

Stabilność adaptacji potomstwa buka zwyczajnego *Fagus sylvatica* L. po pięciu latach wzrostu

Adaptation stability of European beech *Fagus sylvatica* L. after five years of growth

Jakub Jaźwiński^{1*}, Jacek Banach², Kinga Skrzyszewska², Paulina Strejczek-Jaźwińska¹

¹Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Instytut Zarządzania Zasobami Leśnymi, Wydział Leśny, Zakład Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków; ²Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Instytut Ekologii i Hodowli Lasu, Wydział Leśny, Zakład Genetyki, Nasiennictwa i Szkółkarstwa Leśnego, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

*Tel. +48 12 6625277; e-mail: j.jazwinski@ur.krakow.pl

Abstract. This study was focused on the evaluation of beech adaptation on test plots in the Góra Śląska and Świebodzin Forest Districts. For this purpose, we examined offspring from seed stands of beech growing in the Regional Directorates of State Forests in Szczecin, Szczecinek, Piła, Zielona Góra and Poznań, which were brought to both test plots. The aim was to determine the adaptive response of the offspring from these stands after five years of growth with respect to the changed environmental conditions compared to the site of origin. Our analysis revealed a relatively low survival rate which was 60.8% and 72.2% in Góra Śląska and Świebodzin respectively. Interestingly, beeches grown on the plot in Góra Śląska were about 40% higher than those grown in Świebodzin (77.6 cm). The trees from both plots were significantly different from each other in terms of the analyzed features and a significant interaction was observed between test plot and site of origin. However, the variability in the adaptive response of the seedlings was large. Using a regression coefficient and the average height value, we determined the seedlings stability, which indicated high quality in offspring from the beech stand in the Łopuchówko Forest District (Buczyna forest range, sub-compartment 95n) and a high degree of adaptation to growth in adverse environmental conditions. Our results also indicate a low survival rate and reduced height of beech offspring from commercial seed stands (local standard).

Keywords: progeny testing, selected seed stand, survival, height, heritability, genotype stability

Słowa kluczowe: testowanie potomstwa, wyłączony drzewostan nasienny, przeżywalność, wysokość, odziedziczalność, stabilność genotypu

1. Wstęp i cel pracy

W Lasach Państwowych problematyce wzbogacania lasów i zwiększania ich produktywności poświęca się dużo uwagi, przykładem jest „Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew w Polsce na lata 2011–2035” (Chałupka et al. 2011), stanowiący kontynuację programu realizowanego w latach 1991–2010. Ważnym elementem tych działań jest testowanie potomstwa drzewostanów wyselekcjonowanych, drzew matecznych i plantacji w zróżnicowanych warunkach środowiskowych, pozwalające na poznanie zmienności wewnątrzgatunkowej jako źródła potencjału adaptacyjnego do zmian klimatu i innych czynników środowiskowych (Alfaro et al. 2014). Ta konieczność wynika z postępującej degradacji środowiska przyrodniczego i niekorzystnego oddziaływania wielu czynników biotycznych oraz abiotycznych, które lokalnie mogą zagrażać istnie-

niu lasów. Rosnące zapotrzebowanie na drewno, uznawane za produkt najbardziej przyjazny środowisku, powoduje konieczność intensyfikowania produkcji tego surowca. Mimo zwiększającej się powierzchni leśnej znaczna jej część jest wyłączona z intensywnego zagospodarowania lub występują duże ograniczenia dotyczące pozyskiwania drewna (np. obszary Natura 2000).

Dla każdego ważnego gatunku lasotwórczego, tj. buka zwyczajnego *Fagus sylvatica* L., dębu szypułkowego *Quercus robur* L. i bezszypułkowego *Q. petraea* (Matt.) Liebl., brzozy brodawkowatej *Betula pendula* Roth, olszy czarnej *Alnus glutinosa* Gaertn., jodły pospolitej *Abies alba* Mill., świerka pospolitego *Picea abies* (L.) H. Karst, modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill. i sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L., objętego programem testowania potomstwa, obszar Polski podzielono na tzw. regiony testowania, tworzone na bazie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych. Dla

Wpłynęło: 5.11.2018 r., recenzowano: 20.02.2019 r., zaakceptowano: 18.07.2019 r.

buka, uwzględniając zasięg jego występowania i bogactwo bazy nasiennej, wydzielono 4 regiony testowania (Banach et al. 2012; Skrzyszewska et al. 2016). Dla tego gatunku w 2006 r. założono pierwsze pochodzeniowe uprawy porównawcze (8 powierzchni), zlokalizowane w III i IV regionie testowania. Dwa lata później założono kolejnych 20 upraw w I i II regionie, w tym 8 dla drzewostanów i 12 dla drzew matecznych (Banach et al. 2012).

Do 2019 r. założono uprawy testujące, na których oprócz buka zwyczajnego, badano potomstwo wyłączonych drzewostanów nasiennych i drzew matecznych sosny zwyczajnej, jodły pospolitej i świerka pospolitego. Krótki okres trwania programu testowania, od 2006 r., przekłada się na niewielką liczbę opublikowanych wyników badań. Najwięcej artykułów naukowych dotyczyło testowania potomstwa buka zwyczajnego (Barzdajn 2009; Banach et al. 2015; Buraczyk et al. 2016; Szeligowski et al. 2019) oraz – po jednym artykule – jodły pospolitej (Klisz et al. 2018) i sosny zwyczajnej (Kowalewski et al. 2017).

Celem badań była ocena adaptacji potomstwa buka zwyczajnego na dwóch powierzchniach założonych w II regionie testowania tego gatunku. Na obydwu uprawach testowano potomstwo tego samego zestawu wyłączonych drzewostanów nasiennych, rosnących w I i II regionie testowania. Oceniano przeżywalność i wzrost na wysokość, a także stabilność potomstwa w zależności od warunków środowiska ich wzrastania, tj. uprawy testującej. Prace badawcze wykonano po pięciu latach wzrostu buka na powierzchniach doświadczalnych, a więc w pierwszym terminie określonym ogólnymi zasadami zawartymi w „Programie testowania potomstwa” (Zarządzenie 2004).

2. Materiał badawczy i metodyka

Powierzchnie doświadczalne założono na przełomie kwietnia i maja 2008 r. na terenie Nadleśnictwa Góra Śląska oraz Nadleśnictwa Świebodzin (tab. 1). Nadleśnictwo Góra Śląska, podlegające administracyjnie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu, położone jest na Nizinie Wielkopolskiej, natomiast Nadleśnictwo Świebodzin geograficznie położone jest na Pojezierzu Łagowskim i wchodzi w skład Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Zielonej Górze.

Na obydwu uprawach testujących posadzono potomstwo 27 wyłączonych drzewostanów nasiennych buka zwyczajnego, rosnących na terenie 5 regionalnych dyrekcji Lasów Pań-

stwowych (w Pile, Poznaniu, Szczecinie, Szczecinku oraz Zielonej Górze). Na każdej z upraw posadzono również sadzonki wyhodowane z nasion pozyskanych w gospodarczym drzewostanie nasiennym, po jednym dla każdej z upraw, traktowane jako standard lokalny (tab. 2).

