

Pierwsze polskie doświadczenia proveniencyjne z jodłą pospolitą *Abies alba* Mill.

The first Polish provenance experiments with silver fir *Abies alba* Mill.

Stanisław Gunia¹, Jan Łukaszewicz^{2*}, Henryk Szeligowski¹ 

¹Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Hodowli Lasu, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

²Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

*Tel. +48 22 7150682, e-mail: J.Lukaszewicz@ibles.waw.pl

Abstract. Silver fir *Abies alba* Mill. provenance trials started in Poland a few years after Pavari (1951) proved that the origin of this tree species influences its genetic variability. Further confirmation came from provenance trials, which selected provenances for cultivation in Denmark and showed provenance-dependent genetic variability even within a relatively small area such as the Czech Republic. The Polish trial, started in 1960, compared 6 provenances from the West and Central Carpathian region (4 from Poland, 2 from Slovakia) and 3 from the Hercynic region (Czech Republic). The trial was established in the Experimental Forests of the Warsaw University of Life Sciences in Rogów, at the northern border of the natural silver fir range. Results from the nursery stage experiments proved the existence of latitudinal and altitudinal clines based on data for seed weight, height growth, number of terminal buds as well as bud and needle development. The Polish provenance ‘Stary Sącz’ and two Slovak provenances, ‘Čierný Váh’ and ‘Beňuš’, were early flushing, whereas the Polish provenance ‘Rogów’ behaved differently and was late flushing. Even at the nursery stage, the positive influence of tree selection on height growth and progeny characteristics of the two Czech provenances was evident. The Carpathian provenances were furthermore evaluated according to the index of cultivation and breeding: very good – ‘Rogów’; good – ‘ŚPN (Świętokrzyski PN)’, ‘Stary Sącz’ and ‘Skarzysko’; poor – ‘Čierný Váh’ and ‘Beňuš’.

Keywords: silver fir, provenance trial, seedlings, height growth, terminal buds phenology

Słowa kluczowe: jodła pospolita, proveniencje, sadzonki, wzrost, fenologia pąków

1. Wstęp

W 1960 r. założono pierwsze polskie doświadczenia proveniencyjne z jodłą pospolitą *Abies alba* Mill. (Gunia 1975) w wyniku obserwacji zróżnicowania jej drzewostanów w Polsce, a także zagranicznych doświadczeń proveniencyjnych.

Aż do połowy XX stulecia jodłę pospolitą uważano za gatunek wyróżniający się brakiem zmienności genetycznej. Przyczyniła się do tego błędna opinia Englera (1905), który jako pierwszy próbował w Szwajcarii zbadać zmienność dziedziczną tego gatunku. Porównał on sadzonki (2/0) i przesadki (2/2) wyrosłe z nasion pozyskanych z 10 drzew rosnących na wysokości 680–1330 m n.p.m. w jednym z regionów Alp. Nie zaobserwował żadnych wyraźnych różnic pod względem wzrostu na wysokość i objawów fenologicznych rozwoju pąków, dlatego sformułował stwierdzenie o braku zmienności genetycznej jodły pospolitej związanej z pochodzeniem, w przeciwieństwie do sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L.

i świerka pospolitego *Picea abies* (L.) H.Karst. Dopiero w latach 1925–1949 niesłuszność tego stwierdzenia wykazały wyniki dwóch doświadczeń proveniencyjnych przeprowadzonych przez Pavari’ego (1951) we włoskich Apeninach. Porównano w nich 18 pochodzeń jodły pospolitej, najwięcej z włoskich i austriackich Alp (950–1500 m n.p.m.) oraz Apeninów Północnych (1000 i 1350 m n.p.m.) i Południowych (Kalabria; 1000 m n.p.m.), a także z obszaru podalpejskiego Austrii oraz z Francji (z Pirenejów, Wogezów i Normandii).

Na powierzchniach proveniencyjnych założonych, bez powtórzeń, w Vallombrosa k. Florencji (1000 m n.p.m.) oraz w Alta Val Parma (1470 m n.p.m.) stwierdzono znaczne zróżnicowanie pochodzeń pod względem przeżywalności i cech wzrostowych. W Vallombrosa najlepsze wyniki pod względem przeżywalności oraz wysokości i pierśnicy osiągnęły jodły pochodzenia Serra San Bruno z Kalabrii oraz miejscowego Vallombrosa, a najsłabsze z Burgenlandu w Austrii. W Alta Val Parma pochodzenia z południa nie wytrzymały miejscowego

Wpłynięcie: 10.12.2018 r., zrecenzowano: 8.07.2019 r., zaakceptowano: 11.09.2019 r.

chłodnego klimatu górskiego. Wszystkie pochodzenia cechowało wyraźne zróżnicowanie cech pokroju i igliwia.

Kolejne doświadczenia nad zmiennością jodły pospolitej, poza naturalnym zasięgiem, podjęto w połowie lat trzydziestych ub. wieku w Danii. Ich celem był dobór najlepszego pochodzenia do introdukcji. Wynikało to z negatywnych skutków wylesień przeprowadzonych na potrzeby rolnictwa, dlatego od drugiej połowy XVIII w. przystąpiono do odtwarzania lasów, wprowadzając gatunki drzew, które wcześniej w Danii nie występowały, m.in. jodłę pospolitą. Okazało się, że znosi ona dość dobrze miejscowy klimat i jest atrakcyjna pod względem produkcji, mimo że uprawom szkodzą przymrozki i susza wiosenna, zaś drzewostanom silne wiatry, wywalające i łamiące je (Henriksen 1957). O sile biologicznej jodły pospolitej wprowadzonej w Danii na wydmach śródlądowych świadczy to, że już w drugim pokoleniu, powstałym z samosiewu, tworzy drzewostany o bogatej strukturze wysokościowej i biosocjalnej (Gunia 1978).

W 1934 r. w Danii przeprowadzono pierwsze doświadczenie proveniencyjne bez powtórzeń na siedmiu równoległych powierzchniach. Porównywano 20 pochodzeń, w tym 3 reprezentujące introdukowane wcześniej drzewostany duńskie, a 17 z obszaru rozsiedlenia w Europie leżącego poza Polską (Løfting 1954, 1959, 1977). Oprócz cech wzrostowych badano odporność na szkody od mszycy *Dreyfusia nordmannianae* Eckst. Pochodzenia ze środkowej Europy okazały się na nią wrażliwsze niż pochodzenia ze wschodu i południa. Początkowo największą odpornością i korzystnymi cechami wzrostowymi wyróżniło się pochodzenie Lopus z Karpat rumuńskich (700 m n.p.m.) oraz Gargilione z Kalabrii (1600 m n.p.m.) i Perister Planina z Macedonii (1500 m n.p.m.). Później na pierwsze miejsce wysunęło się pochodzenie kalabryjskie Gargilione, które w wieku 44 lat na powierzchni w Frijsenborg znacznie przewyższało miąższością (160%) inne pochodzenia (Larsen 1981). W tych doświadczeniach pochodzenia z niższych położen górskich rosły na wysokość lepiej niż te z wyższych wzniesień. Pochodzenia ze wschodniej i południowej Europy cechowała, dzięki lepszym warunkom wilgotnościowym, większa żywotność niż w ojczyźnie.

W 1955 r. założono w Danii (Løfting 1959) dalsze 4 powierzchni proveniencyjne, po raz pierwszy z jodłą pospolitą z 6 pochodzeń polskich. Były to pochodzenia z: Gór Świętokrzyskich (nasiona z IBL), Świętokrzyskiego Parku Narodowego (nasiona przekazane z NRD), Tomaszowa Lubelskiego, Brzezin oraz dwa pochodzenia karpaccie, nazwane nieprecyzyjnie ‘Kraków’ (przypuszczalnie Stary Sącz) i ‘Rzeszów’ (prawdopodobnie Beskid Niski). Pochodzenia te porównywano z pochodzeniem francuskim z Normandii i różnym, na każdej powierzchni innym, potomstwem jednego z introdukowanych drzewostanów duńskich. Pierwsze wyniki nie potwierdziły oczekiwanej, większej odporności pochodzeń polskich na suszę, wykazały natomiast nieco większą odporność na przymrozki wiosenne.

Na dwu powierzchniach górowało pochodzenie z Gór Świętokrzyskich, osiągając w jednostkach znormalizowanych $\bar{h}=1,6$ s (na pierwszej 174 cm w wieku 15 lat, a na dru-

giej 211 cm w wieku 16 lat). Na trzeciej powierzchni $\bar{h}>1,0$ s miały w wieku 16 lat jodły pochodzenia z Tomaszowa Lubelskiego (278 cm) i określone jako ‘Kraków’ (288 cm).

W Czechach, gdzie jodła pospolita jest ważnym gatunkiem lasotwórczym, doświadczenia proveniencyjne rozpoczęły w 1956 r. Vinš (1966). Prowadził je w dwóch seriach obejmujących potomstwa 3 do 10 drzew matecznych z 10 różnych stanowisk na terenie Czech i Moraw. Oceniano w szkółce i na powierzchni doświadczalnej wzrost sadzonek (2/0) i wyprodukowanych z nich przesadek (2/2). Zarówno nieszkółkowane sadzonki, jak i przesadki jodły pospolitej pochodzące ze stosunkowo małego regionu geograficznego Czech i Moraw wykazały istotne statystycznie zróżnicowanie. Sadzonki z Czech okazały się niższe niż sadzonki pochodzące z leżących bardziej na wschód Moraw. Nie stwierdzono natomiast związków między cechami taksacyjnymi drzew matecznych a cechami wzrostowymi ich potomstwa.

W tym czasie rozpoczęto także doświadczenia proveniencyjne jodły pospolitej w b. NRD w Instytucie Hodowli Selekcyjnej Drzew Leśnych w Graupa (Meyer 1956). Opierając się na wynikach wczesnego testu, w latach 1957–1961 sprowadzono nasiona z Polski z okolic Krakowa (267 kg) oraz Przemyśla (71 kg) i przekazano je jednostkom terenowym w Zachodnich Górach Kruszcowych. Wyników z tych badań dotychczas nie zestawiono i nie przeanalizowano (Hartig 2012).

Omówione doświadczenia, szczególnie duńskie, wskazały na duże prawdopodobieństwo występowania, genetycznie uwarunkowanego, zróżnicowania jodły pospolitej także na terenie Polski oraz wykazały znaczną wartość uprawową i hodowlaną jej pochodzeń. Zróżnicowaniu temu sprzyjała zmienność warunków środowiska w czasie długich wędrówek po ustąpieniu lodowca z refugium na Półwyspie Apenińskim i Bałkańskim, poprzez Karpaty na Wyżyny i Niziny Środkowopolskie, na których osiągnęła północnwschodnią granicę obecnego naturalnego zasięgu (Kral 1980; Środoń 1983). Powstanie tej granicy wymusiły zarówno niekorzystne warunki klimatyczne, głównie wilgotnościowe, jak również rozwój rolnictwa, zajmującego pod uprawę żyzniejsze i zasobniejsze w wilgoć gleby.

Poznanie zróżnicowania cech genetycznych rodzimych pochodzeń jodły pospolitej i wskazanie możliwości jego wykorzystania w uprawie i hodowli lasu stało się ważnym zadaniem badań proveniencyjnych w Polsce. Zapoczątkowano je w roku 1960 (Gunia 1975) i prowadzono w latach następnych, rozszerzając stopniowo zestaw pochodzeń (Gunia 1984, 1985, 1994; Szeligowski 2006; Szeligowski et al. 2011). Bardzo korzystna była m.in. możliwość ich prowadzenia na północnej granicy naturalnego zasięgu jodły pospolitej w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie, gdzie znalazła ona zadawalające warunki klimatyczne i glebowe, sprzyjające wzrostowi i rozwojowi. Badania te inspirowały do zakładania w Polsce kolejnych doświadczeń proveniencyjnych z jodłą, np. ogólnopolskich Jd PL 86/90 (Sabor et al. 1996; Skrzyszewska 1999, 2010) oraz upraw w Sudetach i innych regionach Polski (Barzdajn 2009, 2010), a także rozpoczęcia programu testowania polskich populacji jodły (Klisz et al. 2016).

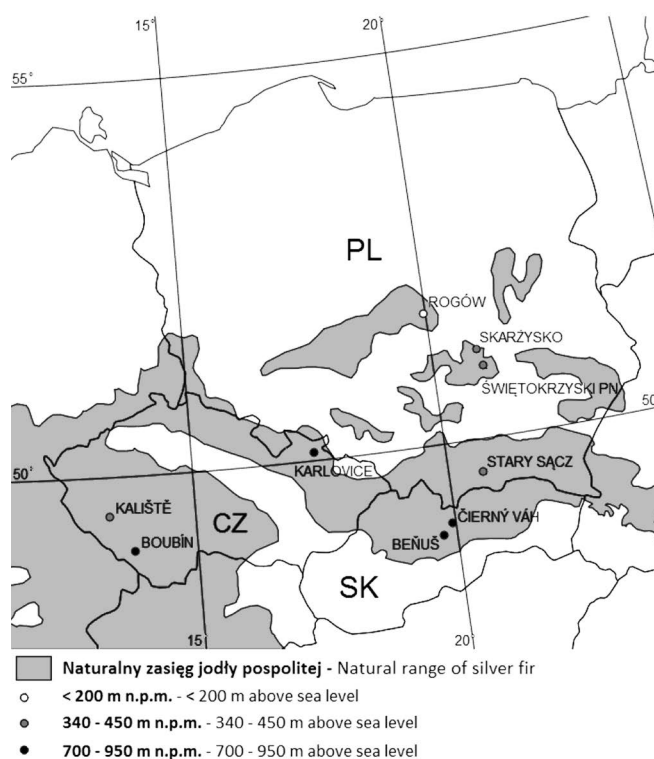
Etap produkcji sadzonek i związane z nim wczesne testowanie stanowią podstawę serii dalszych doświadczeń i badań stadiów wzrostowych i rozwojowych 9 pochodzeń jodły pospolitej z Polski, Słowacji i z Czech w okresie ponad 50 lat.

Celem badań proveniencyjnych była ocena wartości uprawowo-hodowlanej pochodzeń jodły pospolitej z Regionu Karpackiego na podstawie średnich wartości znormalizowanych cech nasion (masy, żywotności, wydajności wschodów) i uzyskanych z nich sadzonek (wysokości i ich wzrostu, cech morfologicznych oraz objawów fenologicznych).

2. Obiekt i metodyka

Doświadczeniami objęto 9 pochodzeń jodły pospolitej (ryc. 1, tab. 1): 6 z Regionu Karpat Zachodnich i Środkowych, w tym cztery z Polski: Rogów, Skarżysko, Świętokrzyski Park Narodowy (ŚPN) z Krainy Przyrodniczo-leśnej Małopolskiej i Stary Sącz z Krainy Karpackiej; dwa ze Słowacji: Čierny Váh (Stredoslovenská oblasť) i Beňuš (Horehronsko-hnilecká oblasť); oraz trzy z Regionu Hercyńskiego w Czechach: Karlovice (Sudetská oblasť), Kaliště i Boubín (Šumavská oblasť). Pochodzenia polskie i słowackie to potomstwo drzewostanów nasiennych, a każde z trzech populacji czeskich powstało z mieszanki nasion zebranych z 3–4 drzew matecznych każdego pochodzenia (tab. 2).

