach 2008–2025 w Arboretum wyprodukowano 105 tys. sadzonek cisa, które następnie wprowadzono do środowiska na terenie pięciu regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych. W latach 2003–2026 do środowiska wprowadzono także 204 tys. sadzonek jarzębu brekinii wyprodukowanych w Arboretum.

Analiza wykazała, że o wartości ochronnej działań nie decyduje sama liczba wyprodukowanych sadzonek. Kluczowe znaczenie mają potwierdzona tożsamość taksonomiczna i proveniencja materiału, reprezentatywność rodzin i genotypów, zachowanie rozdzielnosci partii, dopasowanie materiału do siedliska docelowego oraz długoterminowa ocena przeżywalności, zdrowotności, reprodukcji i odnowienia taksonu. Najważniejszą luką pozostaje niedostateczne powiązanie

ewidencji partii szkółkarskich z oceną ekologicznych efektów restytucji na powierzchniach docelowych.

Działalność Arboretum Leśnego w Sycowie stanowi pomost między ochroną zasobów genowych, badaniami naukowymi i praktyką leśną. Wdrożenie cyfrowego systemu paszportyzacji akcesji, rozszerzenie weryfikacji genetycznej materiału oraz prowadzenie wspólnego monitoringu we współpracy z jednostkami odbiorczymi pozwoliłyby połączyć rozproszone działania w sieć metakolekcji, umożliwić lepszą ocenę efektów aktywnej ochrony oraz wykorzystać powierzchnie proweniencyjne do badania reakcji drzew na zmieniające się warunki środowiskowe.

Złotoborowik wysmukły (*Aureoboletus projectellus*) jako gatunek obcy w Polsce: najważniejsze aspekty inwazji

Tomasz Sobczak, Marcin Pietras*

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

**tsobczak@man.poznan.pl*

W tradycyjnym modelu obiegu pierwiastków w glebie za główne organizmy odpowiedzialne za rozkład biomasy uznawano grzyby saprotroficzne. Przedstawione wyniki badań wskazują jednak na istotny udział grzybów mykoryzowych w tym procesie. Mogą one wykazywać aktywność szeregu enzymów, w tym chitynaz, celulaz i hemicelulaz, rozkładających organiczne związki węgla, azotu i fosforu. W rodzimych ekosystemach leśnych grzyby mykoryzowe wykazują funkcjonalną redundancję w wydzielaniu enzymów, dzięki czemu na poziomie ekosystemu aktywność pozostaje stabilna. W przypadku pojawienia się gatunków obcego pochodzenia może dochodzić do zaburzeń w obiegu pierwiastków. Skutki introdukcji obcych gatunków niepatogenicznych grzybów to między innymi wyczerpywanie zasobów węgla, a także ograniczenie aktywności grzybów saprotroficznych w efekcie tzw. *Gadgil effect*.

Do introdukcji grzybów mykoryzowych obcego pochodzenia dochodzi w wielu regionach świata, w tym w Europie. W ostatnich latach najbardziej wyrazistym przykładem na to jest ekspansja pochodzącego z Ameryki Północnej złotoborowika wysmukłego (*Aureoboletus projectellus*). Od czasu pierwszych obserwacji na wybrzeżu Bałtyku na początku XXI wieku rozprzestrzenił się w kilkunastu krajach, stając się lokalnie gatunkiem częstym. Szybka ekspansja złotoborowika, połączona z obfitą produkcją owocników, wymaga mobilizacji znacznych zasobów ze środowiska. Zjawisko to budzi uzasadnione obawy o wpływ tego grzyba na rodzime zbiorowiska grzybów oraz obiegi materii w ekosystemach leśnych.

Głównym celem badań była ocena zdolności złotoborowika wysmukłego do dekompozycji martwej materii organicznej na podstawie ilościowego określenia

aktywności enzymów wydzielanych przez jego ektomykoryzy. Wyniki te zestawiono z parametrami rodzimych gatunków grzybów. Dodatkowo przeanalizowano sygnatury stabilnych izotopów węgla i azotu ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) w zebranych owocnikach w celu identyfikacji różnic w strategiach troficznych analizowanych gatunków – grzyby pobierające substancje odżywcze z gleby cechują się wyższą zawartością izotopu ^{13}C oraz niższą zawartością izotopu ^{15}N .

