

LESZEK BOLIBOK, JACEK ZAJĄCZKOWSKI, DOROTA DOBROWOLSKA, MARCIN MIONSKOWSKI

## Potencjalny zasięg klimatyczny jodły (*Abies alba* Mill.) w Polsce

Potential climatic range for *Abies alba* Mill. in Poland

### ABSTRACT

Bolibok L., Zajączkowski J., Dobrowolska D., Mionskowski M. 2016. Potencjalny zasięg klimatyczny jodły (*Abies alba* Mill.) w Polsce. Sylwan 160 (6): 519-528.

Numerous examples of silver fir stands growing outside its geographical range in northern Poland suggest that this species could be used in a greater extend in creation of managed forest stands. Climatic conditions could potentially constrain the use of this species in some parts of country. The objective of this work was to determine the potential climatic range of *Abies alba* in Poland. The bioclimatic envelope models were used to identify areas in which selected climatic variables show the same range of variability as observed within natural range of this species. Climatic data with 10' spatial resolution were used. The outcome of the analysis depends to large extent on the demarcation of natural range (in which the variability of tolerable climatic conditions is assessed). The model basing on the climatic conditions in whole natural range of silver fir in Europe suggest that almost whole area of Poland is suitable to fir, but models basing only of climatic conditions in Polish part of its natural range are much more conservative. In the last case the difference in extent between natural range and potential climatic range was smaller. As genetic variability of Polish fir populations is rather low, they are supposed to have constrained adaptative abilities. Forest managers should not focus on planting silver fir outside its natural range, but they rather should consider reintroduction of fir in parts of natural range from where it retreated in 20<sup>th</sup> century.

### KEY WORDS

silver fir, natural range potential climatic range, bioclimatic envelopes

### ADDRESSES

Leszek Bolibok <sup>(1)</sup> – e-mail: leszek.bolibok@wl.sggw.pl

Jacek Zajączkowski <sup>(1)</sup>, Dorota Dobrowolska <sup>(2)</sup>, Marcin Mionskowski <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Katedra Hodowli Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

<sup>(2)</sup> Zakład Ekologii Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

<sup>(3)</sup> Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

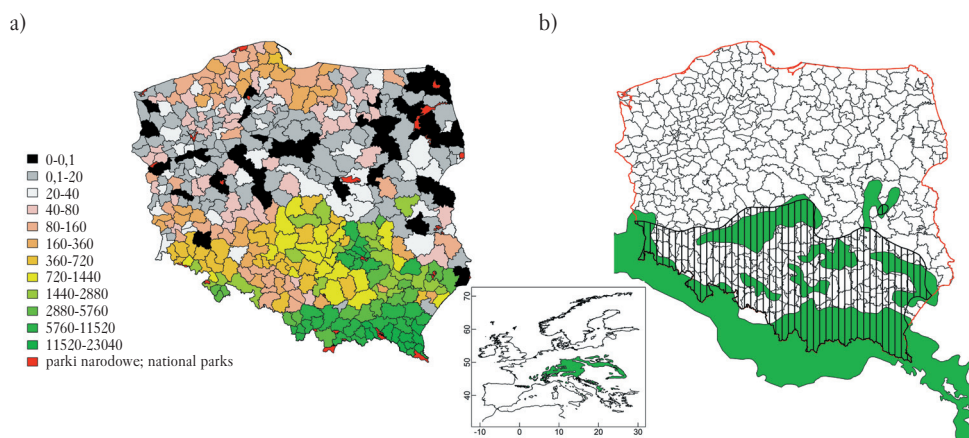
## Wstęp

Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) osiąga w naszym kraju północną granicę swojego zwartego zasięgu geograficznego [Szafer, Zarzycki 1972], chociaż najdalej na północny wschód wysunięte wypowe stanowisko znajduje się obecnie w białoruskiej części Puszczy Białowieskiej [Korczyk i in. 1997; Korczyk 2015]. Jodła opisywana jest jako gatunek wymagający dużej ilości opadów i łagodnych zim. W Polsce najlepiej rośnie w niższych położeniach górskich i w pasie wyżyn

[Jaworski 2011]. Przebieg granicy zwartego zasięgu w Polsce związany jest także z obszarem występowania niskiej temperatury zimą [Włoczewski 1968; Feliksik 1990], natomiast na niżu zasięg ten może być dodatkowo limitowany przez opady poniżej 600 mm [Dengler 1944]. Potencjalne znaczenie gospodarcze przebiegu granicy geograficznego zasięgu jest ogromne, ponieważ można ją interpretować jako linię rozdzielającą obszary o niższym i wyższym ryzyku hodowlanym (ryc. 1a). Praktyczną przydatność takiej linii podważają jednak liczne w naszym kraju przykłady drzewostanów rosnących poza uznanymi granicami zasięgu [Miś 1987, 1988; Zajac, Zajac 2001; Robakowski i in. 2005; Koprowski, Gławenda 2007; Bijak 2010; Działuk i in. 2013; Koprowski 2013].

