



Metody ochrony leśnych zasobów genowych

w Europie w kontekście zmian klimatu



Czesław Kozioł, Marcin Beza

Przekład z:

Approaches to the conservation of the genetic resources in Europe in the context of climate change, Colin T. Kelleher *et al.*, 2015, Bioversity International



Leśny Bank Genów
Kostrzyca



Metody ochrony leśnych zasobów genowych

w Europie
w kontekście zmian klimatu

Czesław Koziół, Marcin Beza

Przekład z:

Approaches to the conservation of the genetic resources in Europe in the context of climate change, Colin T. Kelleher et al., 2015, Bioversity International

Bioversity International jest organizacją badawczo-rozwojową, działającą na poziomie globalnym. W naszej wizji zachowanie bioróżnorodności w rolnictwie ma podstawowe znaczenie dla wyżywienia ludności oraz utrzymania życia na Ziemi. Nasza działalność polega na dostarczaniu wyników badań naukowych i wytycznych w zakresie dotyczącym zarządzania oraz na wskazywaniu politycznych kierunków wykorzystania i ochrony różnorodności biologicznej, rolniczej i leśnej, w celu osiągnięcia zrównoważonego światowego bezpieczeństwa żywnościowego. Współpracujemy z partnerami w krajach i regionach o niskim poziomie dochodów, w których rolnicza i leśna bioróżnorodność może wpływać na poprawę poziomu wyżywienia, ale również na odporność, produktywność i adaptację ekosystemów do zmian klimatycznych. Bioversity International jest członkiem Konsorcjum CGIAR – globalnego partnerstwa badawczego na rzecz przyszłego bezpieczeństwa żywnościowego.

Europejski Program Leśnych Zasobów Genowych (EUFORGEN) jest instrumentem współpracy międzynarodowej, promującym ochronę i właściwe wykorzystanie leśnych zasobów genowych Europy. Powstał w 1994 r., w wyniku wdrażania postanowień Rezolucji Strasburskiej nr 2, przyjętej w trakcie pierwszej Ministerialnej Konferencji FOREST EUROPE (Francja, 1990). EUFORGEN przyczynia się do realizacji zobowiązań FOREST EUROPE dotyczących leśnych zasobów genowych, jak również postanowień Konwencji o różnorodności biologicznej (CBD). Ponadto EUFORGEN uczestniczy we wdrażaniu regionalnych priorytetów strategicznych *Światowego planu działań na rzecz ochrony, zrównoważonego wykorzystania i rozwoju leśnych zasobów genowych* (GPA-FGR), przyjętego w 2013 r. na Konferencji FAO. Zadaniem uczestniczących w programie ekspertów z krajów członkowskich jest wymiana informacji i doświadczeń, analiza założeń politycznych i praktycznych oraz wypracowanie, opartych na podstawach naukowych, strategii, narzędzi i metod lepszego zarządzania leśnymi zasobami genowymi. EUFORGEN dostarcza danych do analiz na poziomie europejskim i globalnym oraz służy jako platforma do opracowywania i wdrażania projektów w Europie. EUFORGEN jest finansowany przez kraje członkowskie, a jego działania polegają na pracy grup roboczych oraz organizowaniu warsztatów. W skład Komitetu Sterującego EUFORGEN wchodzi, nominowani w krajach członkowskich, Krajowi Koordynatorzy. Sekretariat EUFORGEN prowadzony jest przez Bioversity International. Więcej informacji o EUFORGEN można znaleźć na stronie www.euforgen.org.

Opisy geograficzne i materiały wykorzystane na potrzeby publikacji nie stanowią oficjalnej opinii CGIAR i Bioversity w sprawach dotyczących statusu prawnego państw, terytoriów, miast lub obszarów oraz ich władz i przebiegu granic. Tym samym wyrażone poglądy należą do ich autorów i nie zawsze odzwierciedlają przekonania wymienionych wyżej organizacji.

Wymienienie jakiegokolwiek zastrzeżonej nazwy nie stanowi wspierania produktu, a służy jedynie celom informacyjnym.

Źródło: Kelleher, C.T., de Vries, S.M.G., Baliuckas, V., Bozzano, M., Frýdl, J., Gonzalez Goicoechea, P., Ivankovic, M., Kandemir, G., Koskela, J., Kozioł, C., Liesebach, M., Rudow, A., Vietto, L., Zhelev Stoyanov, P., 2015, *Metody ochrony leśnych zasobów genowych w Europie w kontekście zmian klimatu*. Europejski Program Leśnych Zasobów Genowych (EUFORGEN), Bioversity International, Rzym, Włochy

AUTORZY ORYGINALNEGO OPRACOWANIA

Colin T. Kelleher

Krajowy Ogród Botaniczny, Dublin
Irlandia

Sven M.G. de Vries

Instytut Badań Genetycznych,
Uniwersytet i Centrum Badawcze
Wageningen, Wageningen
Holandia

Virgilijus Baliuckas

Instytut Leśnictwa, Litewskie Centrum
Badań dla Rolnictwa, Girionys
Litwa

Michele Bozzano

Bioversity International, Rzym
Włochy

Josef Frýdl

Instytut Badawczy Leśnictwa i Gospodarki
Łowieckiej, Jíloviště
Czechy

Pablo Gonzalez Goicoechea

NEIKER-Tecnalia, Vitoria-Gasteiz
Hiszpania

Mladen Ivankovic

Chorwacki Instytut Badawczy Leśnictwa,
Jastrebarsko
Chorwacja

Gaye Kandemir

Ministerstwo Leśnictwa i Gospodarki
Wodnej, Ankara
Turcja

Jarkko Koskela

Bioversity International, Rzym
Włochy

Czesław Koziol

Leśny Bank Genów Kostrzyca, Miłków
Polska

Mirko Liesebach

Instytut Genetyki Leśnej – Thünen,
Grosshansdorf
Niemcy

Andreas Rudow

Instytut Ekosystemów Lądowych,
Politechnika Federalna, Zürich
Szwajcaria

Lorenzo Vietto

Rada Badań Rolniczych i Gospodarczych,
Jednostka Badawcza Intensywnej Produkcji
Drewna, Casale Monferrato
Włochy

Peter Zhelev Stoyanov

Uniwersytet Leśny, Sofia
Bułgaria

Wydano na zlecenie
Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych
Warszawa 2018

© **Leśny Bank Genów Kostrzyca 2018** (wersja polska)

Miłków 300
58-535 Miłków
tel.: 75 71 31 048
faks: 75 71 31 754
e-mail: biuro@lbg.lasy.gov.pl
www.lbg.lasy.gov.pl

Przekład

Czesław Kozioł i Marcin Beza, Leśny Bank Genów Kostrzyca

Redakcja

Anna Wikło

Projekt

Ewa Hermanowicz

Zdjęcia na okładce

Michele Bozzano

Przygotowanie do druku

Plupart

ISBN 978-83-65659-17-0

Druk i oprawa

Artis Poligrafia

Publikacja wydana przy współpracy z Centrum Informacyjnym Lasów Państwowych,
sfinansowana ze środków LBG Kostrzyca. Egzemplarz bezpłatny. Wersja internetowa
dostępna na www.lasy.gov.pl oraz www.lbg.lasy.gov.pl

PRZEDMOWA WYDANIA ORYGINALNEGO

W ciągu dwóch ostatnich dekad toczyło się wiele dyskusji dotyczących wpływu zmian klimatycznych na ekosystemy leśne oraz roli lasów w łagodzeniu tych zmian. W skali globalnej wylesienia, poprzez uwalnianie dwutlenku węgla do atmosfery oraz zmniejszenie produkcji tlenu, znacząco wpłynęły na zmiany klimatu. W wielu rejonach świata trwają one nadal i w związku z tym podejmowane są liczne międzynarodowe inicjatywy na rzecz promowania i wdrażania zrównoważonej gospodarki leśnej. Jest tak szczególnie w krajach rozwijających się.

W Europie, przez ostatnie 50 lat, zasoby leśne powiększały się, zarówno pod względem powierzchni, jak i zasobności. Europejskie lasy, dzięki odtworzeniu ich po stuleciach wylesiania i nadmiernego wyřębu, pełnić mogą zatem rolę pochłaniacza dwutlenku węgla.

W ostatnich latach europejscy decydenci rozważali wiele różnych wariantów adaptacji do zmian klimatycznych oraz sposobów ich łagodzenia, wprowadzając liczne regulacje dotyczące wzmocnienia roli lasów i sektora leśnego w ograniczeniu efektów tych zmian. Większość krajów uwzględniła kwestie zmian klimatu w narodowych programach leśnych oraz krajowych planach działań na rzecz ochrony bioróżnorodności. Niektóre wdrożyły również międzysektorowe strategie adaptacyjne do zmian klimatycznych. Niestety działania te w większości pomijały znaczenie leśnych zasobów genowych. Ponadto, chociaż zmiany klimatyczne uznawane są za zagrożenie dla ochrony bioróżnorodności, większość działań ochronnych skupiła się na różnorodności gatunkowej i siedliskowej, poświęcając jednak zbyt mało uwagi różnorodności genetycznej – fundamentalnej podstawie całej różnorodności biologicznej.

Wpływ zmian klimatu na ochronę i wykorzystanie leśnych zasobów genowych jest w ostatnich latach coraz częstszym tematem dyskusji w ramach Europejskiego Programu Leśnych Zasobów Genowych (EUFORGEN), który powstał w 1994 r. Jego celem było koordynowanie współpracy europejskiej w dziedzinie leśnych zasobów genowych pod auspicjami FOREST EUROPE (wcześniej Ministerialnej Konferencji na temat Ochrony Lasów w Europie).

Podczas realizacji Fazy IV (2010–2014), EUFORGEN miał trzy cele: 1) promować właściwe wykorzystanie leśnych zasobów genowych rozumianych jako element zrównoważonej gospodarki leśnej, po to by ułatwić adaptację lasów i gospodarki leśnej do zmian klimatu; 2) rozwijać i promować europejskie strategie ochrony zasobów genowych oraz skorygować wytyczne odnoszące się do zagospodarowania obiektów ochrony zasobów

bów genowych i obiektów chronionych, a także 3) gromadzić, przechowywać i rozpowszechniać informacje dotyczące leśnych zasobów Europy. By rozwiązywać problemy związane z leśnymi zasobami genowymi oraz opracować dla Europy metody lepszego nimi zarządzania, EUFORGEN zrzesza naukowców, menedżerów i polityków.

Niniejszy raport przedstawia wnioski i zalecenia grupy roboczej EUFORGEN ds. zmian klimatu i ochrony leśnych zasobów genowych. Raport prezentuje aktualny stan wiedzy na temat wpływu zmian klimatu na ochronę leśnych zasobów genowych oraz propozycje dalszych działań. Członkowie grupy roboczej spotkali się dwukrotnie. Pierwsze spotkanie zorganizowane było przez Bioversity International w Maccaresse (Włochy) w dniach 18–20 czerwca 2013 r., drugie – przez Centrum Zasobów Genetycznych w Wageningen (Holandia) w dniach 4–6 lutego 2014 r. Grupa robocza poinformowała o postępie prac na 9. spotkaniu Komitetu Sterującego EUFORGEN w Tallinie (Estonia), w dniach 3–5 grudnia 2013 r. Projekt raportu przedstawiono Komitetowi Sterującemu EUFORGEN podczas jego 10. spotkania w Edynburgu (Wielka Brytania) w dniach 16–18 czerwca 2014 r. Uwagi Komitetu Sterującego uwzględniono w raporcie końcowym.

PRZEDMOWA DYREKTORA LEŚNEGO BANKU GENÓW KOSTRZYCA

W toku wdrażania postanowień Rezolucji Strasburskiej FOREST EUROPE (dawniej MCPFE), rozpoczęto prace nad powołaniem organizacji zajmującej się ochroną in situ i ex situ LZG, wymianą leśnego materiału rozmnożeniowego oraz monitoringiem postępu w tych pracach.

W latach 1991–1993 czterech ekspertów z zakresu genetyki leśnej: z Finlandii, Polski, Francji i Portugalii, przy wsparciu pracowników Departamentu Leśnictwa FAO, Bioversity International oraz Komisji Europejskiej, zaproponowało panel współpracy międzynarodowej w zakresie aktywnej ochrony LZG lasów Europy. Tak powstał EUFORGEN (European Forest Genetic Resources Programme).

Od początku istnienia tej organizacji Polska aktywnie uczestniczy w jej pracach i ma duży wpływ na opracowywane modele i metody w zakresie monitoringu, ewidencji i czynnej ochrony LZG w Europie. LBG Kostrzyca od ponad 10 lat bierze udział w pracach EUFORGEN, a od kilku jest siedzibą Koordynatora Krajowego oraz Krajowym Punktem Kontaktowym EUFGIS. W latach 2010–2014, w ramach IV Fazy prac EUFORGEN, w której uczestniczyli także eksperci z Polski, pracowano nad pięcioma zagadnieniami niezwykle ważnymi dla ochrony LZG w Europie. Były to: 1) strategia ochrony LZG, 2) monitoring genetyczny, 3) leśny materiał rozmnożeniowy, 4) ochrona LZG i polityka wdrażana w tym zakresie, 5) strategia ochrony LZG w zmieniającym się klimacie. Efektem kilkuletnich prac było wydanie wielu broszur i podręczników zawierających wytyczne dla krajów Europy. Dotyczyły one wdrożenia stosownych rozwiązań prawnych w zakresie aktywnej ochrony LZG, a gdy takie już funkcjonują – zaleceń akcentowania określonych działań aktywnej ochrony LZG w strategiach leśnych, narodowych programach leśnych i programach adaptacji do zmian klimatu, a w konsekwencji – w ramach gospodarki leśnej.

Wspomniane wytyczne są ściśle związane z przyjętym przez FAO w 2013 r. Globalnym Planem Działania dla zachowania, zrównoważonego użytkowania oraz rozwoju leśnych zasobów genetycznych. LBG Kostrzyca, w celu przybliżenia omawianych zagadnień, podjął się tłumaczenia czterech podręczników EUFORGEN, wydanych w 2015 r. przez Bioversity International. Zawartość tych opracowań kierowana jest przede wszystkim do polityków, pracowników administracji rządowej oraz *top managementu* Lasów Państwowych, pracujących nad opracowaniem strategii leśnych i narodowego programu leśnego, a także do nadleśniczych, dyrektorów parków narodowych i starostów, zajmujących się gospodarką leśną w terenie.

W naszym odczuciu wytyczne EUFORGEN powinny także dotrzeć do pracowników regionalnych dyrekcji ochrony środowiska, co przybliżyłoby tej grupie zawodowej, która na co dzień zajmuje się zarządzaniem ochroną przyrody, istotne znaczenie procesów genetycznych w populacjach roślin drzewiastych w dobie silnej antropopresji, a także wpływ czynników biotycznych i abiotycznych na środowisko leśne oraz skutki zmieniającego się klimatu. Pierwszy z podręczników, zatytułowany *Metody zachowania leśnych zasobów genowych w Europie w kontekście zmian klimatu*, odnosi się także do warunków geograficznych Polski. Przewidywane zmiany klimatu w znacznym stopniu mogą wpłynąć na LZG naszych lasów i prowadzić w konsekwencji do przekształceń (utruty) siedlisk leśnych, a tym samym utraty różnorodności biologicznej.

Problemy te mogą dotyczyć szczególnie populacji rosnących na siedliskach poddanych fragmentacji, która ogranicza migrację oraz wykorzystanie zdolności adaptacyjnych. W opracowaniu położono nacisk na ochronę LZG na poziomie gatunkowym i populacyjnym. Dostrzeżono, istotny dla ochrony flory, siedlisk, gatunków drzew oraz ich populacji, aspekt genetyczny. W Polsce, ale też w całej Europie, jest on za mało akcentowany w aktach prawnych oraz strategiach i politykach leśnych.

Zwykle bardzo mocno akcentowana jest ochrona gatunkowa (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r., Dz.U. poz. 1409) lub ochrona siedlisk (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 maja 2005 r., Dz.U. nr 94, poz. 975), a praktycznie pomijana jest konieczność czynnej ochrony zasobów genowych populacji, będących głównymi komponentami cennych dla UE obszarów, np. siedlisk łągowych.

Konieczne staje się powiązanie ochrony LZG z innymi elementami ochrony bioróżnorodności. Propozycje przyjęcia stosownego aktu prawnego w postaci ustawy o ochronie LZG przedstawiane były w Polsce już w latach 90. ubiegłego wieku, nie zostały jednak przyjęte do prac sejmowych. W Polsce na wybranych siedliskach prowadzi się monitoring. Nie obejmuje on jednak monitoringu genetycznego głównych komponentów tych siedlisk, którymi często są gatunki drzew. W Polsce raczej nie ma zagrożenia związanego z wyginięciem rodzimych gatunków drzew, ale z pewnością możemy mówić o poważnym zagrożeniu cennych lokalnych populacji z powodu niekorzystnych procesów genetycznych. Przykładem mogą być populacje: świerka pospolitego w Puszczy Białowieskiej i Beskidach, jodły pospolitej w Sudetach, jarzębu brekinii w Bielinku, Przulaskach i Wielkopolskim Parku Narodowym, cisa pospolitego w Boleszkowicach, Bogdańcu i Choczewie, jesionu wyniosłego, wiązów i topoli czarnej w całym kraju, itp. Autorzy podręcznika sugerują opracowanie, na poziomie europejskim, czerwonej listy populacji gatunków drzew oraz wdrożenie monitorin-

gu genetycznego wybranych populacji. Szczególną uwagę poświęcono populacjom marginalnym, w tym ich przetrwaniu w regionie śródziemnomorskim. To tam jest największe niebezpieczeństwo utraty zróżnicowania genetycznego LZG z powodu negatywnego wpływu zmian klimatu (wyginięcie populacji lub nawet gatunków). Natomiast utrata ich potencjału adaptacyjnego i możliwości kolonizacji obszarów w strefie północnego zasięgu bardziej dotyczy polskich warunków, np. w odniesieniu do jarzębu brekinii, cisa pospolitego, dębu bezszypułkowego, lipy szerokolistnej, kłonu jawora, buka zwyczajnego i wielu innych.

W niniejszym opracowaniu prezentowana jest tzw. migracja wspomagana, jako jedna z propozycji aktywnej ochrony w tym zakresie. Autorzy podkreślają niebezpieczeństwo utraty zmienności genetycznej gatunków, których właściwe siedliska uległy fragmentacji, a populacje są mało liczne. Poza wspomnianymi wcześniej dokumentami strategicznymi dla polskiego leśnictwa należałoby rozważyć włączenie części proponowanych działań do *Programu adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatycznych do roku 2020*, realizowanego przez PGL LP.