Próby ektomykoryz pobrano w suchych borach sosnowych na terenie Pomorza Gdańskiego w 2025 roku. Na wytypowanych, żywych ektomykoryzach wykonano testy inkubacyjne z użyciem substratów fluorogenicznych. Zmierzono aktywność sześciu enzymów związanych z cyklem węgla, azotu i fosforu: β -ksylozydazy, β -glukuronidazy, celobiohydrolazy, N-acetyloglukozaminidazy, β -glukozydazy oraz fosfatazy kwaśnej. Ponadto 36 owocników grzybów z różnych grup troficznych poddano analizom składu izotopów węgla i azotu.

Badania wykazały, że złotoborowik wysmukły odznacza się istotnie wyższą aktywnością enzymatyczną w porównaniu z gatunkami rodzimymi. Najbardziej wyraźną różnicę odnotowano dla β -ksylozydazy, co wskazuje na wysoką zdolność do rozkładu hemiceluloz. Zarejestrowano również istotną statystycznie przewagę w wydzielaniu celobiohydrolazy (odpowiadającej za degradację celulozy) i N-acetyloglukozaminidazy (rozkładającej chitynę). Dodatkowo analiza izotopowa wykazała, że owocniki złotoborowika charakteryzują się znacznym obniżeniem zawartości izotopu azotu ^{15}N względem rodzimych grzybów ektomykoryzowych występujących w tych samych miejscach. Jednocześnie złotoborowik wysmukły zachowuje profil izotopu węgla ^{13}C spójny z wartościami typowymi dla strategii gatunków ektomykoryzowych.

Zestawienie podwyższonej aktywności chitynazy z niskimi wartościami izotopu $\delta^{15}\text{N}$ wskazuje, że zamiast polegać wyłącznie na transferze związków od partnerskiej sosny, złotoborowik wysmukły prawdopodobnie aktywnie degraduje biomasę innych grzybów (w tym właśnie chitynę) obecną w glebie. Pozyskuje w ten sposób azot niezbędny do obfitego tworzenia owocników, wyczerpując jego zasoby na siedliskach bardzo ubogich w ten pierwiastek. Sukces inwazyjny i aktywność metaboliczna złotoborowika mogą mieć w przyszłości istotne konsekwencje dla ekosystemów leśnych i prowadzić do systematycznego wyczerpywania puli dostępnego azotu organicznego w glebie. W połączeniu ze wzmożoną presją środowiskową skutkuje ograniczeniem różnorodności i bogactwa gatunkowego rodzimej mykobioty, szczególnie grzybów suilloidalnych.

Badanie zostało sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantu OPUS nr DEC2019/35/B/NZ8/01798.

Metabolomiczna odpowiedź grzybni *Paxillus involutus* na wybrane czynniki abiotyczne: ekspozycję na światło i niską temperaturę

Agnieszka Szuba^{1*}, Weronika B. Żukowska¹, Joanna Mucha^{1,2},
Aleksander Strugała³, Łukasz Marczak³

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

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

³Instytut Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk, ul. Noskowskiego 12/14, 61-704 Poznań

Grzyby ektomykoryzowe pełnią kluczową rolę w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych, jednak ich odpowiedź metaboliczna na wiele czynników abiotycznych pozostaje słabo poznana. Celem badań było określenie, w jaki sposób dwa odmiennie czynniki abiotyczne – ekspozycja na światło oraz długotrwałe oddziaływanie niskiej temperatury – wpływają na metabolom grzybni *Paxillus involutus* hodowanej *in vitro*.

Grzybnię hodowano przez sześć tygodni w warunkach kontrolnych (w ciemności), w świetle białym ($150 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, fotoperiod 16/8 h; wariant: ekspozycja na światło) lub w temperaturze 4°C (wariant: ekspozycja na niską temperaturę). Analizy metabolomiczne wykonano metodą wysokoprzepustowej chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC-MS/MS), uzupełniając je oznaczeniami wybranych parametrów fizjologicznych i biochemicznych.

