

Porównanie wzrostu i produktywności jodły olbrzymiej, świerka pospolitego i modrzewia europejskiego w Nadleśnictwie Milicz

Comparison of growth and productivity among grand fir, Norway spruce, and European larch in the Milicz Forest District

Daniel J. Chmura 

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

*e-mail: djchmura@man.poznan.pl

Abstract. Anthropogenic climate change – both ongoing and projected – is likely to lead to global warming and increased disturbance in forest ecosystems, resulting in changes in species distributions and the composition and structure of forest stands. Sustainable forest management aims to maintain and support the full range of ecosystem services. Under changing environmental conditions, ensuring that forests retain the capacity to provide most ecosystem services at current or similar levels will require not only active measures by foresters, but also changes to existing approaches to managing forest ecosystems. Such changes may include the use of introduced non-native species with proven silvicultural suitability in forestry practice.

Grand fir (*Abies grandis* (Douglas ex D. Don) Lindl.), a North American conifer, has a long history of introduction into western Europe, dating back to the 19th and early 20th centuries. However, research sites with this species in Poland are much scarcer, and organized series of provenance trials were established only after the IUFRO-coordinated seed collections of the 1970s. In addition to determining the extent of inter-population trait variation, it is crucial to understand the silvicultural characteristics of the introduced species. The experiment described in this study aimed to compare, under uniform environmental conditions, the growth traits and productivity of two provenances of grand fir (12046 from Vancouver Island, and 12050 from the Washington Cascades) with those of native, highly productive coniferous species: Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst) and European larch (*Larix decidua* Mill.).

The research site was established in spring 1981 in the Milicz Forest District in southwestern Poland. The experiment was designed as 10 randomized complete blocks, with 120-tree-plots planted at a density of 2,500 trees ha⁻¹. Measurements were taken after the end of the 2019 growing season, when the trees were 45 years old (grand fir), 41 years old (spruce), and 40 years old (larch). Measurements included diameter at breast height (DBH) of all living trees and tree heights (30% measured directly, with the remaining heights estimated using Näslund's formula). Individual tree volumes (m³) were calculated and summed to obtain area-based productivity (m³ ha⁻¹).

Statistically significant differences were found between the tested objects for all traits (Table 1, Figure 1). The two compared provenances of grand fir formed a statistically homogeneous group, exhibiting the highest values for the traits studied. The spruce in the experiment showed the lowest values for all traits, except for stand density (Figure 1). Average stand productivity was 784 ± 165 m³ ha⁻¹ (mean $\pm$ SD) for grand fir and was 47% higher than for larch, and 84% higher than for spruce. Larch exhibited average tree heights comparable to grand fir (Figure 1) and a DBH that, although slightly lower, did not differ significantly from that of provenance 12046; however, it showed significantly lower stand volume and density (Figure 1).

The results confirm that grand fir can be a valuable species for cultivation in Poland. When introduced to suitable sites, it can successfully replace Norway spruce and enhance productivity and stability in mixed forest stands. With due caution, the promising results of this study also indicate that appropriate seed source selection is crucial for the adaptive potential of grand fir in novel conditions; however, they do not yet allow specific practical recommendations to be formulated. The limitations of the current study and the limited experimental data available in our country necessitate testing the potential of grand fir in silvicultural practice across a wider range of site conditions. Seed for this purpose should be sampled from populations that have performed well on existing sites, not only experimental ones, but also those located outside Poland.

Słowa kluczowe: adaptacja, *Abies grandis*, introdukcja, gatunki obce, *Larix decidua*, *Picea abies*, zmienność

Keywords: adaptation, *Abies grandis*, introduction, alien species, *Larix decidua*, *Picea abies*, variability

1. Wprowadzenie

Zachodzące i prognozowane na skutek działalności człowieka zmiany klimatu, prawdopodobnie będą prowadziły w ciągu tego wieku do ocieplenia w skali globalnej i zwiększenia dynamiki zjawisk pogodowych (Calvin i in. 2023). Skala i tempo tych zmian mogą przekraczać zdolność obecnie rosnących drzew do modyfikacji cech w reakcji na zmiany warunków środowiskowych, która wynika z ich plastyczności fenotypowej, a także tempo adaptacji populacji drzew, uwarunkowane przez naturalne procesy ewolucyjne (Aitken i in. 2008). Wysoce prawdopodobne są zatem zmiany w ekosystemach leśnych, wynikające ze zmieniających się nisz klimatycznych gatunków drzewiastych (Chakraborty i in. 2021; Dyderski i in. 2025), a także ze zmian w dynamice interakcji zachodzących na poziomie ekosystemów.

Trwale zrównoważona gospodarka leśna dąży do utrzymania i wspierania wszystkich usług ekosystemowych. W zmieniających się warunkach środowiska, zapewnienie zdolności dostarczania przez lasy tych usług na obecnym poziomie będzie wymagało nie tylko aktywnych działań leśników, ale także zmian w dotychczasowym podejściu do gospodarowania ekosystemami leśnymi (Chmura i in. 2010; Szmyt 2020; Gregor i in. 2024). Te zmiany mogą obejmować wykorzystanie w praktyce leśnej introdukowanych gatunków obcych o udowodnionej przydatności hodowlanej. Jednym z takich gatunków, który budzi zainteresowanie, pozostając w fazie badań nad możliwością praktycznego wykorzystania w warunkach Polski jest jodła olbrzymia (*Abies grandis* (Douglas ex D. Don) Lindl.).

Jodła olbrzymia jest gatunkiem pochodzącym z Ameryki Północnej. Jej naturalny zasięg podzielony jest na dwie części – część zachodnia rozciąga się od Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie przez zachodnie części stanów Waszyngton i Oregon, do północno-zachodniego wybrzeża Kalifornii w USA; część wschodnia natomiast, obejmuje stanowiska o klimacie kontynentalnym w południowo-wschodniej Kolumbii Brytyjskiej, wschodniej części stanu Waszyngton i północno-wschodniej części Oregonu, północnej części stanu Idaho i zachodniej części Montany (Foiles i in. 1990). Jodła olbrzymia do Europy trafiła w 1833 roku (Spellmann i in. 2015). Na fali dużego zainteresowania gatunkami obcymi, wprowadzana była w ciągu XIX i na początku XX w., szczególnie w Wielkiej Brytanii i innych krajach zachodnich (Aldhous, Low 1974; Spellmann i in. 2015). Na terenach Polski, które pozostawały w tym czasie pod leśną administracją pruską czy austro-węgierską, istnieje szereg powierzchni doświadczalnych z innymi obcymi gatunkami drzew leśnych (Maciejowski 1951; Tumiłowicz 1970; Masternak i in. 2013; 2018; Panka i in. 2025). Dla jodły olbrzymiej, oprócz pojedynczych doniesień (Białobok 1959), brak jednak starszych doświadczeń tego typu w Polsce.