Czesław Koziół, dyrektor LBG Kostrzyca

SKRÓTY UŻYTE W TEKŚCIE

CO ₂	dwutlenek węgla
UE	Unia Europejska
EUFGIS	Europejski System Informacji o Leśnych Zasobach Genowych
EUFORGEN	Europejski Program Leśnych Zasobów Genowych
LZG	leśne zasoby genowe
FAO	Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa
IPCC	Międzynarodowy Zespół do spraw Zmian Klimatu
IUFRO	Międzynarodowa Unia Leśnych Organizacji Badawczych
IUCN	Międzynarodowa Unia Ochrony Przyrody
UNFCCC	Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu

SPIS TREŚCI

Autorzy oryginalnego opracowania	iii
Przedmowa wydania oryginalnego	v
Przedmowa dyrektora Leśnego Banku Genów Kostrzyca	vii
Skróty użyte w tekście	x
Streszczenie	xiii
Wprowadzenie	1
Stan wiedzy	5
Prognozy zmian klimatu	5
Ogólne konsekwencje wpływu zmian klimatu na lasy	6
Wpływ zmian klimatu na leśne zasoby genowe	8
Zagrożone gatunki i populacje drzew	10
Opis podjętych działań i istniejących strategii	17
Konsekwencje dla działań ochronnych	23
Rekomendacje dla zagospodarowania istniejących oraz ustanawiania nowych obiektów ochrony zasobów genowych	25
Zagospodarowanie istniejących obiektów ochrony zasobów genowych	25
Ustanawianie dodatkowych obiektów ochrony zasobów genowych	27
Rekomendacje dla uzupełniających metod ochrony ex situ	31
Priorytetyzacja gatunków drzew i zakładanie populacji ex situ	31
Dynamiczna ochrona ex situ	33
Statyczna ochrona ex situ	34
Odpowiedni monitoring	34
Rekomendacje dla badań naukowych	35
Wnioski i rekomendacje ogólne	37
Literatura	39
Załącznik	45

STRESZCZENIE

W ostatnich dekadach państwa europejskie podjęły istotne działania zmierzające do zachowania zasobów genowych drzew leśnych. Rzadko jednak uwzględniano wpływ zmian klimatu na ochronę leśnych zasobów genowych, a są one szczególnie wyzwaniami dla zadań ochronnych i wymagają konkretnych działań. Dlatego Komitet Sterujący EUFORGEN powołał grupę roboczą do spraw zmian klimatu i ochrony leśnych zasobów genowych. Niniejszy raport prezentuje powzięte przez nią ustalenia.

W Europie, przez ostatnie 50 lat, zasoby leśne powiększały się zarówno pod względem powierzchni, jak i zasobności. Dzięki ich odtworzeniu po stuleciach wylesiania, mogą dzisiaj pełnić rolę pochłaniacza dwutlenku węgla. W wielu państwach Europy wdrożono krajowe strategie adaptacji do zmian klimatu oraz inne działania ukierunkowane na wykorzystanie potencjału lasów i sektora leśnictwa do złagodzenia zmian klimatycznych. Wpływ tych zmian na lasy, a szczególnie na ich różnorodność genetyczną, nie został jednak dostatecznie uwzględniony w tych działaniach.

Grupa robocza przedstawiła instrukcje dotyczące dalszych prac. Skupiają się one na: 1) utworzeniu – w odpowiedzi na zachodzące zmiany klimatu – dodatkowych jednostek ochrony zasobów genowych; 2) wzmacnianiu współdziałania pomiędzy państwami oraz rozszerzeniu europejskiej współpracy w zakresie ochrony leśnych zasobów genowych; 3) potrzebie ciągłego i szerokiego monitoringu oraz wymiany danych, z uwzględnieniem rozwoju procesów decyzyjnych i czerwonych list zagrożonych gatunków oraz 4) prowadzeniu dalszych badań nad aspektami migracji wspomagananej oraz nad marginalnymi i peryferyjnymi populacjami drzew.

Zmiany klimatu a leśna różnorodność genetyczna

Globalne modele klimatyczne przewidują wzrost średniej temperatury w Europie. Prognozują cieplejsze zimy na północy i cieplejsze okresy letnie na południu kontynentu, a także zwiększenie zimowych opadów na północy oraz ich spadek na południu, jak również obniżenie poziomu opadów letnich w środkowej i zachodniej Europie. W południowej i zachodniej Europie klimat będzie prawdopodobnie cieplejszy i bardziej suchy, z występującymi coraz wcześniej i trwającymi coraz dłużej suszami. Skutki tego będą najbardziej dotkliwe na południu Półwyspu Iberyjskiego, w Alpach, na wschodnim wybrzeżu Adriatyku oraz w południowej Grecji. Oprócz wspomnianych zmian, modele przewidują częstsze występowanie ekstremalnych zjawisk klimatycznych. Jest wiele niewiadomych, ale można stwierdzić, że w najbliższej przyszłości nastąpią zmiany w zasięgach poszczególnych gatunków drzew, składach gatunkowych i tempie sukcesji.

Z punktu widzenia ochrony różnorodności, najważniejsze znaczenie będą miały obszary na granicach zasięgów gatunków. W trakcie wywołanych zmianami klimatu migracji na obszary o korzystniejszych warunkach środowiska, populacje na postępujących granicach zasięgów będą cierpieć z powodu zawężenia puli genowej. Dlatego rola pionierów na nowych obszarach przypadnie tylko małej liczbie osobników macierzystych, reprezentujących jedynie część całej różnorodności genetycznej. Jednocześnie populacje występujące na cofających się granicach zasięgu doświadczać mogą fragmentacji i redukcji liczby osobników oraz postępującej utraty różnorodności genetycznej.

Ocena i zarządzanie zagrożeniami

Nie wiadomo, jak poszczególne gatunki drzew oraz całe populacje zareagują na zmiany klimatu. Jednak ważne są próby oceny wpływu zmian klimatycznych, wykorzystujące takie wskaźniki wewnętrzne jak: struktura populacji, zdolność regeneracji i możliwość rozprzestrzeniania; jak również wskaźniki zewnętrzne (z uwzględnieniem zagrożeń biotycznych), jak np.: szkodniki, patogeny, konkurencja międzygatunkowa oraz (uwzględniające zagrożenia abiotyczne) pożary lub zmiany użytkowania gruntów. Grupa robocza analizowała szeroki zakres potencjalnych zagrożeń, a także stosowała kaskadową metodę decyzyjną, wspomagającą identyfikację populacji o największych potrzebach ochrony oraz wybór sposobu postępowania. Proponowana kaskadowa metoda decyzyjna, stanowiąca załącznik do niniejszego raportu, jest metodą koncepcyjną i wymaga dalszego rozwoju. Będzie ona użytecznym narzędziem podczas opracowywania czerwonych list zagrożonych gatunków drzew Europy, gdzie należy skupić się na poziomie populacyjnym a nie gatunkowym. Jest to bardzo pilne w kontekście przyszłych działań ochronnych.

Grupa robocza zauważyła, że wiele europejskich gatunków drzew, szczególnie tych, które są zagrożone w Europie Południowej, występuje także w północnej Afryce oraz na wyspach Makaronezji. Prawdopodobnie populacje te są bardziej narażone na negatywny wpływ zmian klimatu i praktycznie nie mają możliwości kolonizacji z kierunku południowego. Z tego powodu grupa robocza rekomenduje, aby objąć te obszary wspólnymi działaniami w celu ochrony leśnych zasobów genowych. Należy także zainicjować współpracę państw spoza Europy, w których występują populacje tych gatunków. Większy zasięg geograficzny współpracy regionalnej dotyczącej leśnych zasobów genowych przyczyni się także do uzupełniania czerwonych list zagrożonych populacji drzew.

Metody ochrony

Wiele krajów Europy ma strategie ochrony leśnych zasobów genowych oraz podejmuje działania w celu ich wzmacniania i rozwoju. Jednak aktualne strategie, jak np. prowadzona przez EUFORGEN sieć ogólnoeuropejska, nie zawsze obejmują populacje zagrożone zmianami klimatycznymi. Niniejszy raport przedstawia wytyczne dotyczące identyfikacji takich populacji oraz rekomenduje włączenie dodatkowych obiektów do bazy danych Europejskiego Systemu Informacji o Leśnych Zasobach Genowych (EUFGIS). Analizę danych przy sporządzaniu strategicznych decyzji gospodarczych, równoległe z pozostałymi obiektami ochrony, ma umożliwić specyficzne pole identyfikacyjne dotyczące dodatkowych obiektów. Możliwe jest również wykorzystanie migracji wspomaganej, szczególnie dla gatunków stojących w obliczu najbardziej dotkliwych zmian klimatu. Należy to rozważyć biorąc pod uwagę nadchodzące problemy. Pomimo większej uwagi poświęconej ochronie in situ, będzie też konieczna ochrona ex situ. W konkretnych przypadkach należy rozpatrywać tworzenie kolekcji żywych osobników, nasion, gamet i tkanek roślinnych oraz zgodnie z uzgodnionymi kryteriami, określić priorytety. Podobnie jak obiekty in situ, również obiekty ex situ powinny być monitorowane oraz włączone do bazy danych EUFGIS i odrębnie oznaczone.

Badania naukowe

Raport dotyczy głównie kwestii zarządzania, ale podczas rozważania tych zagadnień uwidoczniły się braki dotyczące badań naukowych. Wiedza na temat konkretnego wpływu zmian klimatu na różnorodność genetyczną populacji drzew jest raczej ograniczona. Ponadto brakuje danych dotyczących migracji wspomaganej oraz jej potencjalnego wpływu na strukturę genetyczną gatunków oraz strukturę gatunkową ekosystemów. Równie rzadko badane są populacje marginalne i peryferyjne, które należy zidentyfikować, opisać i zbadać. Większa wiedza na ten temat pozwoli na usprawnienie działań ochronnych wynikających ze zmian klimatu oraz będzie miała wpływ na przyszłe procesy decyzyjne.

WPROWADZENIE

Zmiany klimatu, wraz z ich konsekwencjami dla planety i społeczeństw, są od ponad 20 lat analizowane i dyskutowane na poziomie globalnym, regionalnym i krajowym. W 1992 r. Szczyt Ziemi (Rio de Janeiro) przyjął Ramową Konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC), której celem było ustabilizowanie emisji gazów cieplarnianych na poziomie zapobiegającym niebezpiecznym zmianom w globalnym systemie klimatycznym.

Konwencja UNFCCC weszła w życie w 1994 r. – ratyfikowało ją 195 państw. Mimo to poziom emisji gazów cieplarnianych stale wzrasta. Według Międzypaństwowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC), średnia globalna temperatura powierzchni (lądów i oceanów łącznie) wzrosła o niemal 1°C w latach 1901–2012 [IPCC 2013]. Ostatni raport wskazuje również, że w XXI w. bardzo prawdopodobny jest dalszy wzrost temperatury w różnych regionach świata, także w Europie. Najnowsze prognozy przewidują w okresie do lat 2081–2100 wzrost letnich temperatur (od czerwca do sierpnia) o 3–4°C w większości rejonów Europy, a nawet o 4–5°C na niektórych obszarach regionu śródziemnomorskiego [IPCC 2013]. Zmieni to znacząco warunki klimatyczne,

do jakich europejskie lasy są obecnie przystosowane.

Wpływ zmian klimatu na lasy i bioróżnorodność analizowany jest w licznych badaniach modelowych. Przewiduje się, że zmiany klimatu przesuną i ograniczą zasięgi występowania większości istotnych gospodarczo gatunków drzew Europy [m.in. Hanewinkel et al., 2012]. Jednak w większości metod modelowania gatunki uznawane są za byty stałe i niezależne, natomiast pomijane jest w nich znaczenie różnorodności genetycznej i plastyczności fenotypowej w adaptacji do zmian klimatu [m.in. Bellard et al., 2012]. Ponadto badania nad wpływem zmian klimatu na bioróżnorodność skupiły się głównie na reakcjach gatunków i ekosystemów, pomijając rolę różnorodności genetycznej [Bellard et al., 2012]. Uwzględnienie różnorodności genetycznej i plastyczności fenotypowej w modelach dystrybucji gatunków wykazało, że przewidywane ograniczenia i/lub zmiany zasięgów występowania drzew leśnych na skutek zmian klimatu będą prawdopodobnie mniejsze niż pierwotnie zakładano [Benito Garzon et al., 2011].

Zmiany klimatu będą wpływać na istniejące sieci i systemy ochrony oraz na

sposób planowania nowych. Właściwe systemy ochrony powinny bazować na podejściu dynamicznym i wielkoskalowym, aby zapewnić gatunkom priorytetowym zdolność adaptacji do zmian klimatu [Hannah, 2010]. W Europie przykładem takiego stanowiska jest europejska sieć obiektów ochrony zasobów genowych drzew leśnych. Obecnie obejmuje ona 3214 obiektów w 34 krajach. Prace koncepcyjne dotyczące utworzenia tejże sieci oraz rozpoczęcie działania portalu EUFGIS w 2010 r. były rezultatem kilkuletniej wcześniejszej pracy w ramach EUFORGEN.

W 2006 r. EUFORGEN i Międzynarodowa Unia Leśnych Organizacji Badawczych (IUFRO) zorganizowały warsztaty dotyczące zmian klimatu i leśnej różnorodności genetycznej [Koskela et al., 2007]. W trakcie prac stwierdzono, że wpływ zmian klimatu na lasy będzie inny w różnych częściach Europy i przyniesie zarówno szanse, jak i zagrożenia. Podkreślono też kluczową rolę leśnych zasobów genowych w utrzymaniu odporności lasów na zagrożenia oraz w wykorzystaniu sprzyjających im okoliczności. W jednym z zaleceń, będących wynikiem wspólnych prac, wezwano europejskich decydentów, a także sektor leśny, do uznania ogromnej wagi leśnej różnorodności genetycznej w łagodzeniu negatywnego wpływu zmian klimatu na europejskie lasy poprzez włączenie zarządzania tą różnorodnością do krajowych programów leśnych oraz innych stosownych działań, programów i strate-

gii (np. krajowych strategii adaptacji do zmian klimatu i krajowych planów działań na rzecz ochrony bioróżnorodności). Rekomendowano ponadto promowanie takich działań gospodarki leśnej, które podtrzymują procesy ewolucyjne drzew leśnych oraz wspierają naturalne odnawianie lasów, szczególnie na obszarach, gdzie długoterminowe odnowienie naturalne jest trwałe, pomimo zmian klimatu. W trakcie Fazy III EUFORGEN (2005–2009), dzięki współpracy sieciowej, kontynuowano dyskusję nad wpływem zmian klimatu na ochronę leśnych zasobów genowych, opracowując minimalne wymagania dla obiektów ochrony zasobów genowych poszczególnych grup gatunków drzew (sieci: Gatunki iglaste, Rozproszone liściaste oraz Lasotwórcze liściaste). Dodatkowo, w ramach Sieci Gospodarki Leśnej, dyskutowano nad wpływem zmian klimatu na ochronę i wykorzystanie leśnych zasobów genowych. Biorąc pod uwagę wspomniane prace, grupa robocza EUFORGEN w latach 2012–2013 opracowała ogólnoeuropejską strategię ochrony genetycznej drzew leśnych [de Vries et al., 2015].

W 2012 r. Komitet Sterujący EUFORGEN zdecydował o powołaniu grupy roboczej w celu dalszego opracowania metod ochrony zasobów genetycznych (zarówno in situ, jak i ex situ) w kontekście zmian klimatu. Grupa robocza otrzymała zadanie wypracowania rekomendacji dla sposobów zagospodarowania obiektów ochrony oraz ich sieci, jak również zaproponowania dalszych komplemen-

tarnych działań ochronnych. W szczególności Komitet Sterujący wymagał od grupy roboczej:

- przeglądu stosownych wyników pracy Sieci Gospodarki Leśnej;
- przeglądu prognoz dotyczących zmian klimatu, wraz z ich konsekwencjami dla ochrony LZG (np. dla liczebności, struktury i rozmieszczenia gatunków i populacji drzew leśnych);
- przeglądu ustaleń dotyczących najbardziej zagrożonych gatunków i populacji;
- wypracowania rekomendacji dla sposobów zagospodarowania obiektów ochrony zasobów genowych;
- opracowania uzupełniających metod ochrony ex situ;

- przedstawiania postępu prac;
- przygotowania projektu raportu.

Komitet Sterujący zalecił ponadto, aby grupa robocza nie koncentrowała się jedynie na pojedynczych obiektach, ale również na zarządzaniu całą europejską siecią obiektów ochrony zasobów genowych. Była ona także zobowiązana do analizy problematyki ochrony in situ i ex situ w kontekście zmian klimatu oraz do analizy poziomu duplikacji wymaganej dla działań ochronnych. Kolejnym zadaniem grupy roboczej była analiza kwestii zakładania obiektów ochrony poza obecnymi granicami zasięgu gatunków drzew. Kolejne rozdziały raportu prezentują szczegółowe ustalenia i rekomendacje grupy roboczej.

STAN WIEDZY

Prognozy zmian klimatu

Wpływ działań człowieka na globalny klimat od początku epoki industrializacji w latach 50. XVIII w. jest dobrze udokumentowany. Piąty Raport Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu [IPCC 2013] utrzymał ustalenia raportu czwartego [IPCC 2007a], zgodnie z którym stężenie atmosferycznego dwutlenku węgla (CO_2) wzrosło z 280 ppm w okresie przed uprzemysłowieniem do 379 ppm w roku 2005. Najwyższy wskaźnik wzrostu stężenia CO_2 stwierdzono w okresie od 1995 do 2005 r. Wzrost ten przekroczył naturalną skalę dla ostatnich 650 000 lat (ze 180 do 300 ppm), przy czym uznaje się, że jest on głównie wynikiem spalania paliw kopalnych oraz zmianą użytkowania terenów poprzez np. postępującą urbanizację i wylesienia. Globalne stężenie metanu również znacząco wzrosło z 715 ppb do 1774 ppb w 2005 r. Również w tym przypadku została przekroczona naturalna skala (320–790 ppb), czego przyczyną upatruje się głównie w rozwoju rolnictwa. Wzrastające stężenia CO_2 i metanu skutkują wyraźnym efektem cieplarnianym oraz globalnym ociepleniem, w skali przekraczającej rezultat wyłącznie naturalnych procesów. Dane dotyczące wzrastających stężeń oraz ich skutków wykorzystywane są do prognozowania przyszłych zmian różnych zmiennych klimatycznych. Ana-

lizując prognozy przyszłych emisji, IPCC [2007a] przewiduje wzrost temperatury o ok. $0,2^\circ\text{C}$ na dekadę (minimum $0,1^\circ\text{C}$ na dekadę przy optymistycznej prognozie utrzymania emisji na poziomie z 2000 r.).

Globalne modele klimatu wykorzystane w Czwartym Raporcie IPCC [2007a] przewidują dla Europy wzrost przeciętnej temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi w połowie XXI w. (lata 2041–2070) [Roeckner et al., 2003; Marsland et al., 2003]. Modele wskazują również, że w okresie zimowym (grudzień–luty) ocieplenie będzie największe w północno-wschodniej Europie (ponad 3°C), podczas gdy w okresie letnim (czerwiec–sierpień) można spodziewać się największego wzrostu temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi w południowej Europie (np. na Półwyspie Iberyjskim), gdzie temperatury w tym okresie mogą wzrosnąć o 4°C [Brankovic et al., 2010].

Przewiduje się zmiany w ilości opadów zimowych, które w Europie wzrosną na obszarach na północ od 45° szerokości geograficznej, a zmaleją na obszarach na południe od tego równoleżnika. Dla okresów letnich modele te przewidują ograniczenie opadów w strefie umiarkowanej Europy Środkowej i Zachodniej. Cieplesze i bardziej suche warunki kli-

matyczne mogą spowodować wydłużenie okresów suszy, a zatem okresów podwyższonego zagrożenia pożarowego, szczególnie w krajach śródziemnomorskich, gdzie susze będą prawdopodobnie zaczynać się wcześniej i trwać dłużej. Liczba dni upalnych w krajach Europy Środkowej zbliży się do tej w Europie Południowej. Największe zmiany dotyczyć będą południa Półwyspu Iberyjskiego, Alp, wschodniego wybrzeża Adriatyku i południa Grecji [IPCC 2007a].

Negatywny wpływ spodziewanych zmian średniej temperatury i ilości opadów będzie pogłębiony wzrostem częstotliwości występowania zdarzeń ekstremalnych. W bieżącym stuleciu spodziewane jest gwałtowne tempo zmian klimatu oraz modyfikacja aktualnego globalnego wzorca warunków klimatycznych [Loarie et al., 2009]. Zmiany klimatu, wraz z pozostałymi globalnymi procesami, znacząco wpłyną na ekosystemy leśne Europy [IPCC 2007b].