Drzewostany jodłowe rosnące w północno-zachodniej Polsce, ze względu na ich oddalenie, są jednoznacznie określane przez badaczy jako rosnące poza zasięgiem. Wskazują na to również badania genetyczne [Działuk i in. 2013; Nowakowska 2015]. Granice geograficznego zasięgu jodły w Polsce oparte o analizę jej współczesnego występowania w drzewostanach różnią się dość znacznie w zależności od źródła (ryc. 1b). Ponadto należy wziąć pod uwagę, że trwające przez stulecia wylesienia żyzniejszych terenów, jak również zrębowy charakter dawnej gospodarki leśnej z XIX i początku XX wieku mogły się przyczynić do zaniku wielu stanowisk jodły, co obecnie bardzo utrudnia precyzyjne określenie naturalnej granicy jej zasięgu.

Możliwość szerszego wykorzystania jodły w drzewostanach poza jej geograficznym zasięgiem budzi zainteresowanie leśników [Łukaszewicz 2015]. Liczne przykłady drzewostanów rosnących poza uznanymi granicami zasięgu wydają się potwierdzać taką możliwość. Granice naturalnego zasięgu gatunku są wypadkową jego tolerancji na czynniki abiotyczne, jak również jego zdolności konkurencyjnych pozwalających mu w danych warunkach utrzymać się w drzewostanach wielogatunkowych. Wpływ konkurencji innych gatunków drzewiastych w lasach gospodarczych może być w dużym stopniu kontrolowany. Z gospodarczego punktu widzenia większe znaczenie ma określenie obszaru, w którym warunki klimatyczne umożliwiają bytowanie danego gatunku. Obszar taki jest określanym jako potencjalny zasięg klimatyczny gatunku.



Ryc. 1.

Powierzchnia drzewostanów gospodarczych z jodłą w poszczególnych nadleśnictwach według danych SILP (a) oraz zasięgi geograficznego występowania jodły w Polsce według Szafera i Zarzyckiego [1972] (czarne linie) i EUFORGEN (zielony) (b)

Area of forest stands with silver fir in individual forest district according to the State Forests Information System (a) and natural range of silver fir in Poland according to Szafer and Zarzycki [1972] (black lines) or by EUFORGEN (green) (b)

Próby określenia potencjalnego klimatycznego zasięgu jodły w Europie podjęli Svenning i Skov [2004] oraz Tinner i in. [2013]. Potencjalne zasięgi w obu cytowanych publikacjach różnią się dość znacznie, prawdopodobnie ze względu na różną liczbę analizowanych zmiennych klimatycznych. Potencjalny zasięg klimatyczny jodły zaproponowany przez Svenninga i Skova [2004] obejmuje prawie całą Polskę, a nawet południową Skandynawię. Cytowani autorzy uważają, że proces powrotu jodły z refugium po ostatnim zlodowaceniu jeszcze się nie skończył, wyjaśniając w ten sposób znaczną różnicę między wyznaczonym potencjalnym zasięgiem klimatycznym i zasięgiem naturalnym. Zaproponowany przez Tinnera i in. [2013] potencjalny zasięg klimatyczny występowania jodły jest o wiele mniejszy, ale i tak zdecydowanie szerszy niż dotychczas uznawany zasięg naturalnego występowania tego gatunku.

Podstawą cytowanych analiz była ocena zmienności warunków klimatycznych w całym zasięgu jodły, zdefiniowanym według granic zaproponowanych przez EUFORGEN (<http://www.euforgen.org/distribution-maps>). Potencjalny zasięg klimatyczny jodły był wyznaczany na podstawie skrajnych warunków klimatycznych tolerowanych przez różne populacje tego gatunku rozmieszczone w całej Europie. Tolerancja różnych populacji jodły w stosunku do minimalnej ilości opadów lub temperatury minimalnej może się bardzo różnić w różnych rejonach zasięgu [Jaworski 2011] – nawet do tego stopnia, że w niektórych rejonach Europy w panujących tam warunkach może ona funkcjonować jako gatunek pionierski [Jaworski 2011; Rozman i in. 2013]. Zasięg przedstawiony w publikacjach Svenninga i Skova [2004] oraz Tinnera i in. [2013] nie może być zatem stosowany jako wskazówka gospodarza w Polsce, ponieważ zakres tolerancji naszych rodzimych populacji względem czynników klimatycznych może być mniejszy niż łączny zakres tolerancji populacji jodły z różnych, czasami odległych fragmentów jej zasięgu.