Polskie i słowackie drzewostany nasienne rosną na wysokości od 190 do 850 m n.p.m., w pasie wyznaczonym przez południki 19°44'E i 21°00'E, przebiegającym od północnej



Rycina 1. Położenie geograficzne pochodzeń jodły pospolitej *Abies alba* Mill. testowanych w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie

Figure 1. Geographical location of silver fir *Abies alba* Mill. tested in WULS Experimental Forests in Rogów

Tabela 1. Pochodzenie nasion jodły pospolitej *Abies alba* Mill. użytych do badań w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie

Table 1. Provenance of seeds of silver fir *Abies alba* Mill. used for research in the Experimental Forests of the Warsaw University of Life Sciences (WULS) in Rogów

Nr No	Pochodzenie Provenance	Kraj Country	Region pochodzenia Origin region	Region geograficzny Geographical region	Leśny region nasienny Forest seed region	Współrzędne geograficzne Geographic coordinates		Wzniesienie n.p.m [m] Altitude a.s.l. [m]
						Szerokość N Latitude N	Długość E Longitude E	
1.	Rogów	Polska	Region Zachodnio- i Środkowo- karpacki ¹	Wyżyna Łódzka	318/6 – 651 ²	51°40'	19°58'	190
2.	Skarżysko	Polska		Puszcza Świętokrzyska	342/6 – 604 ²	51°08'	20°55'	350
3.	Świętokrzyski Park Narodowy	Polska		Góry Świętokrzyskie	342/6 – 604 ²	50°55'	21°00'	350
4.	Stary Sącz	Polska		Beskid Sądecki	513/8 – 803 ²	49°35'	20°40'	340
5.	Čierný Váh	Słowacja		Mała Fatra	34 A ³	49°00'	19°56'	850
6.	Beňuš	Słowacja		Niżne Tatry	46 B ³	48°52'	19°44'	700
7.	Karlovice	Czechy	Region Hercyński ¹⁾	Jesioniki (Sudety)	27 ⁴	50°06'	17°25'	850
8.	Kaliště	Czechy		Szumawa	13 ⁴	49°30'	13°19'	450
9.	Boubín	Czechy		Szumawa	13 ⁴	49°03'	13°47'	950

¹ Svoboda (1953)

² Leśna Regionalizacja dla nasion i sadzonek w Polsce (1996)

³ Ministerstvo Pôdohospodárstva Slovenskej Republiky (2001)

⁴ Hynek (2000)

Tabela 2. Charakterystyka nasion jodły pospolitej *Abies alba* Mill. użytych do badań w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie
 Table 2. Characteristic of seeds of silver fir *Abies alba* Mill. used for research in the WULS Experimental Forests in Rogów

Nr No	Pochodzenie Provenance	Miejsce zbioru szyszek Place of cone harvesting	Wiek drzew nasiennych [lata] Age of seed trees [years]	Cechy nasion / Seed characteristics			
				Czystość Purity [%]	Masa 1000 nasion 1000 seed weight [g]	Żywotność Viability [%]	Wydajność wschodów Seedling percentage [%]
1	Rogów	drzewostan	60–90	98	51,0	48	25,5
2	Skarżysko	drzewostan	90–100	96	56,2	68	9,3
3	Świętokrzyski P. N.	drzewostan	100–120	97	49,9	54	44,4
4	Stary Sącz	drzewostan	90–110	93	51,1	55	10,7
5	Čierný Váh	drzewostan	95	91	39,2	28	15,0
6	Beňuš	drzewostan	90	91	39,2	28	14,6
7	Karlovice	3 drzewa doborowe	120	92	42,2	41	26,0
8	Kaliště	3 drzewa doborowe	95	95	30,7	31	36,1
9	Boubín	4 drzewa doborowe	90	92	28,5	28	5,9

granicy zasięgu jodły pospolitej w Polsce do granicy południowej na Słowacji. Natomiast wysunięte bardziej na zachód drzewostany czeskie (13°19'E–17°25'E) położone są w Sudetach (Jesioniki, 850 m n.p.m.), oraz na Szumawie (450 i 950 m n.p.m.), blisko granicy południowej.

Nasiona pozyskano jesienią 1960 r. i oceniono je wkrótce po zbiorze metodami stosowanymi w Instytucie Badawczym Leśnictwa (Załęski 2000). Nasiona miejscowego pochodzenia z Rogowa zebrano w leśnictwie Jasień w uroczysku Zacywilki Lasów Doświadczalnych SGGW, a nasiona pozostałych pochodzeń polskich otrzymano wraz z oceną od prof. S. Tyszkiewicza z Zakładu Nasiennictwa i Selekcji Drzew Leśnych IBL. Nasiona pochodzeń słowackich i czeskich przesłał w ramach współpracy dr B. Vinš z Instytutu Gospodarstwa Leśnego i Łowiectwa (VÚLHM) w Pradze.

Sadzonki wyprodukowano w 6-arowej gruntowej szkółce gospodarczej w oddz. 141d Lasów Doświadczalnych SGGW w Rogowie w otoczeniu drzewostanu sosnowego IV/V kl. wieku na siedlisku lasu świeżego (Zielony 1993; Zielony et al. 1993), na glebie słabo bielcowej, świeżej wytworzonej z utworu pyłowego na glinie zwałowej, oznaczanej jako płowa (Konecka-Betley et al. 1993).

Dane pogodowe w okresie produkcji sadzonek uzyskano ze stacji meteorologicznej w Rogowie (Bednarek 1993; Oźga 2001). W grudniu 1960 r. dodatnia temperatura (2,1°C) umożliwiła wykonanie w szkółce późnojesiennego siewu. W 4-letnim okresie produkcji sadzonek średnia temperatura roczna była w 1961 r. (7,8°C) nieco wyższa od średniej wieloletniej (7,4°C), a w pozostałych latach niższa (6,4; 6,3

i 6,7°C). Wyższa temperatura i większe opady atmosferyczne wiosną 1961 r. sprzyjały wschodom, a w latach 1963 i 1964 r. wzrostowi przesadek. W ciągu dwóch pierwszych lat sumy opadów rocznych (748 i 677 mm) przekraczały znacznie średnią wieloletnią (595,6 mm), w trzecim roku suma opadów była od niej niższa (534 mm), a w czwartym jej bliska (608 mm).

Nasiona wszystkich 9 pochodzeń wysiano późną jesienią 1960 r. w układzie trzech bloków losowanych. Po dwóch latach siewki (2/0) szkółkowano celem uzyskania przesadek (2/2) również w trzech powtórzeniach, w takim samym układzie blokowym. Wiosną 1961 r. określono wydajność wschodów, a wiosną 1964 r. przeżywalność przesadek.

Wysokość osiągniętą w pierwszych dwóch latach przez siewki, a w dalszych dwóch przez przesadki, zmierzono z dokładnością do 1 mm. Policzono odgałęzienia boczne i pączki szczytowe na pędzie głównym przesadek (2/2) (tab. 3).

Wyniki pomiarów wysokości siewek i przesadek analizowano wg schematu:

$$\bar{h}_i = \mu + P_i + E_{ij}$$

gdzie:

\bar{h}_i – średnia wysokość sadzonek pochodzenia i ,

μ – średnia ogólna doświadczenia,

P_i – wpływ pochodzenia i ,

E_{ij} – współdziałanie warunków siedliskowych j i cech pochodzenia i .

Wyniki liczbowe badanych cech oceniano metodami matematyczno-statystycznymi (Snedecor 1957; Elandt 1964; Oktaba 1966). Korelacje i regresje obliczano i analizowano

Tabela 3. Charakterystyka siewek i przesadek jodły pospolitej *Abies alba* Mill. pochodzeń testowanych w szkółce Lasów Doświadczalnych SGGW w RogowieTable 3. Growth characteristics of seedlings and transplants of silver fir provenances *Abies alba* Mill. tested in the nursery of the WULS Experimental Forests in Rogów

Nr No	Pochodzenie Provenance	Średnie wysokości sadzonek w kolejnych latach Mean heights of plants in the successive years [cm]				Liczba odgałęzień bocznych 2/2-przesadek Mean number of side twigs by 2/2-transplants	Liczba pączków szczytowych 2/2-przesadek Mean number of terminal buds by 2/2-transplants	Przeży- walność 2/2-przesadek Survival of 2/2-transplants [%]
		Siewki Seedlings		Przesadki Transplants				
		Wiek sadzonek [lata] / Age of plants [years]						
		1.	2.	3.	4.			
1	Rogów	3,43	7,21	10,26	14,88	2,42	3,57	83,8
2	Skarżysko	3,22	7,03	9,75	14,45	2,18	3,33	72,0
3	Świętokrzyski P. N.	3,81	7,94	10,91	15,47	1,99	3,33	81,0
4	Stary Sącz	3,99	7,98	11,43	15,80	2,15	3,53	72,5
5	Čierný Váh	3,41	6,60	9,53	14,52	2,09	3,23	62,9
6	Beňuš	3,45	7,31	10,49	14,25	2,01	3,17	89,3
7	Karlovice	3,73	7,49	10,64	15,66	3,24	3,27	81,4
8	Kaliště	3,91	7,86	11,19	16,14	4,01	3,26	92,5
9	Boubín	3,33	6,63	9,23	13,69	2,53	2,97	63,1

wg programu Statgraphics Plus. 4.1. Zależności krzywoliniowe, jeżeli to było możliwe, przekształcano w prostopadłowe, stosując transformację zmiennych. Szczegóły i symbole zmiennych podano przy przedstawianiu odnośnych wyliczeń.

Wyniki oceny różnic między wariantami oznaczano następującymi znakami:

X – brak istotnych różnic,

X^+ – różnice nieznaczne przy poziomie istotności $\alpha=0,10$,

X^* – różnice istotne przy poziomie $\alpha=0,05$,

X^{**} – różnice bardzo istotne przy poziomie $\alpha=0,01$.

Dla liczby stopni swobody ($N-1$) przyjęto symbol f . Symbole rozpatrywanych cech podano przy przedstawianiu wyników.

Wartość uprawowo-hodowlaną (W_{u-h}) testowanych pochodzeń określono, posługując się funkcją porządkującą wartości znormalizowane rozpatrywanych cech (Perkal 1963):

$$W_{u-h} = \frac{1}{7} (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7)$$

gdzie:

x_1 – masa 1000 nasion,

x_2 – wydajność wschodów,

x_3 – wysokość przesadek (2/2),

x_4 – współczynnik b równań prostych wzrostu wysokości siewek i przesadek - $h = a + b$,

x_5 – przeżywalność przesadek (2/2),

x_6 – liczba odgałęzień bocznych przesadek (2/2),

x_7 – liczba pączków szczytowych przesadek (2/2),

Wyróżniono następujące klasy oceny wartości uprawowo-hodowlanej W_{u-h} :

- bardzo dobrą: $W_{u-h} > 0,50$,
- dobrą: $0,00 \leq W_{u-h} < 0,50$,
- słabą: $-0,50 \leq W_{u-h} < 0,00$,
- złą: $-1,00 < W_{u-h} < -0,50$,
- bardzo złą: $W_{u-h} \leq -1,00$.

Na przesadkach (2/2) pochodzenia polskiego i słowackiego z Regionu Karpackiego przeprowadzono w sezonie wegetacyjnym 1964 r. obserwacje fenologiczne rozwoju pączków szczytowych. Na każdej działce, stanowiącej powtórzenie, wybrano losowo 30 przesadek, czyli łącznie 90 z każdego pochodzenia i w kolejnych terminach (d) co dwa dni określano udział przesadek w trzech fazach rozwojowych:

- ruszanie rozwoju pączków – pęknięcie warstwy żywicznej i łusek pączkowych, pojawienie się jasnobrunatnych lub zielonkawych pasków,
- otwieranie pączków – na szczycie pączka, spośród rozsuwających się łusek, stają się widoczne zielone igły,
- rozwój igieł – łuski okrywające pączek rozsuwają się całkowicie, a igły wychodzą na zewnątrz.

Do analizy statystycznej danych procentowych (p), faz rozwoju pączków przesadek (2/2) poszczególnych pocho-

dzeń, wykorzystano równania logistyczne (Płochinskij 1961) w postaci:

$$p = 100/1+10^{a-bd}$$

Po zlogarytmowaniu przyjęły one postać równań linii prostych, pozwalających obliczyć wykładniki potęgowe:

$$\log(100/1-p) = a - bd$$

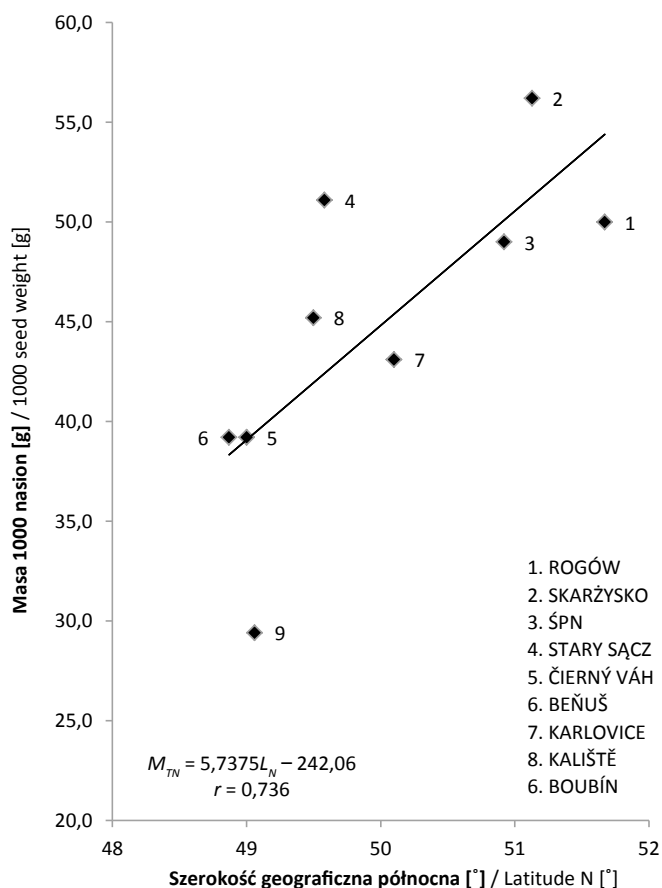
Porównanie równań odnoszących się do poszczególnych pochodzeń przeprowadzono przy poziomie $p=50\%$, gdy $a+b$ $t=0$, czyli $d=a/b$.

Po rozpoczęciu wzrostu wysokości przez 2/2-przesadki w czwartym sezonie wegetacji mierzono ich wysokość z dokładnością do 1 mm: 1. dnia (10.05.), 26. dnia (5.06.), 34. dnia (13.06.), 48. dnia (27.06.) i 71. dnia (15.07.).

3. Wyniki

3.1. Nasiona

Najcięższe nasiona miały pochodzenia polskie (tab. 2) – masa 1000 nasion (M_{TN}) wynosiła ok. 50 g. O prawie 10 g lżejsze okazały się nasiona pochodzeń słowackich, zebrane,



Rycina 2. Związek masy tysiąca nasion (M_{TN}) pochodzeń jodły pospolitej z szerokością geograficzną północną (ϕ_N)
Figure 2. Relationship of thousand seed weight (M_{TN}) of silver fir provenances with latitude North (ϕ_N)

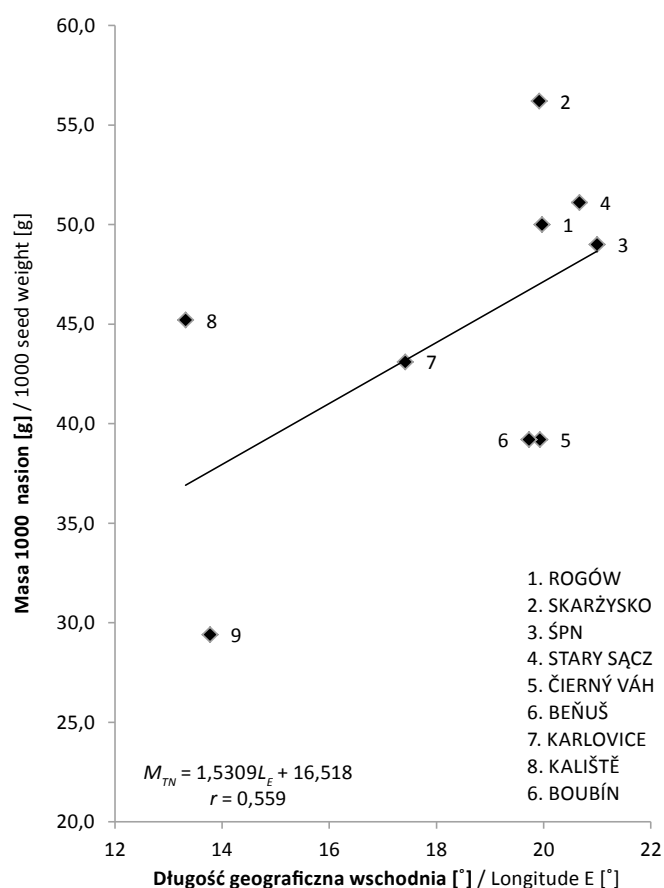
podobnie jak polskie, w drzewostanach. Pozyskane z drzew doborowych nasiona dwóch pochodzeń czeskich, Karlovice i Kalište, miały M_{TN} zbliżoną do polskich. Najniższa M_{TN} cechowała czeskie pochodzenie Boubín.