Ogólne konsekwencje wpływu zmian klimatu na lasy

Warto zauważyć, że o ile występujące zmiany klimatu są mierzalne w aspekcie zmian fizycznych i biotycznych, to ich wielkość i ostateczne skutki pozostają trudne do określenia. Prognozy oparte na aktualnych danych i trendach pozwalają nam spekulować co do przyszłych zdarzeń, jednak charakter tych przewidywań z natury rzeczy zawiera w sobie jakiś element niepewności. Szczególnie trudne

jest wykonanie precyzyjnych prognoz dla takich ekstremalnych zdarzeń pogodowych, jak np. burze. Uznaje się jednak, na podstawie prognoz sporządzonych dla Europy, że należy spodziewać się dalszego ciągu zmian zasięgów gatunków, składów gatunkowych oraz dynamiki ekosystemów leśnych [m.in. EC 2008].

Lasy z reguły zajmują duże obszary, a ich populacje stanowią długowieczne drzewa. Stąd zmiany klimatu stanowią szczególnie zbiór wyzwań dla biologii drzew leśnych. W ciągu życia pojedynczego drzewa temperatura może wzrosnąć o 3°C (przyjęto 150-letnią długość życia oraz prognozę IPCC dotyczącą wzrostu globalnej temperatury o 0,2°C na dekadę). Drzewa leśne mają jednak szczególnie dobrą zdolność adaptacyjną, w porównaniu do innych roślin, np. gatunków jednorocznych, która może pomóc im w radzeniu sobie ze zmianami klimatu. Wykazują znaczną plastyczność reakcji na zmiany klimatu, która uwidacznia się w takich zmianach fenologii, jak np. uzależnienie rozwoju pąków od temperatury [Menzel et al., 2006]. Lokalne adaptacje pojawiają się również w stosunkowo krótkich okresach czasu [m.in. Jump et al., 2006; Savolainen et al., 2011].

Zmiany zasięgów

Przewiduje się zwiększanie powierzchni obszarów leśnych w kierunku północnym i północno-wschodnim oraz jej zmniejszanie w kierunku południowym [Kremer et al., 2012; Metzger et al., 2004; IPCC 2007b].

Przesunięcia kopert bioklimatycznych wpłyną także na rozmieszczenie gatunków [Kremer et al., 2012]. Utrata obszarów leśnych na południu oraz ich zwiększająca się powierzchnia na północy jest zarówno wyzwaniem, jak i szansą. W celu przetrwania w nowych warunkach, prawdopodobna jest także skrajna presja adaptacyjna na południowe gatunki i populacje drzew. Długowieczność drzew powoduje, że zamieranie ich w krótkim okresie czasu (100 lat) raczej nie wystąpi (z wyjątkiem gatunków rzadkich oraz o ograniczonym zasięgu i specyficznych wymaganiach siedliskowych). Wystąpią jednak przesunięcia ich zasięgów, a populacje drzew będą musiały przystosować się do nowych warunków fizycznych. Ekspansja w kierunku północnym powinna następować poprzez przenoszenie istniejących zdolności adaptacyjnych (np. w miarę postępującego ocieplenia w strefie tundry będą tam wkraczać gatunki drzew strefy umiarkowanej). Południowe populacje drzew będą musiały jednak się przystosować do nowych uwarunkowań, jak np. niespotykane dotychczas wzrosty temperatur i susze. Oprócz zmian zasięgów spodziewane są także zmiany stref wysokościowych. Modele wykazują, że gatunki alpejskie są wyjątkowo wrażliwe na zmiany klimatu [Schröter et al., 2005]. Szczególnym problemem będzie również fragmentacja zasięgów w postaci izolowanych populacji, co przewidywane jest głównie dla populacji południowych i marginalnych. Izolowane populacje będą pojawiać się także przy ekspansji w kierunku północnym. Z drugiej strony rekolonizacja z pofrag-

mentowanych populacji była elementem polodowcowej kolonizacji wielu gatunków drzew [m.in. Lowe et al., 2006].

Składy gatunkowe

Jak już wykazano na przykładzie zmian zasięgów, nowe gatunki w północnych szerokościach geograficznych spowodują powstanie nowych składów gatunkowych i zbiorowisk. Susze w regionie śródziemnomorskim prawdopodobnie doprowadzą do zmian w liczebności i rozmieszczeniu wielu gatunków drzew, np. dębu korkowego (*Quercus suber*) i sosny alepskiej (*Pinus halepensis*) [Schröter et al., 2005; Ruiz-Labourdette et al., 2013]. Oprócz zmian w składach gatunkowych z powodu zastępowania ich przez inne, mogą się pojawić nowe możliwości hybrydyzacji gatunków wcześniej izolowanych. Jest ona powszechna u dębów, co razem ze zmianami zasięgów może być powodem nowych interakcji międzygatunkowych. Jeśli gatunki śródziemnomorskie (jak np. *Quercus faginea* i *Q. fraineto*) przesuną się w kierunku północnym i stworzą hybrydy z wartościowymi gatunkami dębu strefy umiarkowanej (*Q. petraea* i *Q. robur*), to może to rodzić skutki ekonomiczne [Valbuena-Carabana et al. 2005; Kremer, 2010].

Konkurencja i choroby

Oprócz czynników abiotycznych, także nowe czynniki biotyczne (np. konkurencja i podatność na choroby) będą negatywnie wpływać na przeżywalność populacji.

Przypuszcza się, że w zachodniej i środkowej Europie lasy z rosnącymi w nich rodzimymi gatunkami iglastymi mogą zostać zastąpione przez lasy liściaste [Maracchi et al., 2005; Koca et al., 2006]. Wraz ze zmianą zasięgów, gatunki będą napotykać na nowe choroby i patogeny. W rezultacie zmian klimatu wiele owadów fitofagicznych północnej strefy umiarkowanej, w tym kilka najważniejszych gatunków szkodników leśnych, rozszerzy swój obszar występowania w kierunku północnym. Ich aktywność może mieć wpływ na tamtejsze ekosystemy leśne [Battisti, 2008]. Ponadto zmiany warunków klimatycznych mogą wpływać na rozprzestrzenianie się patogenów zakaźnych, jak grzyby czy bakterie, co, jako dodatkowy element stresowy, będzie zwiększać podatność drzew leśnych na inne negatywne czynniki [Kliejunas, 2011].

Adaptacja a zmiany produkcyjności

Ograniczaniu lub powiększaniu zasięgów występowania drzew będzie towarzyszyć odpowiednio utrata lub potencjalna ekspansja lokalnie zaadaptowanych populacji. Zdolność adaptacyjna populacji może wpływać na jej produkcyjność. A ta jeśli chodzi o lasy regionu śródziemnomorskiego jest ściśle powiązana z ilością opadów. Susze mogą ją w znacznym stopniu ograniczyć [Cotrufo et al., 2011]. W populacjach północnych, w porównaniu do południowych, z powodu dłuższego okresu wegetacyjnego, wzrosną pierwotna produkcyjność i ilość biomasy [IPCC, 2007]. Analiza wpływu zmian klimatu na pier-

wotną produkcyjność lasów wykazuje, że od połowy XX w., w skali globalnej, rośnie pierwotna produkcja netto [Boisvenue i Running, 2006]. Wpływ zaś na produkcję i jakość drewna pozostaje nieokreślony, chociaż badania, przy zwiększonej ilości CO₂, wskazują na zmiany składu chemicznego (wzrost ilości skrobi w stosunku do celulozy) i morfologii drewna (większe roczne przyrosty) młodych brzoź [m.in. Kostianen et al., 2006]. Zmiany przyrostu słoików, będące prawdopodobnie efektem zmian klimatu w ciągu ostatnich 50–100 lat, obserwowano w ostatnich dekadach na wschodzie USA wśród gatunków z rodzajów *Populus*, *Quercus*, *Pinus*, *Tsuga* i *Nyssa* [Johnson i Abrams, 2009].

Zagadnienie to wymaga dalszych badań. Ze względu na ekonomiczne wykorzystanie lasów jest ono oczywistym obiektem zainteresowania. Kolejne badania, przeprowadzone w Wielkiej Brytanii i polegające na porównaniu tempa wzrostu różnych gatunków z rodzaju *Quercus* wykazały różnice gatunkowe. Lepsze parametry, w porównaniu do dębów rodzimych miały obce gatunki z południa Europy [Sanders et al., 2014]. Ma to znaczenie w aspekcie dynamiki wzrostu poszczególnych gatunków i ich przyszłego wyboru do produkcji drewna.

Wpływ zmian klimatu na leśne zasoby genowe

Leśne zasoby genowe są podstawą różnorodności i adaptacji drzew leśnych oraz ich populacji. LZG mają kluczowe zna-

czenie w utrzymaniu zdolności adaptacji do zmian klimatu. Wpływ zmian klimatu na LZG będzie w dużym stopniu zależny od aktualnych rozmiarów i rozmieszczenia populacji drzew oraz od biologii gatunków. Te powszechnie występujące nie będą tak wrażliwe na zmiany klimatu, jak gatunki o ograniczonym zasięgu i małych populacjach. Ogólny wpływ będzie się przejawiał w zmianach częstości i składu alleli, jako rezultat odmiennej dynamiki ekosystemów leśnych. Zmiany przewidywane są zarówno na granicach, jak i w centralnych częściach zasięgów występowania.

Pomimo nieokreślonego wpływu zmian klimatycznych na LZG, jednym z prawdopodobnych rezultatów, co najmniej w perspektywie krótkookresowej, będzie ogólne zmniejszenie zmienności. Nowa zmienność, powstająca na drodze spontanicznych mutacji w populacjach i poprzez naturalną lub sztuczną selekcję, wpływa na powstawanie lepiej zaadaptowanego potomstwa. Dotychczasowe badania wykazują jednak, że potencjalne tempo adaptacji jest o wiele wolniejsze niż tempo aktualnych zmian klimatu [Aitken et al., 2008] oraz że istnieje możliwość szybkiej utraty zasobów genowych w świetle obecnych prognoz zmian klimatu.

Choć drzewa charakteryzują się pewnym stopniem plastyczności, a selekcja w ramach pożądaných cech pojawi się w całym zasięgu występowania, to prawdopodobnie będzie ona najbardziej intensywna na granicach zasięgów. Powinno być to

widoczne np. w kłinalnych zmianach częstości występowania alleli odpowiedzialnych za fenologię. Obecnie dysponujemy ograniczonymi danymi na temat wpływu zmian klimatu na naturalną selekcję [Donnelly et al., 2012]. Zmiany częstości alleli powiązane z wysokościowym gradientem temperaturowym wykazano dla gatunku *Fagus sylvatica* [Jump et al., 2006], a coraz więcej badań naukowych dotyczy zmian wywołanych zmianami klimatu. Wyniki mogą się jednak bardzo różnić w poszczególnych częściach zasięgów – na ich granicach (północnych, południowych i strefach marginalnych) oraz w częściach centralnych.

Na północy ważnym czynnikiem jest zróżnicowanie genetyczne powstałe w wyniku ekspansji gatunków. Badania nad skutkami genetycznymi zlodowaceń wykazały wielość wzorców ekspansji oraz podkreśliły brak możliwości stosowania do wszystkich jednolitego podejścia [m.in. Lascoux et al., 2004]. Obecna struktura genetyczna jest wynikiem rozprzestrzeniania się gatunków po ostatnim zlodowaceniu głównie na „wolne” tereny o sprzyjających warunkach [Hewitt, 2000]. Wyraźnie odmiennego wzorca można oczekiwać, gdy granice zasięgów będą się przesuwać na tereny zajęte przez inne gatunki. Na północnych granicach zasięgów wpływ na LZG będzie wywierał efekt założyciela, który wynika ze stochastycznego rozmieszczenia izolowanych populacji [Hampe i Petit, 2005]. Ponieważ na większości obszarów występują obecnie różne warunki siedliskowe,

spodziewać się można kontynuacji wzorca w postaci pofragmentowanej mozaiki. Przeciwnością jest, powstały po ostatnim zlodowaczeniu, wzorzec homogeniczny z domieszkami. Przy postępujących zmianach częstości alleli niektórych genów, izolowane populacje mogą szybko adaptować się do lokalnych warunków. Kolejnym elementem wpływającym na adaptację północnych populacji, a w niektórych przypadkach ją utrudniającym, jest przedostająca się z wiatrem na północ większa ilość pyłku z populacji południowych. Może to wpływać na adaptację populacji, ponieważ pyłek z południa przenosi geny przystosowane do innych warunków. Mogą być one powodem trudności w dostosowaniu do warunków na północy [Savolainen et al., 2007]. W perspektywie długookresowej może to być jednak korzystne dla adaptacji do cieplejszego klimatu. Z drugiej strony, gatunki o ograniczonym rozprzestrzenianiu nasion będą miały większą szansę na lokalną adaptację [Kremer et al., 2012].

Na południowych granicach zasięgów przewidywane jest zamieranie i fragmentacja populacji, z konsekwencjami w postaci dryfu genetycznego i ograniczenia puli genowej. Południowe gatunki staną w obliczu większej fragmentacji populacji oraz redukcji ich liczby. Populacje na południu będą się mierzyć z dotychczas niespotykanymi cieplejszymi warunkami i prawdopodobnie nie będą miały potrzebnego potencjału adaptacyjnego dla przetrwania tych zmian [Aitken et al., 2008]. Część z najbardziej wysuniętych na

południe populacji prawdopodobnie wyginie, czego skutkiem będzie ogólne ograniczenie LZG.

W centralnej części zasięgów najbardziej prawdopodobnym efektem ocieplania klimatu będzie zmiana składów gatunkowych. Będzie się to odbywało przez zmiany w dynamice ekosystemów leśnych, z perspektywą ograniczenia różnorodności genetycznej.

Naturalna selekcja będzie oczywiście elementem dynamicznego procesu. W jego ramach obecne koperty klimatyczne gatunków będą modyfikowane na północy i południu, ale będzie to raczej długoterminowy komponent procesu adaptacji oraz samego powstawania nowych gatunków.

Zagrożone gatunki i populacje drzew

Zagrożenia powstają w wyniku 3 głównych procesów: 1) bezpośredniej eliminacji osobników (np. z powodu nadmiernej eksploatacji, szkód od zwierzyny, patogenów, pożarów), 2) eliminacji siedlisk (np. wskutek degradacji, zanieczyszczenia, zmian środowiska), 3) zubożenia puli genowej (np. poprzez fragmentację, dryf genetyczny) [m.in. Potter i Crane, 2010]. Zmiany klimatu mogą wpływać na wszystkie te trzy procesy.

Ocena zagrożeń

Podobnie jak niepewne są prognozy zmian klimatu, istnieje również dużo wątpliwości dotyczących biologicznych re-

akcji gatunków i populacji oraz wpływu tych zmian na LZG. Oceniając zagrożenia należy brać pod uwagę wiele kwestii. Aby oszacować globalny stan zagrożenia gatunków, IUCN stosuje cechy demograficzne i zasięgi populacji, przy czym jest to użyteczny model do stosowania także w skali regionalnej [IUCN, 2012]. Potter i Crane [2010] proponują system oceny ryzyka, który obejmuje czynniki wewnętrzne i zewnętrzne. Czynniki wewnętrznymi są zmienne demograficzne i ekologiczne charakterystyczne dla samych gatunków (np. struktura i zagęszczenie populacji, fragmentacja, zdolność odnowienia i rozprzestrzeniania, powiązanie z siedliskami oraz różnicowanie genetyczne). Czynniki te są ogólnie znane lub też mogą być określone i wykorzystane do oceny potencjału adaptacyjnego lub potencjalnego narażenia. Czynniki zewnętrzne (tj. konkurencja innych gatunków, zagrożenia od szkodników i patogenów oraz zagrożenia środowiskowe jak np. pożary) są trudniejsze do określenia, w związku z czym obarczone są większą dozą niepewności.

Potencjał adaptacyjny

Zagrożenie dla gatunków lub populacji jest zjawiskiem wieloaspektowym. Gdy jedną z głównych jego przyczyn są zmiany klimatu, są dwie naturalne możliwości uniknięcia zagrożenia wymierania gatunków, mianowicie adaptacja i migracja – zarówno pyłku, jak i nasion [m.in. Kremer 2007, Aitken et al., 2008]. Reakcje adaptacyjne obejmują: 1) plastyczność (tolerancję na poziomie osobniczym), 2) procesy epigenetyczne

(z pokolenia na pokolenie) [m.in. Madlung, 2004] oraz 3) zmienność genetyczną (ewolucyjną odrębność oraz selekcję naturalną na poziomie populacji lub gatunku). Genetyczne zróżnicowanie cech adaptacyjnych drzew jest generalnie wysokie. Wskazuje to na występowanie silnej selekcji różnicującej w przeszłości [Savolainen et al., 2007; Alberto et al., 2013]. Ostatnie badania wykazują ogólnie wysoki poziom plastyczności gatunków drzew, zarówno jako elementu epigenetycznych procesów adaptacyjnych, głównie w stosunku do czynników ograniczających, takich jak tolerancja na suszę i mrozoodporność [Schueler et al. 2014], jak i w odniesieniu do fenologii [Menzel et al., 2006]. Zdolności adaptacyjne na różnych poziomach (plastyczności, epigenetyki i genetyki) mogą wpływać na przeżywanie gatunków. Głównym problemem przy ocenie potencjału adaptacyjnego jest brak danych. W szczególności w zakresie niezależności neutralnej i adaptacyjnej zmienności genetycznej [Holderegger et al., 2006]. Oznacza to, że większość dostępnych danych genetycznych nie jest pomocna w określaniu potencjału adaptacyjnego. Następuje postęp w zakresie adaptacyjnych markerów genetycznych kodujących cechy ekologiczne (np. poprzez skanowanie genomu oraz badania powiązań fenotypowo-genotypowych) [m.in. Holderegger et al., 2008; Manel et al., 2010; Kremer et al., 2011], jednak na razie nie mamy wystarczającego zestawu markerów do oceny potencjału adaptacyjnego. W wielu przypadkach jedyną możliwością jest wykorzystanie, jako zastępczego wskaźnika potencjału adaptacyjnego, zmienności kra-

jobrazowej i siedliskowej w obrębie zasięgu gatunku/populacji. Reakcje adaptacyjne drzew i ekosystemów leśnych na zmiany środowiskowe i ograniczenie bioróżnorodności bada się w ramach EVOLTREE Network of Excellence – europejskiego projektu zainicjowanego w kwietniu 2006 r. Geny kandydujące pochodzące z ważnych rodzin drzew, jak np. *Salicaceae*, *Fagaceae* i *Pinaceae* [Kremer et al., 2011], zostały skatalogowane pod względem cech fenologicznych oraz odporności na suszę.

Reakcje migracyjne obejmują ograniczenie zagrożenia poprzez rozproszenie. Migracja zależy od zdolności gatunku do produkcji pyłku i nasion lub rozprzestrzeniania wegetatywnego, formy krajobrazu sprzyjającej rozprzestrzenianiu oraz dostępu odpowiednich siedlisk do kolonizacji. Przyjmuje się, że migracja oddalająca gatunek od ekstremów temperaturowych na południu, będzie miała charakter związany głównie z szerokością geograficzną. Może jednak obejmować także komponent związany z wysokością n.p.m., gdzie istnieją pionowe bufora w postaci np. łańcuchów górskich. W rzeczywistości, bez buforów pionowych, migracja w celu uniknięcia zagrożeń musi postępować znacznie szybciej [Loarie et al., 2009; Ordóñez i Williams, 2013]. Z drugiej strony epizodyczne przypadki rozprzestrzeniania na duże odległości mogą przyspieszać reakcje migracyjne populacji [Alberto et al., 2013b]. Szczególnym przypadkiem są gatunki przystosowane do siedlisk łągowych, jak np. topola czarna (*Populus nigra*). Ich potencjał migracyjny związany z naturalnym przenosze-

niem nasion na odpowiednie obszary jest ograniczony. Powodem jest ograniczona zdolność do migracji związana z szerokością geograficzną oraz wysokością n.p.m. Jest to powiązane z ograniczonym obszarem korytarzy [Villar et al., 2010].