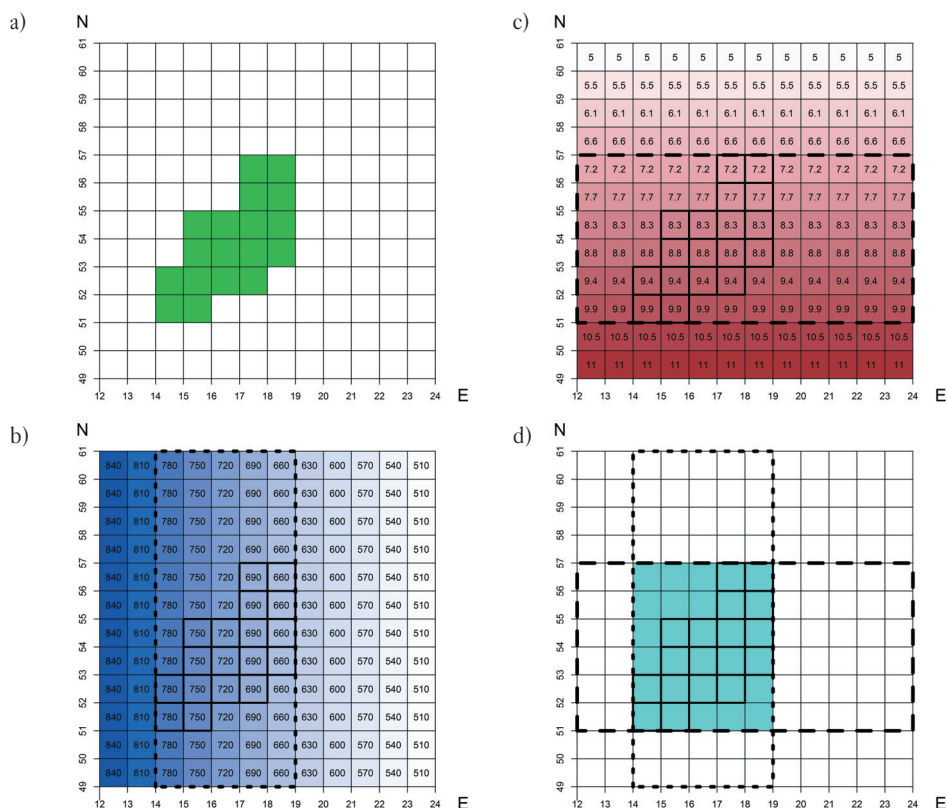
Celem pracy jest określenie potencjalnego zasięgu klimatycznego jodły w Polsce na podstawie zmienności wybranych parametrów klimatycznych obserwowanych na tych obszarach naszego kraju, gdzie jodła zachowała większy udział w drzewostanach.

## Material i metody

Do określenia granic potencjalnego zasięgu klimatycznego w Polsce zastosowano model prostoliniowej obwiedni środowiskowej zaproponowany przez Busby'ego [1990]. Bazuje on na koncepcji niszy ekologicznej Hutchinsona [1957], opisującej wymagania gatunku w wielowymiarowej przestrzeni, której wymiarami są czynniki ekologiczne. Nisza klimatyczna to fragment wspomnianej przestrzeni, wyróżniony na podstawie zakresu zmienności czynników klimatycznych tolerowanych przez dany gatunek. Hutchinson [1957] wyróżnił niszę potencjalną i realizowaną. Nisza realizowana jest węższa od niszy potencjalnej, zazwyczaj wskutek presji innych gatunków. Z tego powodu potencjalny zasięg klimatyczny, czyli zasięg geograficzny, w którym panują warunki klimatyczne tolerowane przez dany gatunek, jest większy od realizowanego zasięgu naturalnego gatunku.

Budowa modelu prostoliniowej obwiedni środowiskowej składa się z trzech etapów (ryc. 2). Najczęściej wymagania w odniesieniu do wybranych parametrów klimatycznych są określane na podstawie zmienności tych parametrów na obszarze uznawanym za zasięg geograficzny gatunku (ryc. 2a). W pierwszym etapie należy więc wybrać obszar, który ma reprezentować zasięg geograficzny gatunku. W drugim etapie badana jest zmienność wybranych parametrów klimatycznych, np. średniej rocznej temperatury (ryc. 2b) lub rocznej sumy opadów (ryc. 2c). W trzecim etapie wyszukiwany jest taki obszar, w którym zmienność każdego z analizowanych parametrów klimatycznych nie jest większa niż w zasięgu geograficznym gatunku (ryc. 2d).

Do analiz wykorzystano dane meteorologiczne w postaci zestawień miesięcznych za okres 1961-1990 o rozdzielczości przestrzennej 10' dla obszaru Europy udostępniane przez Climatic



Ryc. 2.

Schemat budowy modelu obwiedni środowiskowej: identyfikacja zasięgu geograficznego gatunku (a), określenie zmienności opadów atmosferycznych (b) i temperatury powietrza (c) w zasięgu geograficznym gatunku oraz określenie potencjalnego zasięgu klimatycznego, czyli przestrzeni, w której obserwuje się taką samą zmienność warunków klimatycznych jak w zasięgu geograficznym (d)

Construction of bioclimatic envelopes: identification of species natural range (a), assessment of the variability of precipitation (b) and temperature (c) in species natural range and demarcation of potential climatic range where the variability of climatic conditions is the same as in species natural range (d)

Research Unit (University of East Anglia) [New i in. 2002]. Ponieważ wybrane parametry klimatyczne mogą mieć wpływ na wielkość i kształt obszaru wskazywanego przez model, analizy zostały przeprowadzone równoległe z wykorzystaniem różnych parametrów zawartych w niżej przedstawionych publikacjach omawiających zagadnienie potencjalnego zasięgu klimatycznego jodły.