W latach 70. ubiegłego wieku pod auspicjami IUFRO – Międzynarodowej Unii Leśnych Organizacji Badawczych przeprowadzono zbiór nasion jodły olbrzymiej ze stanowisk obejmujących cały zasięg gatunku, aby w skoordynowany sposób rozpoznać istniejącą w jego zakresie zmienność (Fletcher

1986). Nasiona z tych zbiorów trafiły również do Polski, a zakładanie sieci doświadczeń proveniencyjnych rozpoczęło się w latach 80. ubiegłego wieku (Bellon 1990; Kulej, Półtorak-Kądziółka 1998; Bellon i in. 2005). Wyniki z tych testów dotyczące wzrostu i odporności mrozowej różnych populacji jodły olbrzymiej w fazie młodocianej podsumowane zostały w pracy Bellona (1990), a wyniki dotyczące wzrostu i zdrowotności do wieku 25 lat na powierzchniach doświadczalnych w Arboretum w Rogowie w pracy zbiorowej (Bellon i in. 2005). Niestety, tylko niewielka część z tej serii powierzchni dotrwała do dziś w stanie pozwalającym na ich badawcze wykorzystanie (Banaszczak 2023), z których powierzchnia w Beskidzie Sądeckim jest najintensywniej wykorzystywana w tym względzie (Kulej, Socha 2008; Kulej 2010; Wilczyński, Kulej 2019; Chmura, Banach 2026).

Oprócz rozpoznania zakresu międzypopulacyjnej zmienności cech, niezmiennie istotne jest poznanie hodowlanych i produkcyjnych właściwości introdukowanego gatunku. Celem niniejszej pracy jest porównanie wzrostu i produktywności jodły olbrzymiej i dwóch rodzimych, wysoko produkcyjnych gatunków iglastych – świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) H. Karst) i modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) na powierzchni doświadczalnej w Nadleśnictwie Milicz (południowo-zachodnia Polska) po 39 latach od posadzenia.

2. Metody i materiały

Materiał badawczy stanowią dwie proveniencje jodły olbrzymiej pochodzące z południowej części Wyspy Vancouver (Kanada) – populacja 12046 – Mt. Provost (48.7833 N, 123.7667 W, 75 m n.p.m.) oraz z zachodniej części środkowego regionu Gór Kaskadowych w stanie Waszyngton (USA) – populacja 12050 – West Fort White River (47.1167 N, 121.6000 W, 655 m n.p.m.). Nasiona użyte w doświadczeniu były częścią zbioru przeprowadzonego pod auspicjami IUFRO w latach 1964–1974 (Fletcher 1986). Sadzonki jodły olbrzymiej wyhodowano jako sześciolatki szkółkowane 4/2 w szkółkach nadleśnictw Jugów (12046) i Duszniki (12050).

Jako gatunki porównawcze wykorzystano świerk pospolity i modrzew europejski. Sadzonki świerka wyhodowane zostały jako dwulatki nieszkółkowane 2/0, a dla modrzewia jednolatki nieszkółkowane 1/0 w szkółce Nadleśnictwa Milicz. Niestety, brak informacji o dokładnym pochodzeniu tego materiału.

Powierzchnię badawczą założono wiosną 1981 r. w Nadleśnictwie Milicz – Leśnictwo Lasowice, oddz. 141-h (51.4611 N, 17.2428 E, 198 m n.p.m.) na siedlisku lasu świeżego na glebie płowej właściwej. Średnia temperatura roczna powierzchni doświadczalnej z lat 1991–2020 wynosi 8,8 °C, a suma rocznych opadów 548 mm, z czego większość (321 mm) przypada na okres od maja do września (Climate EU v. 4.63) (Marchi i in. 2020).

Doświadczenie założono w układzie 10 bloków kompletnie zrandomizowanych, umieszczając każdą z populacji (gatunku) na jednym poletku w bloku. Na każdym poletku posadzono 120 drzew w wieńcu 2×2 m w układzie 10 rzędów po 12 drzew

(rozmiar poletka 0,048 ha), czyli w zagęszczeniu 2500 drzew ha^{-1} . Powierzchnia została ogrodzona, a w trakcie trwania doświadczenia wykonano czyszczenia późne (w 2000 r.), prace pielęgnacyjne bez pozyskania (w r. 2011) oraz trzebież wczesną (w r. 2014).

Pomiary na powierzchni wykonano po zakończeniu wzrostu w 2019 r., a więc w wieku 45 lat dla jodły olbrzymiej, 41 lat dla świerka i 40 lat dla modrzewia. Zmierzono pierśnice wszystkich żywych drzew średnicomierzem w dwóch kierunkach oraz wysokości reprezentatywnej próby 30% drzew za pomocą wysokościomierza ultradźwiękowego Vertex IV (Haglöf Sweden AB). Dla pozostałych drzew, wysokości dopasowano z zastosowaniem wzoru Näslunda w pakiecie R 'lmfor' (Mehtätalo 2019). Miąższości indywidualnych drzew wyliczono za pomocą funkcji v_{tree} w pakiecie 'silvaR' (Socha i in. 2026), przy czym dla jodły olbrzymiej przyjęto dane jak dla jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.). Następnie dane dla pierśnicy i wysokości uśredniono na poziomie poletka, a dla miąższości i liczebności drzew zsumowano i przeliczono na hektar. Za pomocą funkcji v_{tab} ('silvaR') wyliczono również referencyjne wartości tablicowe zasobności drzewostanu dla odpowiadającego gatunku, wieku i wysokości drzew.

Dane poletkowe poddano analizie wariancji traktując dwie proveniencje jodły olbrzymiej jako osobne obiekty (tab. 1), a następnie wykonano porównanie średnich za pomocą testu Tukeya. Wszystkie analizy wykonano w środowisku R (R Core Team 2023).

3. Wyniki

Wykazano statystycznie istotne różnice między testowanymi obiektami pod względem wszystkich porównywanych cech, tj. pierśnicy i wysokości drzew, a także zasobności i zagęszczenia drzewostanu (tab. 1, ryc. 1). Obie porównywane populacje jodły olbrzymiej stanowiły jednorodną statystycznie grupę uzyskując najwyższe wartości badanych cech. Średnia zasobność drzewostanu wyniosła dla jodły olbrzymiej $784 \pm 165 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (średnia $\pm$ odch. std.) przy średnim zagęszczeniu 919 ± 99 drzew ha^{-1} , i była większa o 47% od zasobności modrzewia i o 84% od zasobności świerka (ryc. 1).