Powierzchnię testującą potomstwa buka zwyczajnego w Nadleśnictwie Góra Śląska założono na zrębie o wymiarach ok. 180×180 m, który podzielono na pięć części. W pierwszych czterech posadzono potomstwo testowanych drzewostanów, natomiast piąta to blok rezerwowy, na którym posadzono sadzonki przeznaczone do uzupełniania ubytków w materiale doświadczalnym powstałych w pierwszym roku od założenia uprawy testującej. Każdy blok (powtórzenie) składa się z 28 poletek pochodzeniowych (ryc. 1). Na każdym poletku posadzono po 100 buków (10×10 sadzonek), stosując więźbę 1,5×1,5 m. Uprawę w Świebodzinie założono na dwóch kwaterach byłej szkółki gruntowej o wymiarach ok. 50×350 m, przedzielonych kulisą drzewostanu sosnowego szerokości 38 m (ryc. 2).

Prace badawcze na obydwu powierzchniach testujących przeprowadzono we wrześniu 2012 r. Oceniono przeżywalność i pomierzono wysokość wszystkich buków przy użyciu łąty teleskopowej. Dla wszystkich badanych populacji określono wartość średnią cechy, a wyniki przedstawiono tabelarycznie wraz z podaniem jednostek standaryzowanych (JS), obliczonych jako różnica między średnią dla potomstwa drzewostanu a średnią dla uprawy, podzieloną przez odchylenie standardowe. Obliczenia oraz zestawienia statystyczne wykonano oddzielnie dla każdej powierzchni badawczej. Dla każdej uprawy porównawczej określono wartość średnią, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności. Wyniki zestawiono w tabeli w jednostkach pomiarowych [cm] i standaryzowanych [JS]. Poniższy wzór przedstawia zastosowany model wieloczynnikowy analizy wariancji:

$$y_{kjm} = \mu + B_j + P_k + PB_{kj} + E_{n(jk)},$$

gdzie:

y_{kjm} – wartość obserwacji o numerze kjm ,

μ – średnia ogólna,

B_j – wpływ bloku j ,

P_k – wpływ pochodzenia k ,

PB_{kj} – wpływ interakcji pochodzenia k oraz bloku j ,

$E_{n(jk)}$ – błąd.

Tabela 1. Lokalizacja upraw testujących potomstwo buka zwyczajnego w środkowym regionie testowania

Table 1. Location of experimental plots with offspring of European beech in the middle region of testing

Identyfikator uprawy Experimental plot ID	Nadleśnictwo Forest District	Leśnictwo, pododdział Forest range, sub-compartment	Współrzędne geograficzne Geographical coordinates		Wysokość m n.p.m. Altitude m a.s.l.
			długość longitude (N)	szerokość latitude (E)	
15/Bk/P/1/3/WDN1	Góra Śląska	Wronki, 119m	16°37'33"	51°41'11"	121
16/Bk/P/1/4/WDN1	Świebodzin	Dolina, 138ab	15°13'33"	52°19'48"	124

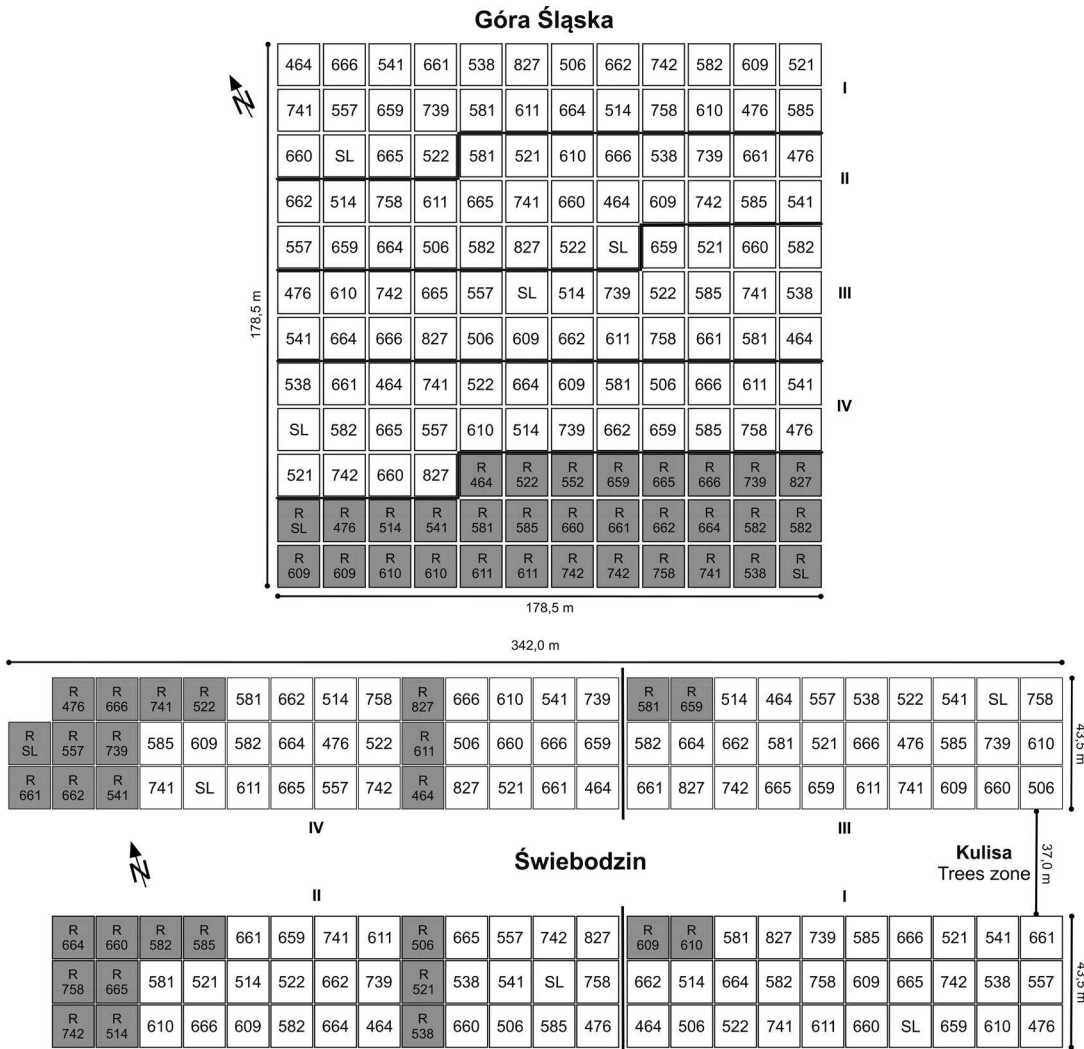
Tabela 2. Lokalizacja drzewostanów buka zwyczajnego, których potomstwo jest testowane na uprawach Góra Śląska oraz Świebodzin (SR – standard regionalny, SL – standard lokalny)