Svenning i Skov [2004] do modelowania potencjalnego zasięgu jodły wykorzystali trzy parametry klimatyczne: teoretyczne absolutne minimum temperatury najchłodniejszego miesiąca wyliczone za pomocą formuły podanej przez Prentice'a i in. [1992], roczną sumę temperatury powyżej 5°C według formuły Prentice'a i in. [1992] oraz bilans wodny określony jako roczna suma miesięcznych różnic opadów i ewapotranspiracji potencjalnej [Lugo i in. 1999]. W swoim modelu Svenning i Skov [2004] nie opierali się na zaobserwowanych ekstremach parametrów klimatycznych, ale na wyliczonych minimalnych i maksymalnych wartościach parametrów klimatycznych. Jako minimum przyjęli wartość 5. percentyla pomniejszoną o  $1/10$  różnicy pomiędzy 25. i 5. percentylem, natomiast jako maksimum wartość 95. percentyla powiększoną o  $1/10$  różnicy pomiędzy 75. i 95. percentylem.

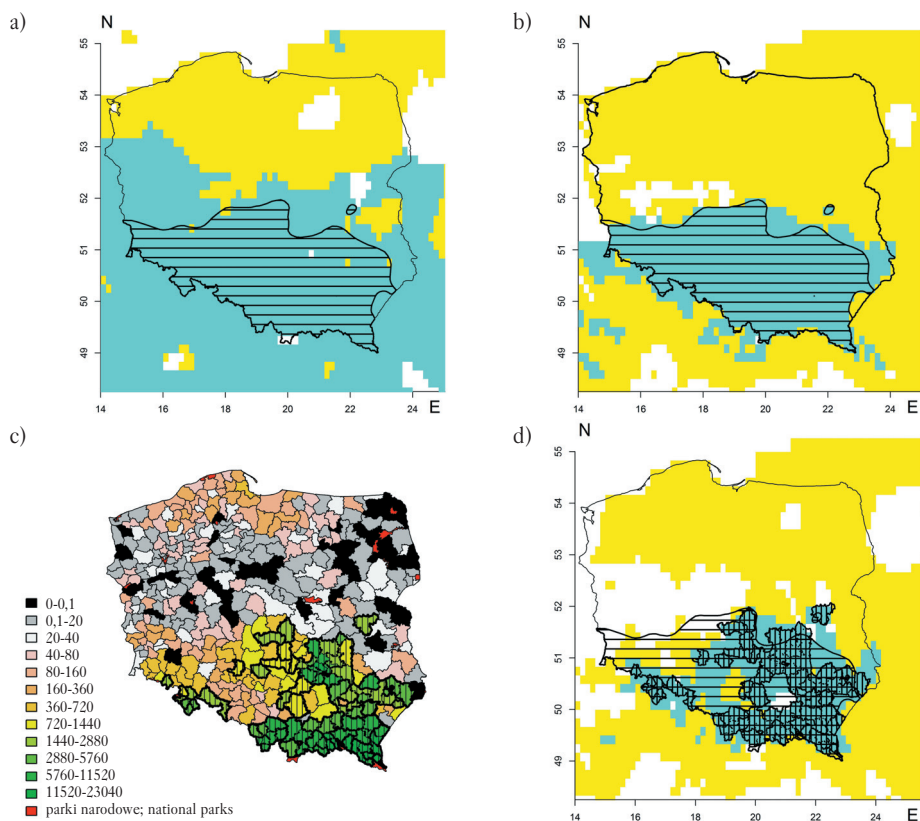
Tinner i in. [2013] do modelowania potencjalnego zasięgu jodły wykorzystali łącznie 86 zmiennych klimatycznych, na które składało się 7 zmiennych klimatycznych w ujęciu miesięcznym (łącznie 7×12 wartości: średnia temperatura [°C], suma opadów [mm], liczba dni z przymrozkiem, procent dni słonecznych, wilgotność względna, średnia amplituda temperatury [°C], liczba dni z opadem co najmniej 1 mm) oraz dwie zmienne w ujęciu rocznym (średnia temperatura powietrza i średnia suma opadów). Wybór dwóch opisanych zestawów zmiennych klimatycznych dawał dodatkowo możliwość porównania potencjalnych zasięgów klimatycznych, określonych przez cytowanych autorów na podstawie danych klimatycznych z całego zasięgu geograficznego jodły w Europie (<http://www.euforgen.org/distribution-maps>) z wynikami uzyskanymi dla zakresu warunków klimatycznych zawężonego do obszaru zasięgu jodły zdefiniowanego przez Szafera i Zarzyckiego [1972].

Powszechność występowania jodły waha się znacznie zarówno w drzewostanach w zasięgu geograficznym określonym przez Szafera i Zarzyckiego [1972], jak też wskazywanym przez EUFORFEN (<http://www.euforgen.org/distribution-maps>) (ryc. 1). Przyjmując, że w rejonach, gdzie jodła jest częściej spotykana, panują dla niej dogodniejsze warunki, oraz biorąc pod uwagę potencjalnie ograniczone zdolności adaptacyjne jej rodzimych populacji, wykonano jeszcze jeden model potencjalnego zasięgu klimatycznego jodły w Polsce, wskazujący obszary o najlepszych dla tego gatunku warunkach klimatycznych w naszym kraju (ryc. 3d). Punktem wyjścia w tym ostatnim modelu była zmienność parametrów klimatycznych obserwowana na terenie tych nadleśnictw, w których powierzchnia drzewostanów z jodłą przekraczała 1000 hektarów.