Świerk uzyskał najniższe wartości wszystkich badanych cech, oprócz zagęszczenia drzewostanu, pod względem którego stanowił wspólną grupę z modrzewiem (ryc. 1d). Modrzew uzyskał podobną do jodły olbrzymiej przeciętną wysokość drzew ($24,1 \pm 1,0 \text{ m}$; ryc. 1b), nieco niższą, lecz nie różniącą się istotnie od proveniencji 12046 pierśnicę ($24,2 \pm 2,6 \text{ cm}$; ryc. 1b), jednak istotnie niższą zasobność i zagęszczenie drzewostanu (Rycina 1c i d). Zagęszczenie drzewostanu wynosiło średnio 37% zagęszczenia wyjściowego dla jodły olbrzymiej, 24% dla modrzewia i 26% dla świerka.

Porównywane populacje jodły olbrzymiej uzyskały znacznie wyższe wartości zasobności drzewostanu (różnice od +11% do +89%) od wartości referencyjnych dla jodły pospolitej (ryc. 2). Podobnie modrzew na badanej powierzchni uzyskał zasobność w większości wyższą od referencyjnej (różnice od -4% do +50%), natomiast świerk uzyskał zdecydowanie niższe od referencyjnej wartości zasobności (różnice od -39% do -60%; ryc. 2).

4. Dyskusja

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy było porównanie wzrostu i produktywności jodły olbrzymiej z rodzimymi, wysoko produkcyjnymi gatunkami iglastymi – świerkiem i modrzewiem. Przedstawione wyniki świadczą o wysokim potencjale tego introdukowanego gatunku w naszych warunkach środowiskowych. Na badanej powierzchni obydwie analizowane populacje jodły olbrzymiej w wieku około 40 lat przewyższyły pod względem produktywności modrzew i świerk, wykazując się ponadto zasobnością przewyższającą tablicowe wartości dla rodzimej jodły. Porównywalne, choć nieco niższe, niż dla jodły olbrzymiej wartości pierśnicy i wysokości dla modrzewia, lecz zdecydowanie niższa zasobność, wskazują, że w przypadku tego gatunku znaczenie miało zagęszczenie drzewostanu, które było istotnie niższe niż dla jodły. Różnica w zagęszczeniu między poletkami obu gatunków wynika prawdopodobnie z wysokiej światłożądności modrzewia, szczególnie w porównaniu z jodłą olbrzymią, której drzewostany mogą być utrzymywane w znacznym zwarcu (Spellmann i in. 2015).

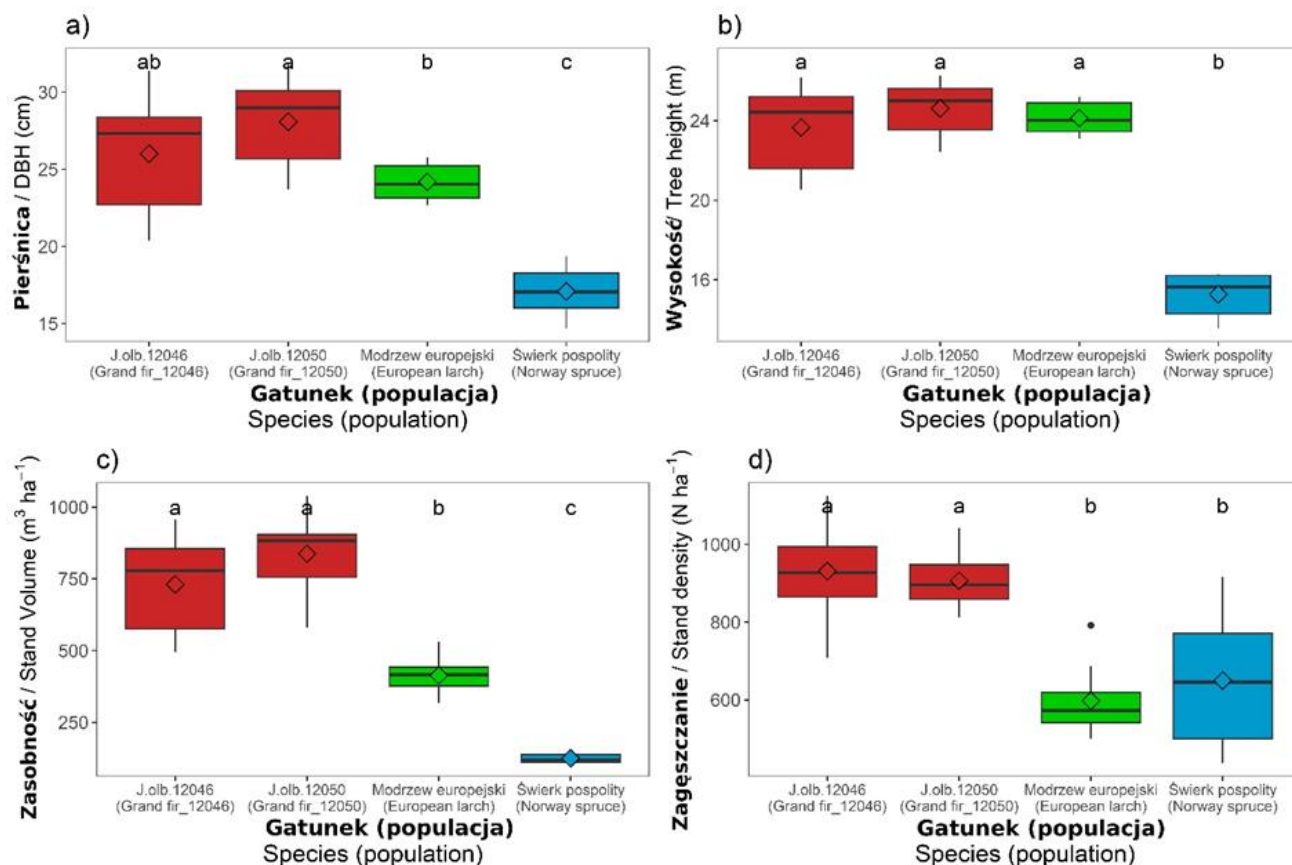
Tabela 1. Tabela analizy wariancji dla doświadczenia porównawczego jodły olbrzymiej, modrzewia europejskiego i świerka pospolitego w Nadleśnictwie Milicz. Pogrubioną czcionką oznaczono efekty istotne statystycznie ($p \leq 0,05$)