Stwierdzono istotny związek M_{TN} pochodzeń z szerokością geograficzną północną (ϕ_N) siedlisk drzewostanów nasiennych. Wartość M_{TN} wzrastała wraz ze zwiększaniem się ϕ_N (ryc. 2), podczas gdy związek M_{TN} z długością geograficzną wschodnią okazał się słaby (ryc. 3). Bardzo istotny związek ($r=0,864^{**}$) wykazało natomiast zmniejszanie się M_{TN} wraz ze wzrostem wzniesienia n.p.m. (A) lokalizacji drzewostanów nasiennych (ryc. 4).

Równoczesna analiza wpływu obu zmiennych niezależnych (ϕ_N) oraz (A) na M_{TN} testowanych pochodzeń ($r=0,900^{**}$) potwierdziła silniejszy wpływ zmian wzniesienia n.p.m. stanowisk drzewostanów nasiennych niż zmian szerokości geograficznej północnej.

Stwierdzono ponadto, że M_{TN} ocenianych pochodzeń decydowała w sposób bardzo istotny ($r=0,959^{**}$) o stopniu żywotności (zdrowotności) nasion (Z_d).

Nasiona jodły z Polski, ze względu na większą M_{TN} , cechowała znacznie wyższa żywotność niż nasiona pochodzące ze Słowacji i Czech (tab. 2). Ich Z_d rosła bowiem istotnie



Rycina 3. Związek masy tysiąca nasion (M_{TN}) pochodzeń jodły pospolitej z długością geograficzną wschodnią (λ_E)
Figure 3. Relationship of thousand seed weight (M_{TN}) of silver fir provenances with longitude East (λ_E)

($r=0,768^*$), tak jak M_{TN} , wraz ze wzrostem szerokości geograficznej miejsca pochodzenia. Zmniejszała się ona także istotnie ($r=-0,708^*$) wraz ze wzrostem wzniesienia n.p.m.

3.2. Wydajność produkcji i wzrost wysokości sadzonek

Wynik produkcji sadzonek, przeznaczonych do założenia upraw doświadczalnych, zależał zarówno od wydajności wschodów, jak i przeżywalności przesadek.

Ogólna wydajność wschodów (\bar{W}_w) wynosiła $20,8 \pm 12,5\%$ (tab. 2) i odbiegała istotnie od spodziewanej na podstawie oceny żywotności nasion ($r=0,075^-$). \bar{W}_w przekroczyły tylko dwa pochodzenia: ŚPN i Kalište. W pochodzeniu Boubín W_w spadła poniżej wartości 8,3, (\bar{W}_w-s). Bliska niej była \bar{W}_w w pochodzeniu Skarżysko.

Z zaskótkowanych 2/0-siewek uzyskano $77,6 \pm 10,6\%$ 2/2-przesadek. Najwyższa przeżywalność cechowała przesadki pochodzenia Rogów i Kalište, a najniższa Čierný Váh i Boubín. Nie stwierdzono, aby na przeżywalność przesadek wpływała istotnie ich średnia wysokość, liczba odgałęzień i liczba pączków, a także położenie geograficzne siedlisk drzewostanów maciecznych. Słaby wpływ miała natomiast W_w ($r=0,615^+$).

Średnia wysokość wszystkich wziętych do szkółkowania siewek wynosiła w pierwszym roku $3,59 \pm 0,47$ cm, a w dru-

gim wzrosła do $7,34 \pm 0,91$ cm. Uzyskane z nich przesadki osiągnęły w trzecim roku wysokość $10,38 \pm 1,23$ cm, a w czwartym $14,98 \pm 1,32$ cm (tab. 3). Wartości współczynników zmienności ($V_{\%1}=13,2\%$, $V_{\%2}=12,4\%$, $V_{\%3}=11,8\%$, $V_{\%4}=8,8\%$) wskazały na zmniejszanie się zmienności wysokości sadzonek wraz z wiekiem.

W ciągu czteroletniego okresu najwyższe wysokości osiągnęło czeskie pochodzenie Kalište z Szumawy. Przewyższyło ono tylko nieznacznie polskie pochodzenie ze Starego Sącza. Oba te pochodzenia utrzymywały przez cały okres wzrostu w szkółce swoje przodujące pozycje. Ostatnią pozycję zajęło czeskie pochodzenie Boubín, także z Szumawy, ale z wyższego położenia drzewostanu maciecznego n.p.m. (tab. 3).

Uszeregowanie pochodzeń pod względem średniej wysokości sadzonek ulegało z wiekiem tylko nieznacznym zmianom. Największe przemieszczenia pozycji rankingu wysokości następowało wśród siewek. Pozycja przesadek poszczególnych pochodzeń była zarówno w 3., jak i w 4. roku bardzo zbliżona.

Ponieważ wzrost wysokości siewek a następnie przesadek ocenianych pochodzeń przebiegał niemal prostoliniowo, wyrównano go równaniem prostej:

$$\bar{h} = a + b_t,$$

gdzie:

\bar{h} – średnia wysokość w cm osiągnięta w wieku t lat,

a, b – współczynniki równania.

Bardzo istotna zależność \bar{h} od t , mierzona współczynnikiem korelacji r mieściła się w ocenianych pochodzeniach w zakresie $0,956^{**} - 0,995^{**}$, wynosząc średnio $0,976 \pm 0,016$ (tab. 4).

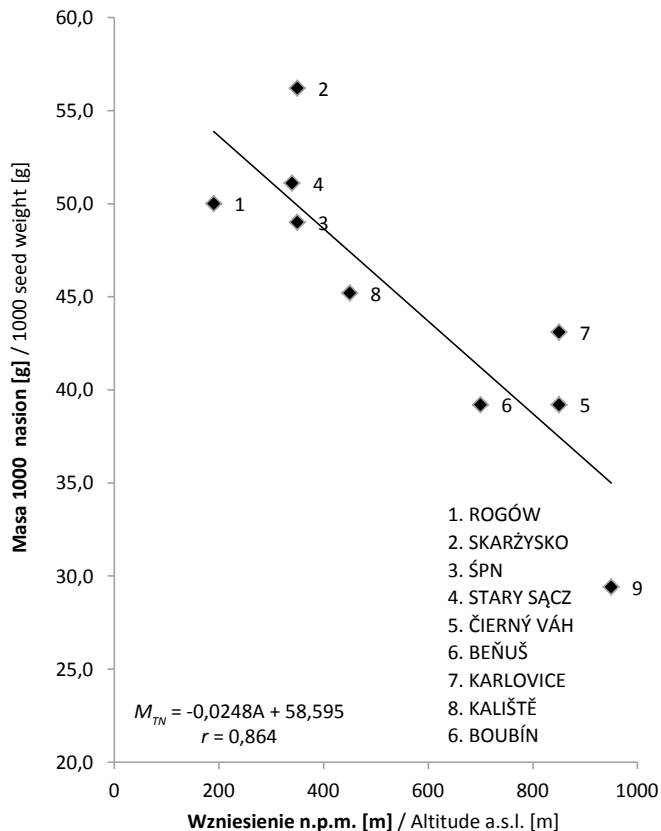
Porównanie współczynników kierunkowych b równań odnoszących się do poszczególnych pochodzeń przeprowadzone za pomocą analizy kowariancji (Snedecor 1957) wykazało brak istotnego zróżnicowania ($F=1,78$; $f_1=8$; $f_2=140$) współczynników b wszystkich dziewięciu pochodzeń, mimo że wahały się one w zakresie od 3,368 do 4,002. Pozwoliło to przyjąć, że rozpatrywane proste wzrostu wysokości są w przybliżeniu równoległe przy wspólnym współczynniku kierunkowym $\bar{b}=3,587$.

Położenie prostych w stosunku do osi $x(t)$ okazało się jednak bardzo istotnie zróżnicowane ($F=11,17^{**}$; $f_1=8$; $f_2=260$). Wzrost sadzonek testowanych pochodzeń odbywał się na różnym poziomie, a więc był zróżnicowany pod względem wielkości. Ocenę wzajemnego położenia prostych, reprezentujących porównywane pochodzenia, przeprowadzono za pomocą wielokrotnego testu rozstępu (Oktaba 1966), opartego na tablicach $D_{0,05}$ i $D_{0,01}$ Duncana (tab. 4).

Najwyższe pozycje (tab. 4) względem osi $x(t)$ zajęły proste wzrostu wysokości sadzonek pochodzenia: Stary Sącz, Kalište, ŚPN i Karlovice. Nie stwierdzono istotnych związków średnich wysokości przesadek (2/2) testowanych pochodzeń ze współrzędnymi geograficznymi, bowiem z ϕ_N $r=0,228^-$ i z λ_E $r=0,019^-$, a ze wzniesieniem n.p.m. (A) stanowisk drzewostanów nasiennych $r=0,456^-$.

Wzrost przesadek polskich i słowackich w szkółce w dniach (d) ich czwartego sezonu wegetacji (tab. 5; ryc. 5) przebiegał zgodnie z ogólnym równaniem:

$$\bar{h} = a - b \log d$$



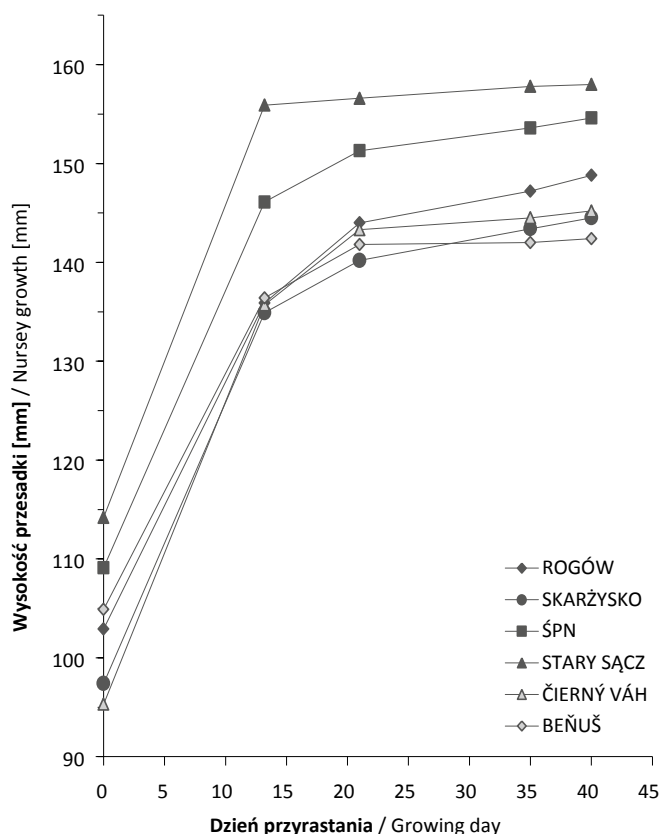
Rycina 4. Związek masy tysiąca nasion (M_{TN}) pochodzeń jodły pospolitej z położeniem n.p.m. (A) drzewostanów nasiennych
Figure 4. Relationship of thousand seed weight (M_{TN}) of fir provenances with altitude (A) of seed stands sites

Tabela 4. Równania ($h=a+bt$) określające wzrost na wysokość sadzonek i przesadek jodły pospolitej pochodzeń testowanych w szkółce Lasów Doświadczalnych SGGW w Rogowie oraz ich odległości (Y_D) od osi X

Table 4. Equations ($h=a+bt$) determining the height of seedlings and transplants of silver fir provenances tested in nursery of the WULS Experimental Forests in Rogów and their distances from X axis

Nr No	Pochodzenie Provenance	$h = a + bt$	r	$\pm s_{h,t}$	Y_D [cm]
4.	Stary Sącz	$h = 0,087 + 3,886 t$	0,995**	0,46	9,802 a^1
8.	Kalište	$h = -0,230 + 4,002 t$	0,991**	0,67	9,775 a
3.	Świętokrzyski P. N.	$h = -0,045 + 3,795 t$	0,990**	0,64	9,442 ab
7.	Karlovice	$h = -0,357 + 3,895 t$	0,975**	1,87	9,380 ab
1.	Rogów	$h = -0,017 + 3,557 t$	0,960**	1,34	8,945 ab
6.	Beňuš	$h = -0,017 + 3,557 t$	0,956*	1,34	8,875 ab
2.	Skarżysko	$h = -0,497 + 3,643 t$	0,990*	0,64	8,610 b
5.	Čierný Váh	$h = -0,552 + 3,627 t$	0,974**	1,03	8,515 b
9.	Boubín	$h = -0,200 + 3,368 t$	0,960**	1,20	8,220 b

¹ Tą samą literą oznaczono wartości statystycznie jednorodne, przy $\alpha = 0,05$ / The same letter indicates statistically homogeneous values, at $\alpha = 0,05$



Rycina 5. Przebieg wzrostu na wysokość (h) przesadek jodły pospolitej analizowanych pochodzeń w kolejnych dniach (d) czwartego sezonu hodowli w szkółce

Figure 5. Height (h) growth in nursery of 2/2 – transplants of Polish and Slovak provenances during the days (d) of the fourth growing season

Analiza kowariancji wykazała brak istotnych różnic między współczynnikami kierunkowymi b wahającymi się w granicach 2,1504–2,8473, ($F=2,30$, $f1=5$; $f2=18$), co pozwoliło na przyjęcie wspólnego współczynnika $b^- = 2,5276$. Wykazano bardzo istotne zróżnicowanie między pochodzeniami.

Tak, jak w przypadku okresu czteroletniego, wśród testowanych pochodzeń na najwyższą pozycję wysunęło się pochodzenie Stary Sącz. Średnia wysokość (\bar{h}) jego przesadek różniła się istotnie od \bar{h} przesadek pochodzenia ŚPN, a bardzo istotnie od \bar{h} pozostałych pochodzeń. To drugie pod względem \bar{h} pochodzenie górowało nad wszystkimi pozostałymi. Trzecie w szeregu pochodzenie z Rogowa wyróżniało się istotnie tylko od pochodzenia ze Skarżyska. W odniesieniu do \bar{h} pozostałych pochodzeń różnice okazały się statystycznie nieistotne.

Przyrost \bar{h} był początkowo bardzo intensywny. Już po 26 dniach w pochodzeniu Rogów jodła osiągnęła 93,1% wielkości końcowej, w pochodzeniu Skarżysko – 93,3%, Čierný Váh – 93,7%, ŚPN – 94,1%, Stary Sącz – 94,9%, a Beňuš – 95,3%. Po 48 dniach \bar{h} przesadek wzrosła w pochodzeniu Rogów do 97,6%, Čierný Váh – 97,7%, Skarżysko – 98,1%, ŚPN – 98,4%, a Stary Sącz – 99,1% a Beňuš – 99,2% wielkości końcowej.

Najwcześnie, bo 53. i 54. dnia, wysokość końcową, tzn. 2/2-przesadek, osiągnęły pochodzenia słowackie Beňuš i Čierný Váh a zaraz po nich, 55. dnia – polskie pochodzenie ze Starego Sącza. Następnie 59. dnia wzrost wysokości ukończyło pochodzenie z ŚPN, a 61. dnia – ze Skarżyska. Najpóźniej do wysokości końcowej, bo po 66 dniach, dorosły przesadki pochodzenia z Rogowa.

Okazało się, że dzień zakończenia wzrostu przez przesadki poszczególnych pochodzeń był bardzo istotnie zwią-

Tabela 5. Równania określające wzrost na wysokość ($h=a+b \log d$) przesadek jodły pospolitej pochodzeń polskich i słowackich w dniach (d) czwartego sezonu wegetacji oraz ich średnie odległości (Y_D) od osi XTable 5. Equations determining the height increase ($h = a + b \log d$) transplants of silver fir of Polish and Slovak provenances during the days (d) of the fourth growing season and the mean distances of these curves (Y_D) from X axis

Nr No	Pochodzenie Provenance	$h = a - b \log d$	r	$\pm s_{h/1/d}$	Y_D [cm]
4	Stary Sącz	$h = 11,4842 + 2,4817 \log d$	0,994**	0,2336	14,700 a ¹
3	Świętokrzyski P. N.	$h = 10,9626 + 2,5416 \log d$	0,996**	0,2048	14,256 b
1	Rogów	$h = 10,2725 + 2,5324 \log d$	0,998**	0,1469	13,554 c
6	Beňuš	$h = 10,5330 + 2,1539 \log d$	0,993**	0,2233	13,324 c
5	Čierný Váh	$h = 9,5905 + 2,8473 \log d$	0,992**	0,3009	13,280 c
2	Skarżysko	$h = 9,7911 + 2,6122 \log d$	0,987**	0,1742	13,176 d

¹ Tą samą literą oznaczono wartości statystycznie jednorodne, przy $\alpha = 0,05$ / The same letter indicates statistically homogeneous values, at $\alpha = 0,05$

zany prostoliniowo ($r=0,961^{**}$) z szerokością geograficzną północną. Im bardziej na północ znajdował się drzewostan, w którym zebrano nasiona, tym dłużej trwał okres wzrastania na wysokość sadzonek potomnych.