Table 2. Location of beech stands, whose offspring is tested on plots Góra Śląska and Świebodzin (SR – regional standard, SL – local standard)

Lp. No	Numer pochodzenia Progeny number	Regionalna dyrekcja Lasów Państwowych Regional directorate of the State Forest	Nadleśnictwo Forest District	Leśnictwo Forest Subdistrict	Pododział Subcompartment	Współ. geograficzne Geographical coord.		Wysokość m n.p.m. Altitude m a.s.l.	Siedliskowy typ lasu Type of forest site	
						długość longitude (E)	szerokość latitude (N)			
1	464/ZP/06	Poznań	Łopuchówko	Buczyna	95m	16°58'	52°41'	119	Lśw	
2	476/ZP/06	Szczecin	Bierzwnik	Radachowo	405a	15°30'	53°01'	117	Lśw	
3	506/ZP/06	Zielona Góra	Świebodzin	Długoszyń	30a	15°19'	52°22'	205	Lśw	
4 (SR)	514/ZP/06	Piła	Krucz	Goraj	15g	16°30'	52°52'	111	Lśw	
5	521/ZP/06	Poznań	Pniewy	Dąbrowa	226c	16°18'	52°29'	104	Lśw	
6	522/ZP/06	Szczecin	Dobrzany	Kielno	467i, 468b	15°29'	53°23'	127	Lśw	
7	538/ZP/06		Myślubórz	Grzybno	170c	14°37'	53°04'	93	Lśw	
8	541/ZP/06		Czaplinek	Sikory	58ah	16°15'	53°35'	161	Lśw	
9	557/ZP/06	Szczecinek	Świerczyna	Jeleni Stok	31b, 32a, 33a	16°12'	53°25'	179	Lśw	
10	581/ZP/06	Piła	Okonek	Węgorzewo	21a	16°54'	53°36'	164	Lśw	
11	582/ZP/06	Szczecinek	Leśny Dwór	Podwilczyn	191a	17°11'	54°19'	123	LMśw	
12	585/ZP/06		Damnica	Wolinia	89a	17°33'	54°36'	34	Lśw	
13	609/ZP/06		Szczecinek	Szczecinek	Dałęcino	355f	16°34'	53°46'	150-160	Lśw
14	610/ZP/06		Szczecinek	Janowo	137f	16°38'	53°40'	172	Lśw	
15	611/ZP/06		Szczecinek	Janowo	138o	16°37'	53°40'	185	Lśw	
16	659/ZP/06		Gryfino	Śmierdnica	153b, 154a, 155a, 172b	14°44'	53°19'	99	Lśw	
17	660/ZP/06		Gryfino	Kołowo	317ab	14°39'	53°20'	159	Lśw	
18	661/ZP/06	Szczecin	Gryfino	Kołowo	213b, 227a, 214b, 212ac	14°42'	53°18'	91	Lśw	
19	662/ZP/06		Gryfino	Kołowo	161b, 160b, 159a	14°42'	53°20'	117	Lśw	
20	664/ZP/06		Gryfino	Osetno	30b	14°46'	53°19'	86	Lśw	
21 (SR)	665/ZP/06		Gryfino	Glinna	206i, 211d	14°43'	53°18'	106	Lśw	
22	666/ZP/06		Gryfino	Osetno	171d	14°44'	53°19'	117	Lśw	
23	739/ZP/06	Gryfino	Kłęskowo	163c	14°41'	53°20'	101	Lśw		

Lp. No	Numer pochodze- nia Progeny number	Regionalna dy- rekcja Lasów Państwowych Regional direc- torate of the State Forest	Nadleśni- ctwo Forest District	Leśnictwo Forest Subdistrict	Podod- dział Subcom- partment	Wspól. geograficzne Geographical coord.		Wysokość m n.p.m. Altitude m a.s.l.	Siedlisko- wy typ lasu Type of forest site
						długość longitude (E)	szerokość latitude (N)		
24	741/ZP/06	Szczecinek	Świerczyna	Jeleni Stok	83c	16°12'	53°20'	101	Lśw
25	742/ZP/06		Świerczyna	Jeleni Stok	42c, 43c	16°12'	53°25'	151	Lśw
26	758/ZP/06		Gościno	Bagicz	25a	15°41'	54°11'	30	Lśw
27	827/ZP/06		Połczyn	Kluczewo	399f	16°10'	53°41'	203	Lśw
28 (SL)	Góra Śląska	Poznań	Łopuchówko	Bartków	164a	17°08'	52°34'	123	Lśw
	Świebodzin	Zielona Góra	Świebodzin	Długoszyn	14a	15°20'	52°23'	195	Lśw

Siedliskowy typ lasu / Type of forest site: **Lśw** – las mieszany świeży / deciduous forest, fresh variant; **LMśw** – las mieszany świeży / mixed deciduous forest, fresh variant



Rycina 1. Schemat upraw testujących potomstwo wyłączonych drzewostanów nasiennych buka zwyczajnego, zlokalizowanych w nadleśnictwach Góra Śląska i Świebodzin; I-IV – numery bloków (powtórzeń), SL – standard lokalny, R – rezerwa
 Figure 1. Plan of experimental plots with offspring of selected seed stands of the European beech, located in the Góra Śląska and Świebodzin forest districts; I-IV – block numbers (replications), SL – local standard, R – reserve

Do oceny efektu lokalizacji powierzchni badawczej zastosowano identyczny model analityczny. W powyższym wzorze efekt bloku (B_j) zastąpiono efektem i -tej lokalizacji. Aby określić możliwość prowadzenia skutecznej selekcji obliczono odziedziczalność pochodzeniową. W tym celu użyto komponentów wariacyjnych uzyskanych w analizie wariancji każdej cechy. Odziedziczalność obliczono na podstawie komponentów wariacyjnych, co wiązało się z mieszanym modelem analizy danych. Oczekiwane średnie kwadraty dla użytego schematu analizy danych (Żuk 1989) zawarto w tabeli 3.

Do obliczenia odziedziczalności pochodzeniowej (h_p^2) zastosowano poniższy ogólny wzór (Giertych 1991):

$$h_p^2 = \frac{\sigma_p^2}{V_p}$$

gdzie:

σ_p^2 – komponent wariancji pochodzeniowej,
 V_p – wariancja pochodzeniowa.