Table 1. ANOVA table for the forest experiment comparing grand fir, European larch and Norway spruce in the Milicz Forest Range. Statistically significant effects are shown in bold ($p \leq 0,05$)

Cecha Trait	Źródło zmienności Source of Variance	Stopnie swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of Squares	Wartość statystyki F F Ratio	Prawdop. > F Prob. > F
Pierśnica (cm) DBH (cm)	Obiekty / Objects	3	684,508	55,2245	<0,0001
	Bloki / Blocks	9	119,872	3,2237	0,0088
	Błąd / Error	27	111,555		
Wysokość (m) Height (m)	Obiekty / Objects	3	562,817	57,1634	<0,0001
	Bloki / Blocks	9	55,643	1,8838	0,0983
	Błąd / Error	27	88,612		
Zasobność ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) Stand volume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Obiekty / Objects	3	3122137	103,9262	<0,0001
	Bloki / Blocks	9	225222,2	2,499	0,0317
	Błąd / Error	27	270376,9		
Zagęszczenie (N ha^{-1}) Stand density (N ha^{-1})	Obiekty / Objects	3	885709,6	21,1086	<0,0001
	Bloki / Blocks	9	127701,8	1,0145	0,4532
	Błąd / Error	27	377636,7		

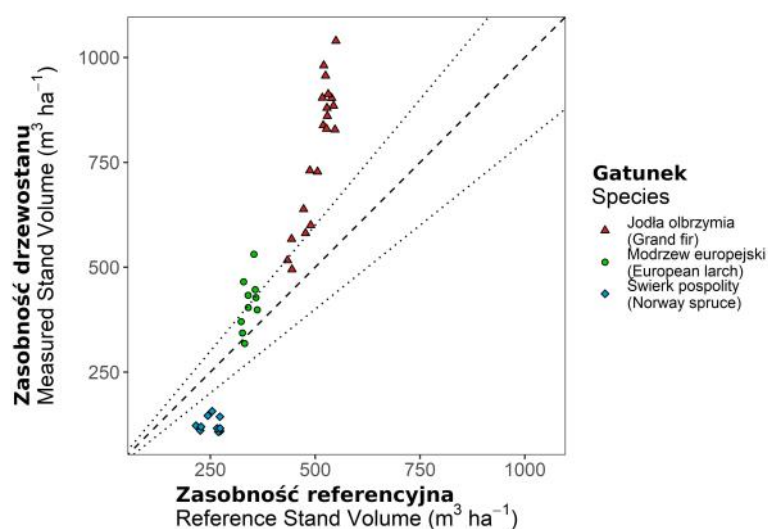
Zdecydowanym przegranym w badanym doświadczeniu jest świerk. Do jego niskiej zasobności z pewnością przyczyniła się niższa od zalecanej dla tego gatunku więźba sadze-

nia (Zasady Hodowli Lasu 2023), ale również wyróżnił się on negatywnie na tle obu porównywanych gatunków pod względem cech przyrostowych. Doświadczenia z Czech



Rycina 1. Zróznicowanie między porównywanymi obiektami doświadczalnymi – dwoma populacjami jodły olbrzymiej oraz modrzewiem europejskim i świerkiem pospolitym pod względem: a) pierśnicy, b) wysokości, c) zasobności drzewostanu oraz d) zagęszczenia drzewostanu. Romb oznacza średnią, pozioma linia wewnątrz pudełka oznacza medianę. Literami oznaczono grupy jednorodnie statystycznie w teście Tukeya ($p \leq 0.05$)

Figure 1. Differences among the compared experimental objects – two populations of grand fir, European larch, and Norway spruce in terms of: a) diameter at breast height, b) height, c) stand volume, and d) stand density. The diamond shows the mean, and the horizontal line within a box shows the median. Letters indicate statistically homogeneous groups according to Tukey's test ($p \leq 0.05$)



Rycina 2. Porównanie zasobności ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) jodły olbrzymiej, modrzewia europejskiego i świerka pospolitego z zasobnością referencyjną (tablicową). Dla jodły olbrzymiej gatunkiem referencyjnym była jodła pospolita. Punkty oznaczają indywidualne poletka na powierzchni porównawczej w Nadleśnictwie Milicz. Przerywaną linią zaznaczono stosunek 1:1, a liniami kropkowanymi wartości podwyższone i obniżone o 20% w stosunku do wartości referencyjnych

Figure 2. Comparison of stand volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) of grand fir, European larch, and Norway spruce with the reference (tabular) stand volume. For grand fir, the reference species was silver fir. The points represent individual study plots at the comparative site in the Milicz Forest District. The dashed line indicates a 1:1 ratio; dotted lines show values that are 20% higher or lower than the reference values

wskazują, że jodła olbrzymia w bezpośrednim porównaniu zdecydowanie prześciga świerk, osiągając zasobność wyższą o 57 i 39% w wieku odpowiednio 35 i 45 lat (Fulín i in. 2013). Jednak głównym problemem ze świerkiem na badanej powierzchni była jego obniżająca się zdrowotność i zamieranie, spowodowane przede wszystkim żerowaniem kornika drukarza. Na przestrzeni lat, które minęły od czasu ostatniego pomiaru, świerk całkowicie wypadł z badanej powierzchni (obserwacja własna autora).

Z uwagi na stosunkowo niewielkie poletka na analizowanej powierzchni doświadczalnej, które jednak są większe od zwykle stosowanych w warunkach leśnych doświadczeń proveniencyjnych (Giertych 1970; Barzdajn i in. 2002), a także ze względu na zastosowaną wyjściową więźbę sadzenia oraz słabsze zabiegi pielęgnacyjne (z uwagi na badawczy charakter powierzchni), absolutne wartości zasobności są z pewnością obciążone błędem. Jednakże, wyniki uzyskane dla jodły olbrzymiej (średnia zasobność $783,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) nie odbiegają od zasobności lub wartości cech wzrostowych uzyskanych na innych powierzchniach z tym gatunkiem w zbliżonym wieku w Polsce i Czechach (Fulín i in. 2017b; Tomec i in. 2023; Chmura, Banach 2026). Podobnie modrzew (średnia zasobność $413,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) uzyskał zasobność porównywalną do obserwowanej w doświadczeniach proveniencyjnych w Rogowie (średnio $482,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Kowalczyk i in. 2015) i w Czechach (w zakresie od 232 do $455 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Kobliha i in. 2013), choć wyższą od wartości w zakresie od $148 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ do $385,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ podawanych z drzewostanów modrzewia w wieku od 34 do 53 lat w Polsce (Chylarecki, 2000). Wartości uzyskane dla świerka, z przyczyn losowych były znacznie niższe od innych doświadczeń w zbliżonym wieku (40–44 lata) (Chmura i in. 2018) lub młodszych (35 lat) (Fulín i in. 2013). Wyniki te stoją też w zdecydowanym kontraście do wartości zasobności drzewostanów świerkowych raportowanych z długookresowych obserwacji w Europie centralnej, wskazujących na zwiększony przyrost i przyspieszony rozwój drzewostanów w porównaniu do okresu przed rokiem 1960 (Pretzsch i in. 2014).