Prognozy zasięgów ekologicznych, wynikające z modeli bioklimatycznych, wykazują, że dużo terenów w obrębie potencjalnego zasięgu występowania gatunków nie będzie wykorzystanych z powodów determinowanych przez ekologię populacyjną (np. konkurencja utrwalonych gatunków klimaksowych i współmigrantów, kooperacja z organizmami przenoszącymi nasiona) [m.in. Savolainen et al., 2007; Schueler et al., 2014]. W okresach zmian środowiskowych wszystkie gatunki drzew będą prawdopodobnie cechować się opóźnieniem we wzroście. Stąd może być zredukowana konkurencja międzygatunkowa, ułatwiając przetrwanie w suboptymalnych warunkach. Wielogatunkowa migracja obejmuje ogromną zmienność interakcji ekologicznych, prowadząc tym samym w przyszłości do wielu niewiadomych [Kremer 2007; Aitken et al., 2008].

W ujęciu ogólnym wskaźnikami zagrożenia są ograniczone występowanie i niska zmienność genetyczna. Czynniki stresowe mogą prowadzić jednak do różnicowania genetycznego, a tym samym lokalnej adaptacji. Z punktu widzenia ewolucyjnej perspektywy różnicowania gatunków widać, że taksony w większym stopniu cechują się dynamiką niż statycznością. W niektórych przypadkach obecne rozróżnianie podgatun-

ków i populacji jako odrębnych gatunków nie będzie prawdopodobnie możliwe w nadchodzących warunkach (np. dla gatunków dębów białych w Europie) [Petit et al., 2002].

Rozmieszczenie populacji

Specyficzne wzorce demograficzne oraz rozmieszczenia dostarczają ogólnych wskazówek co do rzeczywistych lub potencjalnych zagrożeń. Różnice w rozmieszczeniu będą kluczowym czynnikiem w podatności gatunków na zmiany klimatu. Dlatego konieczne jest przybliżone oszacowanie i klasyfikacja poszczególnych rodzajów rozmieszczenia populacji. Według Freya [2003] populacje mogą znajdować się: a) w głównym obszarze zasięgu (większość populacji połączona), b) w krańcowym obszarze zasięgu (większość populacji izolowana), c) w obszarze reliktowym (poza aktualnym zasięgiem występowania). Kategorie te nie odnoszą się do rozmieszczenia gatunków oraz są one szczególnie istotne przy określaniu narażenia populacji drzew lub obiektów ochrony zasobów genowych. Rodzaje rozmieszczenia są ważne przy ocenie zagrożenia, ponieważ populacje w głównym obszarze zasięgu (ang. *the core*) będą prawdopodobnie mniej zagrożone niż te występujące na jego peryferiach.

Określanie specyficznych typów zagrożeń

Podstawowym celem prezentowanych w niniejszym opracowaniu metod ochrony jest utrzymanie zmienności adaptacyjnej w zasięgach występowania drzew

leśnych w Europie. Dlatego należy skupić się na regionach, które podlegać będą prawdopodobnie największym zmianom. Występują tam subpopulacje będące ważnym nośnikiem wewnątrzgatunkowej zmienności genetycznej. Koncentracja na marginalnych i peryferyjnych populacjach drzew podkreślana jest w obecnej inicjatywie UE [Działanie COST FP1202 *Wzmocnienie działań ochronnych: kluczowy czynnik adaptacji marginalnych/peryferyjnych populacji drzew leśnych do zmian klimatu w Europie* (MaP-FGR)]. Szczególnym zainteresowaniem objęte są marginalne populacje na cofających się granicach zasięgów [Hampe i Petit, 2005]. IPCC [2007a] wykazał, że w Europie południowa część Półwyspu Iberyjskiego, Alpy, wschodnie wybrzeże Adriatyku i południowa Grecja są regionami, które będą najbardziej dotknięte zmianami klimatu. Głównymi zagrożeniami są tam wzrost temperatury i podatność na susze. W rejonach tych występują populacje południowych granic zasięgów wielu gatunków. Innymi ważnymi populacjami są te występujące na wyspach.

Na podstawie kryteriów zagrożenia IUCN, które dotyczy małej liczby populacji, ograniczenia liczebności oraz występowania [IUCN, 2012], za zagrożone powinny być uznane marginalne populacje niektórych powszechnie występujących gatunków. Chociaż skala jest różna, to wskaźniki i progi głównych typów zagrożeń są podobne zarówno dla zagrożonych populacji, jak i gatunków. Możliwe jest określenie wskaźników dla obecnych i przyszłych zagrożeń.

Wskaźniki zagrożeń ogólnych

Niska zmienność genetyczna. Drzewa, w porównaniu z jednorocznymi i wieloletnimi roślinami zielnymi, mają wyższą neutralną różnorodność genetyczną w obrębie populacji. Natomiast zróżnicowanie genetyczne pomiędzy populacjami ponad 90% gatunków drzew jest niższe i koreluje z wysokim potencjałem długodystansowego przepływu genów [Hamrick, 2004; Alberto et al., 2013b]. Z drugiej strony, rzadka i endemiczna jodła hiszpańska (*Abies pinsapo*), występująca w południowej Hiszpanii i północnym Maroku, wykazuje obecnie oznaki spadku zmienności genetycznej [Liepelt et al., 2010]. Kolejnym przykładem jest rzadka endemiczna jodła sycylijska (*Abies nebrodensis*), wykazująca niski poziom neutralnej zmienności genetycznej [Parducci et al., 2001]. Z powodu bliskiego pokrewieństwa tego gatunku z jodłą pospolitą (*Abies alba*), pozostałe populacje jodły sycylijskiej powinny być traktowane jako marginalne populacje na granicy zasięgu występowania. Podobnie jest z sycylijską subpopulacją dębu tureckiego (*Quercus cerris* subsp. *gussonei*, lokalnie uznawanego za *Quercus gussonei*) [Sala et al., 2011].

Niska lub spadająca liczebność. Jest to główne kryterium zagrożenia wg IUCN, ponieważ jest stosunkowo łatwe do określenia w badaniach demograficznych. Pod uwagę brane są progi minimalnej liczby żywotnych populacji oraz spadek liczebności populacji w trakcie 3 generacji lub 100 lat dla gatunków długowiecznych [IUCN, 2012].

Spadek liczebności może być spowodowany zamieraniem dojrzałych drzew, jak np. wywołana suszą śmiertelność na południowych granicach zasięgu. Przykładem takiego procesu jest zamieranie cedru atlaskiego (*Cedrus atlantica*) w Maroku i Algierii czy sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w Turcji lub w pozbawionych wilgoci wewnętrznych dolinach Alp w Szwajcarii [Allen et al., 2010]. Inne przypadki zamierania mogą być powiązane z introdukowanymi patogenami, np. zamieranie dębu korkowego (*Quercus suber*) na skutek infekcji *Pythophtora tinctoria* w południowej Hiszpanii [Gómez-Aparicio, 2013].

Brak zdolności regeneracyjnej i możliwości rozprzestrzeniania. Do ograniczenia liczebności może też dojść z powodu braku odnowienia. Z biegiem czasu prowadzi to do zachwiania struktury wiekowej w drzewostanie oraz nieuchronnie do spadku liczebności. Na południowych krańcach zasięgów niepowodzenie odnowienia z powodu suszy wystąpić może na długo przed objawami na dojrzałych drzewach (bardzo podatne młode fazy wzrostu). Kolejną przyczyną może być zgryzanie przez jeleniowate, jak w przypadku centralnych populacji cisa (*Taxus baccata*) i północnych marginalnych populacji jarzębu domowego (*Sorbus domestica*) w Szwajcarii [Rudow, 2001], lub przez bydło, w przypadku klonu włoskiego (*Acer opalus* subsp. *granatense*) w południowej Hiszpanii [Gómez-Aparicio et al., 2005].

Obradzanie nasion i zdolność rozprzestrzeniania są kluczowe dla przeżycia po-

pulacji i gatunków. Na obydwie aspekty krytyczny wpływ mają wektory przenoszenia pyłku i nasion.

Wysoki poziom fragmentacji. Fragmentacja może zwiększać podatność populacji na oddziaływanie niekorzystnych czynników i erozję genetyczną. Biorąc pod uwagę długodystansowy przepływ genów u wielu gatunków [Kremer et al., 2012], stwierdzono, że efekty fragmentacji rozpoczynają się, gdy odległości pomiędzy populacjami drzew osiągają 50–100 km. Rzadkie gatunki endemiczne o ograniczonym występowaniu często cechują się wysokim poziomem fragmentacji, jak np. podzielona na populacje reliktowe jodła hiszpańska (*Abies pinsapo*).

Zależnie od interpretacji taksonomicznej, jodła trojańska traktowana jest jako pojedyncza, bardzo izolowana populacja (*Abies equi-trojani*) lub wysoce pofragmentowana marginalna populacja jodły tureckiej (*Abies bornmuelleriana* subsp. *equi-trojani*), lub nawet jodły kaukaskiej (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*).

Wskaźniki zagrożeń wywołanych zmianami klimatu

Wysoka podatność na stres wywołany suszą. W ostatnich dekadach jest wiele oznak wzrostu częstości występowania ekstremalnych zjawisk takich jak susze, jak również dużego ich wpływu na znikanie gatunków i populacji [m.in. Allen et al., 2010; Choat et al., 2012]. Najbardziej wrażliwymi gatunkami są te o marginalnych populacjach na południowych gra-

nicach zasięgu (np. cedr atlaski w Maroku i Algierii czy też sosna zwyczajna w centralnej Anatolii w Turcji). Istnieje kilka zmiennych skorelowanych ze zjawiskiem suszy, jak np. wskaźnik suchości klimatu, średnie roczne opady czy maksymalna temperatura. Ponadto ekstremalnym suszom towarzyszą często, lub są przez nie wzmacniane, inne czynniki stresowe, np. istniejące lub nowo pojawiające się szkodniki owadzie (gradacje korników i korowódki) czy pożary [m.in. Allen et al., 2010].

Przeszkody migracyjne. Na potencjalnych szlakach migracji, ukształtowanie terenu może być powodem barier o gradientie strefowym. Morze Śródziemne jest barierą dla północnego kierunku migracji północnoafrykańskich i wyspowych populacji gatunków śródziemnomorskich (np. *Cedrus atlantica* w Górach Atlas, *Cedrus libani* subsp. *brevifolia* czy *Quercus alnifolia* na Cyprze) oraz dla wschodnich i zachodnich kierunków migracji z jednego wybrzeża do drugiego (także z półwyspów i wysp).

Dla gatunków wykorzystujących pasma górskie jako bufory pionowe, kolejnym rodzajem bariery są rozległe równinne tereny na płytach kontynentalnych, np. Kastylii-La Mancha w środkowej Hiszpanii, środkowa Anatolia w Turcji, Kotlina Panońska na Węgrzech oraz równiny na północnym wschodzie Europy i w Rosji. Poziom zagrożenia wzrasta w przypadku wyczerpania zakresu buforów pionowych (np. dla *Larix decidua* i *Pinus cembra* w Karpatach).

Ograniczenie do rzadkich stanowisk astrefowych. Gatunki lub populacje ograniczone do rzadkich astrefowych stanowisk górskich mogą podlegać fragmentacji, co może potencjalnie prowadzić do stanu zagrożenia (np. większość borealnych gatunków drzew w środkowej Europie, większość drzew liściastych w regionie śródziemnomorskim). Różnice geologiczne regionów górskich w porównaniu do otaczających je terenów, mogą prowadzić do podobnych efektów. Znanych jest wiele przykładów gatunków sukcesji wtórnej, w tym gatunków drzew, które z powodu małej zdolności konkurencyjnej na innych obszarach, występują tylko na wapiennych glebach pasm górskich (np. *Pyrus pyraster* w paśmie Jury, *Pinus heldreichii* na Bałkanach).

Kolejne ograniczenie rzadkich stanowisk astrefowych związane jest z adaptacją do siedlisk podmokłych. Istnieją typowe przykłady przystosowania do torfowisk (np. *Pinus mugo* subsp. *rotundata*) czy lasów zalewowych (np. *Ulmus laevis*, *Populus nigra*, *Alnus cordata* i *Platanus orientalis*). Nawet jeśli astrefowe stanowiska podmokłe są mniej podatne na oddziaływanie suszy, to migracja jest bardzo utrudniona z powodu intensywnego zagospodarowania wododziałów oraz regulacji rzek. Jest tak szczególnie na torfowiskach i obszarach o bardzo pofragmentowanych lasach łągowych [Barsoum i Hughes, 1998].

Czynniki ekologiczne. Ze zmianami klimatu (zaostrenie) może być powiązanych wiele czynników ekologicznych. Zmiany

klimatu odgrywają rolę we wzroście liczebności gatunków inwazyjnych, patogenów i chorób [m.in. Simberloff, 2000]. Wraz ze zmianą klimatu następować będą zmiany występowania gatunków, prowadząc tym samym do konkurencji międzygatunkowej, nie tylko z inwazyjnymi gatunkami obcymi, ale również z gatunkami rodzimymi faworyzowanymi np. przez bardziej suche gleby. Kolejnym szczególnym czynnikiem ekologicznym będzie wzrastające ryzyko pożarów, zwłaszcza na południu, co będzie faworyzować gatunki przystosowane do pożarów, np. kiełkujące na pożarzyskach.

Przegląd zagrożonych gatunków i populacji

Nie ma obecnie czerwonej listy dotyczącej zagrożonych europejskich gatunków drzew, a tym bardziej listy obejmującej populacje drzew zagrożonych zmianami klimatu. *Światowa Lista Zagrożonych Drzew IUCN* [Oldfield et al., 1998] dostarcza jedynie częściowych informacji dotyczących gatunków europejskich. *Europejska Czerwona Lista Roślin Naczyniowych* [Bilz et al., 2011] koncentruje się na roślinach wymienionych w dokumentach politycznych, dzikich krewniakach roślin uprawnych oraz na roślinach wodnych. Wykazy, które są zawarte w dokumentach politycznych pochodzą z 1991 r. oraz z lat wcześniejszych. Obecnie niewielka liczba gatunków drzew potencjalnie wrażliwych na zmiany klimatu, zaliczana jest do kategorii „zagrożonych” (np. *Abies pinsapo*, *Cedrus atlantica*), większość należy ciągle do kategorii „najmniejszej troski” (np. *Pinus sylvestris*,

Populus nigra, *Alnus cordata*, *Pinus brutia*, *Pinus pinea*, *Platanus orientalis*, *Juniperus thurifera*) lub „nie poddanych ocenie” (np. *Ulmus laevis*, *Abies alba* subsp. *nebrodensis*, *Liquidambar orientalis*, *Quercus alnifolia*, *Acer sempervirens*) [IUCN, 2014]. Konieczny jest zatem przegląd zagrożonych i potencjalnie zagrożonych gatunków oraz populacji drzew europejskich, ze szczególnym uwzględnieniem populacji marginalnych oraz tych z granicznych regionów Europy (Maghreb/północna Afryka, wschodnie wybrzeże Morza Śródziemnego/Bliski Wschód, Kaukaz/Elburs). Wymaga to systematycznej oceny wszystkich taksonów drzew w ich zasięgach występowania. Wstępną listę zagrożonych gatunków drzew i populacji sporządzono podczas przygotowania niniejszego raportu. Zaleca się jednak dalszą aktualizację i finalizowanie tej listy jako odrębne działanie EUFORGEN w przyszłości. Powyższa lista może być rozwijana z wykorzystaniem kryteriów omówionych we wcześniejszych rozdziałach.

Ważne jest również uwzględnienie gatunków należących do izolowanej flory lasów wawrzynolistnych Makaronezji na sąsiadujących z kontynentem wyspach Atlantyku. Lasy te są relikdami trzeciorzędowej śródziemnomorskiej (Wyspy Kanaryjskie, Madera) lub subśródziemnomorskiej (Azory) wieczniezielonej liściastej flory leśnej [Schäfer, 2003]. Flora Makaronezji obejmuje wiele gatunków endemicznych, które z powodu izolacji i fragmentacji muszą być uznane za gatunki potencjalnie zagrożone lub zagro-

żone (np. kilka gatunków rodzaju *Laurus* i *Ilex*, *Picconia excelsa*, *Ocotea foetens*, *Arbutus canariensis*).

Opis podjętych działań i istniejących strategii

Informacje ogólne

Ochrona LZG wiąże się z wieloma wyzwaniami, z których najnowszym są zmiany klimatu. Pilnie potrzebne są działania krajów europejskich na rzecz ochrony LZG, szczególnie tych w populacjach marginalnych. W Europie zasięgi występowania gatunków drzew obejmują duże regiony geograficzne z wyraźną zmiennością środowiskową. Ponieważ biologiczne zasięgi nie pokrywają się z granicami państw, kluczową sprawą jest regionalna współpraca pomiędzy krajami w zakresie zrównoważonej gospodarki leśnej oraz ochrony LZG.

Uwzględnianie LZG w politykach krajowych i polityce UE

Krajowe programy leśne są ważnymi narzędziami politycznymi, które mogą wspierać wdrażanie ochrony LZG do gospodarki leśnej. Krajowe programy leśne opracowano już w wielu krajach Europy [Lefevre, 2007; Rusanen et al., 2007; Hubert i Cottrell, 2007; Graudal et al., 1995; Behm et al., 1997; Tessier du Cros, 2001]. W wielu programach celem ochrony jest utrzymanie zróżnicowania cech adaptacyjnych [m.in. Graudal et al., 1995; Myking, 2002]. Przeanalizowano różne strategie ochrony pod kątem spodziewanego

wpływu zmian klimatu, ale pozostaje jeszcze wiele kwestii do uwzględnienia w praktyce. Zarządcy lasów są często nieświadomi znaczenia wykorzystania wysokiej jakości leśnego materiału rozmnożeniowego oraz genetycznych konsekwencji działań praktycznych. Właściwe wykorzystanie LZG może faktycznie zwiększać odporność lasów, ograniczać ryzyko oraz ułatwiać przystosowanie lasów do zmian klimatu. W związku z tym pożądane jest uwzględnianie ochrony i wykorzystania LZG w krajowych strategiach adaptacji do zmian klimatu i krajowych planach działań na rzecz bioróżnorodności. Te ostatnie koncentrują się jedynie na ochronie różnorodności biologicznej na poziomie gatunkowym i krajobrazowym, podczas gdy konieczne jest mocniejsze powiązanie ochrony leśnych zasobów genowych z ochroną innych elementów bioróżnorodności [Lefevre et al., 2013]. W ramach EUFORGEN prowadzona jest dyskusja na temat włączenia ochrony i wykorzystania LZG jako elementu zrównoważonej gospodarki leśnej do wspomnianych działań politycznych i strategii. Celem zainicjowanego we wrześniu 2010 r. Europejskiego Systemu Informacji o Leśnych Zasobach Genowych (EUFGIS), w obliczu zmian klimatu, jest wspieranie poszczególnych krajów w tych działaniach. Może on wspierać użyteczne powiązania pomiędzy krajowymi programami ochrony LZG i działaniami ochrony bioróżnorodności. Może również wspierać powiązania pomiędzy praktyczną ochroną i pracami badawczymi.