Po przekształceniu ogólnego wzoru na odziedziczalność, w schemacie dwuczynnikowej analizie wariancji poprzez podstawienie wariancji pochodzeniowej oraz po podzieleniu przez współczynnik k_3 przy komponencie pochodzeniowym, uzyskano wzór (Banach et al. 2015):

$$h_p^2 = \frac{\sigma_p^2}{\frac{\sigma_e^2}{k_3} + \frac{k_2 \sigma_{pb}^2}{k_3} + \sigma_p^2}$$

gdzie:

σ_p^2 – komponent wariancji pochodzeniowej,
 σ_{pb}^2 – komponent wariancji dla interakcji ‘pochodzenie × blok’,
 σ_e^2 – komponent wariancji dla błędu,
 k_2 – średnia liczba drzew w bloku i pochodzeniu,
 k_3 – średnia liczba drzew w pochodzeniu

Do obliczenia wartości średnich i przeprowadzenia analiz statystycznych wykorzystano procedurę „Ogólne modele liniowe”, natomiast do obliczenia komponentów wariancji i współczynników przy komponentach zastosowano procedurę „Komponenty wariacyjne” w programie Statistica (StatSoft 2014). Dla uzyskanych wartości odziedziczalności cech na poszczególnych uprawach obliczono również błąd standardowy oszacowania odziedziczalności (se_{h^2}) według wzoru podawanego przez Falconera i Mackay (1996). Stabilność każdego z analizowanych pochodzeń określono metodą Finlay’a i Wilkinsona (1963). Polega ona na obliczeniu współczynnika regresji b między wartościami cechy na poszczególnych uprawach dla każdego analizowanego pochodzenia a średnimi dla powierzchni doświadczalnych. Przeciętną stabilność określa wartość współczynnika równa 1,0. Mniejsza wartość wskaźnika wskazuje na lepsze dostosowanie do niesprzyjającego środowiska, a większa wskazuje tylko na dostosowanie do środowiska sprzyjającego. Pochodzenia z takimi wartościami współczynnika regresji zwykle adaptują się dobrze tylko w jednym, konkretnym środowisku (Giertych 2000). W niniejszej pracy przeanalizowano stabilność w odniesieniu do dwóch cech: wysokości i przeżywalności,

Tabela 3. Oczekiwane średnie kwadraty w analizie danych pomiarowych

Table 3. Expected average squares in the analysis of measurement data

Źródło zmienności Source of variance	Stopnie swobody Degree of freedom	Oczekiwany średni kwadrat Expected mean square
Blok Block (B)	$b - 1$	$\sigma_e^2 + k_3 \sigma_b^2$
Pochodzenie Provenance (P)	$p - 1$	$\sigma_e^2 + k_2 \sigma_{pb}^2 + k_3 \sigma_p^2$
Interakcja Interaction (P×B)	$pb - p - b + 1$	$\sigma_e^2 + k_1 \sigma_{pb}^2$
Błąd Error	$n... - pq$	σ_e^2

σ_x^2 – komponent wariacyjny dla źródła zmienności x / variance component for the x source of variance, $k_1...k_3$ – współczynniki liczbowe przy poszczególnych komponentach / coefficients for individual components

przekształcając wartości średnie cech przy użyciu transformacji logarymicznej (Finlay, Wilkinson 1963). Współczynniki regresji przyrównano do przeciętnej wartości cechy dla pochodzeń, łącznie dla obydwu upraw testujących. Za dobrze adaptujące się we wszystkich środowiskach uznano te potomstwa, dla których wartość współczynnika b wynosiła blisko 1,0, a wartość cechy była powyżej średniej ogólnej. Wytypowano również potomstwa dobrze przystosowane do sprzyjających i niesprzyjających środowisk. W celu określenia zależności między analizowanymi cechami zastosowano współczynnik korelacji liniowej Pearsona r . Za poziom istotności badanych korelacji pomiędzy cechami w analizie wariacyjnej przyjęto poziom $p < 0,05$. Obliczenia wykonano w programie Statistica 12 (StatSoft 2014).

3. Wyniki

Przeżywalność buka zwyczajnego po 5 latach wzrostu na powierzchni w Świebodzinie wynosiła 72,2%, a w Górze Śląskiej 60,8%. Analizując wspólnie obydwie uprawy przeciętnie najlepszą przeżywalnością cechowało się potomstwo drzewostanów: 464 – Łopuchówko (78,8%), 611 – Szczecinek (76,7%), 741 – Świerczyna (74,4%) oraz 660 – Gryfino (72,6%). Najgorzej przeżywały buki należące do pochodzeń: 585 – Damnica (57,0%), 557 – Świerczyna (58,0%), 514 – Krucz (58,4%), 661 – Gryfino (60,2%), 739 – Gryfino (60,3%). Przy analizie buka na każdej z upraw największą przeżywalnością na powierzchni w Górze Śląskiej charakteryzowały się pochodzenia: 464 – Łopuchówko (76,4%), 611 – Szczecinek (72,5%), 741 – Świerczyna (69,3%), zaś na powierzchni w Nadleśnictwie Świebodzin pochodzenia: 660 – Gryfino (84,0%), 464 – Łopuchówko (81,2%), oraz 611 – Szczecinek z wartością 81% (tab. 4).

Tabela 4. Średnia przeżywalność buka zwyczajnego na powierzchniach w Świebodzinie i Górze Śląskiej wraz ze współczynnikiem regresji b Table 4. Average survival of European beech on plots in Świebodzin and Góra Śląska with regression coefficient b

Numer populacji Provenance No.	Nadleśnictwo Forest District	Świebodzin + Góra Śląska			Świebodzin		Góra Śląska		b
		średnia mean [%]	jedn. stand. unit	poz. rank. rank	średnia mean [%]	poz. rank. rank	średnia mean [%]	poz. rank. rank.	
464	Łopuchówko	78,8	2,28	1	81,2	2	76,4	1	0,36
476	Bierzwnik	66,5	0,00	17	75,3	13	57,6	20	1,56
506	Świebodzin	66,8	0,06	15	79,1	5	54,6	23	2,16
514	Krucz	58,4	-1,50	25	64,8	23	52,0	26	1,29
521	Pniewy	67,0	0,09	14	75,6	10	58,3	17	1,51
522	Dobrzany	67,9	0,26	8	68,1	20	67,8	5	0,02
538	Myślubórz	69,8	0,61	6	75,5	11	64,2	9	0,95
541	Czaplinek	67,3	0,15	10	67,8	21	66,8	7	0,08
557	Świerczyna	58,0	-1,57	26	63,3	24	52,6	25	1,09
581	Okonek	65,4	-0,20	18	72,8	17	58,0	18	1,32
582	Leśny Dwór	64,6	-0,35	19	77,4	7	51,8	27	2,34
585	Damnica	57,0	-1,76	27	57,3	27	56,7	21	0,06
609	Szczecinek	67,3	0,15	10	76,0	9	58,5	16	1,53
610	Szczecinek	67,3	0,15	10	73,3	16	61,4	13	1,03
611	Szczecinek	76,7	1,89	2	81,0	3	72,5	2	0,65
659	Gryfino	62,6	-0,72	21	69,8	18	55,5	22	1,34
660	Gryfino	72,6	1,13	4	84,0	1	61,1	14	1,85
661	Gryfino	60,2	-1,17	24	56,4	28	64,0	10	-0,74
662	Gryfino	61,2	-0,98	22	57,6	26	64,8	8	-0,69
664	Gryfino	70,0	0,65	5	77,2	8	62,8	11	1,20
665	Gryfino	64,6	-0,35	19	74,7	14	54,6	24	1,83
666	Gryfino	67,2	0,13	13	65,5	22	68,9	4	-0,30
739	Gryfino	60,3	-1,15	23	69,1	19	51,6	28	1,70
741	Świerczyna	74,4	1,46	3	79,4	4	69,3	3	0,80
742	Świerczyna	67,4	0,17	9	73,9	15	61,0	15	1,12
758	Gościno	66,6	0,02	16	75,4	12	57,8	19	1,55
827	Połączyn	69,8	0,61	6	78,0	6	61,6	12	1,37
Standard lokalny / Local standard		–	–	–	58,6	25	67,6	6	–
Średnia / Mean		66,5	–	–	72,2	–	60,8	–	–
Odchylenie standardowe Standard deviation		5,4	–	–	7,5	–	6,6	–	–
Współczynnik zmienności Coefficient of variability		8,1	–	–	10,4	–	10,9	–	–