Uzyskane wyniki potwierdzają, że jodła olbrzymia może być wartościowym gatunkiem uprawianym w warunkach centralnej Europy. Przy wprowadzaniu na odpowiednie siedliska, może ona z powodzeniem zastąpić świerk i przyczynić się do wzrostu produktywności i stabilności mieszanych drzewostanów, do których będzie wprowadzana. Co prawda, Magnuszewski (2026) nie wymienia jodły olbrzymiej wśród introdukowanych gatunków drzew wchodzących w zakres zainteresowania hodowli lasu w Polsce, jednak może wynikać to z niewielkiej bazy powierzchni doświadczalnych z tym gatunkiem. W porównaniu z innymi obcymi gatunkami drzew leśnych, dla których istnieją w Polsce powierzchnie zakładane przez pruską czy austro-węgierską administrację leśną (Masternak i in. 2018; 2013; Panka i in. 2025), dla jodły olbrzymiej brak takich powierzchni, które dostarczyłyby wieloletnich obserwacji możliwości adaptacyjnych i produkcyjnych. Analizowana powierzchnia jest częścią prac podję-

tych w ramach skoordynowanych doświadczeń proveniencyjnych z tym gatunkiem rozpoczętych w latach 80-tych ubiegłego wieku (Kulej, Półtorak-Kądziołka 1998; Bellon i in. 2005). Doświadczenie to jest szczególnie cenne, gdyż bezpośrednio porównuje badane gatunki w wyrównanych warunkach, redukując efekt zmienności środowiskowej.

Doświadczenie analizowane w tym artykule trudno nazwać doświadczeniem proveniencyjnym, ponieważ obejmuje tylko dwa pochodzenia jodły olbrzymiej. Analizowane źródła nasion pochodzą z Wyspy Vancouver i zachodnich stoków centralnej części łańcucha Gór Kaskadowych. Proveniencje jodły olbrzymiej z Wyspy Vancouver, w innych doświadczeniach proveniencyjnych założonych w różnych częściach Europy, identyfikowane są jako dobrze aklimatyzujące się i charakteryzujące się dobrym wzrostem i produktywnością (König 1995; Kulej 2008; Rau i in. 2008; Krejzek i in. 2015; Frýdl i in. 2018; Wilczyński, Kulej 2019; Tomec i in. 2023; Chmura, Banach 2026). Wyniki proveniencji z Gór Kaskadowych w stanie Waszyngton są z reguły nieco mniej zadowalające, chociaż lepsze od wyników proveniencji z południowej części Gór Kaskadowych lub wschodniej części zasięgu, ale też zależne od lokalizacji powierzchni doświadczalnej (Rau i in. 2008; Krejzek i in. 2015; Tomec, in. 2023; Chmura, Banach 2026). Obiecujące wyniki, które uzyskano na analizowanej powierzchni badawczej, mogą mieć swoje źródło właśnie w doborze odpowiedniego pochodzenia nasion w ramach gatunku, które istotnie wpływa na zdolność przystosowania w nowych warunkach wzrostu.

Należy odnotować, że uprawa jodły olbrzymiej, jak w przypadku każdego gatunku obcego, może wiązać się z pewnym ryzykiem. W naturalnym zasięgu występowania jodła olbrzymia ma kilka szkodników owadzych (Foiles i in. 1990; Petercord 2011), z których mszyce z rodziny ochojniakowatych (*Adelges piceae*) powodowały szkody notowane również w Wielkiej Brytanii (Aldhous, Low 1974). W Niemczech, na plantacjach jodły olbrzymiej obserwowano występowanie szeliniaka sosnowego (*Hylobius abietis*), a także pojedyncze przypadki mszycy *Dreyfusia nüsslini* (Spellmann i in. 2015). Najczęściej notowanym problemem w uprawie jodły olbrzymiej jest jej podatność na opieńkę miodową (Aldhous, Low 1974; Liesebach i in. 2008; Petercord 2011; Spellmann i in. 2015; Frýdl i in. 2018). Kolejnym, nowym patogenem nabierającym znaczenia może też być *Neonectria neomacrospora* (Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa b.d.), powodująca zamieranie pędów i gałęzi, a obserwowana na plantacjach choinkowych w krajach Skandynawskich i Wielkiej Brytanii (Schmitz i in. 2017). Jodła olbrzymia wydaje się natomiast stosunkowo odporna na korzeniowca sosnowego (*Heterobasidion annosum*) (Aldhous, Low 1974), chociaż na powierzchniach proveniencyjnych w Rogowie odnotowano silne porażenie przez tego patogena (Buraczyk – informacja ustna). W Czechach, w doświadczeniach proveniencyjnych jodły olbrzymiej obserwowano również masowy pojaw korników z rodzaju *Pityokteines*, a także mszyc *Dreyfusia* poprzedzony występowaniem opieńki,

prawdopodobnie na skutek intensywnej suszy (Fulín i in. 2017a). Podobnie, powierzchnie doświadczalne założone w Arboretum w Rogowie w ramach tej samej serii badań IUFRO, co opisywane tutaj doświadczenie, zostały już zlikwidowane ze względu na masowe zamieranie drzew z powodu żerów jodłowca kolcozębnego, które nastąpiło w wieku 30–40 lat (Banaszczak 2023).

Jodła olbrzymia opisywana jest jako odporna na suszę (Spellmann i in. 2015), chociaż w Wielkiej Brytanii obserwowano przedwczesne zamieranie drzew na suchych stanowiskach (Aldhous, Low 1974). Wykazano także międzypopulacyjne zróżnicowanie w reakcji na kontrolowaną suszę (Scholz, Stephan 1982). Obserwacje dotyczące odporności na późne przymrozki dają zróżnicowane wyniki (Aldhous, Low 1974; Spellmann i in. 2015), a również wskazują na wewnątrzgatunkowe zróżnicowanie w zależności od pochodzenia nasion (Scholz, Stephan 1982). Z uwagi na głęboki system korzeniowy, jodła olbrzymia jest stosunkowo odporna na wywroty pod wpływem wiatru, z wyjątkiem wilgotnych stanowisk (Aldhous, Low 1974), a bardziej podatna na złamanie w koronie (Spellmann i in. 2015). Tego typu uszkodzenia obserwowano również na badanej powierzchni, jednak bez analizy ilościowej (obserwacja własna autora). Jodła olbrzymia nie powinna być sadzona w miejscach ze stagnującą wodą (König 1995), a na stanowiskach z wysokim poziomem wody gruntowej wzrasta tendencja do rozwidlenia pnia (Spellmann i in. 2015). W suchych warunkach mogą tworzyć się natomiast pęknięcia strzały, powodujące straty jakościowe (Aldhous, Low 1974; Rau i in. 2008).