## Wyniki i dyskusja

Wyniki modelowania potencjalnego zasięgu klimatycznego jodły w Europie Svenninga i Skova [2004] oraz Tinnera i in. [2013] różnią się znacznie. Na rycinie 3a odtworzono potencjalny zasięg klimatyczny jodły dla terenów Polski, bazując na tych samych danych wyjściowych i metodyce zaproponowanej przez cytowanych autorów. W obydwu przypadkach proponowany potencjalny zasięg klimatyczny wybiega poza zasięg geograficzny tego gatunku w Polsce podawany przez Szafera i Zarzyckiego [1972] (por. ryc. 1b). Zasięg proponowany przez Svenninga i Skova [2004] obejmuje prawie całą Polskę (z wyjątkiem małego fragmentu na pograniczu Warmii i Mazur oraz fragmentu Podlasia) i jest zdecydowanie większy niż zasięg określony przez Tinnera i in. [2013], nie tylko dla terenów naszego kraju, ale również dla całej Europy. Tinner i in. [2013] główną przyczynę tej różnicy upatrywali w doborze zmiennych klimatycznych użytych w budowie modelu, a zwłaszcza w zdecydowanie różnej ich liczbie. Modele obwiedni prostoliniowej wykorzystujące większą liczbę zmiennych klimatycznych bywają bardziej konserwatywne, tzn. wskazany przez nie potencjalny zasięg klimatyczny jest mniejszy i bardziej zbliżony do obserwowanego zasięgu geograficznego [Hijmans, Graham 2006; Thorne i in. 2013]. W dalszych analizach wykorzystywano obydwa omawiane podejścia, uznając je za – odpowiednio – optymistyczny i konserwatywny wariant modelowanego potencjalnego zasięgu klimatycznego jodły w Polsce.

Ważnym elementem modelowania potencjalnego zasięgu klimatycznego gatunku jest ustalenie tolerowanej przez niego zmienności parametrów klimatycznych. W omawianych dotychczas modelach przyjęto założenie, że zdolność do tolerowania różnych ekstremów jest oceniana na podstawie całego znanego zasięgu geograficznego gatunku. W przypadku organizmów o dużych zdolnościach do dyspersji na duże dystanse można by usprawiedliwić założenie, że elementy klimatu tolerowane przez osobniki występujące w skrajnie południowej części zasięgu będą również tolerowane przez osobniki na północnej granicy zasięgu. Jednak przeczy takiemu założeniu często obserwowana wśród drzew uwarunkowana genetycznie klinalna zmienność



Ryc. 3.

Potencjalny zasięg klimatyczny jodły w Polsce: według założeń Svenninga i Skova [2004] (żółty) i Tinnera i in. [2013] (niebieski) z uwzględnieniem zmienności parametrów klimatycznych w całym geograficznym zasięgu gatunku (a) lub tylko zasięgu geograficznego jodły w Polsce według Szafera i Żarzyckiego [1972] (b) oraz rozmieszczenie nadleśnictw, w których stwierdzono ponad 1000 ha drzewostanów z udziałem jodły (pionowa szrafura) (c), i potencjalny zasięg jodły na podstawie zmienności parametrów klimatycznych na terenie wyróżnionych nadleśnictw (d)

Potential climatic range of silver fir in Poland modeled according to assumptions of Svenning and Skov [2004] (yellow) or Tinner et al. [2013] (blue) with the use of information on climatic variability in the whole natural range of silver fir (a) and variability in the natural range of silver fir in Poland defined by Szafer and Zarzycki [1972] (b) as well as the forest districts with more than 1000 ha of stands with fir (black lines) (c) and potential climatic range based on climatic variability in their area (d)

reakcji na czynniki klimatyczne [Jaworski 2011]. Analizując doświadczenia proveniencyjne z jodłą na Wyspach Brytyjskich, Kerr i in. [2015] doszli do przekonania, że populacje pochodzące z refugium jodły z epoki lodowcowej (Kalabria) lepiej adaptują się w nowych warunkach, co może mieć związek z większą ich zmiennością genetyczną. Badania genetyczne wskazują, że jodły występujące niegdyś w Kalabrii i Pirenejach nie brały udziału w ekspansji na nowe tereny po cofnięciu się lodowca [Bergmann i in. 1990; Litkowiec, Lewandowski 2015]. Biorąc pod uwagę powyższe fakty, uznano, że poprawniejsze będzie modelowanie potencjalnego zasięgu klimatycznego w skali lokalnej, obejmującej jedynie wybrane populacje. Na rycinie 3b przedstawiono wyniki obydwu poprzednio omawianych strategii modelowania (dla 3 lub 86 parametrów) z uwzględnieniem zmienności parametrów klimatycznych w zasięgu geograficznym jodły w Polsce określonym przez Szafera i Żarzyckiego [1972].