3.3. Liczba odgałęzień bocznych w koronie

Wysokość przesadek (2/2) nie miała istotnego wpływu ($r=0,527$) na liczbę odgałęzień bocznych. Nie było także związku tej cechy z szerokością geograficzną północną ($r=0,099$) i wzniesieniem n.p.m. siedlisk drzewostanów nasiennych ($r=0,101$). Stwierdzono natomiast istotne zmniejszanie się liczby odgałęzień ($r=0,782^{*}$) wraz ze zwiększaniem się długości geograficznej wschodniej (λ_E) położenia drzewostanów:

$$G = 5,048 - 0,139.L_E$$

$$s_{y,x} = \pm 0,270 \text{ szt./1}^\circ$$

Przesadki wyhodowane z nasion zebranych w zachodnich regionach Czech miały średnio nieco więcej (2,5–4,0 szt.) odgałęzień bocznych niż przesadki pochodzenia słowackiego i polskiego (2,0–2,4 szt.), ze stanowisk położonych bardziej na wschód.

3.4. Liczba i fazy rozwoju pączków szczytowych

Liczba pączków szczytowych (P) na pędzie głównym okazała się niezależna od wysokości przesadek (2/2) ($r=0,554^{-}$), a tylko w niewielkim stopniu ($r=0,646^{+}$) rosła wraz ze zwiększaniem się szerokości geograficznej północnej lokalizacji drzewostanów nasiennych. Zmniejszała się natomiast bardzo istotnie ($r=0,829^{**}$) wraz ze zwiększaniem się wzniesienia n.p.m. tych siedlisk:

$$P = 3,595 - 0,000535 A$$

$$s_{y,x} = \pm 0,108 \text{ szt./m}$$

Bardzo słaby związek łączył również liczbę pączków szczytowych z długością geograficzną wschodnią ($r=0,593^{+}$).

Rozwój pączków szczytowych przesadek (2/2) polskich i słowackich rozpoczął się w czwartym sezonie wegetacji 10.04.1964 r. Fazę tę zakończyły najwcześniej, bo 27.04.1964 r., przesadki pochodzeń Stary Sącz i Čierný Váh, a najpóźniej – 13.05. Beňuš i Rogów.

Analiza kowariancji wykładników potęgowych krzywych logistycznych wszystkich porównywanych pochodzeń wykazała istotne zróżnicowanie współczynników b ($F=3,17^{*}$, $f_1=5$, $f_2=72$). Według tego kryterium pochodzenia podzieliły się na dwie grupy, wewnątrz których zróżnicowanie współczynników b było nieistotne. Pierwszą z nich tworzyły pochodzenia polskie: ŚPN, Stary Sącz, Rogów i Skarżysko ($F=0,54^{-}$, $f_1=3$, $f_2=43$), o $\bar{b}=-0,1187$. W drugiej grupie znalazły się pochodzenia słowackie Čierný Váh i Beňuš ($F=0,30^{-}$, $f_1=1$, $f_2=24$) o $\bar{b}=-0,1005$. W obu grupach położenie pochodzeń było zbliżone.

W większości pochodzeń otwieranie pączków rozpoczęło się 27.04.64 r., a zakończyło najwcześniej 13.05. w pochodzeniu Stary Sącz, dwa dni później w pochodzeniach Beňuš i Skarżysko, zaś cztery dni później w pochodzeniu Čierný Váh. Najpóźniej, bo 23.05., fazę tę zakończyły pochodzenia Rogów i ŚPN.

Analiza kowariancji, także w tym przypadku, wykazała istotne zróżnicowanie współczynników b równań wykładników potęgowych krzywych logistycznych ($F=10,93^{**}$, $f_1=5$, $f_2=42$) oraz wyodrębniła dwie grupy o wspólnych współczynnikach \bar{b} . Pierwszą z nich stanowiły pochodzenia: Stary Sącz, Čierný Váh i Rogów ($F=3,00^{-}$, $f_1=2$, $f_2=19$) o średnim $\bar{b}=-0,2042$, a drugą – ŚPN, Beňuš i Skarżysko ($F=1,37^{-}$, $f_1=2$, $f_2=23$) z $\bar{b}=-0,1187$.

W większości pochodzeń rozwój igieł rozpoczął się 9.05.64 r., a dwa dni później w pochodzeniu Rogów. Najwcześniej, bo 17.05., fazę tę zakończyły przesadki pochodzeń Stary Sącz, Čierný Váh i Beňuš, a najpóźniej Rogów – 23.05.

Przebieg faz okazał się zgodny z funkcją logistyczną. Analiza kowariancji wykazała brak istotnych różnic ($F=1,18^{-}$,

Tabela 6. Wartości wybranych cech wyrażone w jednostkach standaryzowanych i wartość hodowlana jodły pospolitej pochodzeń badanych w szkółce Lasów Doświadczalnych SGGW w Rogowie

Table 6. Values of selected characteristics expressed in standardized units and breeding value of silver fir provenances tested in nursery of the WULS Experimental Forests in Rogów

Nr No	Pochodzenie Provenance	MTN 1000- seed weight	Wydaj- ność wscho- dów Seedling percen- tage	Wysokość 2/2 prze- sadek Height of 2/2 transplants	Współczyn- nik b równa- nia $h = a + bti$ Coefficient b of equations $h = a + bt$	Prze- ży- wal- ność Survival	Liczba gałązek Number of twigs	Liczba pączków szczy- towych Number of terminal buds	Wskaź- nik wartości hodow- lanej Breeding value index	Wartość hodowlana pochodzenia Breeding value of provenance
1.	Rogów	0,64	0,29	0,12	0,08	0,58	-0,13	1,50	0,44	dobra / good
2.	Skarżysko	1,41	-0,97	-0,65	-0,41	-0,53	-0,49	0,17	-0,21	slaba / poor
3.	Świętokrzys- ki P. N.	0,63	1,84	0,60	0,36	0,32	-0,76	0,17	0,45	dobra / good
4.	Stary Sącz	0,78	-0,54	1,00	0,83	-0,48	-0,53	1,28	0,33	dobra / good
5.	Čierný Váh	-0,69	-0,51	-0,56	-0,49	-1,39	-0,62	-0,39	-0,66	zła / bad
6.	Beňuš	-0,69	-0,54	-0,89	-0,85	1,10	-0,74	-0,72	-0,48	slaba / poor
7.	Karlovice	-0,21	0,37	0,83	0,87	0,36	1,07	-0,17	0,45	dobra / good
8.	Kaliště	0,05	1,18	1,41	1,42	1,41	2,21	-0,22	1,07	b. dobra very good
9.	Boubín	-1,90	-1,12	-1,57	-1,82	-1,37	0,03	-1,83	-1,37	b. zła very bad

$f_1=5, f_2=25$) między współczynnikami kierunkowymi (b) równań wykładników potęgowych, co pozwoliło przyjąć wspólny współczynnik $\bar{b}=-0,5309$. Natomiast różnice między położeniem prostych reprezentujących poszczególne pochodzenia okazały się bardzo istotne ($F=48,02^{**}, f_1=5, f_2=30$). Zbliżone położenie cechowało proste pochodzeń Stary Sącz i ŚPN. Odrębną grupę, różniącą się bardzo istotnie od tych dwóch, utworzyły pochodzenia Beňuš, Rogów, Čierný Váh i Skarżysko.

Należy zauważyć wysoką zgodność (R^2_{ol}) danych rzeczywistych z obserwacji fenologicznych z obliczonymi wg równań logistycznych. Wahala się ona w zakresie 91,7–99,8%, wynosząc średnio $97,3\pm 2,2\%$.

3.5. Ocena wartości hodowlanej pochodzeń

Ocenę wartości uprawowo-hodowlanej pochodzeń z Regionu Karpackiego (tab. 6) oparto na średnich wartościach siedmiu znormalizowanych cech, reprezentujących etapy wzrostu i rozwoju sadzonek porównywanych pochodzeń w szkółce. Wśród pochodzeń czeskich, będących potomstwem drzew doborowych, na najwyższą ocenę zasłużyło pochodzenie Kaliště (1,07), a o połowę od niej gorszą (0,45) – Karlovice. Według tych kryteriów wartość wskaźników ich

oceny przewyższyła wartość oceny potomstwa drzewostanów pochodzeń polskich: ŚPN (0,45), Rogów (0,44), Stary Sącz (0,33), i Skarżysko (-0,21), a szczególnie słowackich, Beňuš (-0,48) i Čierný Váh (-0,66). Najgorszą ocenę w tym porównaniu uzyskało pochodzenie czeskie Boubín (-1,37), chociaż tak jak Kaliště i Karlovice było potomstwem drzew doborowych.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone w szkółce Lasów Doświadczalnych SGGW badania proveniencyjne potwierdziły, jako trzecie w Europie, istnienie zmienności genetycznej jodły pospolitej, związanej z położeniem geograficznym miejsca pochodzenia nasion, wykazując istotne zróżnicowanie międzypochodzeniowe na obszarze między 14° a 21° długości geograficznej wschodniej oraz 49° a 52° szerokości geograficznej północnej na terenie Polski, Słowacji oraz Czech. Zróżnicowanie to objęło zarówno cechy nasion (masę, żywotność, wydajność wschodów), jak i uzyskanych z nich sadzonek (wysokość i ich wzrost, cechy morfologiczne oraz objawy fenologiczne).

Masa nasion, decydująca w dużym stopniu o ich wartości siewnej (Sabor 1984), okazała się większa w przypadku pochodzeń polskich niż czeskich oraz słowackich i wykazywała

klinalny wzrost z szerokością geograficzną N, a spadek wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. położenia drzewostanów nasiennej. To samo dotyczyło żywotności nasion, pozostającej w ścisłym związku ich masą. Wymienione cechy nasion nie korelowały jednak z wydajnością wschodów i liczbą uzyskanych sadzonek, co uniemożliwia przewidywanie na tej podstawie efektów ich hodowli. Prognozowanie wydajności produkcji sadzonek jodły pospolitej na podstawie wyników próby krojenia nasion lub barwienia zarodków jest zawodne. Wskazane byłoby stosowanie bardziej obiektywnych metod oceny zdolności kiełkowania nasion, np. kiełkowania na kiełkowniku po przechłodzeniu lub bez przechłodzenia w H_2O_2 , bądź stosując rentgenografię z użyciem kontrastu (Załęski 2000).

Ważną cechą sadzonek, oprócz średniej wysokości osiągniętej w kolejnych latach, był jej wzrost, przebiegający w przybliżeniu prostoliniowo ($\bar{h}=a+b$). Wyniki uzyskane przy użyciu tego równania były bardziej zgodne z danymi rzeczywistymi niż uzyskane za pomocą funkcji wykładniczej ($\bar{h}=at^b$), chociaż oddaje ona tak samo dokładnie przebieg wzrostu wysokości.

Wysokość sadzonek ocenianych pochodzeń nie decydowała o liczbie odgałęzień bocznych i liczbie pączków szczytowych, dlatego można sądzić, że są to raczej cechy charakterystyczne dla osobników, a nie populacji.

Statystycznie istotna zmienność klinalna wyrażona spadkiem liczby pączków szczytowych na pędzie głównym przesadek testowanych pochodzeń z Regionu Karpackiego wraz ze wzrostem wzniesienia stanowisk drzewostanów nasiennej n.p.m. nie znalazła potwierdzenia w odniesieniu do liczby odgałęzień bocznych.

Obserwacje fenologiczne wykazały natomiast zmienność klinalną polegającą na opóźnieniu rozwoju pączków szczytowych i tempa wzrostu w sezonie wegetacyjnym wraz ze zwiększaniem szerokości geograficznej północnej i zbliżaniem się do północnej granicy zasięgu.

Wzrost na wysokość w sezonie wegetacyjnym trwał maksymalnie ok. 70 dni i przebiegał w sposób zbliżony do zaobserwowanego kilka lat później na uprawie 10-letnich sadzonek pochodzenia ŚPN (Michalak 1977a, b).

Wśród dobrze ocenianych pochodzeń polskich, niewytłumaczalna okazała się bardzo słaba wartość uprawowa i hodowlana jodły pospolitej pochodzenia Skarżysko, szczególnie w porównaniu ze ŚPN, reprezentującej sąsiedni obszar występowania. Dowodzi to, że dla potrzeb hodowli selekcyjnej konkretne pochodzenie winno być rozpatrywane w odniesieniu do drzewostanu macierzystego, a dopiero następnie do regionu.

Na tle korzystnej oceny pochodzeń Kalište i Karlovice, będących potomstwem drzew doborowych, świadczącej o celowości selekcji indywidualnej, bardzo złą ocenę pochodzenia Boubín można próbować uzasadnić niekorzystnym wpływem na cechy wzrostowe i rozwojowe wysokogórskich warunków siedliskowych drzewostanu matecznego, szczególnie w przypadku uprawy prowadzonej w warunkach skrajnie odmiennych. Z tego względu wysokogórskie pochodzenia słowackie okazały się słabo przystosowujące się do warunków, najniżej

położonego w obszarze naturalnego zasięgu, środowiska na północnej granicy zasięgu, co potwierdza słuszność stosowania regionalizacji pionowej przy przenoszeniu materiału rozmnożeniowego.

Wśród badanych czynników, wpływających na zachowanie testowanych pochodzeń jodły pospolitej w warunkach siedliskowych krańca naturalnego zasięgu decydujące znaczenie miało wzniesienie n.p.m. stanowisk drzewostanów matecznych.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania

Autorzy dziękują Panu mgr. inż. J. Knutelowi (1965) z Katedry Hodowli Lasu Wydziału Leśnego SGGW w Warszawie za pomoc w pracach związanych z produkcją i pomiarami sadzonek jodły pospolitej w szkółce LZD Rogów. Współautorzy dziękują [śp. dr. S. Guni] za przygotowanie pierwszej wersji artykułu.

Literatura

- Barzdajn W. 2009. Adaptacja różnych pochodzeń jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) do warunków Sudetów. *Leśne Prace Badawcze* 70(1): 49–58.
- Barzdajn W. 2010. Provenance and family variation of Silver fir (*Abies alba* Mill.) in the experiment established in the Siemianice Forest Experimental Station in 1996. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* 73: 51–64.
- Bednarek A. 1993. Warunki fizjograficzne – klimat, w: Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie (red. R. Zielony). SGGW, Warszawa, 24–41. ISBN 8300027823.
- Elandt R. 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczeń rolniczych. PWN, Warszawa, 595 s.
- Engler A. 1905. Einfluss der Provenienz des Samens auf die Eigenschaften der Forstlichen Holzgewächse. Tanne (*Abies pectinata* DC). I. Versuche mit Samen aus verschiedenen Höhenlagen und von Bäumen verschiedenen Alters. *Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für Forstliche Versuchswesen* 8(2): 201–208.
- Gunia S. 1975. Zur Ökotypen Frage bei der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) in Polen. *Referáty knonferencie s medzinárodnou účasťou „Pestovanie a ochrana jedle”*. Zvolen, 9–11.9.1975, 201–210.
- Gunia S. 1978. FAO Seminar on Heathland and Sand Dune Silviculture. Denmark 23.06.–20.07.1978 (Sprawozdanie, maszynopis).
- Gunia S. 1984. Höhenwachstum und morphologische Merkmale der fünfzehnjährigen Weisstanne (*Abies alba* Mill.) einiger heimischer und fremder Herkünfte am Nordrande ihres Naturverbreitungsgebietes in Polen. *Annals Warsaw Agricultural University – SGGW-AR, Forestry and Wood Technology* 32: 31–40.
- Gunia S. 1985. Zur Frage der Wechselwirkung zwischen Erbgut und Umwelt bei der Weißtanne (*Abies alba* Mill.). Ergebnisse des 4. Tannen-Symposiums. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen* 80: 120–136.