Należy podkreślić, że prezentowane wyniki pochodzą tylko z jednej powierzchni doświadczalnej. Wskazane jest zatem zachowanie dużej ostrożności w wyciąganiu głęboko idących wniosków z tak niewielkiej próby. Niemniej, wyniki niniejszych badań, jak również z innych, jeszcze istniejących powierzchni w kraju (Kulej 2010; Chmura, Banach 2026), zdają się potwierdzać przydatność jodły olbrzymiej do uprawy w Polsce w sprzyjających warunkach siedliskowych. Jodła olbrzymia jest gatunkiem szybko rosnącym. Kulminacja przyrostu na wysokość następuje w wieku 15–20 lat (Spellmann i in. 2015). Podobnie, maksimum bieżącego rocznego przyrostu grubości przypada na wiek od 10 do 13 lat, a kulminacja bieżącego przyrostu miąższości na wiek od 30 do 44 lat (Fulín i in. 2013). Może być zatem traktowana jako gatunek nadający się do skróconych kolei rębny, co wpisuje się w postulowane obniżanie wieku rębności jako część strategii przeciwdziałania negatywnym skutkom prognozowanych zmian klimatu, w zależności od zakładanej funkcji lasu (Bolte i in. 2009; Bréda, Brunette 2019; Zimová i in. 2020). Mając jednak na uwadze negatywne efekty uprawy tego gatunku w Arboretum w Rogowie, gdzie po początkowej fazie obiecujących wyników (Bellon i in. 2005) problemy ujawniły się po wieku 25 lat, wysoce wskazane byłoby założenie szerszej sieci nowych powierzchni pozwalających przetestować praktyczne aspekty uprawy tego gatunku.

Mimo wymienionych powyżej potencjalnych problemów w uprawie jodły olbrzymiej, przedstawione wyniki doświadczenia porównawczego wskazują, że gatunek ten powinien być rozważany jako możliwy do włączenia do składu odnowień w celu tworzenia drzewostanów o zróżnicowanym składzie gatunkowym i strukturze przestrzennej. Obecność jodły olbrzymiej może korzystnie wpływać na gleby leśne (Fulín 2015). Wprawdzie prognozy dotyczące zmian nisz klimatycznych dla obcych gatunków drzew w Europie wskazują, że klimat na obszarze naszego kraju w ciągu tego wieku może stać się niekorzystny dla wzrostu, m.in. jodły olbrzymiej (Puchałka i in. 2023), niemniej są one obarczone dużą dozą niepewności. W świetle zachodzących i prognozowanych zmian w ekosystemach leśnych pod wpływem zmian klimatu, włączenie jodły olbrzymiej do zestawu uprawianych gatunków może stanowić element rozpraszania ryzyka w adaptacyjnym zarządzaniu w ramach wielofunkcyjnej gospodarki leśnej (Chmura i in. 2010; Szmyt 2020).

Wyniki prezentowanego doświadczenia są obiecujące, jednak nie pozwalają na formułowanie konkretnych zaleceń gospodarczych. W wieku około 40 lat jodła olbrzymia może przewyższać modrzew i świerk pod względem produktywności, pod warunkiem wzrostu w odpowiednich warunkach siedliskowych. Może być potencjalnie gatunkiem zwiększającym zróżnicowanie gatunkowe i strukturalne, a także wspomagającym produktywność przyszłych drzewostanów, prawdopodobnie prowadzonych w skróconej kolei rębności. W literaturze niemieckiej zaleca się wprowadzanie jodły olbrzymiej w drzewostanach mieszanych z bukiem, lipą drobnolistną, jodłą pospolitą i modrzewiem, ale także z dągleżą czy dębem czerwonym (Spellmann i in. 2015). Gatunek ten może również odnawiać się naturalnie, co obserwowano też na opisywanej powierzchni, gdzie obfite odnowienie jodły występuje na poletkach modrzewiowych z większą dostępnością światła, a szczególnie w lukach powstałych po rozpadzie drzewostanu świerkowego (obserwacja własna autora). Ograniczona dostępna baza doświadczalna w naszym kraju wymaga przetestowania potencjału jodły olbrzymiej w praktyce hodowli lasu w szerszym zakresie warunków siedliskowych. Jako źródła nasion do tego celu powinny być wykorzystane populacje dobrze sprawdzające się na istniejących powierzchniach, nie tylko doświadczalnych, również spoza naszych granic.

Źródła finansowania badań

Badania były finansowane ze środków statutowych Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk.

Konflikt interesów

Autor deklaruje brak konfliktu interesów.

Podziękowania

Autor składa serdeczne podziękowania dr Annie Filipiak za pomoc w przeprowadzeniu prac pomiarowych.