W przypadku modelu optymistycznego (dla 3 parametrów) potencjalny zasięg klimatyczny obejmuje większość powierzchni Polski, w tym również całe Podlasie, Warmię i Mazury, z wyjątkiem niewielkich fragmentów w Wielkopolsce oraz na Ziemi Lubuskiej i Kujawach. Potencjalny zasięg klimatyczny wskazywany przez model konserwatywny jest – jak tego można było oczekiwać – zdecydowanie bliższy zasięgowi geograficznemu jodły w Polsce i wyraźnie mniejszy niż zasięg proponowany przez model konserwatywny, budowany na zmienności parametrów klimatycznych w całym europejskim zasięgu jodły (por. ryc. 3a). Obserwowana różnica jest związana z mniejszym zakresem zmienności parametrów klimatycznych w polskim zasięgu geograficznym jodły, co może również oznaczać mniejszy zakres tolerancji naszych lokalnych populacji tego gatunku.

Badania genetyczne Paule i in. [2002] potwierdzają, że populacje jodły z Karpat Zachodnich charakteryzują się najniższą zmiennością genetyczną. Zdaniem Wolfa [2003] jest to wynik selekcji, jakiej podlegała jodła w drodze z refugium na północ. Badania jodeł z terenów Polski z wykorzystaniem markerów izoenzymowych [Lewandowski i in. 2001; Mejnartowicz 2004] zdają się wskazywać na niski poziom zmienności genetycznej jodły w Polsce, co może się przekładać na jej słabe zdolności adaptacyjne [Larsen 1989].

Biorąc pod uwagę niską potencjalną plastyczność rodzimych pochodzeń jodły, przy rozprzestrzenianiu ich poza zasięg geograficzny należałoby wybierać lokalizacje optymalne pod względem klimatycznym. Jodła nie jest jednakowo powszechna w drzewostanach gospodarczych w całym swoim zasięgu geograficznym w Polsce. Może to wynikać z różnych przyczyn, np. koncepcji hodowlanych realizowanych w różnych rejonach kraju, układu siedlisk, różnego nasilenia szkód związanych z zanieczyszczeniem atmosfery czy presji kopytnych roślinożerców. Można jednak zakładać, że większe szanse na utrzymanie się w drzewostanach miała jodła w korzystnych dla niej warunkach klimatycznych. Przestrzenną zmienność powierzchni drzewostanów z jodłą (takich, gdzie podczas ostatniego cyklu prac urządzeniowych odnotowano obecność jodły, bez względu na jej udział czy warstwę), określaną w skali nadleśnictwa, przedstawiono na rycinie 3c. Za bardziej sprzyjające klimatycznie jodle uznano obszary obejmujące granice administracyjne tych nadleśnictw, w których łączna powierzchnia drzewostanów z jodłą przekraczała 1000 ha.

Na rycinie 3d przedstawiono przestrzenny zasięg optymalnych warunków klimatycznych dla polskich pochodzeń jodły. Biorąc pod uwagę wyniki modelu optymistycznego, budowanego na podstawie zmienności parametrów klimatycznych na obszarze wybranych nadleśnictw, należałoby powstrzymać się z rozpowszechnianiem jodły na znacznych obszarach województwa wielkopolskiego i Ziemi Lubuskiej (ze względu na niekorzystny bilans wodny), jak również na wyspowych obszarach Polski północno-wschodniej oraz w wysokich położeniach górskich (ze względu na niską temperaturę). Wyniki modelu konserwatywnego sugerują, że nawet w zasięgu geograficznym warunki do hodowli jodły nie wszędzie są optymalne, zwłaszcza w północno-zachodniej części Śląskiej Krainy przyrodniczo-leśnej. Z drugiej strony wyniki modelu konserwatywnego wskazują na możliwość wzrostu jodły nawet poza granicami uznanego zasięgu, zwłaszcza w jego północno-wschodniej części: w zachodniej i we wschodniej części województwa lubelskiego, północnej części Ziemi Radomskiej i zachodniej części województwa łódzkiego.

Przy konstruowaniu modelu prostoliniowej obwiedni klimatycznej wszystkie zmienne klimatyczne mają taką samą wagę (dla każdej rozpatrywane jest jej minimum i maksimum), co nie daje podstaw do szczególnej interpretacji tych ważniejszych z punktu widzenia ekologii. Do wytypowania zmiennych klimatycznych wyróżniających obszar wskazany przez model konserwatywny zastosowano automatyczny klasyfikator lasu losowego [Liaw, Wiener 2002]. Ogólny błąd modelu lasu losowego zbudowanego na podstawie 5000 wygenerowanych drzew losowych wyniósł tylko 2%. Użyty algorytm wskazał następujące zmienne klimatyczne najbardziej istotne dla odróżnienia

obszaru potencjalnego zasięgu występowania jodły (wskazanego przez model konserwatywny) od pozostałej części analizowanego obszaru: opady w czerwcu, względna wilgotność powietrza w lipcu, liczba dni z opadem atmosferycznym w czerwcu, liczba dni z opadem atmosferycznym w listopadzie oraz średnia dobowa amplituda temperatury w listopadzie. Wśród wskazanych zmiennych najważniejszych dla prawidłowej klasyfikacji dominują te odnoszące się do opadów w okresie letnim i jesiennym. Model lasu losowego oparty tylko o te zmienne miał błąd ogólny 3,43%, co potwierdza wartość diagnostyczną wybranych zmiennych.