- Gunia S. 1994. Verschulpflanzen (2+3) verschiedener Herkünfte von Weisstanne (*Abies alba* Mill.) am Nordrand ihres natürlichen Verbreitungsgebietes in Polen. 7. IUFRO – Tannensymposium, Altensteig, 84–104.
- Hartig M. 2012. Informacja o uprawach jodły pospolitej założonych w b. NRD w latach 1957–1961 (Notatka odręczna).
- Henriksen H.A. 1957. Forsøgsvæsenets prøveflader i *Abies*-arter. *Det Forstlige. Forsøgsvæsen i Danmark* 23(3): 281–344.
- Hynek V. 2000. Návrh semenářských oblastí a přenosu reprodukčního materiálu. Pestovani lesa, LP 34, 174–176.
- Klisz M., Jastrzębowski S., Ukalska J., Przybylski P., Matras J., Mionskowski M. 2016. Podatność populacji jodły pospolitej na uszkodzenia od przymrozków późnych. *Leśne Prace Badawcze* 77(1): 24–31. DOI 10.1515-frp-2016-0003.
- Knutel J. 1965. Wzrost i rozwój jodły pospolitej różnego pochodzenia w pierwszym okresie życia na terenie Leśnictwa Strzelna Lasów Doświadczalnych SGGW. Praca magisterska. Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu SGGW w Warszawie, 27 s.
- Konecka-Betley K., Czempińska-Kamińska D., Janowska E. 1993. Gleby – właściwości i typologia, w: Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie (red. R. Zielony). SGGW, Warszawa, 48–65. ISBN 8300027823.
- Kral F. 1980. Waldgeschichtliche Grundlagen für Ausscheidung von Ökotypen bei *Abies alba*. 3. Tannen – Symposium Wien 1980: 158–168.
- Larsen J.B. 1981. Waldbauliche und ertragskundliche Erfahrungen mit verschiedenen Provenienzen der Weißtannen (*Abies alba* Mill.) in Dänmark. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 100: 275–287.
- Løfting E.C.L. 1954. Danmarks Aedelgranproblem. I. Del. Proveniensvalg. *Forstl. Forsøgsv. Danmark*, 21 s.
- Løfting E.C.L. 1959. Danmarks Aedelgranproblem. II. Dyrkningsbetingelserne for *Abies Alba* (Mill.) og *Abies nordmanniana* (Spach.) i Danmark. *Forsøgsvæsenets prøveflader i Abies-arter.*, 26 s.
- Løfting E.C.L. 1977. Danmark's silver fir problem. Part III. The influence of local climate on the choice of provenance and silvicultural methods. *Det Forstlige. Forsøgsvæsen i Danmark*. 35(1): 69–134.
- Meyer H. 1956. Über Standortsrasen und Saatgutherkunft der Weißtanne (*Abies alba*). *Forst u. Jagd* 6(6): 7–9.
- Michalak K. 1977a. Rytmika przyrostu wysokości w okresie wegetacji ważniejszych gatunków drzew leśnych i jej zależność od elementów meteorologicznych. *Zeszyty Naukowe SGGW-AR w Warszawie, Leśnictwo* 25: 19–44.
- Michalak K. 1977b. Wzrost i przyrost wysokości w sezonie wegetacyjnym ważniejszych gatunków drzew leśnych. *Sylvan* 121(1): 23–39.
- Ministerstvo Pôdohospodárstva Slovenskej Republiky 2001. Vzhľadka o reprodukčnom materii drevin, jeho získavani a evidencii. Zbierka zákonov č. 64, 814–835.
- Okta W. 1966. Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa. PWN, Warszawa, 310 s.
- Ożga W. 2001. Zmienność czasowa opadów atmosferycznych w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie w latach 1923–2000. *Sylvan* 145(10): 53–60.
- Pavari A. 1951. Esoerienze e indagini su le provenienze e razze dell' 'Abete bianco (*Abies alba* Mill.). Pubblicazioni della Stazione Sperimentale di Selvicoltura Firenze No 8.
- Perkal J. 1963. Matematyka dla przyrodników i rolników. Część II, PWN, Warszawa, 315 s.
- Plochinskij I.A. 1961. Biometrija. Izdatielstvo Sibirskogo Otdelenija AN SSSR, Nowosibirsk, 364 s.
- Sabor J. (red.), Bałut S., Skrzyszewska K., Kulej M., Baran S., Banach J. 1996. Ocena zróżnicowania i wartości hodowlanej polskich pochodzeń jodły pospolitej w ramach Ogólnopolskiego Doświadczenia Proweniencyjnego Jd PL 86/90. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Hugona Kollątaja w Krakowie, ser. Leśnictwo* 24: 1–264.
- Sabor J. 1984. Zależność między ciężarem a zdolnością kiełkowania nasion jodły pospolitej. *Sylvan* 128(4): 59–69.
- Skrzyszewska K. 1999. Wartość genetyczno-hodowlana jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) reprezentowanej w Ogólnopolskim Doświadczeniu Proweniencyjnym Jd PL 86/90. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Hugona Kollątaja w Krakowie, ser. Sesja Naukowa* 61: 43–66.
- Skrzyszewska K. 2010. Variability of spring flushing in silver fir (*Abies alba* Mill.) of Polish provenances tested in the Jd PL 86/90 provenance test. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* 73: 65–73.
- Snedecor G.W. 1957. Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology. The Iowa State College Press, Ames., 503 s.
- Svoboda P. 1953. Lesní dřeviny a jejich porosty. Část 1. SZN Praha.
- Szeligowski H. 2006. Analysis of selected attributes of different provenances of Silver fir (*Abies alba* Mill.) at experimental trial in the Forest Experimental Station in Rogów at the age of 21 years. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* 60: 95–104.
- Szeligowski H., Bolibok L., Buraczyk W., Drozdowski S. 2011. Analiza wybranych cech jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na powierzchni proweniencyjnej w Rogowie. *Leśne Prace Badawcze* 72(3): 225–231. DOI 10.2478/v10111-011-0022-9.
- Środoń A. 1983. Jodła pospolita w historii naszych lasów. Jodła pospolita *Abies alba* Mill. Warszawa–Poznań, PWN, 4–40.
- Vinš B. 1966. Příspě k výzkumu proměnlivosti jedle (*Abies alba* Mill.). *Rozpravy Československé Akademie Věd. Řada Matematických a Přírodních Věd*. 76(15): 1–82.
- Załęski A. (red.) 2000. Zasady i metodyka oceny nasion w Lasach Państwowych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa, 180 s.
- Zasady hodowli lasu. 2003. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa, 159 s.
- Zielony R. 1993. Siedliskowe typy lasu, w: Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie (red. R. Zielony). SGGW, Warszawa, 89–108. ISBN 8300027823.
- Zielony R., Zaręba R., Szyprowski W. 1993. Zespoły leśne, w: Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie. (red R. Zielony). SGGW, Warszawa, 66–88. ISBN 8300027823.

The first Polish provenance experiments with silver fir *Abies alba* Mill.

Stanisław Gunia¹, Jan Łukaszewicz^{2*}, Henryk Szeligowski¹ 

¹Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Faculty of Forestry, Department of Forest Silviculture, ul. Nowoursynowska 166, 02–787 Warsaw, Poland; ²Forest Research Institute, Department of Silviculture and Genetics of Forest Trees, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn, Poland

*Tel. +48 22 7150682, e-mail: J.Lukaszewicz@ibles.waw.pl

Abstract. Silver fir *Abies alba* Mill. provenance trials started in Poland a few years after Pavari (1951) proved that the origin of this tree species influences its genetic variability. Further confirmation came from provenance trials, which selected provenances for cultivation in Denmark and showed provenance-dependent genetic variability even within a relatively small area such as the Czech Republic. The Polish trial, started in 1960, compared 6 provenances from the West and Central Carpathian region (4 from Poland, 2 from Slovakia) and 3 from the Hercynic region (Czech Republic). The trial was established in the Experimental Forests of the Warsaw University of Life Sciences in Rogów, at the northern border of the natural silver fir range. Results from the nursery stage experiments proved the existence of latitudinal and altitudinal clines based on data for seed weight, height growth, number of terminal buds as well as bud and needle development. The Polish provenance ‘Stary Sącz’ and two Slovak provenances, ‘Čierný Váh’ and ‘Beňuš’, were early flushing, whereas the Polish provenance ‘Rogów’ behaved differently and was late flushing. Even at the nursery stage, the positive influence of tree selection on height growth and progeny characteristics of the two Czech provenances was evident. The Carpathian provenances were furthermore evaluated according to the index of cultivation and breeding: very good – ‘Rogów’; good – ‘SPN (Świętokrzyski PN)’, ‘Stary Sącz’ and ‘Skarzysko’; poor – ‘Čierný Váh’ and ‘Beňuš’.

Keywords: silver fir, provenance trial, seedlings, height growth, terminal buds phenology

1. Introduction

In Poland, the first studies on silver fir *Abies alba* Mill. Provenances were launched in 1960 (Gunia 1975), in view of the observed differentiation of Polish silver fir stands and the results of the provenance trials carried out in other European countries.

Silver fir genetic diversity was not recognized up until the mid-1900s. This was due to the misguided view of Engler (1905), who installed the first provenance trial in Switzerland in an attempt to study the silver fir genetic diversity. The author compared seedlings (2/0) and seedlings transplanted after two years growth (2/2) grown from the seeds collected from 10 trees growing in one of the regions of the Alps, at an altitude of 680–330 m a.s.l. The results obtained at that time showed distinctions neither in the height of the trees studied nor in the bud phenology; hence, it was con-

cluded that in silver fir, there was no genetic diversity related to the site of origin, in contrast to Scots pine *Pinus sylvestris* L. and Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst. It was much later (1925–1949) when this conclusion was proved incorrect by the results of the two provenance trials carried out in the Apennine Mts. in Italy and published by Pavari (1951). This author compared 18 silver fir provenances, mostly from the Italian and Austrian parts of the Alps (950–1500 m a.s.l.), the northern Apennines (1000 and 1350 m a.s.l.), the southern Apennines (Calabria; 1000 m a.s.l.) and the sub-Alpine regions in Austria and France (the Pyrenees, the Vosges, Normandy).

Significant diversity of silver fir provenances in terms of survival and growth characteristics was found in the not replicated provenance trials carried out in Vallombrosa near Florence (1000 m a.s.l.) and in Alta Val Parma (1470 m a.s.l.). In Vallombrosa, the best results in terms of survival,

received: 10.12.2018 r., accepted after revision: 11.09.2019 r.

height and DBH were achieved by silver firs of Serra San Bruno (Calabria) and local Vallombrosa origins, whereas silver firs of Burgenland (Austria) origin showed the poorest results. In Alta Val Parma, the provenances originating from southern regions could not withstand the local mountain climate. All the provenances studied were characterized by a clear diversity of morphological and needle features.

Next trials on silver fir diversity were carried out in Denmark (the mid-1930s), outside the natural range of this species. The aim of the studies then undertaken was to choose the best provenances for reforestation that was carried out to counteract the adverse effects of deforestation due to expansion of agriculture. In Denmark, forest restoration began already in the mid-1800s with the introduction of non-native forest tree species, including silver fir. It turned out that the latter tolerated local climate quite well, and was productive enough, notwithstanding the fact that young plantations were injured by spring frosts and drought, whereas older stands were damaged due to strong winds (Henriksen 1957). The biological strength of silver fir introduced in Denmark on inland dunes was evidenced by the fact that naturally regenerating second generation turned into silver fir stands, characteristic of diversified height and biosocial structure (Gunia 1978)

In 1934, the first provenance trial (without replications) was carried out in Denmark on seven analogous plots. Then, 20 provenances were compared, including 3 representing Danish stands introduced earlier, and 17 originating from silver fir range in Europe (excluding Poland) (Løfting 1954, 1959, 1977). Along with the growth characteristics, there was studied resistance to aphids *Dreyfusia nordmanniana* (Eckstein 1890). The provenances from central Europe proved to be more sensitive to aphid infestation when compared to those from Europe's eastern and southern regions. Initially, the greatest resistance and favourable growth characteristics were identified in the provenance from Lapus situated in the Romanian Carpathians (700 m a.s.l.), Gargilione–Calabria (1600 m a.s.l.) and Perister planina-Macedonia (1500 m a.s.l.). The provenance from Calabrian Gargilione showed the best characteristics later on – at the age of 44 years, its thickness values were significantly higher (160%) when compared to the other silver fir provenances observed within the research area established in Frijsenborg (Larsen 1981). In general, the provenance from lower altitudes showed better growth values when compared with those originating from higher heights above sea level. The provenances from eastern and southern Europe were characterized by greater vitality due to better moisture conditions in their new environment, more favourable for tree growth when compared to those in indigenous habitats.

In 1955, additional provenance trials (4) were established in Denmark (Løfting 1959), and these included 6 silver fir provenances from Poland: the Świętokrzyskie Mts. (seeds from the collection of the Forest Research Institute – IBL), the

Świętokrzyski National Park (seeds from German collection), Tomaszów Lubelski, Brzezina and from the Carpathian Mts.: 2 provenances imprecisely labelled 'Kraków' (probably Stary Sącz) and 'Rzeszów' (probably the Beskid Niski Mts.). The provenances from Poland were compared with those from France (Normandy) and the progeny of a silver fir stand introduced earlier to Denmark. The first results did not confirm the expected greater resistance of Polish provenances to drought, but showed their some what greater resistance to spring frosts.

The provenance from the Świętokrzyskie Mts. achieved the best standard values on two research plots: $\bar{h} = 1.6$ s (on the first and second plot: 174 cm at the age of 15 years and 211 cm at the age of 16 years, respectively). On the third plot, 16-year-old provenance from Tomaszów Lubelski (278 cm) and the provenance 'Kraków' (288 cm) achieved the result $\bar{h} > 1.0$ s.

In Czechoslovakia, where silver fir is an important forest-forming species, provenance studies were initiated by Vinš in 1956 (Vinš 1966). These were carried out in two series comprising the progeny of 3–10 maternal trees from 10 different locations in Czechia and Moravia. There was evaluated the growth of seedlings (2/0) and transplanted seedlings made from them under nursery and research plot conditions. Both silver fir seedlings and transplanted seedlings that originated from the relatively small geographical region under the study showed statistically significant differences. Seedlings from Czechia showed lower height values when compared with those from Moravia. However, no relationship was found between the features (as assessed in forest valuation) of maternal trees and growth traits of their progeny.

At that time, there were established provenance studies on silver fir in Germany (then GDR) by the Institute of Selective Breeding of Forest Trees in Graupa (Meyer 1956). Based on the results of the initial tests, in the years 1957–1961, there were imported silver fir seeds from Poland, collected in: Kraków surrounding area (267 kg) and Przemyśl (71 kg), and handed over to the forest administration units in the Western Kruszcwowe Mountains. The results of these studies have not yet been compiled and analysed (Hartig 2012).

The results of the abovementioned studies, especially those carried out in Denmark, showed a high probability of occurrence of genetic diversity in silver fir (also growing under Poland's conditions), as well as a note worthy cultivation and silvicultural value of its provenances. The diversity was developed under variable environmental conditions during long-distance and long period migration after the glacier retreat from their refugium on the Apennine and Balkan Peninsulas, through the Carpathians to the North European Plain (comprising the *Wyzyny i Niziny Środkowopolskie*), where silver fir reached the north-eastern boundary of its current natural range (Kral 1980; Środoń 1983). The creation of the boundary was forced by both adverse climatic conditions (mainly humidity) and expansion of agriculture on fertile and wet soils.

In Poland, silver fir provenance studies have been carried out with the aim to understand the genetic diversity in the native provenances and to show the prospects of its use in forest crop growing and silviculture. The trials were initiated in 1960 (Gunia 1975) and were carried out in subsequent years, so a set of provenances tested gradually expanded (Gunia 1984, 1985, 1994; Szeligowski 2006; Szeligowski et al. 2011). One of the milestones was the possibility of conducting provenance trials in the area of northern boundary of silver fir natural range, that is, in the Rogów Experimental Forests of the Warsaw University of Life Sciences SGGW, with satisfactory climatic and soil conditions – conducive to silver fir growth and development. The results of these studies encouraged the establishment of further silver fir provenance trials in Poland, for example, under the nationwide program Jd PL 86/90 (Sabor et al. 1996; Skrzyszewska 1999, 2010), as well as those established in the Sudety Mts. and other regions of Poland (Barzdajn 2009, 2010), and also – the Program for testing Polish fir populations was launched (Klisz et al. 2016).

The stage of seedling production and related initial testing constituted the basis for a series of further studies on the growth and developmental stages of 9 silver fir provenances from Poland, Slovakia and the Czech Republic in the period of over 50 years.

The purpose of the study was to assess the cultivation and silvicultural value of silver fir provenances from the Carpathian Region, based on the average values of standardized features of seeds (weight, vitality, germination) and those

of derived seedlings (height and growth, morphological features, phenology).