Literatura

- Aitken S.N., Yeaman S., Holliday J.A., Wang T., Curtis-McLane S. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations, *Evolutionary Applications* 95–111.
- Aldhous J.R., Low A.J. 1974. The potential of Western hemlock, Western red cedar, Grand fir and Noble fir in Britain, Forestry Commission bulletin. H.M. Stat. Office, London.
- Banaszcak P. 2023. Arboretum w Rogowie. Najcenniejsze kolekcje. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Barzdajn W., Kowalkowski W., Rzeźnik Z. 2002. Doświadczenie proveniencyjne nad zmiennością buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) serii 1993/1995 w Polsce, *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Leśnictwo* 40: 3–18.
- Bellon S. 1990. Dotychczasowe wyniki badań proveniencyjnych z jodłą olbrzymią (*Abies grandis* Lindl.) w Polsce, *Sylwan* 134: 27–35.
- Bellon S., Bernadski E., Żybura H., Andrzejczyk T., Brzeziecki B., Drozdowski S., Bolibok L., Buraczyk W., Szeligowski H., Gawron L., Żybura B., Grzywacz A., Aleksandrowicz-Trzcińska M. 2005. Jodła olbrzymia (*Abies grandis* Lindl.) różnego pochodzenia na powierzchniach doświadczalnych LZD Rogów. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Białobok S. 1959. Ausländer-Holzarten auf Versuchsflächen in Polen. *Archiv für Forstwesen* 8: 865–884.
- Bolte A., Ammer C., Löf M., Madsen P., Nabuurs G.-J., Schall P., Spatthelf P., Rock J. 2009. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept, *Scandinavian Journal of Forest Research* 24: 473–482. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827580903418224>.
- Bréda N., Brunette M. 2019. Are 40 years better than 55? An analysis of the reduction of forest rotation to cope with drought events in a Douglas fir stand. *Annals of Forest Science* 76, 29. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0813-3>.
- Calvin K., Dasgupta D., Krinner G., Mukherji A., Thorne P.W., Trisos C., Romero J., Aldunce P., Barrett K., Blanco G., Cheung W.W.L., Connors S., Denton F., Diongue-Niang A., Dodman D., Garschagen M., Geden O., Hayward B., Jones C., Jotzo F., Krug T., Lasco R., Lee Y.-Y., Masson-Delmotte V., Meinshausen M., Mintenbeck K., Mokssit A., Otto F.E.L., Pathak M., Pirani A., Poloczanska E., Pörtner H.-O., Revi A., Roberts D.C., Roy J., Ruane A.C., Skea J., Shukla P.R., Slade R., Slangen A., Sokona Y., Sörensson A.A., Tignor M., Van Vuuren D., Wei Y.-M., Winkler H., Zhai P., Zommers Z., Hourcade J.-C., Johnson F.X., Pachauri S., Simpson N.P., Singh C., Thomas A., Totin E., Alegría A., Armour K., Bednar-Friedl B., Blok K., Cissé G., Dentener F., Eriksen S., Fischer E., Garner G., Guivarch C., Haasnoot M., Hansen G., Hauser M., Hawkins E., Hermans T., Kopp R., Leprince-Ringuet N., Lewis J., Ley D., Ludden C., Namiir L., Nicholls Z., Some S., Szopa S., Trewin B., Van Der Wijst K.-I., Winter G., Witting M., Birt A., Ha M. 2023. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (red.). IPCC, Geneva, Switzerland. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
- Chakraborty D., Mórész N., Rasztovits E., Dobor L., Schueler S. 2021. Provisioning forest and conservation science with high-resolution maps of potential distribution of major European tree species under climate change, *Annals of Forest Science* 78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01029-4>.
- Chmura D.J., Banach J. 2026. *Abies grandis* (Douglas ex. D. Don) Lindl. productivity in central European provenance trial reflects populations' adaptation to seed source climate, *Scientific Report* 16. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-026-54972-5>.
- Chmura D.J., Howe G.T., Anderson P.D., Clair J.B.S. 2010. Przystosowanie drzew, lasów i leśnictwa do zmian klimatycznych, *Sylwan* 154: 587–602.
- Chmura D.J., Matras J., Barzdajn W., Buraczyk W., Kowalkowski W., Kowalczyk J., Rożkowski R., Szeligowski H. 2018. Variation in growth of Norway spruce in the IUFRO 1972 provenance experimental series, *Silvae Genetica* 67: 26–33. DOI: <https://doi.org/10.2478/sg-2018-0004>.
- Chylarecki H. 2000. Modrzewie w Polsce. Dynamika wzrostu, rozwój i ekologia wybranych gatunków i ras. Bogucki Wydawnictwo Naukowe S.C., Warszawa.
- Dyderski M.K., Paż-Dyderska S., Jagodziński A.M., Puchalka R. 2025. Shifts in native tree species distributions in Europe under climate change, *Journal of Environmental Management* 373: 123504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123504>.
- Fletcher A.M. 1986. IUFRO *Abies grandis* provenance experiments: nursery stage results, *Forestry Commission Research and Development Paper* 139.
- Foiles M.W., Graham R.T., Olson Jr. D.F. 1990. Grand Fir. Silvics of North America. <https://research.fs.usda.gov/silvics/grand-fir> (dostęp 23.06.2026).
- Frýdl J., Dostál J., Beran F., Čáp J., Fulín M., Frampton J., Božič G., Mátyás C. 2018. Exotic Abies Species in Czech Provenance Trials: Assessment after Four Decades, *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 14: 9–34. DOI: <https://doi.org/10.2478/aslh-2018-0001>.
- Fulín M. 2015. Silviculture, production potential and ecological effects of Grand fir (*Abies grandis*/Douglas ex D. Don/Lindl.) in the Czech Republic – review, *Forestry Journal* 61: 262–266. DOI: <https://doi.org/10.1515/forj-2015-0035>.
- Fulín M., Novotný P., Podrázský V., Beran F., Dostál J., Jehlička J. 2017a. Evaluation of the provenance plot “Hrubá Skála” (Northern Bohemia) with grand fir at the age of 36 years, *Journal of Forest Science* 63: 75–87. DOI: <https://doi.org/10.17221/79/2016-JFS>.
- Fulín M., Podrázský V., Novotný P. 2017b. Produkční potenciál jedle obrovské v podmínkách Černokostelecká, *Lesnická práce* 95: 24–25.
- Fulín M., Reme, J., Tauchman P. 2013. Růst a produkce jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) ve srovnání z jinými jehličnany, *Zprávy lesnického výzkumu* 58: 186–192.
- Giertych M. 1970. Doświadczenia proveniencyjne nad świerkiem pospolitym (*Picea abies* (L.) Karst.) założone w roku 1969 (A provenance experiment on Norway spruce (*Picea abies* Karst.) established in 1969, *Arboretum Kórnickie* 15: 263–276.
- Gregor K., Reyer C.P.O., Nagel T.A., Mäkelä A., Krause A., Knoke T., Rammig A. 2024. Reconciling the EU forest, biodiversity, and climate strategies, *Global Change Biology* 30: e17431. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.17431>.
- Kobliha J., Stejskal J., Lstibůrek M., Marušák R., Slávik M. 2013. Selection of European larch provenances based on productivity and economic values, *Journal of Forest Science* 59: 424–435. DOI: <https://doi.org/10.17221/49/2013-JFS>.
- König A. 1995. Geographic variation of *Abies grandis*-provenances grown in Northwestern Germany, *Silvae Genetica* 44: 248–255.
- Kowalczyk J., Matras J., Kulej M., Banach J., Barzdajn W., Kowalkowski W., Szeligowski H., Buraczyk W., Chałupka W.R., Chmura D.J., Wojda T., Klisz M., Szyper-Borowska I., Rzońca M., Sułkowska M., Guziejko A., Przyborowski J., Kantorowicz W., Garbień-Pieniążkiewicz D. 2015. Genetyczne uwarunkowania procesów adaptacyjnych u wybranych gatunków w kontekście przewidywanych zmian klimatycznych (Sprawozdanie końcowe No. BLP-364). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Krejzek R., Novotný P., Podrázský V., Beran F., Dostál J. 2015. Evaluation of the IUFRO provenance plot with grand fir in the Habr locality (Western Bohemia) at the age of 31 years. *Journal of Forest Science* 61: 551–561. DOI: <https://doi.org/10.17221/74/2015-JFS>.
- Kulej M. 2010. Genetic and silvicultural value of selected grand fir (*Abies grandis* Lindl.) provenances in Beskid Sądecki, *Forest Research Papers* 71: 249–256. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10111-010-0021-2>.
- Kulej M. 2008. Dynamika wzrostu jodły olbrzymiej (*Abies grandis* Lindl.) różnych pochodzeń w warunkach górskich Beskidu Sądeckiego, *Leśne Prace Badawcze* 69: 299–307.
- Kulej M., Półtorak-Kądziołka A. 1998. Jodła olbrzymia (*Abies grandis* Lindl.) w warunkach górskich Polski na przykładzie powierzchni doświadczalnej w LZD Krynica, *Sylwan* 142: 39–53.
- Kulej M., Socha J. 2008. Effect of provenance on the volume increment of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) under mountain conditions of Poland, *Journal of Forest Science* 54: 1–8. DOI: <https://doi.org/10.17221/794-JFS>.