Wieloczynnikowa analiza wariancji dla przeżywalności buka wykazała istotny wpływ pochodzenia, ale tylko na uprawie w Świebodzinie, natomiast na obydwu powierzchniach testujących zanotowano istotny wpływ pozostałych źródeł zmienności, tj. bloku oraz interakcji ‘blok × pochodzenie’ (tab. 5).

Analiza wysokości łącznie dla obydwu upraw wykazała, że przeciętna wysokość wyniosła 97 cm, a na poziomie pojedynczych potomstw najwyższe były buki z pochodzeń: 538 – Myślibórz (114,9 cm), 742 – Świerczyna (107,6 cm), 660 – Gryfino (106,5 cm), 464 – Łopuchówko (106,3 cm), 827 – Połczyn (106,2 cm) oraz 611 – Szczecinek (104,4 cm). Najgorzej wzrastało na wysokość potomstwo drzewostanów: 581 – Okonek (85,2 cm), 541 – Czaplinek (87,9 cm), 506 – Świebodzin (88,9 cm), 582 – Leśny Dwór (89,2 cm) i 585 – Damnica (89,5 cm). Wysokość buków po 5 latach wzrostu na powierzchni w Świebodzinie wynosiła 69,6 cm, a w Górze Śląskiej 103,2 cm. Na tej uprawie najlepiej wzrastały buki z pochodzeń: 538 – Myślibórz (142,3 cm), 741 – Świerczyna (131,4 cm), 610 – Szczecinek (127,5 cm) oraz 827 – Połczyn (127,4 cm). Z kolei na powierzchni testującej w Świebodzinie dobry wzrost cechował buki z: 665 – Gryfino (94,5 cm), 660 – Gryfino (90,8 cm) oraz 464 – Łopuchówko (90,2 cm). W przypadku obydwu upraw buki wg standardów lokalnych, będących potomstwem najlepszych gospodarczych drzewostanów nasiennych, należały do najgorzej rosnących (tab. 6).

Żadne z trzech najlepszych pochodzeń na powierzchni badawczej w Górze Śląskiej nie pokrywało się z rezultatami na powierzchni w Świebodzinie. Mimo zlokalizowania obydwu powierzchni w tym samym regionie testowania, posadzenia tego samego materiału doświadczalnego i w tym samym czasie, wysokość buków jest zdecydowanie zróżnicowana.

Analiza wariancji wykazała brak wpływu pochodzenia na wysokość badanych buków, przy istotnym wpływie interakcji ‘blok × pochodzenie’ na obydwu uprawach testujących. Na uprawie w Świebodzinie zanotowano również istotne zróżnicowanie między blokami (tab. 5).

Analiza wariancji dla poszczególnych cech z uwzględnieniem efektu lokalizacji uprawy testującej wykazała istotne zróżnicowanie między uprawami, przy braku wpływu pochodzenia na wysokość i przeżywalność buków. Istotny okazał się też wpływ interakcji ‘pochodzenie × powierzchnia’, świadczący o różnej reakcji buków poszczególnych pochodzeń przy zmianie warunków środowiskowych ich wzrastania (tab. 7).

Najlepszym potomstwem pod względem przeżywalności na obydwu powierzchniach było pochodzenie 464 – Łopuchówko, znajdujące się na pierwszej pozycji rankingowej w Nadleśnictwie Góra Śląska i na drugiej w Świebodzinie. Wysoko w rankingu uplasowały się również buki będące potomstwem drzewostanów: 611 – Szczecinek oraz 741 – Świerczyna. Jedne z najniższych lokat na obydwu uprawach zajmowały buki pochodzeń: 557 – Świerczyna, 514 – Krucz oraz 585 – Damnica. Zaobserwowano odmienną reakcję potomstwa drzewostanów, będących standardem lokalnym, które na uprawie w Świebodzinie należało do najsłabiej przeżywających, natomiast w Górze Śląskiej lokowało się w czołówce rankingu tej cechy. Przeciętnie i porównywalnie na obydwu uprawach testujących przeżywało potomstwo drzewostanów: 538 – Myślibórz, 609 – Szczecinek i 581 – Okonek. Pozostałe potomstwa cechowały się zróżnicowaną wartością przeżywalności i znacząco różniącymi się pozycjami w rankingu (ryc. 2).

Na obydwu powierzchniach w grupie najlepszych potomstw pod względem wysokości znalazły się buki z drze-

Tabela 5. Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji przeżywalności i wysokości buka na powierzchniach doświadczalnych w Świebodzinie i Górze Śląskiej

Table 5. Results of multivariate variance analysis of beech survival and height on experimental plots in Świebodzin and Góra Śląska

Cecha Trait	Źródło zmienności Source of variance	Świebodzin		Góra Śląska	
		test <i>F</i> <i>F</i> -test	poziom istotności significance level (<i>p</i>)	test <i>F</i> <i>F</i> -test	poziom istotności significance level (<i>p</i>)
Przeżywalność Survival	blok block	39,2905	< 0,001	12,2606	< 0,001
	pochodzenie provenance	2,0545	0,007	1,1483	0,310
	blok × pochodzenie block × provenance	6,5248	< 0,001	9,1453	< 0,001
Wysokość Height	blok block	17,8604	< 0,001	1,4503	0,235
	pochodzenie provenance	1,7901	0,024	1,0728	0,392
	blok × pochodzenie block × provenance	15,9772	< 0,001	2,4977	< 0,001

Tabela 6. Średnia wysokość buka zwyczajnego na powierzchniach w Świebodzinie i Górze Śląskiej wraz ze współczynnikiem regresji b
 Table 6. Average height of European beech on plots in Świebodzin and Góra Śląska with regression coefficient b