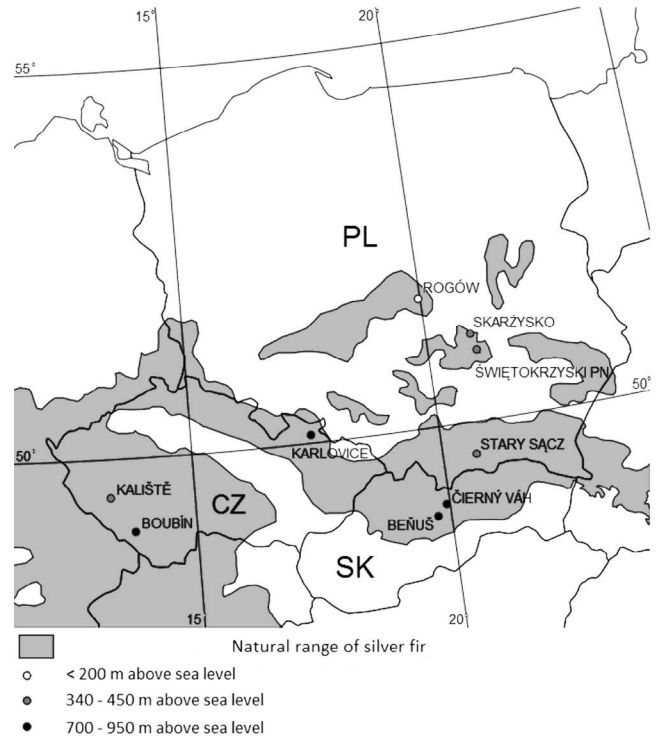


Figure 1. Geographical location of silver fir *Abies alba* Mill. tested in WULS Experimental Forests in Rogów

Table 1. Provenance of seeds of silver fir *Abies alba* Mill. used for research in the Experimental Forests of the Warsaw University of Life Sciences (WULS) in Rogów

n o	Provenance	Country	Origin region	Geographical region	Forest seed region	Geographic coordinates		a litude a.s.l. [m]
						l atitude n	Longitude E	
1.	Rogów	Polska		Wyżyna Łódzka	318/6 – 651 ²	51°40'	19°58'	190
2.	Skarżysko	Polska		Puszcza Świętokrzyska	342/6 – 604 ²	51°08'	20°55'	350
3.	Świętokrzyski Park Narodowy	Polska	Region Zachodnio- i Środkowo-karpacki ¹	Góry Świętokrzyskie	342/6 – 604 ²	50°55'	21°00'	350
4.	Stary Sącz	Polska		Beskid Sądecki	513/8 – 803 ²	49°35'	20°40'	340
5.	Čierný Váh	Słowacja		Mała Fatra	34 a ³	49°00'	19°56'	850
6.	Beňuš	Słowacja		Nízne Tatry	46 B ³	48°52'	19°44'	700
7.	Karlovice	Czechy		Jesioniki (Sudety)	27 ⁴	50°06'	17°25'	850
8.	Kaliště	Czechy	Region Hercyński ¹⁾	Szumawa	13 ⁴	49°30'	13°19'	450
9.	Boubín	Czechy		Szumawa	13 ⁴	49°03'	13°47'	950

¹ Svoboda (1953)

² Leśna Regionalizacja dla nasion i sadzonek w Polsce (1996)

³ Ministerstvo Pôdohospodárstva Slovenskej Republiky (2001)

⁴ Hynek (2000)

Table 2. Characteristic of seeds of silver fir *Abies alba* Mill. used for research in the WULS Experimental Forests in Rogów

n o	Provenance	Place of cone harvesting	Age of seed trees [years]	Seed characteristics			
				Purity [%]	1000 seed weight [g]	Viability [%]	Seedling percentage [%]
1	Rogów	drzewostan	60–90	98	51.0	48	25.5
2	Skarżysko	drzewostan	90–100	96	56.2	68	9.3
3	Świętokrzyski P. N.	drzewostan	100–120	97	49.9	54	44.4
4	Stary Sącz	drzewostan	90–110	93	51.1	55	10.7
5	Čierný Váh	drzewostan	95	91	39.2	28	15.0
6	Beňuš	drzewostan	90	91	39.2	28	14.6
7	Karlovice	3 drzewa doborowe	120	92	42.2	41	26.0
8	Kaliště	3 drzewa doborowe	95	95	30.7	31	36.1
9	Boubín	4 drzewa doborowe	90	92	28.5	28	5.9

2. Study object and methodology

The studies were carried out on 9 silver fir provenances (Fig. 1, Tab. 1): 6 provenances from the Western and Central Carpathian Region, including 4 provenances from Poland – Rogów, Skarżysko, Świętokrzyski National Park (ŚPN, the Małopolska Kraina Leśna) and Stary Sącz (the Kraina Karpacka); 2 provenances from Slovakia – Čierný Váh (Stredoslovenská oblas) and Beňuš (Horehronsko-hnilecká oblas); and 3 provenances from the Czech Republic – the Hercyni region – Karlovice (Sudetská oblas) as well as Kaliště and Boubín (Šumavská oblas). The Polish and Slovak provenances tested were the progeny of seed stands, and each of the three Czech populations was derived from a mixture of seeds collected from 3–4 maternal trees of each provenance under the study (Tab. 2).

Polish and Slovak seed stands grow at an altitude of 190–850 m a.s.l., in a strip between the lines of longitude: 19°44'E and 21°00'E, situated in the northern boundary of silver fir range in Poland and stretching to the southern range boundary in Slovakia. In the Czech Republic, silver fir stands are situated more westerly (13°19'E–17°25'E) – in the Sudetes (Jeseníky, 850 m a.s.l.), and Šumava (450 and 950 m a.s.l.), near the southern border of Poland.

Silver fir seeds were obtained in the autumn of 1960 and evaluated shortly after harvesting, using the methods established by the Forest Research Institute – IBL (Załęski 2000). The seeds of local origin from Rogów were collected in the Forest Sub-district Jasień (the Zacywilki Uroczysko, the Rogów Experimental Forests). The evaluated seeds of the other Polish provenances tested were obtained from

Prof. S. Tyszkiewicz, Dept. of Seed and Selection of Forest Trees, IBL. The seeds of the Slovak and Czech provenances were obtained under the cooperation with Dr. B. Vinš from the Institute of Forestry and Hunting (VÚLHM) in Prague.

The seedlings were produced within a 6-acre ground of a forest nursery established in the unit 141d of the Rigor Experimental Forests, surrounded by Scots pine stands (IV/V age class), growing on deciduous forest site (Zeeland 1993; Zeeland et al. 1993) with poor-quality pods soils, formed from silts on glacial tilts (Konecka-Betley et al. 1993).

Weather data during seedling production period were obtained from the meteorological station in Rogów (Bednarek 1993; Ożga 2001). In December 1960, positive average temperature (2.1°C) allowed to carry out late autumn sowing in the nursery. In the 4-year period of seedling production, the average annual temperature in 1961 (7.8°C) was slightly higher than the long-term average (7.4°C), and in the remaining years, it was lower (6.4; 6.3 and 6.7°C). Higher temperature and higher rainfall in the spring of 1961 favoured seed germination and seedling emergence. In 1963 and 1964, sufficient precipitation enhanced the growth of the transplanted seedlings. During the first two study years, the sums of annual precipitation (748 mm and 677 mm) significantly exceeded the long-term average (595.6 mm). In the third year, the sum of precipitation was lower (534 mm) when compared to the long-term average, and in the last year of observations, the sum of precipitation amounted to 608 mm.

All the provenances tested (9) were seeded in the late autumn of 1960 in the randomized block design (3 blocks). After two years, seedlings (2/0) were transplanted (2/2) in order to obtain also in three repetitions, in the same block

Table 3. Growth characteristics of seedlings and transplants of silver fir provenances *Abies alba* Mill. tested in the nursery of the WULS Experimental Forests in Rogów

no	Provenance	Mean heights of plants in the successive years [cm]				Mean number of side twigs by 2/2-transplants	Mean number of terminal buds by 2/2-transplants	Survival of 2/2-tr ansplants [%]
		Seedlings		t ransplants				
		Age of plants [years]						
		1.	2.	3.	4.			
1	Rogów	3.43	7.21	10.26	14.88	2.42	3.57	83.8
2	Skarżysko	3.22	7.03	9.75	14.45	2.18	3.33	72.0
3	Świętokrzyski P. N.	3.81	7.94	10.91	15.47	1.99	3.33	81.0
4	Stary Sącz	3.99	7.98	11.43	15.80	2.15	3.53	72.5
5	Čierný Váh	3.41	6.60	9.53	14.52	2.09	3.23	62.9
6	Beňuš	3.45	7.31	10.49	14.25	2.01	3.17	89.3
7	Karlovice	3.73	7.49	10.64	15.66	3.24	3.27	81.4
8	Kaliště	3.91	7.86	11.19	16.14	4.01	3.26	92.5
9	Boubín	3.33	6.63	9.23	13.69	2.53	2.97	63.1

system. In the spring of 1961, the efficiency of emergence was determined, and in the spring of 1964, the survival of the transplanted seedlings.

The height achieved by the seedlings in the first two years of growth, and by the transplanted seedlings in the next two years was measured with an accuracy of 1 mm. There were also assessed the numbers of lateral branches and apical buds on the main shoot of the transplanted seedlings (2/2) (tab. 3).

The results of tree height measurements were analysed according to the following formula:

$$\bar{h}_i = \mu + P_i + E_{ij}$$

where:

\bar{h}_i – average height of plants of i provenance,

μ – overall average,

P_i – the effect of i provenance,

E_{ij} – relationship between j site conditions and i provenance traits.

Numerical results of the examined traits were evaluated by means of the mathematical and statistical methods (Snedecor 1957; Elandt 1964; Oktaba 1966). Correlations and regressions were calculated and analysed with the use of Statgraphics Plus Software 4.1. Curvilinear relationships, if possible, were transformed into linear (if possible) by transformation of variables. Details and symbols of the variables are given when presenting the relevant calculations.

The results of assessing the differences between the experimental variants were marked with the following signs:

X – no significant differences,

X^+ – minor differences at a significance level $\alpha = 0.10$,

X^* – significant differences at $\alpha = 0.05$,

X^{**} – very significant differences at $\alpha = 0.01$.

The number of degrees of freedom ($N-1$) was marked with f . Symbols of the tested traits are presented in the section where the results are described. The cultivation-silvicultural value (W_{u-h}) of the tested provenances was determined using the function ordering normalized values of the assessed traits (Perkal 1963):

$$W_{u-h} = \frac{1}{7} (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7)$$

where:

x_1 – weight of 1000 seeds,

x_2 – efficiency of seedling emergence,

x_3 – height of transplanted seedlings (2/2)

x_4 – b coefficient of equations of lines for seedling and transplanted seedlings height increases $h = a + b_p$,

x_5 – transplanted seedlings (2/2) survival rates,

x_6 – number of side branches of transplanted seedlings (2/2),

x_7 – number of buds at the top of transplanted seedlings (2/2).

The following classes of the cultivation-silvicultural value (W_{u-h}) were distinguished:

- very good: $W_{u-h} > 0.50$,
- good: $0.00 < W_{u-h} < 0.50$,
- weak: $-0.50 \leq W_{u-h} < 0.00$,
- bad: $-1.00 < W_{u-h} < -0.50$,
- very bad: $-W_{u-h} \leq -1.00$.

During the growing season in 1964, there were carried out phenological observations on the development of apical buds in the transplanted seedlings (2/2) of the Polish and Slovak provenances from the Carpathian Region. On each plot, being a repetition, 30 transplanted seedlings (2/2) were randomly selected, that is, a total of 90 specimens of each provenance. During the subsequent observation periods (d), every two days, there was determined the number of transplanted seedlings (2/2) in the following development stages:

- start of budding – cracking of the resin layer and bud scales; appearance of light brown or greenish stripes,
- bud opening – visible green needles between opened scales on the bud top,
- needle development – scales widely opened and fully visible needles.

For statistical analysis of percentage data (p), development stages of transplanted seedlings' buds (2/2) of individual provenances, the logistic equations (Płochinskij 1961) were used:

$$p = 100/1 + 10^{a-bd}$$

After the log transformation, they took the form of the straight line equations, to calculate exponents:

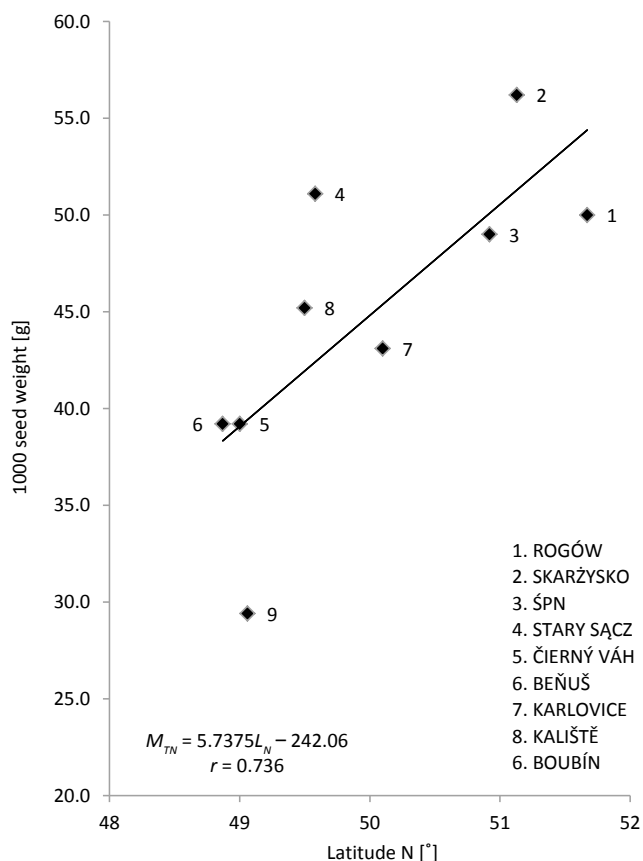


Figure 2. Relationship of thousand seed weight (M_{TN}) of silver fir provenances with latitude North (ϕ_N)

$$\log(100/1 - 1) = a - bd$$

Comparisons of the equations relating to individual provenances were carried out at $p = 50\%$, when $a + b t = 0$, therefore: $d = a/b$.

After starting height increase by 2/2-transplanted seedlings in the fourth observed growing season, its size was measured with an accuracy of 1 mm: day 1 (May 10), day 26 (June 5), day 34 (June 13), day 48 (June 27) and day 71 (July 15).

3. Results

3.1. Seeds

The heaviest seeds were of Polish origin (Tab. 2) – the weight of 1000 seeds (1,000 kernel weight – 1,000 K) was about 50 g. Seeds of Slovak origin were almost 10 g lighter – even though they were collected in tree stands (likewise Polish seeds). The Czech seeds from Karlovice and Kalište (collected from selected trees) showed the weight similar to that of the Polish seeds. The seeds of the Czech provenance from Boubín showed the lowest weight value.

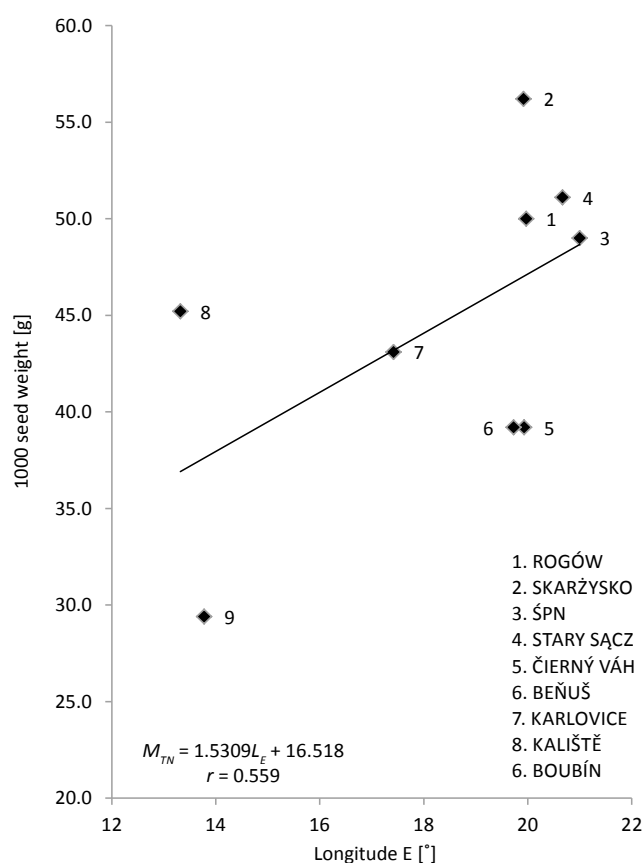


Figure 3. Relationship of thousand seed weight (M_{TN}) of silver fir provenances with longitude East (λ_E)

There was found a significant relationship between 1,000 K and northern latitude (ϕ_N) of maternal seed stand sites. The 1,000 K value increased with increasing ϕ_N (Fig. 2), and the relationship between 1,000 K and the site eastern longitude proved to be weak (Fig. 3). Nonetheless, there was observed a very significant correlation ($r = 0.864^{**}$) between decreasing 1,000 K values and increasing altitudes a.s.l. (A) of seed stand site locations (Fig. 4).