Oba czynniki abiotyczne prowadziły do ograniczenia wzrostu grzybni oraz zmian jej fenotypu, jednak wywoływały wyraźnie odmienne odpowiedzi metaboliczne. Ekspozycja na światło powodowała wzrost stężenia H_2O_2 , nie zwiększając poziomu malonodialdehydu, co wskazuje na brak nasilonego stresu oksydacyjnego. Profil metabolomiczny pozostawał zaskakująco stabilny – jedynie nieliczne metabolity zmieniały swoją obfitość, mimo wyraźnych zmian morfologicznych grzybni. Natomiast niska temperatura indukowała znacznie głębszą przebudowę metabolizmu, mimo podobnie słabej odpowiedzi antystresowej. W *Paxillus involutus* ekspozycyjnym na niską temperaturę stwierdzono wzrost zawartości azotu oraz aktywację metabolizmu związków azotowych, szczególnie szlaku GS-GOGAT, czemu towarzyszyła akumulacja licznych aminokwasów. Jednocześnie metabolizm węgla uległ przeprogramowaniu bez wzrostu całkowitej zawartości węgla, a zwiększone stężenia trehalozy i związków z rodziny inozytoli wskazywały na uruchomienie mechanizmów związanych z tolerancją na chłód. Zaobserwowano również zmiany sugerujące przebudowę ściany komórkowej i błon komórkowych.

Uzyskane wyniki wskazują, że *Paxillus involutus* wykazuje wysoką odporność metaboliczną na ekspozycję na światło, natomiast niska temperatura uruchamia złożone mechanizmy aklimatyzacyjne obejmujące przede wszystkim reorganizację metabolizmu azotu. Badania dostarczają nowych informacji o strategiach

adaptacyjnych grzybów ektomykoryzowych w warunkach zmian klimatu i mogą stanowić podstawę do lepszego zrozumienia funkcjonowania symbiozy ektomykoryzowej pod wpływem stresów środowiskowych.

Badania zostały częściowo sfinansowane w ramach grantów DEC-2011/03/D/NZ9/05500 oraz 2022/03/ZB/FBW/00006 (finansowanych odpowiednio przez Narodowe Centrum Nauki oraz Instytut Dendrologii PAN) przyznanych Agnieszce Szubie, a także przez ID PAN.

Zachowanie zasobów genowych najcenniejszych populacji sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) po klęsce wiatru – studium przypadku Nadleśnictwa Rytel

Adrian Talaśka^{1*}, Wojciech Kowalkowski²

¹Nadleśnictwo Rytel, Rytel-Dworzec 4, 89-642 Rytel, *adrian.talaska@torun.lasy.gov.pl

²Katedra Hodowli Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 69, 60-625 Poznań

Wyłączone drzewostany nasienne (WDN), czyli wyselekcjonowane obiekty leśnego materiału podstawowego (LMP) o wysokiej wartości hodowlanej, stanowią istotny element krajowego systemu zachowania leśnych zasobów genowych. Ich znaczenie wykracza poza bieżącą produkcję nasion na potrzeby gospodarki leśnej – reprezentują one bowiem populacje ważne dla zdolności adaptacyjnych lasów w warunkach postępujących zmian klimatu. Ekstremalne zjawiska atmosferyczne, którym towarzyszą gwałtowne wiatry, mogą powodować wielkopowierzchniowe zniszczenia i tym samym prowadzić do znacznego zmniejszenia lokalnej bazy nasiennej. Nawałnica, która przeszła przez Polskę 11 sierpnia 2017 roku, spowodowała uszkodzenia drzewostanów na łącznej powierzchni około 120 tys. ha, w pasie od Dolnego Śląska po Wybrzeże. W Nadleśnictwie Rytel (RDLP w Toruniu) uszkodzonych zostało blisko 11 tys. ha powierzchni leśnej, z czego około 5300 ha wymagało całkowitego uprzątnięcia i odnowienia.

Celem pracy była ocena stopnia zachowania bazy nasiennej sosny zwyczajnej w następstwie klęski wiatru w Nadleśnictwie Rytel oraz podsumowanie podjętych przez leśników działań służących ochronie i zachowaniu lokalnych zasobów genowych. Analizę przeprowadzono na podstawie danych zgromadzonych w Systemie Informatycznym Lasów Państwowych (SILP), bazach Krajowego Rejestru Leśnego Materiału Podstawowego BNL oraz planach urządzenia lasu (na lata 2017–2026, z okresem obowiązywania skróconym do 31 grudnia 2019 roku oraz 2020–2029).