Numer populacji Prove-nance No.	Nadleśnictwo Forest District	Świebodzin + Góra Śląska			Świebodzin		Góra Śląska		b
		średnia mean (cm)	jedn. stand. stand. unit	poz. rank. rank	średnia mean (cm)	poz. rank. rank	średnia mean (cm)	poz. rank. rank.	
464	Łopuchówko	106,3	1,29	4	90,2	3	122,4	5	0,76
476	Bierzwnik	97,7	0,10	11	78,5	13	116,8	14	1,00
506	Świebodzin	88,9	-1,13	25	76,8	14	100,9	26	0,68
514	Krucz	93,5	-0,49	19	73,9	20	113,0	17	1,06
521	Pniewy	94,0	-0,42	18	68,4	26	119,6	12	1,40
522	Dobrzany	90,0	-0,97	21	75,2	16	104,7	23	0,83
538	Myślibórz	114,9	2,49	1	87,5	4	142,3	1	1,22
541	Czaplinek	87,9	-1,26	26	60,3	28	115,4	15	1,63
557	Świerczyna	91,2	-0,81	20	73,7	21	108,7	21	0,97
581	Okonek	85,2	-1,64	27	69,8	24	100,5	27	0,91
582	Leśny Dwór	89,2	-1,08	24	78,9	12	99,4	28	0,58
585	Damnica	89,5	-1,04	23	61,1	27	117,9	13	1,65
609	Szczecinek	96,3	-0,10	14	80,4	10	112,1	18	0,83
610	Szczecinek	101,1	0,57	8	74,7	18	127,5	3	1,34
611	Szczecinek	104,4	1,03	6	87,0	5	121,8	7	0,84
659	Gryfino	102,2	0,72	7	84,6	7	119,7	11	0,87
660	Gryfino	106,5	1,32	3	90,8	2	122,1	6	0,74
661	Gryfino	95,6	-0,19	15	70,8	23	120,3	9	1,33
662	Gryfino	95,0	-0,28	17	75,1	17	114,8	16	1,06
664	Gryfino	95,5	-0,21	16	79,7	11	111,2	19	0,83
665	Gryfino	98,2	0,17	9	94,5	1	101,9	25	0,19
666	Gryfino	96,7	-0,04	12	71,7	22	121,7	8	1,33
739	Gryfino	90,0	-0,97	21	74,0	19	105,9	22	0,90
741	Świerczyna	107,6	1,47	2	83,7	8	131,4	2	1,13
742	Świerczyna	96,6	-0,06	13	82,2	9	110,9	20	0,75
758	Gościno	97,9	0,13	10	75,9	15	119,8	10	1,14
827	Połczyn	106,2	1,28	5	84,9	6	127,4	4	1,02
Standard lokalny / Local standard		–	–	–	69,6	25	103,2	24	–
Średnia / Mean		97,0	–	–	77,6	–	115,5	–	–
Odchylenie standardowe Standard deviation		7,2	–	–	8,4	–	10,3	–	–
Współczynnik zmienności Coefficient of variability [%]		7,4	–	–	10,8	–	8,9	–	–

Tabela 7. Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancyjnej analizowanych cech buka zwyczajnego dla obydwu powierzchni testujących
 Table 7. Results of multivariate analysis of variance of analyzed European beech traits for both test plots

Cecha Trait	Źródło zmienności Source of variance	df	Test <i>F</i> <i>F</i> -test	Poziom istotności Significance level (<i>p</i>)
Przeżywalność Survival	powierzchnia plot	1	63,0507	< 0,001
	pochodzenie provenance	27	0,9365	0,567
	pochodzenie × powierzchnia provenance × plot	27	11,0028	< 0,001
Wysokość Height	powierzchnia plot	1	337,9014	< 0,001
	pochodzenie provenance	27	1,6655	0,097
	pochodzenie × powierzchnia provenance × plot	27	4,1256	< 0,001

wostanów: 538 – Myślubórz, a następnie 464 – Łopuchówko i 660 – Gryfino. Do najsłabiej wzrastających, niezależnie od uprawy, należały buki populacji 581 – Okonek oraz obydwu standardów lokalnych. Przeciętnie i porównywalnie na obydwu uprawach testujących wzrastało na wysokość potomstwo drzewostanów: 476 – Bierzwnik, 662 – Gryfino oraz 557 – Świerczyna. Analogicznie do poprzedniej cechy, pozostałe potomstwa charakteryzowały się znacząco odmiennymi pozycjami rankingowymi na obydwu uprawach testujących (ryc. 2).

Obydwie uprawy różniły się warunkami do przeżycia i wzrostu potomstwa buka. Na uprawie w Świebodzinie presja różnych czynników środowiskowych była słabsza, dlatego przeciętna przeżywalność była wyższa, natomiast średnia wysokość – niższa w porównaniu z uprawą w Górze Śląskiej, założoną na bardziej zasobnej powierzchni po zrębie zupełnym. Analiza stabilności przeżywalności wykazała, że wysoką wartością tej cechy i dobrym dostosowaniem do niekorzystnego środowiska charakteryzowało się potomstwo populacji 464 – Łopuchówko ($b=0,36$), a w dalszej kolejności 611 – Szczecinek ($b=0,65$) i 741 – Świerczyna ($b=0,80$) (tab. 5). W przypadku wysokości najbardziej przystosowane do wzrostu w niesprzyjających warunkach środowiskowych okazało się potomstwo standardu regionalnego w regionie I, tj. drzewostanu 665 – Gryfino ($b=0,19$). Dużą wysokością oraz niskim współczynnikiem regresji charakteryzowały się także populacje 660 – Gryfino ($b=0,74$) oraz 464 – Łopuchówko ($b=0,76$). Przeciętnie najlepszą pod względem wzrostu na obydwu uprawach była populacja 538 – Myślubórz o wysokiej wartości współczynnika $b=1,22$, świadczącej o dobrym dostosowaniu do korzystnych warunków wzrostu. Dobrze adaptującymi się bukami w analizowanych środowiskach okazało się potomstwo populacji 827 – Polczyn, cechujące

się bardzo dobrym wzrostem na wysokość i współczynnikiem regresji bliskim jedności (tab. 6).