Strategie

Metody in situ

Sieci ochrony. Ze względu na prognozowane zmiany klimatu, długookresowa ochrona leśnej różnorodności genetycznej daje gwarancję prowadzenia zrównoważonej gospodarki leśnej. Kluczową rolę w ewolucyjnej reakcji gatunków i populacji na zmieniające się warunki środowiska odgrywają dziedziczna zmienność genetyczna oraz intensywność selekcji. Z tego powodu, w Europie, priorytetem strategii ochrony powinno być utrzymanie wysokiego poziomu różnorodności w obrębie obiektów ochrony genetycznej oraz samych gatunków [Koskela et al., 2007]. W ramach EUFORGEN jest nim dynamiczna ochrona leśnych zasobów genetycznych in situ i ex situ. W oparciu o ogólnoeuropejskie minimalne wymagania oraz standardy danych utworzono ogólnoeuropejską sieć wybranych obiektów ochrony genetycznej dla różnych gatunków drzew [Koskela et al., 2013]. Jej celem jest ochrona adaptacyjnej różnorodności genetycznej w ramach europejskich warunków występowania gatunków drzew. W bazie EUFGIS zarejestrowano georeferencyjne dane obiektów ochrony genetycznej, oparte na 26 standardach danych na poziomie obiektu (obszar geograficzny) i 18 standardach danych na poziomie populacji (priorytetowe gatunki drzew w ramach obiektu). Zgodnie ze stanem z maja 2015 r., sieć obejmowała 3214 obiektów, z 4061 populacjami należącymi do 100 gatunków drzew. Baza danych EUFGIS była szczególnie przy-

datna w identyfikacji luk w sieci ochrony, pomagając w ten sposób w tworzeniu bardziej adekwatnego zestawu obiektów ochrony zasobów genowych.

Ochrona różnorodności adaptacyjnej drzew leśnych w ramach ich zasięgów występowania zapewni podstawy, które w trakcie zmian klimatu umożliwią adaptację poprzez selekcję naturalną. Wykorzystując narzędzie systemu informacyjnego EUFGIS oraz traktując podział Europy na strefy klimatyczne [Metzger et al., 2013] jako wskaźnik określający chronioną w europejskich obiektach ochrony genetycznej różnorodność adaptacyjną, można ustanowić dla różnych gatunków podstawową sieć obiektów ochrony dynamicznej. Będzie się to odbywać zgodnie z ich rozmieszczeniem geograficznym, cechami ekologicznymi i wrażliwością na zmiany klimatu [de Vries et al., 2015].

Monitoring. Ciągły monitoring jest ważnym elementem strategii ochrony LZG. Przydatne w przyszłości mogą się okazać szczególnie ostatnie działania EUFORGEN na rzecz rozpoczęcia i rozwoju monitoringu genetycznego. Punkt wyjściowy dla określenia rzeczywistego stanu ochrony różnorodności genetycznej stanowiłyby inwentaryzacje terenowe i ciągły monitoring uwzględniający dane ekologiczne i genetyczne. Wskazywałyby one na jakim poziomie utrzymywana jest adaptacyjna i neutralna różnorodność genetyczna oraz ujawniały zmiany w składzie gatunkowym oraz obecności gatunków wskaźnikowych i konkurentów gatunków priorytetowych,

a w efekcie dawałyby wskazówki co do konsekwencji praktyk gospodarczych i/lub zmian środowiska [Aravanopoulos, 2011]. Dane zbierane podczas monitoringu mogą być przechowywane w bazie EUFGIS i wykorzystane do korygowania planów zagospodarowania.

Działania in situ. Z powodu wieloaspektowych zagrożeń dla integralności LZG i niepewności prognoz klimatycznych, należy w kontekście zmian klimatu rozważyć pełne spektrum możliwych strategii ochrony i działań gospodarczych. Dla większości gatunków drzew leśnych plany zagospodarowania obiektów ochrony w zakresie jakości i ilości materiału rozmnożeniowego zezwalają na działania gospodarcze, które są ukierunkowane na wspieranie naturalnego odnowienia. Należy brać również pod uwagę stosowanie określonych wartości krytycznych dla liczby i rozmieszczenia drzew nasiennych, skracanie okresu odnowienia, regulację konkurencji innych gatunków drzew oraz kontrolowanie gatunków inwazyjnych. Celem zagospodarowania powinien być odpowiedni poziom różnorodności genetycznej oraz redukcja pokrewieństwa wśród młodego pokolenia. Preferować należy odnowienie naturalne, ale gdy ono nie występuje, można, dla utrzymania lokalnego podobieństwa fenotypowego, prowadzić uzupełniające odnowienie sztuczne z wykorzystaniem nasion lokalnego pochodzenia [Lefevre, 2007].

W ostatnim okresie zaproponowano trzy różne strategie, by wzmocnić odporność drzewostanów na zmiany kli-

matu w środkowej Europie [Bolte et al., 2009]. Są to: 1) ochrona struktur leśnych poprzez działania hodowlane w starszych drzewostanach, zlokalizowanych na terenach z przewidywanym niskim wpływem zmian klimatu; 2) aktywna adaptacja poprzez trzebieże, rozluźnianie zwarcia i wybór gatunków alternatywnych w drzewostanach, w których przewiduje się silny wpływ zmian klimatu oraz 3) pasywna adaptacja dla drzewostanów o niskiej wartości (ekologicznej i ekonomicznej), bazująca na naturalnej ewolucji w obliczu przyszłych zmian stref klimatycznych. Aby wspierać brytyjskie lasy w osiągnięciu wyższego poziomu różnorodności genetycznej w związku z przystosowaniem do zmian klimatu, zaproponowano kolejno trzy potencjalne strategie, z wykorzystaniem zarówno odnowienia naturalnego, jak i sadzenia. Każda z nich cechuje się różnym ryzykiem i różnymi korzyściami, takimi jak [Hubert i Cottrell, 2007]: 1) utrzymywanie zmienności genetycznej (wyższa różnorodność początkowa) i promowanie odnowienia naturalnego poprzez działania hodowlane (pielegnacja, trzebieże, selekcja niskiej jakości osobników); 2) sadzenie mieszanek proveniencji wraz z istniejącą populacją, z wykorzystaniem najdokładniejszych prognoz klimatycznych przy wyborze proveniencji (jako zabezpieczenie, użyteczny może być także udział lokalnych zasobów) oraz 3) wykorzystanie migracji wspomaganej poprzez sadzenie pojedynczych proveniencji lub gatunków w lokalizacjach narażonych na największe wpływy zmian klimatu.

Dzięki temu możliwy będzie transfer zasobów genetycznych z populacji występujących w szczególnych warunkach klimatu na obszary, na których przyszłe warunki będą zbliżone do warunków środowiska populacji źródłowej. Przykładem jest tu transfer przystosowanych do suszy populacji z południa dla zwiększenia przystosowania populacji na północy. W przeciwnym wypadku w przyszłości będą się one cechować wzrastającą podatnością na suszę [O'Neill et al., 2008]. Zostanie to omówione szczegółowo w rozdziale dotyczącym rekomendacji.

W przypadku programów restytucji należy rozważyć perspektywę ewolucyjną [Rice i Emery, 2003]. W przewidywanych scenariuszach zmian klimatu wykorzystanie tylko lokalnego materiału może nie pozwolić na szybką adaptację [Harris et al., 2006]. Pomimo to, aby zapobiegać przenoszeniu inwazyjnych patogenów leśnych, należy ograniczać introdukcję nowych gatunków, bo może ona negatywnie wpływać na rodzimą bioróżnorodność (zamieranie lokalnych gatunków drzew, kojarzenie inwazyjnych i lokalnych gatunków, utrata trwałości rodzimych populacji) [Chornesky i Randall, 2003; Cleeland i Mooney, 2001]. Restytucja i zalesianie (ekologiczna restytucja) zdegradowanych terenów rolniczych zostały również uznane za ważny czynnik łagodzący zmiany klimatu. Zalesienia i odnowienia wykonywane w celu sekwestracji węgla, dla łagodzenia globalnego ocieplenia w ramach Protokołu z Kioto, mogą być powodem tworzenia plantacji z ograniczoną różno-

rodnością genetyczną lub z szybko rosnącymi gatunkami, które mogą mieć dalszy negatywny wpływ na bioróżnorodność [Caparros i Jacquemont, 2003].

W niektórych przypadkach działaniem prewencyjnym może być zakładanie sztucznych obiektów *in situ*, które będą służyć jako populacje wyjściowe dla nowych drzewostanów, jak w przypadku gatunków łęgowych (np. *Populus nigra*) [Rotach, 2001].

Działania *ex situ*

Dynamiczna ochrona *ex situ*. Wraz z szybko zmieniającym się klimatem ochrona LZG prawdopodobnie stanie się bardziej skomplikowana. Dlatego znaczenie działań związanych z ochroną *ex situ* rozumianych jako uzupełnienie lub substytut ochrony *in situ* będzie rosnąć [St. Clair i Hove, 2011]. Drzewostany zachowawcze *ex situ*, ogólnie definiowane jako lasy poza naturalnym stanowiskiem zasobów genowych, mogą stanowić zasoby genowe o nieznanym poziomie zmienności genetycznej lub też być scharakteryzowane genetycznie poprzez cechy fenotypowe lub markery molekularne. Na ogół ich zakładanie i utrzymanie jest kosztowne. Ochrona dynamiczna może mieć miejsce w drzewostanach *ex situ*, gdy występuje w nich naturalna selekcja oraz kiedy sztucznie wprowadzane drzewa (gatunki, proveniencje, rodziny) mogą być odnawiane, bez większej interwencji, z nasion [Amaral, 2004]. Jeśli wyjściowe populacje są odpowiednio reprezentowane, a drzewostany są wystarczająco duże

(w zakresie minimalnej wielkości żywotnej populacji) [FAO, 1992], to mogą być one dla leśnictwa komercyjnego źródłem materiału rozmnożeniowego. Pomimo kosztów, drzewostany takie mogą zapewnić przyszłą adaptację lasów do różnorodnego spektrum warunków środowiska oraz zapobiegać nagłym stratom materiału genetycznego [Geburek i Turok, 2005].

Wspomagana migracja dotyczy przenoszenia gatunków lub populacji z narażonych stanowisk do nowych miejsc, uznanych za odpowiednie w aspekcie przyszłych prognoz klimatycznych. Migracja obejmować może przenoszenie długodystansowe do bardziej sprzyjających regionów lub wzmocnienie zagrożonej populacji zewnętrznym materiałem genetycznym. Może ona także obejmować krótsze, stopniowe przenoszenie, wspierające naturalną migrację poprzez tworzenie korytarzy lub ostoju migracyjnych. Na równinach izolowane obszary leśne otoczone terenami rolniczymi można bardziej ze sobą powiązać poprzez zakładanie małych drzewostanów lub zadrzewień liniowych /żywoplotów. Umożliwi to długodystansowy przepływ genów i połączy takie drzewostany. Badania proveniencyjne mogą być użyteczne dla określania krzywych reakcji źródeł nasion w różnych warunkach klimatu. Przykłady obejmują m.in. świerk pospolity (*Picea abies*), sosnę taeda (*Pinus taeda*) oraz inne południowe gatunki sosen, które wykazują ograniczony o 5–10% wzrost w porównaniu do genetycznie przystosowanych źródeł nasion [Schmidting, 1994]. Wspomagana mi-

gracja jest kontrowersyjnym pomysłem, który prowokuje dyskusje wśród osób zajmujących się ochroną zasobów genetycznych [McLachlan et al., 2007]. W Europie środowisko naukowe jest zgodne, że dla niektórych gatunków rosnących na obszarach, które znajdą się pod wpływem najbardziej intensywnych zmian klimatu, migracja wspomagana oferuje potencjalnie efektywną ekonomicznie strategię ich łagodzenia. Jednak warunkiem jest stosowanie jej jako uzupełnienia tradycyjnych strategii ochrony oraz wdrażanie praktycznych działań ochrony genetycznej [Loss et al., 2011a]. Migracja wspomagana lub relokacja będzie prawdopodobnie powszechnie stosowana jako strategia reakcji, ale dotychczas nie została ona uwzględniona w żadnych działaniach politycznych [Loss et al., 2011b]. Będzie ona napotykać także wiele problemów, m.in. z zakresu synekologii (np. asynchronia lub brak specyficznych zapylaczy, nośników nasion, mikoryz) oraz nieprzystosowania (np. problem z mrozoodpornością przy migracji w kierunku północnym).

W związku z tym, w celu uwzględnienia migracji gatunków w kierunku północnym i tworzenia potencjalnych zbiorowisk w aspekcie przestrzennym i czasowym, należy dostosować wytyczne dotyczące przenoszenia proweniencji oraz regionów nasiennych [Hemery, 2007]. Jako pierwsze, wytyczne dotyczące transferu nasion do zmian klimatu, dostosowało prawodawstwo Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie [Loss et al., 2011a].

Statyczna ochrona ex situ. Plantacje nasienne oraz banki i archiwa klonów są przykładami statycznych obiektów ex situ, w których w sposób naturalny nie mogą wystąpić żadne zmiany w strukturze genetycznej kolekcji. Obiekty te zakładane są wyłącznie w celu zachowania różnorodności genetycznej cennych populacji, ochrony zagrożonych gatunków, które w przeciwnym wypadku mogłyby zostać utracone, lub dla ochrony/wzbogacenia genetycznej różnorodności występujących w rozproszonym rzadkich gatunków.

Kolekcje drzew w arboretach lub ogrodach botanicznych także mogą się przyczynić do zachowania unikalnych i rzadkich genotypów różnych gatunków drzew. Jest tak pomimo tego, że w większości przypadków, z powodu małej liczby osobników, kolekcje te niedostatecznie reprezentują wewnątrzgatunkową zmienność genetyczną [Hurka, 1994]. Kolekcje w ogrodach botanicznych, pomimo ograniczonego charakteru, są także użyteczne jako obiekty do badań i rozmnażania [m.in. Kay et al., 2011].

W przypadku gatunków, u których bliskie jest ryzyko wyginięcia zamierających populacji, czy braku produkcji nasion lub o nasionach kategorii recalcitrant, krioprezervacja, rozmnażanie wegetatywne oraz kultury in vitro są jedynymi bezpiecznymi i opłacalnymi sposobami ochrony. Jest tak nawet jeśli dzięki nim można zachować jedynie ograniczoną część różnorodności genetycznej [Theilade et al., 2004]. Ochrona in vitro może być efektywnie stosowana

tylko w przypadku zbioru i przechowywania określonych genotypów problematycznych gatunków rozmnażanych wegetatywnie [Engelman, 1997].

Konsekwencje dla działań ochronnych

Działania ochronne przedstawione w niniejszym raporcie zależą od wielu kwestii logistycznych i technicznych.

Kwestie logistyczne dotyczą głównie potencjalnych zasobów – finansowych i organizacyjnych. Ponieważ ochrona LZG jest działaniem międzynarodowym, będzie ona obejmować współpracę organów państwowych na rzecz efektywnej ochrony gatunków i zagrożonych populacji. Koszty oceny zagrożeń, kontroli, wyznaczania obiektów i zarządzania nimi oraz stałego monitoringu powinny być ponoszone na poziomie krajowym i europejskim. Jak podkreślono w niniejszym raporcie, południowe populacje drzew są najbardziej zagrożone zmianami klimatu. Inwestycja w ochronę tych populacji może być jednak kluczowa dla przeżycia gatunków oraz odegrać korzystną rolę poza obecnym zasięgiem populacji.

Kwestie techniczne zależą od biologicznych skutków zmian klimatu oraz reakcji populacji i gatunków drzew. Najbardziej niepokojącą kwestią jest dynamiczny charakter tych zmian, a także niezbędnych działań ochronnych. Na przykład strefy klimatyczne ulegną zmianie wraz ze zmianami klimatu oraz adaptacją gatunków. W konsekwencji zmieniają się także zasięgi

występowania i struktura genetyczna gatunków. Kluczowym elementem działań ochronnych będzie monitoring, szczególnie ten genetyczny. W przyszłych metodach ochrony LZG zarówno w Europie, jak i poza nią musi być uwzględniona dynamika zmian i reakcji. W aspekcie zmian składu genetycznego ważne jest poznanie opinii różnych interesariuszy na temat ochrony. Z perspektywy zarządców lasów najmocniej przemawiającą korzyścią z ochrony LZG jest wzrost produkcji wysokiej jakości drewna. Jednak z typowo ochronnego punktu widzenia to zdolność adaptacyjna gatunków jest priorytetem. Istnieje jednak potencjalne ryzyko błędu i wynikającej z niego zmiany w częstotliwości występowania alleli, w zależności od przyjętej metody selekcji. Stąd przy ochronie wybranych obiektów należy się skupić na utrzymaniu potencjału adaptacyjnego. O dynamice zmian należy również pamiętać przy analizowaniu potencjalnych gatunków inwazyjnych i chorób. Jest to również istotne w przypadku populacji na ekspansywnych krańcach zasięgów występowania. Będą one kolonizować nowe obszary i prawdopodobnie powodować zaburzenia w istniejących stanowiskach.

Trzeba również zdawać sobie sprawę, że ocalenie wszystkiego, co chcielibyśmy zachować może okazać się niemożliwe. Przykładowo, do utrzymania zmienności adaptacyjnej, potrzebne są populacje odpowiedniej wielkości. Jednak w małych reliktowych populacjach, poddanych ekstremalnym zjawiskom suszy, może się to okazać bardzo trudne.

Konieczna będzie zatem priorytetyzacja wybranych obiektów w oparciu o ograniczone zasoby. Należy koncentrować się na populacjach marginalnych, a szczególnie tych, które występują na cofających się granicach zasięgów. Populacje te oraz gatunki

o zasięgach ograniczonych do obszarów najbardziej wysuniętych na południe staną w obliczu groźby wyginięcia. Jedyną możliwością dynamicznej ochrony takich gatunków i populacji może być migracja wspomagana lub obiekty ochrony ex situ.

REKOMENDACJE DLA ZAGOSPODAROWANIA ISTNIEJĄCYCH ORAZ USTANAWIANIA NOWYCH OBIEKTÓW OCHRONY ZASOBÓW GENOWYCH

Celem każdej strategii ochrony, ukierunkowanej bezpośrednio na ograniczenie negatywnego wpływu zmian klimatu, powinna być redukcja ryzyka ubożenia populacji lub masowego jej wymierania. Nieprzewidywalny charakter zmian klimatu oraz długotrwała przerwa międzypokoleniowa, czynią drzewa leśne szczególnie narażonymi na niedostosowanie do zmian klimatu [St. Clair i Howe, 2007]. Różnorodność genetyczna jest podstawą procesów adaptacji i naturalnej selekcji – stąd jest kluczowa dla długoterminowej stabilności lasów. Zarządcy lasów mogą rozważyć możliwość utrzymania istniejącej różnorodności genetycznej drzewostanów lub, w przypadkach gdzie jest ona szczególnie zubożona, nawet jej zwiększenia. W celu efektywnego zarządzania obiektami proponuje się wdrażanie kaskadowego narzędzia decyzyjnego umożliwiającego zarządcom lasów podejmowanie odpowiednich działań. Wstępny projekt takiego narzędzia przedstawiono w Załączniku. Zaleca się, aby jego wdrażanie następowało poprzez dalsze działania EUFORGEN oraz aby weryfikacja i uwzględnianie prognoz odbywało się na podstawie aktualnej wiedzy naukowej.

Zagospodarowanie istniejących obiektów ochrony zasobów genowych

Obiekty ochrony zasobów genowych są populacjami uznanymi za szczególnie cenne dla utrzymania leśnej bazy nasiennej oraz samej różnorodności genetycznej. Obiekty te wytypowane zostały w wielu krajach, ale dopiero niedawno zostały połączone w europejską sieć. O wyborze obiektów do bazy danych EUFGIS decydował zestaw minimalnych wymagań. Określają one odpowiedni rozmiar populacji do włączenia do sieci ochrony [Koskela et al., 2013]. Kryteria wyboru obiektów ochrony muszą jednak pozostać płynne i podlegać okresowej ocenie w kontekście zmian klimatu. Granice regionów bioklimatycznych w krajach europejskich będą się kurczyć lub rozszerzać. W szczególnych przypadkach niektóre z nich staną się cieplejsze i bardziej suche. Ponieważ aktualna sieć obiektów ochrony oparta jest na regionach bioklimatycznych, konieczny może okazać się jej przegląd, by utrzymać obecne założenie – jeden obiekt przypadający na jeden region bioklimatyczny w jednym kraju (jak w przypadku ogólnoeuropejskiej sieci obiektów podstawowych) [de Vries et al., 2015].