W Nadleśnictwie Rytel całkowitemu zniszczeniu od wiatru uległo 5 z 11 WDN sosny zwyczajnej, na powierzchni 100,06 ha, co stanowiło 50,09% powierzchni wyłączonych drzewostanów nasiennych. Zgromadzone przed wystąpieniem klęski depozyty nasion przechowywane w Wyluszczeni Nasion w Klosnowie pochodziły z 9 z 11 WDN, w tym 4 z 5 WDN całkowicie zniszczonych. Udział nasion pozyskanych z tych drzewostanów w ogólnej masie depozytów Nadleśnictwa Rytel wynosił 56,31%. Zgromadzone depozyty zostały wykorzystane do wyhodowania sadzonek na potrzeby odnowień powierzchni pokłękowych w wyznaczonych blokach upraw pochodnych, w tym zlokalizowanych w miejscach, gdzie rosły drzewostany macierzyste.

W warunkach rosnącego ryzyka występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych bezpieczeństwo regionalnej bazy nasiennej należy zwiększać poprzez równoczesne utrzymywanie obiektów leśnego materiału podstawowego, systematyczne pozyskiwanie i długookresowe przechowywanie zasobów i depozytów nasion oraz zapewnianie możliwości odtworzenia lokalnych populacji z materiału pochodzącego z wyłączonych drzewostanów nasiennych. Obserwowane w ostatnich latach ograniczone i nieregularne obrządzanie sosny zwyczajnej wskazuje na potrzebę efektywnego wykorzystywania lat nasiennych.

Tabela 1. Charakterystyka wyłączonych drzewostanów nasiennych w Nadleśnictwie Rytel z uwzględnieniem uszkodzeń od wiatru i zapasów nasion

Lp.	Rok uznania	Powierzchnia [ha]	Uszkodzenia od wiatru [%]	Rok skreślenia	Ilość nasion [kg]		
					Depozyty (WN w Klosnowie)		Zasoby (LBG Kostrzyca)
					stan na dzień		
					2016-12-31	2025-12-31	2026-08-31
1	1979	15,52	100	2018	1,450		1,734
2	2005	10,73	20		2,300		1,690
3	2005	6,00	10		2,350	0,250	
4	1989	48,04	10		2,600	7,420	2,200
5	1979	7,97	100	2018	4,000		
6	1989	43,59	100	2018	2,800		2,745
7	1979	6,19	10		1,570	2,700	1,711
8	1979	24,80	100	2018	2,860		0,264
9	1979	10,46	70		1,250	6,530	1,699
10	2014	18,27	0			0,950	
11	2014	8,18	100	2018			

Suma powierzchni WDN przed klęską		Suma		
	199,75	19,730	16,900	10,309
Suma powierzchni WDN po klęsce		Udział nasion z WDN wykreślonych z rejestru [%]		
	99,69	56,31		46,01

Doświadczenia Nadleśnictwa Ryteł związane z uprzątnięciem i zagospodarowaniem powierzchni uszkodzonych przez wiatr wskazują, że zintegrowanie ochrony *in situ* i *ex situ* pozwala zabezpieczyć zasoby genowe najcenniejszych lokalnych populacji drzew leśnych w obliczu ekstremalnych zaburzeń środowiska.

Kluczowa rola wody dla przyrostu radialnego topoli białej

Magdalena Terlecka

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

Reakcja przyrostu radialnego drzew na warunki środowiskowe zależy nie tylko od zmienności klimatycznej i hydrologicznej, lecz może być również modyfikowana przez cechy biologiczne osobników. Znaczenie klonalności i płci u gatunków dwupiennych dla reakcji przyrostu radialnego na warunki klimatyczne pozostaje jednak stosunkowo słabo poznane, szczególnie w odniesieniu do interakcji między tymi czynnikami. Dlatego celem badań była ocena wpływu płci i klonalności oraz ich interakcji u *Populus alba* na zależność przyrostu radialnego od temperatury, opadów, poziomu wody w rzece oraz warunków suszy, określonych za pomocą standaryzowanego wskaźnika opadów i ewapotranspiracji (SPEI). Badania przeprowadzono w dwóch populacjach łęgowych w dolinie rzeki Warty, zlokalizowanych w półnaturalnym Rogalińskim Parku Krajobrazowym oraz w zurbanizowanym Lesie Dębińskim w Poznaniu.