Wskazania modelu optymistycznego korespondują dość dobrze z przestrzennym rozmieszczeniem drzewostanów gospodarczych z jodłą w Polsce. Dobrze odwzorowany przez model został mały udział drzewostanów z jodłą w Wielkopolsce i na Ziemi Lubuskiej, natomiast wyraźna różnica wystąpiła w Polsce północno-wschodniej, gdzie – poza dwoma wyłączonymi rejonami – model przewiduje możliwość hodowli jodły, chociaż w lasach jest jej wyjątkowo mało. Znikomy udział jodły w tych drzewostanach prawdopodobnie nie jest związany z warunkami klimatycznymi. Jodłę spotykaną obecnie na terenach północnej Polski wprowadzali głównie leśnicy niemieccy, począwszy jeszcze od XIX wieku. Na sąsiednich terenach zaboru rosyjskiego (na Suwalszczyźnie) zarówno carska, jak i późniejsza polska administracja leśna nie były zainteresowane wprowadzaniem tego gatunku do upraw. Wskazania modelu konserwatywnego pokrywają się – jak tego można było się spodziewać – z obszarami powszechniejszego występowania jodły w drzewostanach, ale też sygnalizują pewien mniejszy niż w poprzednim modelu potencjał do poszerzenia obszarów, na których można by szerzej wykorzystywać jodłę do tworzenia drzewostanów. Obydwa modele największą wagę przykładają do zmiennych klimatycznych odnoszących się do opadów atmosferycznych w sezonie letnim i jesiennym. Można to traktować jako wskazówkę, aby przy zwiększaniu jej udziału w drzewostanach w obrębie zasięgu lub poza nim wybierać do nasadzeń siedliska zasobniejsze w wilgoć (silnie świeże lub wilgotne) lub też żyzniejsze, o glebach mogących gromadzić więcej wody z opadów. Jest to szczególnie istotne w kontekście prognozowanego ocieplenia klimatu, podczas którego warunki wilgotnościowe mogą ulec pogorszeniu [Zajączkowski i in. 2013].

## Wnioski

- ✦ Potencjalny zasięg klimatyczny jodły w Polsce, wyznaczony na podstawie zmienności parametrów klimatu na obszarze jej występowania, może być podstawą do dyskusji nad rolą tego gatunku w drzewostanach gospodarczych na terenie kraju.
- ✦ Mniej konserwatywny (optymistyczny) model potencjalnego zasięgu sugeruje, aby unikać hodowli jodły jedynie w Wielkopolsce, na Ziemi Lubuskiej i na Kujawach, co jest związane z niekorzystnym bilansem wodnym na tych terenach.
- ✦ Model bardziej konserwatywny skłania do powściągliwości w zakresie propagowania jodły poza jej zasięgiem, sugerując leśnikom skoncentrowanie się na odbudowie udziału jodły w drzewostanach położonych w najbardziej sprzyjających jej obszarach naturalnego zasięgu, w których jej udział został w przeszłości zredukowany w wyniku zamierania związanego z zanieczyszczeniami atmosfery, nadmiernego rozpowszechnienia gospodarki zrębowej lub nadmiernej presji zwierzyny.

## Literatura

- Bergmann F., Gregorius H.-R., Larsen J. B. 1990. Levels of genetic variation in European silver fir (*Abies alba*). *Genetica* 82: 1-10.
- Bijak S. 2010. Tree-Ring Chronology of Silver Fir and Its Dependence on Climate of the Kaszubskie Lakeland (Northern Poland). *Geochronometria* 35: 91-94.