W najbliższym czasie może być konieczne dodanie obiektów szczególnie zagrożonych zmianami klimatu.

Obiekty ochrony zasobów genowych należą do najcenniejszych drzewostanów, często reprezentujących pozostałości pierwotnych autochtonicznych populacji drzew leśnych. Zgodnie z ogólnymi celami gospodarki leśnej odnoszącymi się do obiektów ochrony zasobów genowych, powinny być tam promowane naturalne procesy. Metody promowania powinny w pełni wykorzystywać techniki zarządzania, które naśladują naturalne warunki, z uwzględnieniem pełnego wykorzystania procesów indukujących, stymulujących i wspierających różnorodność genetyczną. W przypadku braku odnowienia naturalnego należy stosować odnowienie sztuczne z wykorzystaniem miejscowych źródeł materiału rozmnożeniowego.

Kryteria te powinny być stosowane jako uzupełnienie kaskadowego narzędzia decyzyjnego, które dotyczy głównie utrzymania zmienności adaptacyjnej.

Monitoring żywotności i naturalnego odnowienia. Monitoring jest bardzo ważny dla określenia poziomu zachodzących zmian. Potter i Crane [2010] zaproponowali zestaw parametrów dla oceny ryzyka genetycznego. Zmodyfikowaną listę parametrów przedstawiono w Tabeli 1. Stanowią one użyteczne ramy monitorowania zmian i mogą być wykorzystane do oceny zmian w populacji oraz określenia poziomu interwencji, jak np. trzebieży sprzyjających odnowieniu czy usuwanie konkurencyjnych gatunków. Schemat monitoringu genetycznego przedstawiono w innym raporcie EUFORGEN [Aravanopoulos et al., 2015].

Promowanie aktywnego zagospodarowania. Pierwszą opcją po ocenie stanu populacji, gdy jest taka możliwość, powinno być jej utrzymanie in situ poprzez aktywne zagospodarowanie. Do czasu zdefiniowania właściwych strategii migracji efekty zmian klimatu powinny być kompensowane przez gospodarkę leśną.

Czynniki wewnętrzne Charakterystyczne dla gatunku/populacji	Czynniki zewnętrzne Poza właściwościami gatunku/ populacji	Zagadnienia specyficzne
Struktura/zagęszczenie populacji	Szkodniki i patogeny	Endemizm
Zdolność odnowienia	Gatunki konkurencyjne	Status ochrony
Zdolność rozprzestrzeniania (nasiona/pyłek)	Gatunki inwazyjne	Populacje marginalne/ peryferyjne
Powiązanie ze stanowiskiem	Wektory przenoszenia pyłku i nasion	
Zmienność genetyczna		

Tabela 1. Parametry oceny ryzyka genetycznego [Potter i Crane, 2010, zmodyfikowane]

Promowanie obiektów o zmienności wysokościowej oraz innych gradientach ekologicznych. Podczas wyboru obiektów do sieci ochrony, pierwszeństwo powinny mieć duże obiekty obejmujące znaczącą zmienność wysokościową i ekologiczną. Większa zmienność wysokościowa wpływa na zwiększenie zmienności warunków środowiska oraz związanej z nią adaptacyjnej różnorodności genetycznej. Obiekt obejmujący zróżnicowane stanowiska, np. typy gleb, jest również bardziej wartościowy niż obiekty jednorodne. Dla gatunków drzew o populacjach występujących powszechnie, lecz rozproszonych, preferowane są duże obiekty obejmujące małe grupy populacji. Natomiast dla gatunków rzadkich, tworzących wyłącznie małe populacje, obiekty ochrony mogą w obszarze kluczowym obejmować ograniczoną liczbę takich drzew, które często reprezentują występujące tam subpopulacje.

Ustanawianie dodatkowych obiektów ochrony zasobów genowych

Wybór obiektów ochrony zasobów genowych pod kątem wrażliwości na zmiany klimatu

Zmiany klimatu stanowią czynnik zagrożenia i niepewności dla sieci ochrony, stąd konieczność uwzględnienia zmian w przedstawionych kryteriach zagospodarowania obiektów ochrony. Modyfikacje mogą oznaczać zmiany organizacyjne (np. założenie odrębnych baz danych dla obiektów ukierunkowanych na łagodzenie efektów zmian klimatu lub rozszerzenie monitoringu), inne mogą dotyczyć

zmian analitycznych (jak np. stosowanie ekosystemowego lub regionalnego podejścia zamiast koncentrowania się na sieciach dla gatunków), a kolejne mogą być uznane za eksperymentalne z powodu niewiadomych dotyczących podejmowanych działań. Przy wdrażaniu takich zmian trzeba być przygotowanym na to, że gatunki/populacje będą narażone na niemożliwe do uniknięcia zmiany genetyczne (np. hybrydyzację), niektóre straty różnorodności będą nieuchronne, oraz że głównym celem sieci ochrony, w przeciwieństwie do ochrony samych obiektów, jest ochrona leśnych zasobów genowych. Przegląd funkcjonujących sieci wskazuje, że uzupełnienie ich przez zaangażowane państwa zapewni w Europie uzyskanie odpowiedniej reprezentacji zasobów genowych najważniejszych gatunków [de Vries et al., 2015]. Ogólnoeuropejska sieć podstawowa nie została ustanowiona specjalnie do walki z zagrożeniami związanymi ze zmianami klimatu. Jeśli chcemy, aby zachowała ona dużą część gatunkowej różnorodności genetycznej w najbliższej przyszłości (do okresu 2075–2100) – potrzebne są dalsze działania. Najpilniejsze są następujące kwestie:

Wybór dodatkowych obiektów reprezentujących marginalne populacje drzew

Władze państwowe powinny poświęcić szczególną uwagę populacjom marginalnym, ponieważ mogą one przenosić specyficzne cechy adaptacyjne do warunków występujących na granicach biologicznych zasięgów poszczególnych

gatunków drzew. Południowe populacje marginalne na bioklimatycznych granicach zasięgu stoją w obliczu bezprecedensowych zmian i prawdopodobnie wyginą bez naszej interwencji [Aitken et al., 2008].

Wybór dodatkowych obiektów z nowo założonych lub migrujących populacji

Zjawiska związane z długodystansowym rozprzestrzenianiem się gatunków wywierają duży wpływ na skład genetyczny nowo powstałych populacji kolonizujących północne granice zasięgów [LeCorre i Kremer, 2012]. Są one rzadkie i prowadzą do powstawania „wysp” spokrewnionych osobników o zredukowanej różnorodności genetycznej, które będą miały duży udział w kolonizacji terenów położonych dalej w kierunku północnym. Jest ryzyko kumulowania się szkodliwych mutacji w tych populacjach [m.in. Peischl et al., 2013]. Uzupełnianie ich dodatkowym materiałem genetycznym może pomóc w przezwycięzeniu potencjalnego efektu wąskiego gardła.

Włączenie dodatkowych obiektów do sieci podstawowej obiektów ochrony

Użyteczność nowych obiektów ochrony, wybranych dla przeciwdziałania zmianom klimatu, zwiększy się, jeśli zostaną zintegrowane z istniejącą siecią podstawową. By monitorować takie populacje z myślą o przyszłych strategiach, może być potrzebne specjalne oznaczenie tych obiektów (nowe pole w bazie danych). Oznaczenie to będzie istotne, by zidentyfikować przyczyny wyboru takich obiektów. Okresowe przeglądy obiektów podstawowych

(„kraj x strefa klimatyczna”) będą niezbędne w celu określenia adaptacji do przyszłych zmian [de Vries et al., 2015].

Obiekty podstawowe a obiekty dodatkowe

Obiekty dodatkowe mogą być dodawane do sieci podstawowej jako podzbiory. W odpowiedzi na potrzeby wynikające ze zmian klimatu, dla obiektów dodatkowych powinny być zmodyfikowane zarówno sama idea, jak i kryteria sieci podstawowej. W przypadku włączenia obiektów o szczególnych statusach ochrony, może to być złagodzenie kryteriów lub ich modyfikacja. Identyfikacja takich złagodzonych warunków może okazać się użyteczna w przyszłych strategiach. Stąd też sieć ochrony może składać się z:

Obiektów podstawowych – populacji autochtonicznych, zlokalizowanych w centralnych obszarach zasięgu występowania, w typowych warunkach środowiska.

Obiektów marginalnych – populacji autochtonicznych, zlokalizowanych na peryferiach zasięgu występowania, w potencjalnie nietypowych warunkach środowiska. Obiekty takie, aby utrzymać (lub zwiększyć) ich potencjał adaptacyjny, mogą obejmować zarówno populacje pojedyncze, jak i metapopulacje.

Obiektów z populacji migrujących – populacji nieautochtonicznych, zlokalizowanych w przyszłych przewidywanych granicach zasięgu, powstałych zazwyczaj na drodze migracji wspomaganej.

Monitorowanie obiektów dodatkowych

Monitorowanie obiektów marginalnych i dodatkowych może wymagać dodatko-

wych działań ze strony władz krajowych. Jeśli zasady hodowli lasu mają mieć jakikolwiek znaczący wpływ na adaptację, to dla południowych populacji kluczowe jest wykrycie wczesnych symptomów zamierania. Ponadto interakcje biotyczne mogą stanowić dodatkowe ryzyko dla zasobów genowych, nawet dla populacji, które dobrze radzą sobie w danych warunkach klimatycznych (np. gdy występuje opóźnienie między migracją szkodników i drzew, jako konsekwencja skrócenia okresów generacji). Dla północnych populacji marginalnych, wykrycie przypadków kolonizacji może dostarczyć wskazówek na temat najbardziej właściwych warunków środowiska dla kolejnych etapów przyszłej kolonizacji.

Analiza regionalnych metod ochrony LZG

Zamiast zorientowanych gatunkowo lokalnych sieci ochrony, stosować można podejście regionalne dla niektórych gatunków, a szczególnie gatunków złożonych lub taksonomicznie nieokreślonych grup, jak np. *Pinus halepensis* czy podrodzaju dębów białych w basenie Morza Śródziemnego.

Kwestie taksonomiczne

Ważne jest podkreślenie, że gatunki nie są jednostkami statycznymi oraz że np. hybridyzacja może prowadzić do powstawania gatunków. Ilustruje to przypadek dębów w południowej Europie. Hybridyzacja w niektórych systemach może podlegać ocenie, jeśli obiekty dodatkowe wybrano w „strefach hybridyzacji”.

Gatunki, których rozprzestrzenianiu sprzyjać będą zmiany klimatu

Pomimo zagrożeń dla LZG, zmiany klimatu będą sprzyjać rozprzestrzenianiu niektórych gatunków (np. *Quercus ilex* powiększy prawdopodobnie swój zasięg występowania we Francji). Nawet dla takich gatunków, populacje wycofujące się i reliktowe zasługują na szczególną uwagę w celu uniknięcia utraty cennych LZG. Jak wspomniano, postępujące granice zasięgu, podczas inicjalnych faz ekspansji, będą się wiązać co najmniej z utratą różnorodności genetycznej. Jest jednak możliwość, że populacje z różnych refugium glacialnych mogą łączyć się w niektórych obszarach, tworząc nową różnorodność genetyczną poprzez mieszanie populacji allopatrycznych. Może to prowadzić do segregacji cech adaptacyjnych, a w konsekwencji do zwiększonej adaptacji do zmian klimatu. Na takich obszarach mieszania genotypów najbardziej korzystne może być ustanawianie nowych obiektów ochrony.

Przegląd osiągnięć naukowych

Rekomendacje i metody niniejszego raportu muszą być aktualizowane stosownie do potrzeb.

W przyszłości zaleca się wdrożenie przeglądu osiągnięć naukowych pod kątem potencjalnego wpływu zmian klimatu na ochronę LZG. Jego celem ma być ułatwienie komunikacji pomiędzy naukowcami oraz zarządcami lasów i w rezultacie szybkie wdrażanie odkryć do polityki ochrony środowiska.

REKOMENDACJE DLA UZUPEŁNIAJĄCYCH METOD OCHRONY EX SITU

W niektórych przypadkach nie będzie możliwe utrzymanie obiektów in situ, ponieważ warunki zmieniają się w stopniu uniemożliwiającym przetrwanie populacji drzew. Do tego część populacji może przenosić szczególne cechy lub potencjał adaptacyjny, które warto zachować. W takich przypadkach konieczne będą działania ochrony ex situ. Jak wcześniej wspomniano, kaskadowe narzędzie decyzyjne (Załącznik) powinno pomagać decyzyjnym w określaniu, kiedy działania ex situ są niezbędne.

Ochronę ex situ definiuje się jako „ochronę składników różnorodności biologicznej poza ich naturalnym środowiskiem” (patrz: Art. 2 Konwencji o różnorodności biologicznej). Kolekcje ex situ obejmują kolekcje całych roślin, zygot, gamet i tkanek somatycznych. Istnieją oczywiście fundamentalne różnice pomiędzy kolekcjami całych roślin, jak np. plantacjami nasiennymi, a kolekcjami w postaci krioprezerwowanych nasion lub zarodków. Preferowaną opcją jest utrzymanie sytuacji dynamicznej, w której następują naturalne procesy, jak np. przepływ genów i naturalna selekcja. Statyczne działania ex situ, zamiast sytuacji dynamicznej, utrzymują materiał w niezmienionej formie, np. poprzez krioprezerwację tkanek.

Priorytetyzacja gatunków drzew i zakładanie populacji ex situ

Priorytetyzacja

W celu optymalizacji działań ochronnych konieczna jest priorytetyzacja gatunków oraz koordynacja środków ochronnych na poziomie europejskim. Priorytetyzacja gatunków musi uwzględniać: 1) konieczność ochrony w aspekcie znaczenia gatunku (np. wartości ekologiczne i ekonomiczne), 2) pilność ochrony w aspekcie typów i intensywności zagrożeń (opisane wcześniej), 3) wykonalność zadań w aspekcie kosztów i rezultatów działań w odniesieniu do dostępnego budżetu.

Działania ex situ są często ściśle powiązane z pilnością zadań. Posiadanie wykazów (potencjalnie) zagrożonych gatunków i populacji drzew europejskich, może pozwolić na wcześniejszą interwencję w ramach działań ex situ. W długoterminowej perspektywie należy wprowadzić i utrzymywać systematyczne i taksonomicznie synchronizowane czerwone listy zagrożonych europejskich gatunków i populacji. W ramach niniejszego raportu zaprezentowano propozycje kryteriów do tworzenia czerwonych list, w powiązaniu z kryteriami IUCN oraz kryteriami odnoszącymi się do przewidywanego wpływu zmian klimatu. W trakcie przygotowywania niniejszego

raportu autorzy stwierdzili istnienie równoległej inicjatywy w Działaniu COST FP1202, w ramach którego opracowuje się listę zagrożonych populacji marginalnych. Powinny być wzięte pod uwagę regiony sąsiadujące z Europą, przede wszystkim północna Afryka, Bliski Wschód i Kaukaz. Obszary te, zwłaszcza położone na południowym krańcu śródziemnomorskiej strefy klimatycznej, są najbardziej narażone na przesunięcia granic zasięgów wywołanych ociepleniem klimatu. Jeśli utracą one występujące tam gatunki drzew, narażone będą na pustynnienie, ponieważ w kierunku południowym brak jest alternatywnych gatunków zdolnych do migracji na północ.

Zakładanie populacji ex situ

Większość gatunków drzew ma wysoki potencjał adaptacyjny (patrz sekcja: Potencjał adaptacyjny, str. 11). W kontekście działań ochronnych ex situ jest to istotna cecha. Stąd, wszystkie działania w ramach odnowienia sztucznego, tj. większość działań ex situ, ale także migracja wspomagana w obiektach ochrony in situ, muszą zapewnić reprezentację maksymalnego zróżnicowania populacji wyjściowej, poprzez 1) stosowanie właściwych strategii zbioru nasion oraz 2) zakładanie odpowiedniej wielkości populacji ex situ.

1) Strategie zbioru nasion: najlepsze praktyki zbioru nasion uwzględniają i spełniają minimalne wymagania w zakresie: a) wielkości populacji, b) liczby drzew matecznych, c) maksymalnej przestrzennej i ekologicznej odległości drzew

matecznych względem siebie, d) liczby lat zbioru. W celu optymalizacji potencjału adaptacji genetycznej i epigenetycznej, protokoły zbioru nasion powinny zapewniać zachowanie maksymalnej różnorodności genetycznej w odnowieniu sztucznym.

2) Wielkość populacji ex situ: udział dużej liczby osobników w rozmnażaniu jest kluczowy dla zapewnienia odpowiednich procesów naturalnej selekcji.

Gdy jest to możliwe, obiekty ochrony ex situ powinny być zakładane z minimum 5000 sadzonek/drzewek uzyskanych z populacji obejmujących minimum 500 dojrzałych osobników. Obiekty takie powinno zakładać się z materiału nasiennego zebranego w co najmniej dwóch sezonach nasiennych, z co najmniej 50 oddalonych od siebie drzew matecznych, reprezentujących pełny zakres warunków ekologicznych stanowiska [Skroppa, 2005]. W przypadku rozproszonych, rzadkich i zagrożonych gatunków o populacjach z małą liczbą drzew, standardy te mogą być mniej restrykcyjne. W celu utrzymania progów minimalnych liczebności żywotnych populacji, w obiektach ex situ można alternatywnie rozważyć łączenie pofragmentowanych sąsiadujących subpopulacji.

W ramach ogólnych środków ostrożności przy zakładaniu obiektów ochrony ex situ, należy również uwzględnić ryzyko pojawu szkodników i patogenów. Ponieważ prewencja i wczesne wykrywanie nale-

żą do najefektywniejszych ekonomicznie strategii, więc działania fitosanitarne (okresy kwarantanny i kontrole graniczne bezpieczeństwa biologicznego) powinny być poważnie brane pod uwagę przy ochronie bioróżnorodności [Clarke, 2008].

Dynamiczna ochrona ex situ

Dynamiczna ochrona ex situ obejmuje wyprowadzanie populacji poza ich naturalne środowisko, ze zwróceniem uwagi na wspieranie i utrzymanie naturalnego odnowienia.

W niektórych przypadkach utrzymanie populacji w ich obecnych lokalizacjach nie będzie możliwe, stąd wspomagana migracja może być jedyną możliwością ochrony dynamicznej [Thomas, 2011]. Migracja wspomagana może obejmować przenoszenie populacji przez człowieka, na drodze introdukcji proweniencji lub gatunków w nowych regionach, lub wspieranie naturalnej migracji. W kontekście niniejszego raportu, rozważania dotyczące migracji wspomaganej koncentrować się będą na przenoszeniu populacji dalej, niż wynika to ze spodziewanych krótkoterminowych zmian warunków naturalnych. Większa uwaga poświęcona będzie także utrzymaniu różnorodności genetycznej europejskich gatunków drzew, aniżeli introdukowanych, ważnych ekonomicznie gatunków.

Migracja wspomagana jest uznawana przez niektórych autorów za potencjalnie ważną strategię adaptacji do zmian klima-

tu [Millar et al., 2007; Campbell et al., 2009], ale winna być postrzegana jedynie jako działanie uzupełniające lub ostateczne, ponieważ dane z zakresu ekologii genetycznej są wciąż niewystarczające dla większości gatunków drzew leśnych [Eskelin et al., 2011]. Rezultaty takich działań są niepewne i niosą ze sobą dodatkowe ryzyka i interakcje. By ograniczyć nieprzewidziane konsekwencje, zakładanie obiektów ochrony ex situ w ramach migracji wspomaganej winno być realizowane stopniowo, na relatywnie krótkich dystansach geograficznych i ekologicznych. Odległości te nie powinny przekraczać maksymalnego progu równoważnego zmian w okresie następnym 20–30 lat, lub w okresie równym 25% okresu jednego pokolenia [m.in. O'Neill, 2013; Wang et al., 2010a i 2010b]. W celu osiągnięcia konsensusu, prowadzone w Europie badania proweniencyjne mogą być analizowane co do przydatności migracji wspomaganej w różnych przypadkach [m.in. Alberto et al., 2013b]. W zależności od celu przenoszenia, lite drzewostany z introdukowanego materiału mogą być zakładane tam, gdzie pojedyncze obiekty są zagrożone i muszą być chronione, podczas gdy drzewostany mieszane z introdukowanym i lokalnym materiałem mogą być zakładane dla wspierania naturalnych procesów w pozostałych przypadkach.