Wyniki badań jednoznacznie wskazują, że dostępność wody jest głównym czynnikiem regulującym przyrost radialny topoli białej w obu analizowanych populacjach. Najsilniejsze i najbardziej stabilne dodatnie korelacje odnotowano dla poziomu wody w rzece w okresie od kwietnia do września, potwierdzając silną zależność drzewostanów łęgowych od zasobów wód gruntowych. Opady atmosferyczne miały w tym przypadku mniejsze znaczenie, co może wynikać z ich bardziej epizodycznego i lokalnego oddziaływania, podczas gdy poziom wody w rzece odzwierciedla zintegrowany efekt procesów hydrologicznych zachodzących w całej zlewni. Wpływ temperatury na przyrost drzew był bardziej złożony i silnie zależał od miejsca badań. W populacji zurbanizowanej w Lesie Dębińskim wysokie temperatury były wyraźnie ujemnie związane z przyrostem, co może wskazywać na stres cieplny nasilany przez zjawisko miejskiej wyspy ciepła. Z kolei w Rogalińskim Parku Krajobrazowym reakcje na temperaturę były znacznie bardziej zróżnicowane i zależały dodatkowo od płci badanych osobników.

Płeć i klonalność modyfikowały reakcje drzew na czynniki klimatyczne, przy czym szczególnie interesujące wyniki uzyskano w odniesieniu do wskaźnika suszy SPEI. W populacji miejskiej reakcja na długotrwały deficyt wody zależała od kombinacji płci i sposobu reprodukcji. Żeńskie osobniki klonalne wykazywały

w Lesie Dębińskim stabilność przyrostu, osiągając wyższe wartości w warunkach stresu wodnego niż w pozostałych badanych grupach. Może to wskazywać na skuteczne łagodzenie efektów suszy dzięki specyficznej organizacji przestrzennej żeńskich systemów klonalnych oraz zajmowaniu przez nie korzystniejszych nisz hydrologicznych.

Dostępność wody, odzwierciedlona zarówno poziomem wody w rzece, jak i wskaźnikiem SPEI, jest czynnikiem najsilniej związanym z dynamiką przyrostu radialnego topoli białej w badanych środowiskach łęgowych. Wyniki potwierdzają, że w ekosystemach terenów zalewowych hydrologia siedliska w największym stopniu kształtuje dynamikę wzrostu drzew. Jednak klonalność i dwupienność mogą modyfikować reakcje przyrostu radialnego na czynniki hydroklimatyczne, a ich znaczenie zależy przede wszystkim od warunków środowiskowych.

Wyniki badań są niezwykle istotne dla zarządzania ekosystemami terenów zalewowych. W dobie postępujących zmian środowiskowych związanych z działalnością człowieka zrozumienie mechanizmów reakcji topoli białej na zmieniające się warunki jest niezbędne do skutecznej ochrony tych zbiorowisk.

Wpływ warunków glebowych i zasolenia na różnorodność taksonomiczną i morfologiczną grzybów ektomykoryzowych olszy czarnej w ramach mykobiomu strefy korzeniowej

*Dominika Thiem^{1,2*}, Piotr Mleczo³, Marcin Gołębiewski²,
Katarzyna Hryniewicz^{1,2}*

¹Katedra Mikrobiologii, Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń, *thiem@umk.pl

²Instytut Studiów Zaawansowanych UMK, ul. Wileńska 4, 87-100 Toruń

³Instytut Botaniki, Wydział Biologii, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 3, 30-387 Kraków

Zmiany warunków glebowych w lasach są odpowiedzią na dynamicznie przeobrażające się środowisko pod wpływem czynników abiotycznych, wśród których stężenie rozpuszczalnych soli w glebie może być krytycznym parametrem decydującym o różnorodności taksonomicznej i morfologicznej mykobiomu strefy korzeniowej. Grzyby ryzosferowe, endofityczne i ektomykoryzowe (ECM) odpowiadają za odporność drzew leśnych na zasolenie.

Z tego względu celem badań była ocena wpływu warunków glebowych, a w szczególności zasolenia, na mykobiom olszy czarnej rosnącej na trzech stanowiskach leśnych o różnym stopniu zasolenia w trzech porach roku. Zbadano, jakie grupy funkcjonalne grzybów występują w strefie korzeniowej, jakie rodzaje grzybów związane są z określonymi warunkami glebowymi, a także jak warunki

te wpływają na liczebność i różnorodność morfotypów oraz typów eksploracyjnych grzybów ECM.