The simultaneous analysis of the effects of both independent variables (ϕ_N) and (A) on the 1,000 K values in the tested provenances ($r = 0.900^{**}$), confirmed stronger impact of altitude a.s.l. changes seed stands rather than changes in north latitude.

It was also found that the 1,000 K values in the tested provenances significantly determined ($r = 0.959^{**}$) seed vitality (health – Z_d).

Due to the comparatively higher 1,000 K values, silver fir seeds from Poland showed much higher vitality than those from Slovakia and the Czech Republic (Table 2). Their Z_d values increased significantly ($r = 0.768^*$), as did the 1,000 K values, with the increase in the latitude of the place of origin. It also decreased significantly ($r = -0.708^*$) with increasing altitude a.s.l..

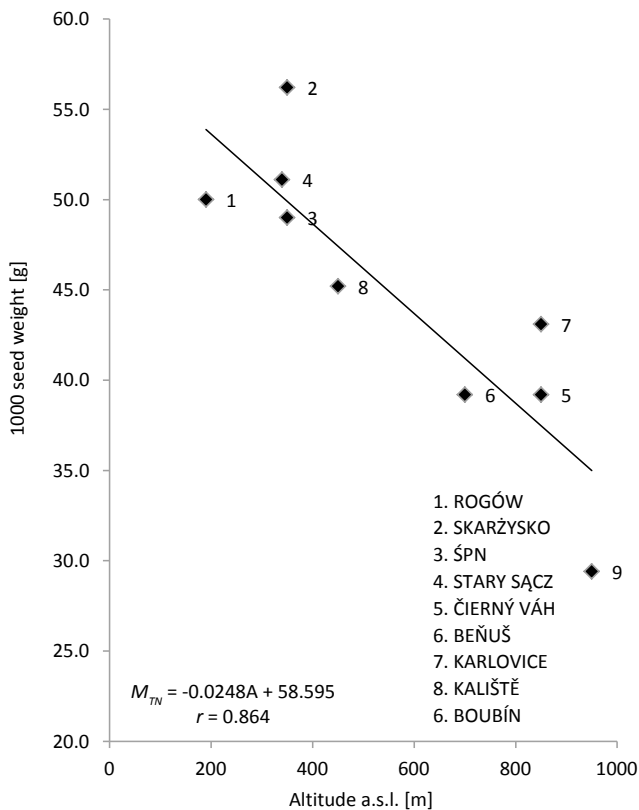


Figure 4. Relationship of thousand seed weight (M_{TN}) of fir provenances with altitude (A) of seed stands sites

3.2. Production efficiency and increase in seedling height increment

The end result of the production of seedlings, intended for establishing experimental crops, depended both on silver fir seed germination and seedling emergence and survival of transplanted seedlings.

The overall seedling emergence (\bar{W}_w) was $20.8 \pm 12.5\%$ (Tab. 2) and significantly differed from the expected emergence calculated based on the assessment of seed vitality ($r = 0.075^-$). \bar{W}_w exceeded only 2 provenances: ŚPN and Kalište. In the provenance Boubín, seedling efficiency of emergence showed the value below 8.3. The value of \bar{W}_w in Skarżysko provenance was close to it.

$77.6 \pm 10.6\%$ 2/2-transplanted seedlings was obtained from the 2/0 seedlings. The transplanted seedlings derived from Rogów and Kalište showed the highest survival rates, and the lowest – transplanted seedlings derived from Čierný Váh and Boubín. No relationship was observed between the survival rates and the average tree height, the number of branches, the number of buds, as well as the geographical location of maternal stands. In the case of \bar{W}_w , there was observed a weak effect ($r = 0.615^+$)

The average height of all seedlings taken to transplanting was in the first year 3.59 ± 0.47 cm. In the second study year, the average height value increased to 7.34 ± 0.91 cm. The transplanted seedlings obtained from them reached the height of 10.38 ± 1.23 cm in the third study year, and 14.98 ± 1.32 cm in the fourth study year (Tab. 3). The values of coefficients of variation ($V_{\%1} = 13.2\%$, $V_{\%2} = 12.4\%$, $V_{\%3} = 11.8\%$, $V_{\%4} = 8.8\%$) showed decreasing height differentiation with increasing seedling age.

During the 4-year-long period, the Czech provenance Kalište from Šumava showed the uppermost height values. These slightly exceeded the height values in the Polish provenance from Stary Sącz. Both provenances maintained their leading ranking positions throughout their growth in the nursery. The lowest position in the ranking had the Czech provenance from Boubín, (also from Šumava), but from the parent stand at the higher altitude above sea level (Tab 3).

The ranking of the provenances in terms of the average seedling height did not change much with tree age. The largest displacements of the height ranking items occurred among the seedlings. The position of transplanted seedlings of individual provenances was very similar in both the 3rd and 4th year.

Since the increase in seedling height and transplanted seedlings of the tested provenances run in a relatively straight line, it was equalized by a straight equation:

$$\bar{h} = a + b \cdot t,$$

where:

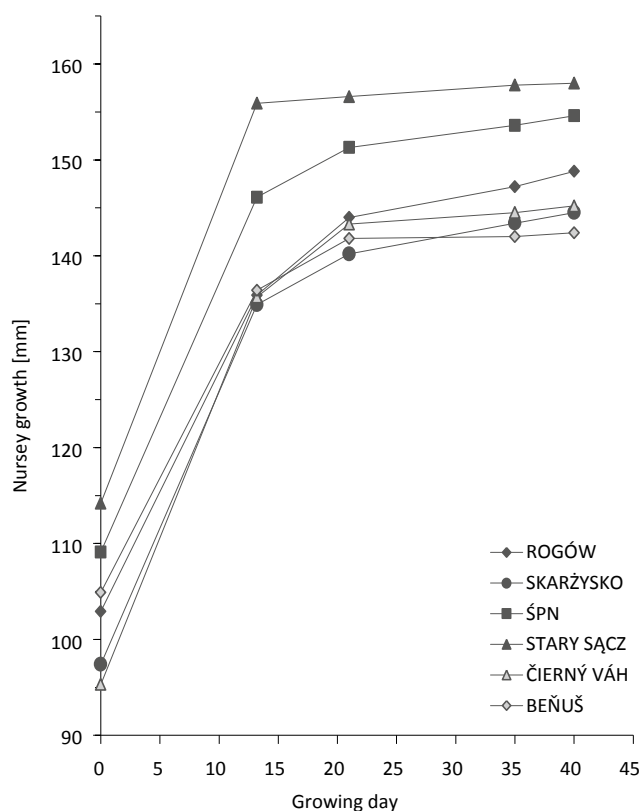
\bar{h} – average height in cm achieved at the age of t years,
 a, b – coefficients of the equation

The very significant dependency of \bar{h} on t , expressed by the correlation coefficient r , was located in the estima-

Table 4. e equations ($h=a+bt$) determining the height of seedlings and transplants of silver fir provenances tested in nursery of the WULS Experimental Forests in Rogów and their distances from X axis

n o	Provenance	$h = a + bt$	r	$\pm s_{h,t}$	Y_D [cm]
4.	Stary Sącz	$h = 0.087 + 3.886 t$	0.995**	0.46	9.802 a^1
8.	Kalište	$h = -0.230 + 4.002 t$	0.991**	0.67	9.775 a
3.	Świętokrzyski P. N.	$h = -0.045 + 3.795 t$	0.990**	0.64	9.442 ab
7.	Karlovice	$h = -0.357 + 3.895 t$	0.975**	1.87	9.380 ab
1.	Rogów	$h = -0.017 + 3.557 t$	0.960**	1.34	8.945 ab
6.	Beňuš	$h = -0.017 + 3.557 t$	0.956*	1.34	8.875 ab
2.	Skarżysko	$h = -0.497 + 3.643 t$	0.990*	0.64	8.610 b
5.	Čierný Váh	$h = -0.552 + 3.627 t$	0.974**	1.03	8.515 b
9.	Boubín	$h = -0.200 + 3.368 t$	0.960**	1.20	8.220 b

¹ The same letter indicates statistically homogeneous values, at $\alpha = 0.05$

**Figure 5.** Height (h) growth in nursery of 2/2 – transplants of Polish and Slovak provenances during the days (d) of the fourth growing season

ted provenances in the range 0.956**–0.995**, on average 0.976 ± 0.016 (Tab. 4).

A comparison of slope coefficients b of the equations relating to individual provenances, carried out by means of analysis of covariance (ANCOVA) (Snedecor 1957), sho-

wed no significant differentiation ($F = 1.78$; $f_1 = 8$; $f_2 = 140$) of b coefficients in all the tested provenances, even though the values ranged from 3.368 to 4.002. Hence, it was assumed that the growth straight lines were approximately parallel, with a common slope coefficient $\bar{b} = 3.587$.

However, the location of growth straight lines in relation to the $x(t)$ axis were significantly differentiated ($F = 11.17$ **; $f_1 = 8$, $f_2 = 260$). The growth of plants of tested provenances took place at different levels, and therefore, varied in. The position of the straight lines representing growth of the compared provenances was assessed using a multiple range test (Oktaba 1966) based on the tables for Duncan's multiple range tests $D_{0.05}$ and $D_{0.01}$ (t ab. 4).

The highest positions (Tab. 4) in relation to the axis $x(t)$ were taken by the growth lines of the provenances: Stary Sącz, Kalište, ŚPN and Karlovice. There were no significant relationships between the average height of the transplanted seedlings (2/2) of the tested provenances and the geographical coordinates, because with ϕ_N $r = 0.228$ and with λ_e $r = 0.019$, and with the altitude above sea level (A), the stands of seed stands were obtained with $r = 0.456$.

The growth of the Polish and Slovak transplanted seedlings in the nursery on days (d) of their fourth growing season (Tab. 5; Fig. 5) was in line with the following equation:

$$\bar{h} = a - b \log d$$

ANCOVA showed no significant differences between directional coefficients b , that ranged from 2.1504 to 2.8473, ($F = 2.30$, $f_1 = 5$; $f_2 = 18$); therefore, a common coefficient $\bar{b} = 2.5276$ was adopted. Very significant differences between the provenances have been shown.

As for the four-year period, the provenance Stary Sącz held the highest ranking position. The average height (\bar{h}) of his transplanted seedlings differed significantly from the value in

Table 5. Equations determining the height increase ($h = a + b \log d$) transplants of silver fir of Polish and Slovak provenances during the days (d) of the fourth growing season and the mean distances of these curves (Y_D) from X axis

n o	Provenance	$h = a - b \log d$	r	$\pm s_{h/d}$	Y_D [cm]
4	Stary Sącz	$h = 11.4842 + 2.4817 \log d$	0.994**	0.2336	14.700 a ¹
3	Świętokrzyski P. N.	$h = 10.9626 + 2.5416 \log d$	0.996**	0.2048	14.256 b
1	Rogów	$h = 10.2725 + 2.5324 \log d$	0.998**	0.1469	13.554 c
6	Beňuš	$h = 10.5330 + 2.1539 \log d$	0.993**	0.2233	13.324 c
5	Čierný Váh	$h = 9.5905 + 2.8473 \log d$	0.992**	0.3009	13.280 c
2	Skarżysko	$h = 9.7911 + 2.6122 \log d$	0.987**	0.1742	13.176 d

¹ The same letter indicates statistically homogeneous values, at $\alpha = 0.05$

the provenance from ŠPN, and very significantly from values in other provenances tested. This second provenance in terms of dominated over all others. The provenance from Rogów was the third in the ranking and significantly different only from the provenance from Skarżysko. With respect to of the other provenances, the differences were statistically insignificant

The increase in values was initially very intense. After 26 days, the silver fir provenance Rogów reached 93.1% of the final height, from Skarżysko – 93.3%, Čierný Váh – 93.7%, ŠPN – 94.1%, Stary Sącz – 94.9%, and Beňuš – 95.3%. After 48 days, transplanted seedlings increased and reached the following percentages of final height in the provenances: Rogów – 97.6%, Čierný Váh – 97.7%, Skarżysko – 98.1%, ŠPN – 98.4%, Stary Sącz – 99.1% and Beňuš – 99.2%.

The earliest, on the 53rd and 54th day, the final height was reached by 2/2 transplanted seedlings Slovak provenances Beňuš and Čierný Váh and immediately after them, on the 55th day – the Polish provenance from Stary Sącz. Then, on the 59th day, the increase in tree height was completed by the provenance from ŠPN, and on the 61st day – by that from Skarżysko. At the latest, after 66 days, grown-ups to the final height – the transplanted seedlings from Rogów.

It turned out that the end of the growth of the transplanted seedlings of individual provenance was very significantly straight related ($r = 0.961^{**}$) to north latitude. The more to the north the stand in which the seeds were collected, the longer was time to grow to the height of the seedlings.

3.3. Number of side branches in tree crown

The height of the transplanted seedlings (2/2) had no significant effect ($r = 0.527$) on the number of side branches. There was also no relationship between tree height and the northern latitude ($r = 0.099$) and altitude (a.s.l) of the maternal seed stand site ($r = 0.10$). However, a significant decrease in the number of branches ($r = 0.782^{*}$) was found along with the increase in the eastern longitude (λE) of the location of the stands:

$$G = 5.048 - 0.139.L_E$$

$$s_{yx} = \pm 0.270 \text{ szt./1}^\circ$$

The transplanted seedlings grown from the seeds collected in the western regions of the Czech Republic had, on average, somewhat more side branches (2.5–4.0) than the transplanted seedlings of Slovak and Polish provenance (2.0–2.4 items), from the positions located more to the east.

3.4. Apical bud numbers and stages of development

The number of apical buds (P) on the main shoot did not depend on the height of the transplanted seedlings (2/2) ($r = 0.554$). Apical bud numbers vaguely increased with the increase in the latitude of the northern locations of maternal seed stands ($r = 0.646^{+}$). However, the bud numbers decreased very significantly ($r = 0.829^{**}$) with increasing altitude a.s.l. of the maternal seed stands:

$$P = 3.595 - 0.000535 A$$

$$s_{yx} = \pm 0.108 \text{ szt./m}$$

There was observed a weak correlation between the number of apical buds and the eastern longitude ($r = 0.593^{+}$) of maternal stand sites.

In the 4th study year, the development of apical buds of transplanted seedlings (2/2) of the Polish and Slovak provenances started on 10 April, 1964. This phase was completed at the earliest, on 27 April by transplanted seedlings of the provenances from Stary Sącz and Čierný Váh, and at the latest – by the provenances from Beňuš and Rogów, on 13 May.

The analysis of covariance of exponents of the logistic curves of all the tested provenances showed a significant differentiation of b coefficients ($F = 3.17^{*}$, $f_1 = 5$, $f_2 = 72$). According to this criterion, the provenances were divided into 2 groups, with insignificant differences in b coefficients. The first group comprised the Polish provenances from: ŠPN, Stary Sącz, Rogów and Skarżysko ($F = 0.54$, $f_1 = 3$, $f_2 = 43$), with $\bar{b} = -0.1187$. The second group included the Slovak provenances from Čierný Váh and Beňuš ($F = 0.30$, $f_1 = 1$, $f_2 = 24$) with $\bar{b} = -0.1005$. In both groups, the location of the provenances was similar.