Dla każdego cennego obiektu ochrony rekomenduje się zakładanie co najmniej dwóch obiektów ex situ, ponieważ najtrudniejszym zadaniem jest zbiór i uprawa materiału sadzeniowego, a ryzyko utraty tylko jednej populacji może być wysokie.

Gdy dokona się duplikacji obiektu, należy zabezpieczyć i monitorować naturalne procesy, które zachodzą równolegle w obiekcie wyjściowym.

Aby zapewnić zarządzającym lasami odpowiednią zmienność genetyczną materiału sadzeniowego, należy skorygować możliwość wykorzystania podejścia statycznego przejawiającego się np. w postaci stref nasiennych i regionów pochodzenia. Ponieważ może zaistnieć potrzeba przenoszenia leśnego materiału rozmnożeniowego poza granice państwowe w celu zakładania upraw, standardy transferu nasion mogą wymagać modyfikacji w odpowiedzi na zmiany klimatu, aby zapewnić uprawom potencjał do adaptacji w przyszłych warunkach środowiskowych.

Statyczna ochrona ex situ

W przypadku niektórych gatunków nie będzie można zastosować preferowanego podejścia w postaci ochrony dynamicznej. Wtedy jedynym wyjściem jest zachowanie ich w banku nasion lub banku genów

(np. krioprezerwacja). Na ogół wcześniejsza interwencja jest bardziej efektywna i w większości przypadków także bardziej ekonomiczna. Równolegle do zachowania indywidualnych osobników wspomnianymi metodami, należy podejmować inne statyczne działania ochrony ex situ, jak np. ochrona osobników w ogrodach botanicznych, ochrona sztucznych populacji w plantacjach nasiennych oraz ochrona kolekcji genotypów lub ochrona circa situm na terenach uprawnych i obszarach zamieszkałych [m.in. Dawson et al., 2013].

Odpowiedni monitoring

W przyszłości, obiekty ochrony ex situ należy objąć systemem monitoringu, w celu oceny ich rozwoju i żywotności w warunkach wybranych stanowisk. Proponuje się wprowadzenie specjalnego znacznika w bazie danych EUFGIS dla oznaczania obiektów ex situ. Szczególną uwagę należy poświęcić monitoringowi genetycznemu obiektów objętych migracją. Dynamiczne obiekty ex situ dostarczą cennych danych dotyczących przyszłego występowania gatunków.

REKOMENDACJE DLA BADAŃ NAUKOWYCH

Istotne jest poszerzenie aktualnej wiedzy na temat reakcji i zdolności adaptacyjnych gatunków i populacji drzew w aspekcie zmian klimatu. Chociaż zalecenia niniejszego raportu dotyczą głównie kwestii związanych z zarządzaniem, ważne jest podkreślenie niektórych potrzeb badawczych. Niewiele wiadomo na temat wpływu zmian klimatu na różnorodność genetyczną, a dotychczas jedynie niewielka liczba badań naukowych wykazała konkretne rezultaty. Oprócz reakcji pojedynczych osobników i zbiorowisk roślin na zmiany środowiska, w niniejszym raporcie podkreślono dwie szczególne kwestie.

Po pierwsze, brakuje wiedzy w zakresie migracji wspomaganej oraz jej potencjalnego wpływu na zróżnicowanie genetyczne i składy gatunkowe. Jednym z oczywistych

źródeł danych są, prowadzone w całej Europie, liczne badania proweniencyjne. Można je wykorzystać do oceny potencjalnych reakcji gatunków na przenoszenie na duże odległości, wpływu migracji oraz prognozowania przyszłych reakcji.

Drugim obszarem wyróżnionym w niniejszym raporcie jest kwestia marginalnych i peryferyjnych populacji. Muszą być one zidentyfikowane i scharakteryzowane, aby umożliwić tworzenie prognoz dla zagrożonych w przyszłości regionów. By określić reakcje i wzajemne oddziaływania w obrębie populacji marginalnych, potrzebne są badania. Różnorodne typy marginalności, w tym marginalność wysokościowa, są szczególnie istotne w populacjach centralnych rejonów zasięgów gatunków.

WNIOSKI I REKOMENDACJE OGÓLNE

Wnioski

W rezultacie zmian klimatu różnorodność genetyczna drzew w Europie zostanie prawdopodobnie ograniczona. Niniejszy raport wykazuje, że najbardziej zagrożone są populacje marginalne obszarów południowych. Najbardziej prawdopodobnymi zagrożeniami są susze i wzrastające temperatury w południowej Europie. Skutkiem zmian klimatycznych będą prawdopodobnie zmiany zasięgów gatunków i składów gatunkowych. Biologia gatunków będzie do pewnego stopnia determinować poziom wpływu zmian klimatu na populacje. Uważa się np., że gatunki o dużych populacjach i rozległych zasięgach geograficznych będą mniej narażone niż te o małych populacjach i ograniczonych zasięgach geograficznych.

Obecna europejska sieć nie była przeznaczona konkretnie do ochrony LZG w aspekcie zmian klimatu. Stąd potrzeba dodatkowych działań dla ochrony najbardziej zagrożonych LZG, np. małych populacji marginalnych w ekstremalnych warunkach klimatycznych. Analizą objęto wiele metod. W jej trakcie kluczową okazała się bardzo mała liczba dostępnych danych empirycznych. Dlatego praktyka może jedynie korzystać z prognoz i danych szacunkowych.

Rekomendacje

W celu identyfikacji luk w regionach i w obrębie gatunków, państwa europejskie powinny kontynuować uzupełnianie bazy danych EUFGIS.

- Należy dodawać kolejne jednostki do bazy EUFGIS, oznaczone specjalnie jako obiekty LZG wybrane pod kątem zmian klimatu. Szczególną uwagę należy skierować na populacje marginalne, a zwłaszcza te o znanych limitach plastyczności ekologicznej i różnorodności genetycznej.
- Konieczna jest rezolucja FOREST EUROPE dotycząca międzynarodowego transferu materiału w celach ochronnych.
- Obszar objęty europejską współpracą dotyczącą LZG powinien być tak rozszerzony, aby np. były w nim uwzględnione Makaronezja oraz inne obszary endemiczne. Obszary te utrzymują wysoki poziom endemizmu i chronią unikalne genotypy.
- Należy poszukiwać możliwości do nawiązania współpracy z krajami Afryki Północnej w zakresie wspólnych gatunków, które obecnie występują tam prawdopodobnie, w porównaniu do Europy, w bardziej zmienionych warunkach klimatycznych.

- Kaskadowe narzędzie decyzyjne winno być nadal rozwijane i wykorzystywane w przyszłości. Narzędzie prezentowane w niniejszym raporcie ma raczej charakter przykładu niż gotowego produktu. Może być ono rozwijane w formie specjalnej inicjatywy EUFORGEN.
- Rozwój czerwonych list gatunków oraz populacji/regionów powinien przebiegać z inicjatywy EUFORGEN. W niniejszym raporcie podano kilka jej przykładów, ale kwestia ta musi być bardziej szczegółowo analizowana i uwzględniana w toku bieżącej pracy. Część zadań realizowana jest w ramach Działania COST FP1202.
- Potrzebne są dalsze badania by ocenić potencjalne efekty migracji wspomaganej. Istniejące badania proveniencyjne mogą być wykorzystane jako punkt wyjściowy, ale niezbędne są kolejne by zrozumieć potencjalne zdolności adaptacyjnych drzew w aspekcie przyszłych zmian klimatu.
- Badania naukowe są również potrzebne do oceny wpływu zmian klimatycznych na populacje marginalne i peryferyjne, szczególnie w powiązaniu z ich zdolnościami adaptacyjnymi.

LITERATURA

- Aitken, S.N., Yeaman, S., Holliday, J.A., Wang, T. i Curtis-McLane, S., *Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations*, *Evolutionary Applications*, 2008; 1:95–111.
- Alberto, F.J., Derory, J., Boury, C., Frigerio, J.-M., Zimmermann, N.E. i Kremer, A., *Imprints of Natural Selection Along Environmental Gradients in Phenology-Related Genes of Quercus petraea*, *Genetics*, 2013a; 95(2):495–512.
- Alberto, F.J., Aitken, S.N., Alía, R., González-Martínez, S.C., Hänninen, H., Kremer, A., Lefevre, F., Lenormand, T., Yeaman, S., Whetten, R., Savolainen, O., *Potential for evolutionary responses to climate change - evidence from tree populations*, *Global Change Biology*, 2013b; 19(6):1645–1661.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N., *A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests*, *Forest Ecology and Management*, 2010; 259(4):660–684.
- Amaral, W., Yanchuk, A., Kjaer, E., *Methodologies for ex situ conservation*, w: FAO, FLD, IPGRI 2004, *Forest genetic resources conservation and management*, t.3, *In plantations and genebanks (ex situ)*, International Plant Genetic Resources Institute, Rzym, Włochy, 2004, s. 3–7.
- Aravanopoulos, F.A., *Genetic monitoring in natural perennial plant populations*, *Botany*, 2011; 89:75–81.
- Aravanopoulos, F.A., Tollefsrud, M.M., Kätzel, R., Soto, A., Graudal, L., Nagy, L., Koskela, J., Pilipovic, A., Zhelev, P., Westergren, M., Božič, G. i Bozzano, M., *Development of genetic monitoring methods for genetic conservation units of forest trees in Europe*. *European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN)*, Bioversity International, Rzym, Włochy, 2015.
- Baker, W.L. i Dillon, G.K., *Plant and vegetation responses to edges in the southern Rocky Mountains*, w: Knight, R. L., Smith, F. W., Buskirk, S. W., Romme, W. H. i Baker, W. L. (red.), *Forest fragmentation in the southern Rocky Mountains*, University Press of Colorado, Boulder, 2000, s. 221–245.
- Barsoum, N. i Hughes, F.M.R., *Regeneration response of black poplar to changing river levels*, w: Wheeler H. i Kirby C., *Hydrology in a changing environment*, t. 1, Wiley, 1998, s. 397–412.
- Battisti, A., *Forests and climate change – lessons from insects*, *iForest*, 2008;1:1–5, <http://www.sisef.it/iforest/>, [dostęp: 28 lutego 2008].
- Behm, A., Becker, A., Dorlinger, H., Franke, A., Kleinschmit, J., Melchior, G.H., Muhs, H.J., Schmitt, H.P., Stephan, B.R., Tabel, U., Weisberger, H. i Widmaier, T., *Concept for the conservation of forest genetic resources in the Federal Republic of Germany*, *Silvae Genetica*, 1997; 46:24–34.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. i Courchamp, F., *Impacts of climate change on the future of biodiversity*, *Ecology Letters*, 2012; 15:365–377.
- Benito-Garzon, M., Alía, R., Robson, T.M., Zavala, M.A., *Intra-specific variability and plasticity influence potential tree species distributions under climate change*, *Global Ecology and Biogeography*, 2011; 20(5):766–778.
- Bilz, M., Kell, S.P., Maxted, N. i Lansdown, R.V., *European Red List of Vascular Plants*, Publications Office of the European Union, Luksemburg, 2011, 142 s.
- Boisvenue, C. i Running, S.W., *Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century*, *Global Change Biology*, 2006; 12(5):862–882.
- Bolte, A., Ammer, C., Lof, M., Madsen, P., Nabuurs G.-J., Schall, P., Spathelf, P. i Rock, J., *Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept*, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2009; 24:473–482.
- Brankovic, C., Srncic, L. i Patarcic, M., *An assessment of global and regional climate change based on the EH5OM climate model ensemble*, *Climatic Change*, 2010; 98:21–49.
- Campbell, E., Saunders, S.C., Coates, D., Meidinger, A., MacKinnon, A., O'Neill, G., MacKillop, D. i DeLong, C. i Morgan, D.G., *Ecological resilience and complexity: a theoretical framework for understanding and managing British Columbia's forest ecosystems in a changing climate*, British Columbia Ministry of Forests and Range, Forest Science Programme, Victoria, BC., Technical Report 055, 2009, s. 36.

- Caparros, A. i Jacquemont, F., *Conflicts between biodiversity and carbon sequestration programs: economic and legal incentives*, Ecological Economics, 2003; 46:143–157.
- CBD, *Invasive Alien Species. Programmes and Issues*, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, 2014, (<http://www.cbd.int/programmes/cross-cutting/alien>), [dostęp: 17 czerwca 2015].
- Choat, B., Jansen, S., et al., *Global convergence in the vulnerability of forests to drought*, Nature, 2012; 491(7426):752–755.
- Chornesky, E. A. i Randall, J. M., *The Threat of Invasive Species to Biological Diversity*, Annals of the Missouri Botanical Garden, 2003; 90:67–76.
- Clarke, M., *Phytosanitary measures: preventing the introduction of exotic pests and pathogens occurring from the global trade of wood products*, Working papers of the Finnish Forest Research Institute 1, 2004, <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp001.htm>, [dostęp: 20 czerwca 2015].
- Cleland, E. E. i Mooney, H. A., *Evolutionary Impact of Invasive Species*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2001; 98:5446–5451.
- Cotrufo, M. F., Alberti, G., Inglima, I., Marjanovic, H., LeCain, D., Zaldei, A., Peressotti, A. i Miglietta, F., *Decreased summer drought affects plant productivity and soil carbon dynamics in a Mediterranean woodland*, Biogeosciences, 2011; 8(9):2407–2831.
- Dawson, I., Guariguata, M., et al., *What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity in circa situm, in situ and ex situ settings? A review*, Biodiversity and Conservation, 2013; 22(2):301–324.
- de Vries, S.M.G., Alan, M., Bozzano, M., Buriánek, V., Collin, E., Cottrell, J., Ivankovic, M., Kelleher, C.T., Koskela, J., Rotach, P., Vietto, L. i Yrjänä, L., *Pan-European strategy for genetic conservation of forest trees and establishment of a core network of dynamic conservation units. European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN)*, Bioversity International, Rzym, Włochy, 2015.
- Donnelly, A., Caffarra, A., Kelleher, C.T., O'Neill, B.F., Diskin, E., Pletsers, A., Proctor, H., Stirmemann, R., O'Halloran, J., Penuelas, J., Hodkinson, T. R. i Sparks, T., *Surviving in a warmer world: environmental and genetic responses*, Climate Research, 2012; 53(3):245–262.
- EC, *Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation*, AGRI2007–G4–06. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development, 2008.
- Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytaç, Z. i Adigüzel, N., *Red Data Book of Turkish Plants*, Ankara, 2000, 246 s.
- Engelman, F., *In vitro conservation methods*, w: Ford-Lloyd, B.V., Newbury, J.H. i Callow, J.A. (red.), *Biotechnology and Plant Genetic Resources: Conservation and Use*, CABI Publishing, Wallingford, UK, 1997, s. 119–162.
- Eskelin, N., Parker, W. C., Colombo S.J. i Lu, P., *Assessing assisted migration as a climate change adaptation strategy for Ontario's forests: project overview and bibliography*, Ministry of Natural Resources, Climate Change Research Report CCRR–19, 2011, 55 s.
- FAO, *Establishment and management of ex-situ conservation stands*, w: Forest Genetic Resources Information No. 20, Rzym, Włochy, 1992, s. 7–10.
- FOREST EUROPE, UNECE, FAO, *State of Europe's forest 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management*, FOREST EUROPE Liaison Unit Oslo, Aas, Norway, 2011.
- Frey, H.-U., *Die Verbreitung und die waldbauliche Bedeutung der Weissstanne in den Zwischenalpen. Ein Beitrag für die waldbauliche Praxis*, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 2003; 154:3–4:90–98.
- Geburek, T., Turok, J., *Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe*. Arbora Publishers, Zvolen, 2005, s. 567–583.
- Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., et al., *The regeneration status of the endangered Acer opalus subsp. granatense throughout its geographical distribution in the Iberian Peninsula*, Biological Conservation, 2005; 121(2):195–206.
- Gómez-Aparicio, L., *Climate Change Impacts on Tree Regeneration: Implications for Forest Dynamics in a Drier World*, wykład na konferencji Clim-Tree, Zurych, 2013.
- Graudal, L., Kraier, E.D. i Canger, S., *A systematic approach to the conservation of genetic resources of trees and shrubs in Denmark*, Forest Ecology and Management, 1995; 73:117–134.
- Hampe, A. i Petit, R.J., *Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters*, Ecology Letters, 2005; 8(5):461–467.
- Hamrick, J.L., *Response of forest trees to global environmental changes*, Forest Ecology and Management, 2004; 197(1–3):323–335.
- Hanewinkel, M., Cullmann, D.A., Schelhaas, M.J., Nabuurs, G.-J. i Zimmermann, N.E., *Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land*, Nature Climate Change, 2013; 3:203–207.

- Hannah, L., *A global conservation system for climate-change adaptation*, Conservation Biology, 2010; 24:70–77.
- Harris, J.A., Hobbs, R.J., Higgs, E., Aronson, J., *Ecological restoration and global climate change*, Restoration Ecology, 2006; 14(2):170–176.
- Hemery, G.E., *Forest management and silvicultural responses to predicted climate change impacts on valuable broadleaved species*, Short-Term Scientific Mission report for Working Group 1, COST Action E42, 2007, 17 s., http://sylva.org.uk/forestryhorizons/documents/STSM_CO-ST-E42_GabrielHemery_May07_final.pdf, [dostęp: 20 czerwiec 2015].
- Hewitt, G., *The genetic legacy of the Quaternary ice ages*, Nature, 2000;405(6789): 907–913.
- Holderegger, R., Kamm, U. i Gugerli, F., *Adaptive vs. neutral genetic diversity: implications for landscape genetics*, Landscape Ecology, 2006; 21(6):797–807.
- Holderegger, R., Herrmann, D., Poncet, B., Gugerli, F., Thuiller, W., Taberlet, P., Gielly, L., Rioux, D., Brodbeck, S., Aubert, S. i Manel, S., *Land ahead: using genome scans to identify molecular markers of adaptive relevance*, Plant Ecology and Diversity, 2008; 1(2):273–283.
- Hubert, J. i Cottrell, J., *The Role of Forest Genetic Resources in helping British Forests Respond to Climate Change*, Information note, Forestry Commission, Edinburgh, 2007.
- Hurka, H., *Conservation genetics and the role of botanical gardens*, w: Sandlund, O.T., Hindar, K. i Brown A.H.D., (red.), Conservation Genetics, Birkhauser Verlag, Bazylea, Szwajcaria, 1994, s. 371–380.
- IPCC 2007a, Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. i Miller, H.L. (red.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 s.
- IPCC 2007b. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. i Hanson, C.E. (red.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 976 s.
- IPCC 2013, Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. i Midgley, P.M. (red.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 s.
- IUCN 2012, *IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1 (second edition)*, Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom, IUCN, iv + 32 s.
- IUCN 2014, *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3*, www.iucnredlist.org, [dostęp: 25 listopada 2014].
- Johnson, S. i Abrams, M.D., *Age class, longevity and growth rate relationship: protracted growth increases in old trees in the eastern United States*, Tree Physiology, 2009; 29:1317–1328.
- Jump, A.S., Hunt, J.M., Martinez-Izquierdo, J.A., i Penuelas J., *Natural selection and climate change: temperature-linked spatial and temporal trends in gene frequency in Fagus sylvatica*, Molecular Ecology, 2006; 15(11):3469–3480.
- Kay, J., Strader, A.A., Murphy, V., Nghiem-Phu, L., Calonje, M. i Griffith, M.P., *Palma Corcho: A Case Study in Botanic Garden Conservation Horticulture and Economics*. HortTechnology, 2011; 21(4):474–81.
- Kliejunas, J.T., *A risk assessment of climate change and the impact of forest diseases on forest ecosystems in the Western United States and Canada*, General Technical Report, PSW-GTR-236, Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 2011, 70 s.
- Koca, D., Smith, S. i Sykes, M.T., *Modelling regional climate change effects on potential natural ecosystems in Sweden*, Climatic Change, 2006; 78:381–406.
- Koskela, J., Buck, A. i Teissier du Cros, E. (red.), *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*, Bioversity International, Rzym, Włochy, 2007, 111 s.
- Koskela, J., Lefevre F., Schüler S., Kraigher H., Olrik DC., Hubert J. et al., *Translating conservation genetics into management: Pan-European minimum requirements for dynamic conservation units of forest tree genetic diversity*, Biological Conservation, 2013; 157:39–49.
- Koskela, J., Buck, A. i Teissier du Cros, E., *Climate change and Forest genetic diversity: implication for sustainable forest management in Europe*, Bioversity International, Rzym, Włochy, 2007.
- Kostiainen, K., Jalkanen, H., Kaakinen, S., Saranpää, P. i Vapaavuori, E., *Wood properties of two silver birch clones exposed to elevated CO₂ and O₂*, Global Change Biology, 2006; 12(7):1230–1240.