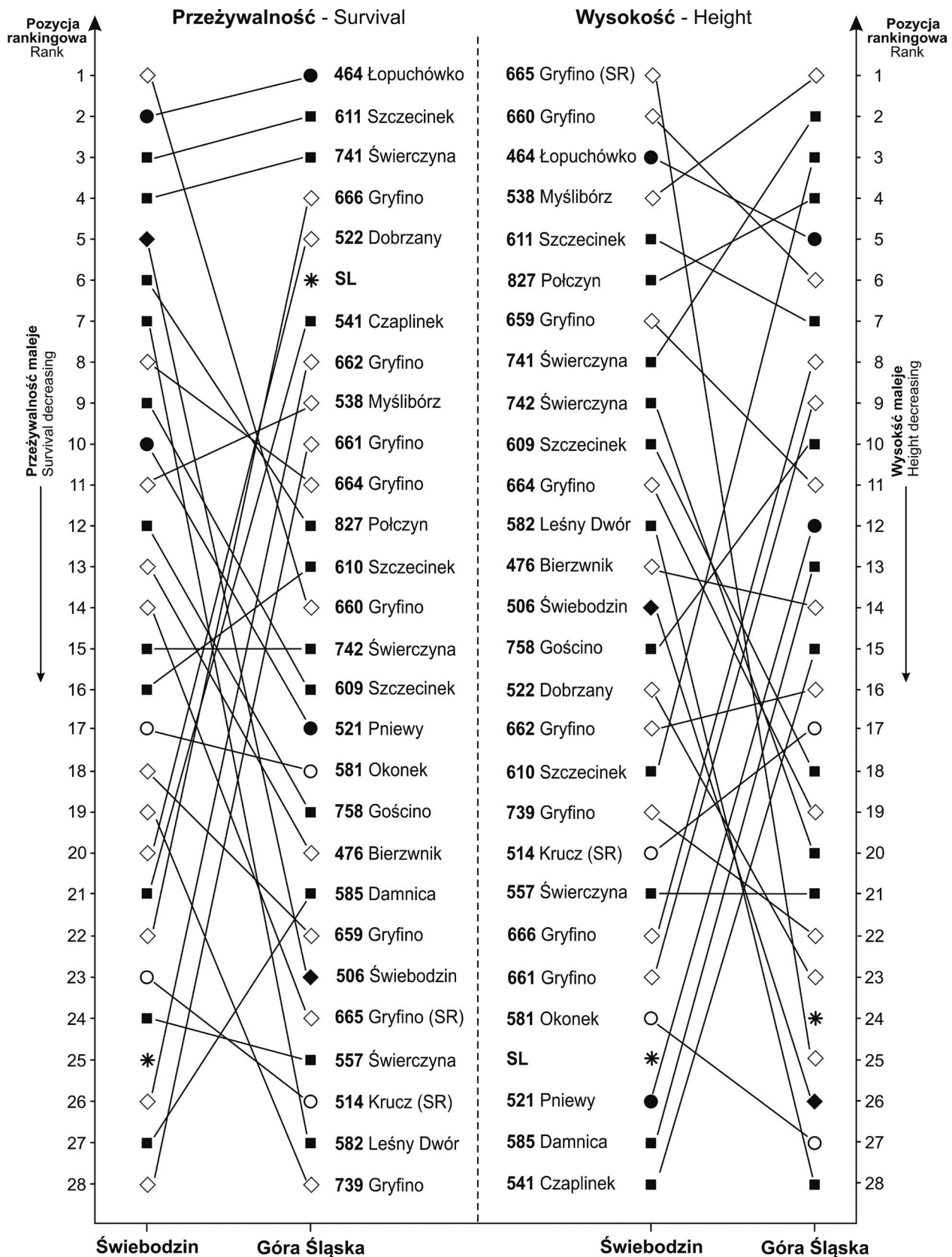
Wartości odziedziczalności dla badanych cech buka na poszczególnych powierzchniach były bardzo zróżnicowane. Najwyższą odziedziczalność osiągnięto dla przeżywalności buka na powierzchni w Świebodzinie, która wyniosła 0,513, nieco tylko niższa była odziedziczalność wysokości – 0,441. Natomiast na powierzchni w Górze Śląskiej wartości odziedziczalności były znacznie niższe i kształtowały się odpowiednio na poziomie 0,129 i 0,068 (tab. 8).

Współczynniki korelacji liniowej otrzymane dla poszczególnych cech na obydwu uprawach testujących były zróżnicowane. Na uprawie w Górze Śląskiej stwierdzono istotną korelację między przeżywalnością a wysokością ($r=0,437$), która na uprawie w Świebodzinie była jeszcze wyższa ($r=0,668$). Między przeżywalnością poszczególnych pochodzeń na obydwu

Tabela 8. Odziedziczalność pochodzeniowa analizowanych cech buka zwyczajnego testowanego na uprawach w Górze Śląskiej i w Świebodzinie

Table 8. Provenance heritability of the analyzed traits of European beech, tested on plots in Góra Śląska and in Świebodzin

Cecha Trait	Odziedziczalność ± dla uprawy testującej Heritability ± for test plot	
	Świebodzin	Góra Śląska
Przeżywalność Survival	0,513 ± 0,120	0,129 ± 0,035
Wysokość Height	0,441 ± 0,108	0,068 ± 0,019



Rycina 2. Zmiana pozycji rankingowych pochodzeń dla analizowanych cech na obydwu uprawach testujących; SR – standard regionalny, SL – standard lokalny (*), dyrekcje regionalne Lasów Państwowych: w Pile (○), Poznaniu (●), Szczecinie (◇), Szczecinku (■), Zielonej Górze (◆)

Figure 2. Change in ranking positions of provenances for analyzed traits on both test plots; SR – regional standard, SL – local standard (*), regional directorate of State Forests: Piła (○), Poznań (●), Szczecin (◇), Szczecinek (■), Zielona Góra (◆)

Tabela 9. Współczynniki korelacji między cechami buka zwyczajnego testowanego na uprawach w Górze Śląskiej i w Świebodzinie (* wartość istotna dla $p < 0,05$)Table 9. Correlation coefficient between traits of European beech, tested on plots in Góra Śląska and in Świebodzin (* significant value for $p < 0,05$)

Cecha / uprawa Trait / plot		Przeżywalność Survival		Wysokość Height	
		Świebodzin	Góra Śląska	Świebodzin	Góra Śląska
Przeżywalność Survival	Świebodzin	×	0,090	*0,668	0,189
	Góra Śląska		×	0,138	*0,437
Wysokość Height	Świebodzin			×	0,240
	Góra Śląska				×

uprawach nie zanotowano istotnego związku, a współczynnik korelacji był bliski zeru. Z kolei korelacja między średnimi wysokościami buków na obydwu uprawach była wyższa i dodatnia ($r=0,240$), ale nieistotna statystycznie (tab. 9).