Stwierdzono, że względna liczebność grzybów ECM spadała latem w glebie ryzosferowej i rosła jesienią w korzeniach na stanowisku o wyższym poziomie zasolenia (SH) w porównaniu z pozostałymi stanowiskami badawczymi. Efekt ten był związany głównie ze zmianami w liczebności grzybów z rodzajów *Tomentella*, *Lactarius* oraz *Thelephora*. Grzyby z rodzaju *Tomentella* identyfikowano znacznie rzadziej w warunkach obniżonego zasolenia gleby oraz niższych stężeniach jonów wapnia i magnezu. W przypadku grzybów *Lactarius* odnotowano negatywny wpływ jonów chlorkowych na ich występowanie. Wraz ze wzrostem zasolenia obserwowano spadek liczby morfotypów ECM oraz wzrost liczebności grzybów reprezentujących typ eksploracji krótkodystansowej.

Badania po raz pierwszy opisują dynamikę mykobiomu olszy czarnej w odniesieniu do różnych warunków glebowych i kluczowych zmian zasolenia gleby, biorąc pod uwagę różne grupy funkcjonalne grzybów wraz z dominującą w tych warunkach grupą grzybów ektomykoryzowych.

Badania finansowane przez Narodowe Centrum Nauki PRELUDIUM 2016/23/N/NZ8/00294. Udział w konferencji sfinansowano w ramach Priorytetowego Obszaru Badawczego Organic Biodiversity Solutions Driving Innovation in Agriculture and Nutrition (OBSIDIAN) (UMK, Toruń).

Podziękowania dla prof. dr. hab. Piotra Hulisza, dr. Adama Michalskiego i mgr. Michała Dąbrowskiego z Laboratorium Analiz Środowiskowych (LEA) (Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Morskiego w Toruniu) za przeprowadzenie analizy gleby.

Wpływ inwazyjnych gatunków drzew na mykobiom glebowy w rodzimych ekosystemach leśnych

Robin Wilgan*, Marta Kujawska, Tomasz Leski

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

*rwilgan@man.poznan.pl

Inwazje biologiczne stanowią jedno z głównych wyzwań stojących przed wspólną ochroną przyrody i gospodarką leśną: inwazyjne gatunki zmieniają rodzimą bioróżnorodność i obieg pierwiastków oraz prowadzą do licznych zaburzeń w rodzimych ekosystemach, będąc jedną z głównych przyczyn spadku bioróżnorodności w skali globalnej. Mimo to wpływ inwazyjnych gatunków drzew na mykobiom glebowy, w tym w szczególności na grzyby symbiotyczne korzystne z perspektywy roślin oraz na patogeny negatywnie wpływające na zdrowotność roślin, pozostaje w niewielkim stopniu poznany.

Zbadaliśmy, jak trzy szeroko rozpowszechnione w Europie inwazyjne gatunki drzew: robinia akacjowa (*Robinia pseudoacacia*), czeremcha amerykańska (*Prunus*

serotina) oraz dąb czerwony (*Quercus rubra*) oddziałują na mykobiom glebowy, z uwzględnieniem różnych grup troficznych. Zebraliśmy próby glebowe wzdłuż gradientu rosnącego udziału inwazyjnych gatunków drzew na 81 powierzchniach w lasach sosnowych w centralnej Polsce, następnie zidentyfikowaliśmy mykobiom glebowy, stosując sekwencjonowanie NGS regionu ITS2 rDNA, wykorzystywanego jako region barkodowy u grzybów, jak również określiliśmy zawartość kluczowych biogennych związków chemicznych w glebie.

Wykazaliśmy, że trzy badane inwazyjne gatunki drzew wywierają zbliżony wpływ na mykobiom leśny, a ich rosnący udział prowadzi do wzrostu udziału patogenów roślin, przy spadku udziału endofitów korzeni – nieektomykoryzowych symbiontów roślin. Robinia przejawiała jednak pod różnymi względami silniejszy negatywny wpływ na mykobiom niż pozostałe inwazyjne gatunki drzew: w istotnym stopniu przekształcała skład taksonomiczny mykobioty, czego nie wykazano dla pozostałych badanych gatunków, wywierała znacznie silniejszy negatywny wpływ na grzyby ektomykoryzowe oraz istotnie zwiększała bogactwo gatunkowe patogenów i udział biodostępnego azotu w glebie. Co ważne, sumaryczne bogactwo gatunkowe oraz wskaźniki różnorodności Shannona i Simpsona okazały się słabymi predyktorami zaburzeń mykobioty wywołanych ekspansją gatunków inwazyjnych, podczas gdy efekty zaburzeń były widoczne w zmianach struktury jakościowej mykobioty: składu gatunkowego, kompozycji oraz funkcji ekologicznych pełnionych przez poszczególne gatunki.