Table 6. Values of selected characteristics expressed in standardized units and breeding value of silver fir provenances tested in nursery of the WULS Experimental Forests in Rogów

no	Provenance	1000-seed weight	Seedling percentage	Height of 2/2 transplants	Coefficient b of equations $h = a + bt$	Survival	number of twigs	number of terminal buds	Breeding value index	Breeding value of provenance
1.	Rogów	0.64	0.29	0.12	0.08	0.58	-0.13	1.50	0.44	good
2.	Skarżysko	1.41	-0.97	-0.65	-0.41	-0.53	-0.49	0.17	-0.21	poor
3.	Świętokrzyski P. N.	0.63	1.84	0.60	0.36	0.32	-0.76	0.17	0.45	good
4.	Stary Sącz	0.78	-0.54	1.00	0.83	-0.48	-0.53	1.28	0.33	good
5.	Čierný Váh	-0.69	-0.51	-0.56	-0.49	-1.39	-0.62	-0.39	-0.66	bad
6.	Beňuš	-0.69	-0.54	-0.89	-0.85	1.10	-0.74	-0.72	-0.48	poor
7.	Karlovice	-0.21	0.37	0.83	0.87	0.36	1.07	-0.17	0.45	good
8.	Kaliště	0.05	1.18	1.41	1.42	1.41	2.21	-0.22	1.07	very good
9.	Boubín	-1.90	-1.12	-1.57	-1.82	-1.37	0.03	-1.83	-1.37	very bad

In the majority of the provenances under the study, bud opening began on 27 April, 1964, and ended at the earliest on 13 May in the provenance from Stary Sącz, 2 days later than in the provenance from Beňuš and Skarżysko, and 4 days later than in the provenance from Čierný Váh. At the latest, on May 23, this phase was finished by the provenances from Rogów and ŠPN.

Analysis of covariance showed a significant differentiation of coefficients b of the equations of exponents of logistic curves ($F = 10.93^{**}$, $f_1 = 5$, $f_2 = 42$) and the identified 2 groups with comparable \bar{b} coefficients. The first group comprised the provenances: Stary Sącz, Čierný Váh and Rogów ($F = 3.00$, $f_1 = 2$, $f_2 = 19$), with the average $\bar{b} = -0.2042$, and the second – ŠPN, Beňuš and Skarżysko ($F = 1.37$, $f_1 = 2$, $f_2 = 23$) with $\bar{b} = -0.1187$.

In the majority of the provenances tested, needle development started on 9 May 1964 (in the provenance from Rogów-2 days later). At the earliest, on 17 May, this phase was completed by the transplanted seedlings of the provenances: Stary Sącz, Čierný Váh and Beňuš, and at the latest by those from Rogów (23 May).

The course of bud developmental stages was consistent with the logistic function. Analysis of covariance showed no significant differences ($F = 1.18$, $f_1 = 5$, $f_2 = 25$) between b coefficient of exponential equations, which allowed to adopt the common coefficient $\bar{b} = -0.5309$. However, the differences between the positions of the straights representing individual provenances proved to be very significant ($F = 48.02^{**}$, $f_1 = 5$, $f_2 = 30$). A similar location was characteristic for the provenances Stary Sącz and ŠPN. A separate group, very different from these two, was formed by Beňuš, Rogów, Čierný Váh and Skarżysko.

It should be noted that the real data from phenological observations are consistent with those calculated according

to the logistic equations (R^2_{ol}). It fluctuated between 91.7 and 99.8%, averaging $97.3 \pm 2.2\%$.

3.5. Assessment of provenance silvicultural value

The assessment of the cultivation-silvicultural value of the provenances from the Carpathian Region (Tab. 6) was based on the average values of seven standard features representing the stages of growth and development of seedlings of the provenances observed under nursery conditions. Among the tested Czech provenances, which were the progeny of selected trees, the provenance from Kaliště deserved the highest grade (1.07). The provenance Karlovice achieved worse by half rating (0.45). According to these criteria, the value of their assessment indicators exceeded the value of the progeny of the Polish provenances: ŠPN (0.45), Rogów (0.44), Stary Sącz (0.33), and Skarżysko (-0.21), and –especially – rating of the Slovak provenances: Beňuš (-0.48) and Čierný Váh (-0.66). The progeny of the Czech provenance from Boubín (-1.37) was the last in the ranking, despite the fact that it was derived from selected maternal trees (in the same way as the progenies of the provenances from Kaliště and Karlovice).

4. Conclusions

The third successive European provenance trials conducted at the SGGW Experimental Forests nursery confirmed the existence of genetic diversity in silver fir, which was related to the geographical location of the site of origin of seeds. The results obtained showed significant inter-origin diversity in the area between 14° and 21° of eastern longitude and 49° and 52° of northern latitude in the area of Poland, Slovakia and the

Czech Republic. This diversity included both seed characteristics (weight, vitality, germination) and derived seedlings (tree growth and height, as well as morphology and phenology).

The seed weight, which largely determines their sowing value (Sabor 1984), showed higher values in the Polish provenances when compared with those from the Czech Republic and Slovakia as well as showed an increase with latitude N and a decrease with increasing altitude location of the seed stands. The same applied to seed vitality, as this feature is closely related to seed weight. Nevertheless, these seed characteristics did not correlate with seed germination and the number of seedlings emerged, which makes it impossible to predict the silvicultural effects. Predicting the production efficiency of silver fir seedlings based on the results of the test of seed cross-cutting or dyeing the embryos often gives unreliable data. It would be advisable to use more objective methods for assessing seed germination, for example, with the use of the germination plate after seed cold stratification in H₂O₂ or without this treatment, or else—by means of X-ray contrast radiography (Załęski 2000).

In the present study, an important feature of silver fir seedlings tested, in addition to the average height achieved in the subsequent observation years, was their growth – proceeding approximately rectilinear, in line with equation: $\bar{h} = a + bt$. The results obtained using this equation were more consistent with the real data than those obtained based on the exponential function ($\bar{h} = at^b$), although it reflects accurately the increase of height

The height of seedlings of the assessed provenances did not affect the number of tree side branches and the number of apical buds, so it could be assumed that these were rather individual traits of the specimens rather than of the population.

Statistically significant variability, expressed in a decrease in the number of apical buds on the main shoot in the examined silver fir provenances from the Carpathian Region and an increase in the altitude a.s.l. of maternal seed stands above sea level found no confirmation regarding the number of side branches

On the other hand, phenological observations showed clival variability consisting in delaying apical bud development and growth during the growing season along with the increasing northern latitude and approaching the northern silver fir range boundary.

The increase in tree height in the growing season lasted not longer than about 70 days and proceeded in a similar way to that observed several years later in a plantation of 10-year-old seedlings of silver fir provenance from ŚNP (Michalak 1977a, b).

Among the well-rated Polish silver fir provenances, the very poor cultivation–silvicultural value of the provenance from Skarżysko proved to be inexplicable, especially when compared with the high ranking of that from ŚNP, which was derived from the neighbouring area. This proves that for the purposes of selective breeding, a specific provenance should be taken into consideration in relation to the parental stand, and not just to a given region.

Considering the positive results of the assessment of the progeny of the selection trees (the provenances from Kalište and Karlovice proved the desirability of individual selection), very poor assessment results of the provenance from Boubín can be explained by the adverse effect high-altitude site conditions of the maternal stand on the growth and development traits of the progeny when cultivated under extremely different conditions. For this reason, the Slovak high mountain provenance was poorly adapted to the conditions of the present study, that is, examinations carried out in the environment of natural silver fir occurrence, situated at the lowest altitude a.s.l. in the area of silver fir northern range, which confirms the validity of using vertical regionalization when transferring reproductive material.

Among the examined factors affecting behaviour of the tested silver fir provenances under the conditions of silver fir natural range edge, the altitude above sea level of the sites of parental stands was of decisive importance.

Conflict of interest

The authors declare no potential conflicts

Acknowledgements and source of funding

The authors thank MSc. Eng. J. Knutel from the Department of Forest Silviculture, Faculty of Forestry, the Warsaw University of Life Sciences – SGGW for help in the work related to the production and measurements of silver fir seedlings at the Rogów forest nursery. The co-authors would like to express their sincere gratification to late Dr. Stanisław Guni for preparing the first version of the article

References

- Barzdajn W. 2009. Adaptacja różnych pochodzeń jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) do warunków Sudetów. *Leśne Prace Badawcze* 70(1): 49–58.
- Barzdajn W. 2010. Provenance and family variation of Silver fir (*Abies alba* Mill.) in the experiment established in the Siemianice Forest Experimental Station in 1996. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* 73: 51–64.
- Bednarek A. 1993. Warunki fizjograficzne – klimat, w: Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie (red. R. Zielony). SGGW, Warszawa, 24–41. ISBN 8300027823.
- Elandt R. 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego. PWN, Warszawa, 595 s.
- Engler A. 1905. Einfluss der Provenienz des Samens auf die Eigenschaften der Forstlichen Holzgewächse. Tanne (*Abies pectinata* DC). I. Versuche mit Samen aus verschiedenen Höhenlagen und von Bäumen verschiedenen Alters. *Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für Forstliche Versuchswesen* 8(2): 201–208.
- Gunia S. 1975. Zur Ökotypen Frage bei der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) in Polen. *Referáty knonferencie s medzinárodnou účasťou „Pestovanie a ochrana jedle”*. Zvolen, 9–11.9.1975, 201–210.

- Gunia S. 1978. FAO Seminar on Heathland and Sand Dune Silviculture. Denmark 23.06.–20.07.1978 (Sprawozdanie, maszynopis).
- Gunia S. 1984. Höhenwachstum und morphologische Merkmale der fünfzehnjährigen Weisstanne (*Abies alba* Mill.) einiger heimischer und fremder Herkünfte am Nordrande ihres Naturverbreitungsgebietes in Polen. *Annals Warsaw Agricultural University – SGGW-AR, Forestry and Wood Technology* 32: 31–40.
- Gunia S. 1985. Zur Frage der Wechselwirkung zwischen Erbgut und Umwelt bei der Weißtanne (*Abies alba* Mill.). Ergebnisse des 4. Tannen-Symposiums. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen* 80: 120–136.
- Gunia S. 1994. Verschulpflanzen (2+3) verschiedener Herkünfte von Weisstanne (*Abies alba* Mill.) am Nordrand ihres natürlichen Verbreitungsgebietes in Polen. 7. IUFRO – Tannensymposium, Altensteig, 84–104.
- Hartig M. 2012. Informacja o uprawach jodły pospolitej założonych w b. NRD w latach 1957–1961 (Notatka odrębna).
- Henriksen H.A. 1957. Forsøgsvæsenets prøveflader i *Abies*-arter. *Det Forstlige. Forsøgsvæsen i Danmark* 23(3): 281–344.
- Hynek V. 2000. Návrh semenářských oblastí a přenosu reprodukčního materiálu. Pestovani lesa, LP 34, 174–176.
- Klisz M., Jastrzębowski S., Ukalska J., Przybylski P., Matras J., Mionskowski M. 2016. Podatność populacji jodły pospolitej na uszkodzenia od przymrozków późnych. *Leśne Prace Badawcze* 77(1): 24–31. DOI 10.1515-fnp-2016-0003.
- Knutel J. 1965. Wzrost i rozwój jodły pospolitej różnego pochodzenia w pierwszym okresie życia na terenie Leśnictwa Strzelna Lasów Doświadczalnych SGGW. Praca magisterska. Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu SGGW w Warszawie, 27 s.
- Konecka-Betley K., Czempińska-Kamińska D., Janowska E. 1993. Gleby – właściwości i typologia, w: Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie (red. R. Zielony). SGGW, Warszawa, 48–65. ISBN 8300027823.
- Kral F. 1980. Waldgeschichtliche Grundlagen für Ausscheidung von Ökotypen bei *Abies alba*. 3. Tannen – Symposium Wien 1980: 158–168.
- Larsen J.B. 1981. Waldbauliche und ertragskundliche Erfahrungen mit verschiedenen Provenienzen der Weißtannen (*Abies alba* Mill.) in Dänmark. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 100: 275–287.
- Løfting E.C.L. 1954. Danmarks Aedelgranproblem. I. Del. Provenien-svalg. Forstl. Forsøgsv. Danmark, 21 s.
- Løfting E.C.L. 1959. Danmarks Aedelgranproblem. II. Dyrkningsbe-tingelserne for *Abies Alba* (Mill.) og *Abies nordmanniana* (Spach.) i Danmark. Forsøgsvæsenets prøveflader *Abies*-arter., 26 s.
- Løfting E.C.L. 1977. Danmark's silver fir problem. Part III. The infl-ence of local climate on the choice of provenance and silvicultural methods. *Det Forstlige. Forsøgsvæsen i Danmark*. 35(1): 69–134.
- Meyer H. 1956. Über Standortsrassen und Saatgutherkunft der Weißtanne (*Abies alba*). *Forst u. Jagd* 6(6): 7–9.
- Michalak K. 1977a. Rytmika przyrostu wysokości w okresie wege-tacji ważniejszych gatunków drzew leśnych i jej zależność od elementów meteorologicznych. *Zeszyty Naukowe SGGW-AR w Warszawie, Leśnictwo* 25: 19–44.
- Michalak K. 1977b. Wzrost i przyrost wysokości w sezonie wegeta-cyjnym ważniejszych gatunków drzew leśnych. *Sylvan* 121(1): 23–39.
- Ministerstvo Pôdohospodárstva Slovenskej Republiky 2001. Vzhlás-ka o reprodukčnom materii drevin, jeho zyskavani a evidencii. Zbierka zakonov č. 64, 814–835.
- Okta W. 1966. Elementy statystyki matematycznej i metodyka do-świadczalnictwa. PWN, Warszawa, 310 s.
- Ożga W. 2001. Zmienność czasowa opadów atmosferycznych w La-sach Doświadczalnych SGGW w Rogowie w latach 1923–2000. *Sylvan* 145(10): 53–60.
- Pavari A. 1951. Esoerienze e indagini su le provenienze e razze dell 'Abete bianco (*Abies alba* Mill.). Pubblicazioni della Stazione Spe-rimentale di Selvicultura Firenze No 8.
- Perkal J. 1963. Matematyka dla przyrodników i rolników. Część II, PWN, Warszawa, 315 s.
- Plochinskij I.A. 1961. Biometrija. Izdatielstvo Sibirskogo Otdelenija AN SSSR, Nowosibirsk, 364 s.
- Sabor J. (red.), Bałut S., Skrzyszewska K., Kulej M., Baran S., Banach J. 1996. Ocena zróżnicowania i wartości hodowlanej polskich pocho-dzeń jodły pospolitej w ramach Ogólnopolskiego Doświadczenia Proweniencyjnego Jd PL 86/90. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolni-czej im. Hugona Kollątaja w Krakowie, ser: Leśnictwo* 24: 1–264.
- Sabor J. 1984. Zależność między ciężarem a zdolnością kiełkowania nasion jodły pospolitej. *Sylvan* 128(4): 59–69.
- Skrzyszewska K. 1999. Wartość genetyczno-hodowlana jodły po-spolitej (*Abies alba* Mill.) reprezentowanej w Ogólnopolskim Doświadczeniu Proweniencyjnym Jd PL 86/90. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Hugona Kollątaja w Krakowie, ser: Sesja Naukowa* 61: 43–66.
- Skrzyszewska K. 2010. Variability of spring flushing in silver fi (*Abies alba* Mill.) of Polish provenances tested in the Jd PL 86/90 provenance test. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* 73: 65–73.
- Snedecor G.W. 1957. Statistical methods applied to experiments in agri-culture and biology. The Iowa State College Press, Ames., 503 s.
- Svoboda P. 1953. Lesní dřeviny a jejich porosty. Část I. SZN Praha.
- Szeligowski H. 2006. Analysis of selected attributes of different pro-venances of Silver fir (*Abies alba* Mill.) at experimental trial in the Forest Experimental Station in Rogów at the age of 21 years. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* 60: 95–104.
- Szeligowski H., Bolibok L., Buraczyk W., Drozdowski S. 2011. Ana-liza wybranych cech jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na po-wierzchni proweniencyjnej w Rogowie. *Leśne Prace Badawcze* 72(3): 225–231. DOI 10.2478/v10111-011-0022-9.
- Środoń A. 1983. Jodła pospolita w historii naszych lasów. Jodła po-spolita *Abies alba* Mill. Warszawa–Poznań, PWN, 4–40.
- Vinš B. 1966. Přspě k výzkumu prokmenlivosti jedle (*Abies alba* Mill.). *Rozpravy Československé Akademie Věd. Rada Matematických a Přírodních Věd*. 76(15): 1–82.
- Załęski A. (red.) 2000. Zasady i metodyka oceny nasion w Lasach Państwowych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. War-szawa, 180 s.
- Zasady hodowli lasu. 2003. Dyrekcja Generalna Lasów Państwo-wych, Warszawa, 159 s.
- Zielony R. 1993. Siedliskowe typy lasu, w: Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie (red. R. Zielony). SGGW, Warszawa, 89–108. ISBN 8300027823.
- Zielony R., Zaręba R., Szyprowski W. 1993. Zespoły leśne, w: Wa-runki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie. (red R. Zielony). SGGW, Warszawa, 66–88. ISBN 8300027823.