- Busby J. R. 1990. BIOCLIM-a bioclimate analysis and prediction system. W: Margules, C. R., Austin, M. P. [red.]. Nature Conservation Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis.
- Dengler A. 1944. Waldbau auf ökologischer Grundlage Ein Lehr- und Handbuch. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Działuk A., Czarnecki J., Gout R., Filipiak M. 2013. Pochodzenie jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) z Nadleśnictwa Osusznica w świetle badań DNA cytoplazmatycznego – ostoja jodły sudeckiej na Pomorzu? Sylwan 157 (2): 139-148.
- Feliksik E. 1990. Badania dendroklimatologiczne dotyczące jodły (*Abies alba* Mill.) występującej na obszarze Polski, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie. AR, Kraków.
- Hijmans R. J., Graham C. H. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology* 12: 2272-2281.
- Hutchinson G. E. 1957. Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.
- Jaworski A. 2011. Hodowla lasu. Tom III. Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Kerr G., Stokes V., Peace A., Jinks R. 2015. Effects of provenance on the survival, growth and stem form of European silver fir (*Abies alba* Mill.) in Britain. *European Journal of Forest Research* 134: 349-363.
- Koprowski M. 2013. Reaction of Silver Fir (*Abies alba*) Growing Outside its Natural Range to Extreme Weather Events and a Long-Term Increase In March temperature. *Tree-Ring Research* 69: 49-61.
- Koprowski M., Gławenda M. 2007. Dendrochronologiczna analiza przyróstów rocznych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na Pojezierzu Olsztyńskim (Nadleśnictwo Wichrowo). Sylwan 151 (11): 35-40.
- Korczyk A. F. 2015. Rodowa uprawa zachowawcza jodły pospolitej z rezerwatu „Tisovik” w Puszczy Białowieskiej. *Leś. Pr. Bad.* 2015, 76 (2): 153-167. DOI: 10.1515/frp-2015-0015.
- Korczyk A., Kawecka A., Martyssev V., Strelkov A. 1997. Naturalne stanowisko jodły pospolitej [*Abies alba* Mill.] w Puszczy Białowieskiej. *Pr. Inst. Bad. Leśn.* A 836-842: 27-62.
- Larsen J. 1989. Waldbauliche Probleme und Genökologie der Weisstanne (*Abies alba* Mill.). *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung* 160: 39-43.
- Lewandowski A., Filipiak M., Burczyk J. 2001. Genetic variation of *Abies alba* Mill. in Polish part of Sudety Mts. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 70: 215-219.
- Liaw A., Wiener M. 2002. Classification and Regression by random Forest. *R News* 2 (3): 18-22.
- Litkowiec M., Lewandowski A. 2015. Połodowcowa historia jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w Polsce jako efekt migracji z różnych ostoi plejstoceńskich – dotychczasowy stan wiedzy. Sylwan 159 (2): 109-116.
- Lugo A. E., Brown S. L., Dodson R., Smith T. S., Shugart H. H. 1999. The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping. *Journal of Biogeography* 26: 1025-1038.
- Łukaszewicz J. [red.]. 2015. Weryfikacja istniejących zasięgów występowania głównych lasotwórczych gatunków drzew w Polsce na podstawie nowych badań. Dokumentacja IBL.
- Mejnartowicz L. 2004. Genetic analysis of silver-fir populations in the North Carpathian and Sudeten Mountains (Poland). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 73 (4): 285-292.
- Miś R. 1987. Przyrodnicze i gospodarcze znaczenie jodły (*Abies alba* Mill.) na terenie OZLP w Szczecinku. *Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych* 64: 81-90.
- Miś R. 1988. Wydajność drzewostanów mieszanych z udziałem jodły (*Abies alba* Mill.) poza granicami jej naturalnego zasięgu. *Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych*.
- New M., Lister D., Hulme M., Makin I. 2002. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research* 21: 1-25.
- Nowakowska J. 2015. Badania genetyczne populacji wybranych gatunków drzew (świerk pospolity, jodła pospolita, modrzew europejski, buk zwyczajny i dąb bezszypułkowy) na podstawie struktury DNA. W: Łukaszewicz J. [red.]. Weryfikacja istniejących zasięgów występowania głównych lasotwórczych gatunków drzew w Polsce na podstawie nowych badań. Dokumentacja IBL.
- Paule L., Gömöry D., Longauer R., Krajmerová D. 2002. Patterns of genetic diversity distribution in three main Central European mon tane tree species: *Picea abies* Karst., *Abies alba* Mill. and *Fagus sylvatica* L. *Biodiversity and Conservation* 19 (7): 2025-2038. DOI: 10.1007/s10531-010-9823-z.
- Prentice I. C., Cramer W., Harrison S. P., Leemans R., Monserud R. A., Solomon A. M. 1992. Special Paper: A Global Biome Model Based on Plant Physiology and Dominance, Soil Properties and Climate. *Journal of Biogeography* 19: 117.
- Robakowski P., Standio B., Bułaj B. 2005. Występowanie i przydatność hodowlana jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) poza granicami jej naturalnego zasięgu. Sylwan 149 (8): 18-30.
- Rozman A., Vajdetič A., Diaci J. 2013. A protected silver fir (*Abies alba* Mill.) stand in secondary succession on a former pasture in Poljanska Dolina, Slovenia. *Šumarski list* 137: 135-146.
- Skov F., Svenning J.-C. 2004. Potential impact of climatic change on the distribution of forest herbs in Europe. *Ecography* 27: 366-380.
- Svenning J.-C., Skov F. 2004. Limited filling of the potential range in European tree species: Limited range filling in European trees. *Ecology Letters* 7: 565-573.
- Szafer W., Zarzycki K. [red.]. 1972. Szata roślinna Polski. PWN, Warszawa.

- Thorne J. H., Seo C., Basabose A., Gray M., Belfiore N. M., Hijmans R. J. 2013. Alternative biological assumptions strongly influence models of climate change effects on mountain gorillas. *Ecosphere* 4 (9): art. 108.
- Tinner W., Colombaroli D., Heiri O., Henne P. D., Steinacher M., Untenecker J., Vescovi E., Allen J. R., Carraro G., Conedera M. 2013. The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecological Monographs* 83: 419-439.
- Włoczewski T. 1968. Ogólna hodowla lasu: podręcznik dla studentów wydziałów leśnych WSR. PWRiL, Warszawa.
- Wolf H. 2003. Silver fir (*Abies alba*). EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use. Bioversity International.
- Zajac A., Zajac M. 2001. Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce. Laboratory of Computer Corology, Institute of Botany, Jagiellonian University.
- Zajączkowski J., Brzeziecki B., Perzanowski K., Kozak I. 2013. Wpływ potencjalnych zmian klimatycznych na zdolność konkurencyjną głównych gatunków drzew w Polsce. *Sylwan* 157 (4): 253-261.