Wykonaliśmy również eksperyment donicowy w glebie zmienionej przez trzy badane inwazyjne gatunki drzew, który wykazał, że tylko w glebie zmienionej przez robinie sadzonki sosny zwyczajnej i dębu szypułkowego były istotnie mniejsze, cechowały się istotnie wyższą śmiertelnością i istotnie niższym udziałem grzybów ektomykoryzowych, natomiast zawartość związków biogennych w glebie, w tym biodostępnego azotu, nie różniła się znacząco. Wskazuje to na potencjalny wpływ związków allelopatycznych, które hamują rozwój innych roślin, wśród których robinetiny i myrcetiny wydzielane są przez korzenie robinii do gleby; hipoteza ta wymaga jednak dalszych badań ukierunkowanych na analizy biochemiczne związków allelopatycznych.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantu nr 2020/37/N/NZ8/01403. Wyniki zostały opublikowane w 2026 roku w czasopiśmie „Soil Biology and Biochemistry” (110041) oraz w 2024 roku w czasopiśmie „Geoderma” (117111).

Indeks autorów

- Adamczyk Dawid 200
 Adamski Aleksander 228
 Alipour Shirin 223
 Aronen Tuija 175
- Barczyk Maciej K. 166
 Bator Jarosław 153
 Blein-Nicolas Mélisande 194
 Blinkova Olena 224
 Błasiak Jolanta 157
 Bodziarczyk Jan 206
 Bogdziewicz Michał 166, 227, 238
 Bonaudo Aurora 186
 Borowski Zbigniew 165
 Brennan Andrea N. 105
 Bryja-Karlińska Adrianna 181
 Buck Ryan C. 139
 Bury Sebastian 166
- Celary Waldemar 238
 Chmielarz Paweł 167, 194
 Chmura Daniel J. 231, 241
 Chojnicki Bogdan 169, 204
 Cieślak Elżbieta 197
 Czortek Patryk 212
- Davanture Marlène 194
 Dering Monika 197, 209
 Dönmez Ali A. 197
 Drozda Andżelika 194
 Dyderski Marcin K. 166, 170, 212
 Dylewski Łukasz 182, 229
 Dziurawicz Patrycja 225
- Egertsdotter Ulrika 175
 Ellwood Elizabeth R. 121
- Fałowska Patrycja 180, 225
 Flis Aleksandra 157
 Foest Jessie 166
 Fuchs Hanna 170, 201, 235
- Gaj Renata 171
 Gallinat Amanda S. 121
 Gazda Anna 191, 206
- Giertych Marian J. 173
 Goetz Alexander R.B. 139
 Gołębiewski Marcin 249
 Guzicka Marzenna 173
 Guziejko Adam 166
- Hacket-Pain Andrew 166
 Harenda Kamila 169
 Hazubska-Przybył Teresa 175
 Horodecki Paweł 176, 198
 Hryniewicz Katarzyna 249
 Hutka Katarzyna 159
- Iszkuło Grzegorz 178, 200
- Jagodziński Andrzej M. 25, 65, 176, 212, 224
 Jankiewicz Leszek S. 173
 Janowski Daniel 181, 184, 187
 Jastrzębowski Szymon 166, 170
 Jerzyńska Patrycja 227
 Józefczyk Damian 169
- Kalemba Ewa M. 214, 234
 Kamczyc Jacek 179, 228, 233, 239
 Kamieniarz Robert 228, 233
 Kapala Krzysztof 180
 Karliński Leszek 181, 184, 187
 Kijowska-Oberc Joanna 182, 210, 229
 Kocięcka Joanna 169
 Konczewski Paweł 217
 Kondrat Katarzyna 227, 238
 Kowalkowski Wojciech 202, 246
 Kozakiewicz Paweł 207
 Krawczyk Wojciech 206
 Kujawska Marta 181, 184, 187, 250
 Kurek Przemysław 197
 Kurlowicz Magdalena 217
- Lasek Martyna 207, 231
 Latterini Francesco 186
 Ledwoń Mateusz 238
 Leski Tomasz 181, 184, 187, 250