- Kremer A., *How well can existing forests withstand climate change? w: Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Bioersivity International, Rzym, Włochy, 2007, s. 3–17.
- Kremer A., 2010, *Evolutionary responses of European Oaks to climate change. Forest Ecosystems Management in the 21st Century*, Proceedings of the Annual Conference of the European Forest Institute, Dublin, September 2009, s. 53–65.
- Kremer, A., Vinceti, B., Alia, R., Burczyk, J., Cavers, S., Degen, B., Finkeldey, R., Fluch, S., Gömöry, D., Gurgerli, F., Koelewijn, H.P., Koskela, J., Lefevre, F., Morgante, M., Mueller-Starck, G., Plomion, C., Taylor, G., Turok, J., Savolainen, O. i Ziegenhagen, B., *Forest ecosystems genomics and adaptation: EVOLTREE conference report*, Tree Genetics and Genomes, 2011; 7:869–875.
- Kremer, A., Ronce, O., Robledo-Arnuncio, J. J., Guillaume, F., Bohrer, G., Nathan, R., Bridle, J. R., Gomułkiewicz, R., Klein, E. K., Ritland, K., Kuparinen, A., Gerber, S. i Schueler, S., *Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change*, Ecology Letters, 2012; 15:378–392.
- Lascoux, M., Palmé, A.E., Cheddadi, R. i Latta, R.G., *Impact of Ice Ages on the genetic structure of trees and shrubs*, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2004;359(1442):197–207.
- Laurance, W. F., *Edge effects in tropical forest fragments: Application of a model for the design of nature-reserves*, Biological Conservation, 1991; 57: 205–219.
- LeCorre, V. i Kremer, A., *The genetic differentiation at quantitative trait loci under local Adaptation*, Molecular Ecology, 2012;21(7):1548–66.
- Lefevre, F., 2007, *Conservation of forest genetic resources under climate change: the case of France*, w: Koskela, J., Buck, A. i Teissier du Cros, E. (red.), *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*, Bioersivity International, Rzym, Włochy, s. 95–101.
- Lefevre, F., Koskela, J., Hubert, J., Kraigher, H., Longauer, R., Olrik, D.C., Schüller, S., Bozzano M., *Dynamic conservation of forest genetic resources in 33 European countries*, Conservation Biology, 2013; 27(2):373–384.
- Liepert, S., Mayland-Quellhorst, E., Lahme, M. i Ziegenhagen, M., *Contrasting geographical patterns of ancient and modern genetic lineages in Mediterranean Abies species*, Plant Systematics and Evolution, 2010; 284(3–4):141–151.
- Loarie, S. R., Duffy, P.H., Hamilton, H., Asner, G.P., Field C.B. i Ackerly D. D., *The velocity of climate change*, Nature, 2009; 462:1052–1055.
- Loss, J., Fady, B., Dawson, I., Vinceti, B. i Baldinelli, G., *Climate change and forest genetic resources – state of knowledge, risks and opportunities*, Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Background Study Paper No. 56, FAO, Rzym, Włochy, 2011a.
- Loss, S.R., Terwillinger, L.A. i Peterson, A.C., *Assisted colonization: Integrating conservation strategies in the face of climate change*, Biological Conservation, 2011b; 144:92–100.
- Lowe, A., Unsworth, C., Gerber S., Davies S., Munro, R., Kelleher, C., King, A., Brewer, S., White, A. i Cottrell, J., *Route, speed and mode of oak postglacial colonisation across the British Isles: Integrating molecular ecology, palaeoecology and modelling approaches*, Botanical Journal of Scotland, 2006; 57(1–2):59–81.
- MacArthur, R.H. i Wilson, E.O., *The Theory of Island Biogeography*, Princeton University Press, 1967, 226 s.
- Madlung, C., *The Effect of Stress on Genome Regulation and Structure*, Annals of Botany, 2004; 94:481–495.
- Manel, S., Joost, S., Epperson, B.K., Holderegger, R., Storfer, A., Rosenberg, M.S., Scribner, K.T., Bonin, A. i Fortin, M.-J.E., *Perspectives on the use of landscape genetics to detect genetic adaptive variation in the field*, Molecular Ecology, 2010; 19(17):3760–3772.
- Maracchi, G., Sirotenko, O. i Bindi, M., *Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe*, Climatic Change, 2005; 70:117–135.
- Marsland, G.A., Haak, H., Jungclaus, J.H., Latif, M. i Röske, F., *The Max-Planck Institute global/sea-ice model with orthogonal curvilinear coordinates*, Ocean Model, 2003; 5:91–127.
- McLachlan, J.S., Hellmann, J.J. et al., *A Framework for Debate of Assisted Migration in an Era of Climate Change*, Conservation Biology, 2007; 21(2):297–302.
- Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Å., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Mage, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Penuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheffinger, H., Striz, M., Susnik, A., vanVliet, A.J.H., Wielgolaski, F.-E., Zach, S. i Zust, A., *European phenological response to climate change matches the warming pattern*, Global Change Biology, 2006; 12:1969–1976.

- Metzger, M.J., Leemans, R., Schröter, D., Cramer, W. i konsorcjum ATEAM, *The ATEAM Vulnerability Mapping Tool*, Quantitative Approaches in System Analysis No. 27, Wageningen, C.T. de Witt Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, CD ROM,
- Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Sayre, R., Trabucco, A. i Zomer, R., 2013, *A high resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research*, *Global Ecology and Biogeography*, 2004; 22(5):630–638.
- Millar, C.I., Stephenson, N.J. i Stephens, S.L., *Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty*, *Ecological Applications*, 2007; 17:2145–2151.
- Myking, T., *Evaluating genetic resources of forest trees by means of life history traits – a Norwegian example*, *Biodiversity and Conservation*, 2002; 11(9):1681–1696.
- Oldfield, S., Lusty, C. i MacKinnon, A., *The World List of Threatened Trees*, World Conservation Press, Cambridge, United Kingdom, 1998, 650 s.
- O'Neill, G.A., Ukrainetz, N.K., Carlson, M.R., Cartwright, C.V., Jaquish, B.C., King, J.N., Krakowski, J., Russell, J.H., Stoehr, M.U., Xie, C. i Yanchuk, A.D., *Assisted migration to address climate change in British Columbia: recommendations for interim seed transfer standards*, British Columbia Ministry of Forests and Range, Victoria, Canada, 2008.
- O'Neill, G.A., *Seed Sourcing 2.0: Assisting Assisted Migration*, Wystąpienie na konferencji Climatech, Zurych, Szwajcaria, 2013.
- Ordóñez, A. i Williams, J. W., *Climatic and biotic velocities for woody taxa distributions over the last 16 000 years in eastern North America*, *Ecology Letters*, 2013; 16(6):773–781.
- Parducci, L., Szmids, A.E. et al., *Genetic variation at chloroplast microsatellites (cpSSRs) in Abies nebrodensis (Lojac.) Mattei and three neighboring Abies species*, *Theoretical and Applied Genetics*, 2001; 102(5):733–740.
- Peischl, S., Dupanloup, I., Kirkpatrick, M., Excoffier, L., *On the accumulation of deleterious mutations during range expansions*, *Molecular Ecology*, 2013; 22:5972–5982.
- Petit, R.J., Csaikl, U.M. et al., *Chloroplast DNA variation in European white oaks: Phylogeography and patterns of diversity based on data from over 2600 populations*, *Forest Ecology and Management*, 2002; 156(1–3):5–26.
- Potter, K.M., Crane, B.S., *Forest Tree Genetic Risk Assessment System: A Tool for Conservation Decision-Making in Changing Times*, User Guide Version 1.2, USDA Forest Service, 2010, 47 s.
- Roeckner, E., Bäuml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornblüeh, L., Manzini, E., Rhodin, A., Schlese, U., Schulzweida, U., Tompkins, A., *The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: model description*, Max-Planck Institute for Meteorology Rep. 349, Hamburg, 2003, 127 s.
- Rotach, P., *General considerations and basic strategies*, w: Lefevre, F., Barsoum, B., Heinze, B., Kajba D., Rotach, P., De Vries, S.M.G. i Turok, I., (red.), *EUFORGEN technical Bulletin: In situ conservation of Populus nigra*, International Plant Genetic Resources Institute, Rzym, Włochy, 2001, s. 8–15.
- Rudow, A., *Sorbus domestica L.*, w: Barenge, N., Rudow, A. i Schwab, P., *Förderung seltener Baumarten auf der Schweizer Alpenmordseite*, ETHZ und BAFU, Federal Office of the Environment, Berno, Szwajcaria, 2001, Folder: 12 ulotek, 92 s.
- Ruiz-Labourdette, D., Schmitz, M.F. i Pineda, F.D., *Changes in tree species composition in Mediterranean mountains under climate change: Indicators for conservation planning*, *Ecological Indicators*, 2013; 24:310–323.
- Rusanen, M. i Granholm, H., 2007, *Finland's National Strategy for Adaptation to Climate Change*, w: Koskela, J., Buck, A. i Teissier du Cros, E., (red.), *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*, Bioversity International, Rzym, Włochy, 2007, s. 85–93.
- Sala, G., Giardina, G. i La Mantia, T., *I fattori di rischio per la biodiversità forestale in Sicilia: il caso studio del cerro di Gussone*, *L'Italia Forestale e Montana*, 2011; 66(1):71–80.
- Sanders, T., Pitman, R. i Broadmeadow, M., *Species-specific climate response of oaks (Quercus spp.) under identical environmental conditions*, *iForest. Biogeosciences and Forestry*, 2014; 7(2):61–69.
- Savolainen, O., Pyhäjärvi, T. i Knürr, T., *Gene Flow and Local Adaptation in Trees*, *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 2007; 38(1):595–619.
- Savolainen, O., Kujala, S.T., Sokol, C., Pyhäjärvi, T., Avia, K., Knürr, T., Kärkkäinen, K. i Hicks, S., *Adaptive Potential of Northernmost Tree Populations to Climate Change, with Emphasis on Scots Pine (Pinus sylvestris L.)*, *Journal of Heredity*, 2011; 102(5):526–36.
- Schäfer, H., *Chorology and Diversity of the Azorean Flora*, *Dissertationes Botanicae*, J. Cramer, Berlin – Stuttgart, 2003, 374 s.

- Schmidting, R., *Use of provenance tests to predict response to climatic change: Loblolly pine and Norway spruce*, *Tree Physiology*, 1994; 14:805–817.
- Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I.C., Araújo, M.B., Arnell, N.W., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T.R., Gracia, C.A., de la Vega-Leinert, A.C., Erhard, M., Ewert, F., Glendining, M., House, J.I., Kankaanpää, S., Klein, R.J.T., Lavorell, S., Linder, M., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T.D., Reginster, I., Rounsevell, M., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Zaehle, S. i Zierl, B., *Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe*, *Science*, 2005; 310: 1333–1337.
- Schueler, S. i Kapeller S., *Effects of Weather Conditions During Seed Maturation on the Adaptive Performance of Seedlings on its Contribution to the Adaptation of Trees to Future Climates*, wystąpienie na konferencji ClimTree, Zurich, 2013.
- Schueler, S., Falk, W., Koskela, J., Lefevre, F., Bozzano, M., Hubert, J., Kraigher, H., Longauer, R. i Olrik, D.C., *Vulnerability of dynamic genetic conservation units of forest trees in Europe to climate change*, *Global Change Biology*, 2014; 20:1498–1511.
- Simberloff, D., *Global climate change and introduced species in United States forests*, *The Science of the Total Environment*, 2000; 262:253–261.
- Skårøppa, T., *Ex situ conservation methods*, w: *Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe*, Arbora Publishers, Zvoilen, 2005, s. 567–583.
- St. Clair, J.B. i Howe, G.T., *Genetic maladaptation of coastal Douglas fir seedlings to future climates*, *Global Change Biology*, 2007; 13:1441–1454.
- St. Clair, J.B. i Howe, G.T., *Strategies for conserving forest genetic resources in the face of climate change*, *Turkish Journal of Botany*, 2011; 35:403–409.
- Tessier du Cros, E., *Forest Genetic Resources Management and Conservation. France as a Case of Study*, Ministry of Agriculture and Fisheries, Bureau of Genetic Resources and Commission of Forest Genetic Resources, Paris, 2001.
- Theilade, I., Petri, L. i Engels, J., *Ex situ conservation through storage and use*, w: FAO, FLD, IPGRI 2004, *Forest genetic resources conservation and management*. t. 3: *In plantations and Genebanks (ex situ)*, International Plant Genetic Resources Institute, Rzym, Włochy, 2004, s. 47–59.
- Thomas C.D., 2011, *Translocation of species, climate change, and the end of trying to recreate past ecological communities*, *Trends in Ecology and Evolution*, 2011; 26(5):216–221.
- Valbuena-Carabana, M.V., González-Martínez, S.C., Sork, V.L., Collada, C., Soto, A., Goicoechea, P.G., Gil, L., *Gene flow and hybridisation in a mixed oak forest (Quercus pyrenaica Willd. and Quercus petraea (Matt.) Liebl.) in central Spain*, *Heredity*, 2005; 95:457–465.
- Villar, M., Chamaillard, S., Barbaroux, C., Bastien, C., Brignolas, F., Faivre Rampant, P., Fichot, R., Forestier, O., Jorge, V. i Rodrigues, S., 2010, *Populus nigra as a keystone species able to cope with the ongoing climate change*, Fifth International Poplar Symposium *Poplars and willows: from research models to multipurpose trees for a bio-based society*, 20–25 September 2010, Orvieto, Włochy, Księga abstraktów, s. 17.
- Yilmaz, O.Y. i Tolunay, D., *Distribution of the major forest tree species in Turkey within spatially interpolated plant heat and hardness zone maps*, *Biogeoscience and Forestry*, 2012; 5:83–92.
- Wang, T., O'Neill, G. A., i Aitken, S. N., *Integrating environmental and genetic effects to predict responses of tree populations to climate*, *Ecological Applications*, 2010a; 20:153–163.
- Wang, T., O'Neill, G. A., i Aitken, S. N., *Projecting future distributions of ecosystem climate niches: Uncertainties and management applications*, *Forest Ecology and Management*, 2010b; 279:128–140.

Z A Ł A C Z N I K

POTENCJALNY ALGORYTM DECYZYJNY DLA OCHRONY ZASOBÓW GENOWYCH W KONTEKŚCIE ZMIAN KLIMATU: DZIAŁANIA, WSKAŹNIKI (Wer. 1.2: Projekt roboczy dla przedstawienia idei rekomendowanego algorytmu decyzyjnego; do opracowania pozostają szczegółowe wskaźniki poszczególnych działań)

o = wskaźnik obligatoryjny (!); xx/yy/zz = wskaźniki alternatywne (LUB); >%/>>%/>>>% = poziom zaniku populacji %

Poziom /Stopień	Działania	Wskaźniki										
		Odpowiedni lasny zasob genetyczny (dane krajowe)	Minimalne wymagania dla obiektu ochrony (EUFGIS, Koskela et al., 2013)	Kryteria sieci podstawowej (de Vries et al., 2015)	Kryteria monitoringu genetycznego obiektu ochrony (Aravanopoulos et al., 2015)	Kryteria uzupełniającego monitoringu genetycznego obiektów (wg niniejszego raportu)	Względna liczba zamierających drzew macierzystych (% na 10 lat)	Bezwzględna liczba zamierających drzew macierzystych poniżej minimalnych wymagań	Specyficzne szkodniki, neofity inwazyjne	Brak odnowienia przez ponad 10 lat	Barierę migracyjną, wyczerpane buforty, wysokościowe	Wysokie prawdopodobieństwo dryfu genetycznego
0. Ogólny												
	Zapobieganie destrukcji siedliska (lub jego odtwarzanie)	o										
	Przeciwdziałanie introdukcji szkodników, neofitów inwazyjnych itp.	o										
1. Ochrona in situ w obiektach ochrony zasobów genowych												
	Ustanowienie obiektu	o										
	Wpis w bazie EUFGIS		o									
	Monitoring demograficzny obiektu		o									
	Obiekt w sieci podstawowej			o								
	Obiekt przedmiotem monitoringu genetycznego				x	x						
2. Działania hodowlane ochrony in situ w obiektach ochrony zasobów genowych												
	Ograniczenie konkurencji i patogenów		o				>%	y	y			
	Odnowienie sztuczne		o							o		
3. Zastąpienie lub reorganizacja ochrony in situ w obiektach ochrony zasobów genowych												
	Zastąpienie przez istniejący równoważny obiekt w strefie „kraj x strefa klimatyczna”		o	o			>>%	y	y	o		
	Duplikacja obiektu w obrębie otoczenia/siedliska		o	o			>>%	y	y	o		
	Rekombinacja duplikatów podobnych/zbliżonych w obrębie otoczenia/siedliska		o	o			>>>%	y	y	o	o	
4. Migracja wspomagana ex situ obiektów ochrony zasobów genowych												
	Duplikacja obiektu w kierunku spodziewanych zmian (2x)			x		x	>>>%	y	y	o	z	z
	Rekombinacja duplikatów obiektu w kierunku spodziewanych zmian (2x)			x		x	>>>%	y	y	o	o	
5. Terenowa ochrona ex situ												
	Kolekcje genotypów w plantacjach zachowawczych, sieciach ogrodów botanicznych			x		x		o		o	o	
6. Statyczna ochrona ex situ												
	Banki nasion, kriokonserwacja, ochrona in vitro			x		x		o		o	o	o



W ciągu ostatnich 50 lat lasy w Europie powiększały zarówno swoją powierzchnię, jak i zasobność, pełniąc jednocześnie rolę pochłaniacza węgla i odzyskując dobrą kondycję po minionej epoce wylesiania. W wielu państwach Europy wdrożono krajowe strategie adaptacji do zmian klimatu oraz inne działania ukierunkowane na wykorzystanie potencjału lasów i sektora leśnictwa do złagodzenia zmian klimatycznych. Wpływ tych zmian na lasy, a szczególnie na ich różnorodność genetyczną, nie został jednak dostatecznie uwzględniony w powyższych działaniach. Z tych powodów grupa robocza EUFORGEN ds. zmian klimatu i ochrony leśnych zasobów genetycznych przedstawiła w niniejszej publikacji wytyczne dotyczące dalszych działań.