- Liesebach M., Schüler S., Weißenbacher L. 2008. Herkunftsversuche der Küstentanne (*Abies grandis* [D. Don]Lindl.) in Österreich: Eignung, Wuchsleistung und Variation, *Austrian Journal of Forest Science* 125: 183–200.
- Maciejowski K. 1951. Egzoty naszych lasów. PWRiL, Warszawa.
- Magnuszewski M. 2026. Obce gatunki drzew leśnych a hodowla lasu w Polsce, *Leśne Prace Badawcze* 86. DOI: <https://doi.org/10.48538/lpb-2026-0007>.
- Marchi M., Castellanos-Acuña D., Hamann A., Wang T., Ray D., Menzel A. 2020. Climate EU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe, *Scientific Data* 7: 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00763-0>.
- Masternak K., Banach J., Głębocka K., Wajdzik M. 2018. Genetic variability in pitch pine (*Pinus rigida* Mill.) growing in the Niepołomice Forest as determined by ISSR markers, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 87. DOI: <https://doi.org/10.5586/asbp.3593>.
- Masternak K., Kuzniar A., Banach J. 2013. Characteristics of shagbark hickory in the Niepołomice Primeval Forest in Southern Poland, *Austrian Journal of Forest Science* 130: 239–254.
- Mehtätalo L. 2019. Imfor: Functions for Forest Biometrics. R package version 1.3.
- Panka S., Słupska A., Sierota Z. 2025. Introdukcja obcych gatunków drzew w lasach Warmii i Mazur – historia i oczekiwania. LPB 85, 30. DOI: <https://doi.org/10.48538/lpb-2025-0004>.
- Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa b.d. Nowe zagrożenia dla Polski i UE. <https://www.gov.pl/web/piorin/nowe-zagrozenia-dla-polski-i-ue> (dostęp 26.06.2026).
- Petercord R. 2011. Von Donnerbüschen, Rüsslern, Saurem Regen und Rehen zur Waldschuttsituation der Weißtanne und der Küstentanne, in: Wälder Im Klimawandel - Weißtanne Und Küstentanne, LFW Wissen 66. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising, s. 28–40.
- Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Uhl E., Rötzer T. 2014. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870, *Nature Communication* 5: 4967. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms5967>.
- Puchalka R., Paż-Dyderski S., Jagodziński A.M., Sádlo J., Vítková M., Klisz M., Koniakin S., Prokopuk Y., Netsvetov M., Nicolescu V.-N., Zlatanov T., Mionskowski M., Dyderski M.K. 2023. Predicted range shifts of alien tree species in Europe, *Agricultural and Forest Meteorology* 341: 109650. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109650>.
- R Core Team 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (dostęp 26.06.2026).
- Rau H.-M., König A., Ruetz W., Rumpf H., Schönfelder E. 2008. Ergebnisse des westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuches im Alter 27, Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. Göttingen University Press, Göttingen. DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2008-271>.
- Schmitz S., Charlier A., Chandelier A. 2017. First report of *Neonectria neomacrospora* on *Abies grandis* in Belgium, *New Disease Reports* 36: 17. DOI: <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2017.036.017>.
- Scholz F., Stephan B.R. 1982. Growth and reaction to drought of 43 *Abies grandis* provenances in a greenhouse study, *Silvae Genetica* 31: 27–35.
- Socha J., Hawryło P., Tymińska-Czabańska L., Woda M., Janiec P. 2026. Development of regionalised stand level volume increment models for the main forest forming tree species in Poland using GAM and artificial chronosequences of forest growth, *Forest Ecology and Management* 603: 123433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.123433>.
- Spellmann H., Brang P., Hein S., Geb M. 2015. Baumartenportraits: Große Küstentanne (*Abies grandis* Dougl. ex D. Don Lindl.), W: T. Vor, H. Spellmann, A. Bolte, C. Ammer (red.), Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten. Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung, Göttinger Forstwissenschaften. Universitätsverlag Göttingen, s. 29–45.
- Szmyt J. 2020. Hodowla lasu wobec zmian klimatycznych – wyzwania, ograniczenia, perspektywa Silviculture and climate change – challenges, limitations and perspective, *Sylwan* 164: 881–895.
- Tomec J., Dostál J., Fulín M., Beran F., Novotný P. 2023. Vyhodnocení provenienční plochy IUFRO s jedlí obrovskou na lokalitě Drahenice ve středních Čechách ve věku 41 let. *ZLV* 68: 240–255. DOI: <https://doi.org/10.59269/zlv/2023/4/711>.
- Tumiłowicz J. 1970. Obce gatunki drzew w naszych lasach, *Sylwan* 114: 60–65.
- Wilczyński S., Kulej M. 2019. The growth of seven *Abies grandis* provenances in the climatic conditions of the Polish Carpathian Mountains, *Dendrobiology* 81: 1–13. <https://doi.org/10.12657/denbio.081.001>.
- Zasady Hodowli Lasu 2023. Załącznik nr 1 do Zarządzenia DGLP nr 108 z dnia 05 grudnia 2023 r. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, Warszawa.
- Zimová S., Dobor L., Hlásny T., Rammer W., Seidl R. 2020. Reducing rotation age to address increasing disturbances in Central Europe: Potential and limitations, *Forest Ecology and Management* 475: 118408. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118408>.