- Lewandowski Andrzej 188, 219, 235, 241
Ley-López Juan Manuel 167
Łabiszak Bartosz 189, 197, 207
Łubek Anna 212
Łukowski Adrian 202
Maciejewski Zbigniew 206
Maciorowski Jan 232, 233
Maciorowski Grzegorz 232
Madalcho Aklilu B. 206
Malica Jacek 228
Marasek-Ciołakowska Agnieszka 173
Marczak Łukasz 245
Matelska Mariola 181
Michalak Marcin 167
Miller-Rushing Abraham J. 121
Minicka Julia 214
Miścicki Stanisław 191, 215
Mleczek Piotr 249
Mokhtari Amir M. 214
Moncaleán Paloma 175
Mucha Joanna 192, 239, 245
Nawrocka Elwira 235
Nawrot-Chorabik Katarzyna 237
Novikov Andriy 197
Nowak Kinga 25, 65
Nowak Miłosz 169
Oleksyn Jacek 192
Olesik Beata 212
Osmenda Małgorzata 237
Pałucka Małgorzata 167
Pawłowska Marzena 161
Pawłowski Tomasz A. 194, 241
Peck Lily D. 139
Pedro Junior Sergio 210
Perez Itziar Montalban 175
Pers-Kamczyc Emilia 194, 195, 228, 233, 239, 241
Picchio Rodolfo 113, 186
Piechnik Łukasz 197, 238
Piegat Michalina 239
Pieńkowski Szymon 228
Pietras Marcin 198, 243
Poczta Patryk 169, 204
Primack Richard B. 121
Rabska Mariola 200
Rajek Maciej 234
Ratajczak Ewelina 170, 182, 201, 229, 235
Robak Dominika 219
Robakowski Piotr 200, 202
Rodrigues Martins João Paulo 167, 200, 234
Rosati Leonardo 197
Różańska Monika Anna 204
Rudawska Maria 181, 184, 187
Rupps Andrea 175
Ryzza-Woźniak Agnieszka 205
Rzadkiewicz Anita 241
Sahrawy Mariam 201
Seget Barbara 238
Serrato Antonio J. 201
Sęktas Jarosław 242
Skorupski Maciej 228, 232, 233
Skubis Jacek 228, 233
Sobczak Tomasz 198, 243
Sork Victoria L. 139
Stasińska Małgorzata 187
Staszak Aleksandra M. 201
Strugała Aleksander 245
Suszka Jan 194
Szarek-Łukaszewska Grażyna 238
Szczepański Sebastian 197
Szreder Krystian 165
Szuba Agnieszka 241, 245
Szwagrzyk Jerzy 206
Szymkowiak Jakub 238
Taib Asma 209
Talaśka Adrian 246
Terlecka Magdalena 200, 248
Teyssier Caroline 175
Thiem Dominika 249

- Tomski Andrzej 206
- Urbanowski Cezary 228
- Välimäki Sakari 175
- Vargas Paola 201
- Venanzi Rachele 186
- Vidal Nieves 175
- Wachowiak Witold 166, 189, 197,
207, 231
- Walas Łukasz 209, 223, 231
- Walters Christina 167
- Wasileńczyk Urszula 167
- Waszkiewicz Karolina 225
- Wawrzyniak Mikołaj K. 167, 182,
210, 229, 234
- Węgrzyn Michał H. 180, 225
- Wiatrowska Blanka 197
- Wielgusz Katarzyna 171
- Wierzcholska Sylwia 212
- Wilgan Robin 181, 184, 187, 250
- Wojciechowska Natalia 214
- Woźniak Kacper 205
- Wójcik Tomasz 197
- Wysocka-Fijorek Emilia 191, 215
- Ye Zipiao 202
- Zadworny Marcin 192
- Ziemiańska Monika 217
- Zięba Antoni 206
- Zub Karol 165
- Zubek Karol 238
- Zwijacz-Kozica Tomasz 206
- Żukowska Weronika B. 188, 219,
241, 245
- Żytkowiak Roma 224
- Żywiec Magdalena 197, 238

Bogucki
WYDAWNICTWO
NAUKOWE

ISBN 978-83-7986-621-2