4. Dyskusja i wnioski

Badania dotyczyły zagadnienia adaptacji buka zwyczajnego na powierzchniach zlokalizowanych w II regionie testowania w nadleśnictwach Góra Śląska i Świebodzin. Ich celem było wskazanie i określenie reakcji adaptacyjnych analizowanych pochodzeń z uwzględnieniem ich stabilności w zmiennych warunkach środowiska wzrastania. Przeanalizowano potomstwo wyłączonych drzewostanów nasiennych buka na terenie pięciu rdLP: w Szczecinie, Szczecinku, Pile, Zielonej Górze oraz Poznaniu. Wyniki uzyskane po pięciu latach badań potwierdziły duże zróżnicowanie przeżywalności i wysokości analizowanego potomstwa wyłączonych drzewostanów nasiennych oraz ich odmienną reakcję na warunki środowiskowe lokalizacji powierzchni testujących. Jakkolwiek program testowania zakłada, iż ocena przeżywalności kończy się po 10 latach od założenia uprawy, to jednak już po krótszym, pięcioletnim okresie, można zaobserwować różnice, umożliwiające dokonanie wstępnej oceny. Znalazło to potwierdzenie w badaniach prowadzonych na obydwu powierzchniach testujących. Analiza przeżywalności buków pochodzeń testowanych na obydwu uprawach wykazała, że średnia wartość tej cechy na powierzchniach w Górze Śląskiej wynosiła 60,8%, a w Świebodzinie 72,2%. Ta znaczna różnica może mieć związek z warunkami środowiskowymi na uprawach testujących. Uprawę w Nadleśnictwie Góra Śląska założono na powierzchni leśnej (po zrębie zupełnym) z intensywnie rozwijającą się roślinnością z odnowienia naturalnego, stanowiącą konkurencję dla gatunku testowanego. W Świebodzinie zaś uprawę założono na terenie po byłej szkółce leśnej. Większość pochodzeń buków zachowywała się w sposób odmienny na każdej z powierzchni testujących. Świadczą o tym zmiany w rankingu pochodzeń określone dla przeżywalności i wysokości, a także istotność interakcji 'pochodzenie × lokalizacja powierzchni'. Zbliżone

rezultaty uzyskał także Barzdajn (2009) na powierzchniach testujących potomstwo drzewostanów nasiennych w Złotoryi oraz Łądku Zdroju, w południowo-zachodnim regionie testowania tego gatunku oraz Banach i in. (2015) w regionie południowo-wschodnim na uprawach w Rymanowie i Nawojowej. Na powierzchni w Nadleśnictwie Świebodzin niektóre pochodzenia charakteryzowały się względnie wysoką przeżywalnością w porównaniu z pozostałymi. Świadczy to o ich lepszym przystosowaniu do lokalnych warunków. Podobną zależność wykazał Kowalkowski (2013), analizując potomstwo różnych proveniencji buka na powierzchni w Nadleśnictwie Łobez. O różnej reakcji adaptacyjnej buka na warunki miejsca posadzenia wskazują także wyniki badań przeprowadzonych przez Sabora i Stanuch (2009). Autorzy wykazali, że gleba może mieć znaczenie na wzrost buka w kilku pierwszych latach po posadzeniu na uprawie. Dla uprawy doświadczałnej w Świebodzinie otrzymano stosunkowo wysoką wartość odziedziczalności *sensu lato*, zarówno dla przeżywalności, jak i wysokości buków, która nie różniła się znacząco od wartości podawanych przez Galoux (za Giertychem 2000). Pozwala to na skuteczną selekcję populacyjną pod względem obydwu cech. Z kolei odziedziczalność pochodzeniowa na powierzchni w Górze Śląskiej okazała się zdecydowanie mniejsza, na co mogły wpłynąć trudne warunki wzrostu spowodowane dużym zachwaszczeniem uprawy, które przewyższały różnice w zdolności adaptacyjnej poszczególnych potomstw. Z obserwacji przeprowadzonych na powierzchni w Górze Śląskiej wynika, że testowane buki musiały konkurować o dostęp do światła, m.in. z grabem pospolitym *Carpinus betulus* L. i trzcinnikiem piaskowym *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. Gatunki te były w pierwszym okresie po założeniu uprawy specjalnie pozostawiane na powierzchni do ochrony młodych buków przed skutkami przymrozków późnych. W późniejszym czasie były one usuwane z uprawy, jednak ich wpływ na adaptację buka okazał się również negatywny. Skutkowało to większą liczbą wypadków i niższą średnią przeżywalnością na tej uprawie.

Otrzymane korelacje między wartościami średnimi dla pochodzeń i dla tej samej cechy na obydwu uprawach nie okazały się istotne, natomiast związek korelacyjny między

przeżywalnością i wysokością w ramach pojedynczej uprawy był dodatni i statystycznie istotny. Wskazuje to, że buki o wyższej wartości przeżywalności również znacznie lepiej przystawały na wysokość.

Ocena adaptacji buka nie wykazała, żeby potomstwo drzewostanów lokalnych było najlepsze, co potwierdziło rezultaty uzyskane przez Banacha i in. (2015) oraz Szeligowskiego i in. (2019) w południowo-wschodnim regionie testowania tego gatunku. Podobny wniosek sformułowała Sułkowska (2004), chociaż Giertych (1990) wskazywał, że najlepiej przystosowane do warunków środowiskowych są populacje lokalne. Słabsza adaptacja takich pochodzeń może mieć związek z kategorią obiektu nasiennego, gdyż na uprawach w Świebodzinie i Górze Śląskiej standardem lokalnym były potomstwa gospodarczych drzewostanów nasiennych.

W omawianym doświadczeniu testowano potomstwo populacji pochodzących z tego samego regionu (nadleśnictwa), mimo tego reakcja adaptacyjna okazała się zdecydowanie odmienna, tj. należały do najlepszych i najgorszych pod względem obydwu cech. Wskazuje to na zmienność ekotypową tego gatunku, co potwierdzają również inni autorzy (Giertych 2000; Sułkowska 2010; Szeligowski et al. 2019).

W wyniku przeprowadzonych analiz potomstwa buka zwyczajnego badanego na powierzchniach testujących w nadleśnictwach Góra Śląska i Świebodzin sformułowano następujące wnioski:

1. Potomstwo buka istotnie różniło się pod względem przeżywalności i wysokości na każdej z upraw testujących. Wykazano istotną różnicę między obydwoma lokalizacjami oraz istotny efekt interakcyjny 'pochodzenie × lokalizacja powierzchni', świadczący o dużej reaktywności buka na zmianę warunków wzrostu.

2. Wyższą przeciętną przeżywalność buków uzyskano na uprawie w Świebodzinie, jednak buki na uprawie w Górze Śląskiej były średnio o ok. 40% wyższe od tych w Świebodzinie.

3. Na obydwu uprawach przeciętnie najlepszym potomstwem pod względem przeżywalności okazało się pochodzenie z drzewostanu 464 – Łopuchówko, natomiast pod względem średniej wysokości z drzewostanu 538 – Myślubórz.

4. Ocena stabilności, określona współczynnikiem regresji oraz średnią wartością przeżywalności i wysokości, wskazała na dobrą adaptację, szczególnie w niekorzystnych warunkach środowiskowych, potomstwa buków pochodzących z drzewostanu w Nadleśnictwie Łopuchówko (leśnictwo Buczyzna, pododdział 95n).

5. Potomstwo standardu regionalnego 514 – Krucz wykazało słabą przeżywalność i wzrost na wysokość na obydwu uprawach testujących, natomiast potomstwo drugiego standardu (665 – Gryfino) okazało się przeciętne. Pozwoli to na wybór potomstwa drzewostanów lepszych pod względem cech adaptacyjnych.

6. Pod względem wzrostu na wysokość standardy lokalne na obydwu uprawach należały do najgorszych populacji, natomiast w przypadku przeżywalności w Górze Śląskiej ten standard plasował się w czołówce, a w Świebodzinie na końcu rankingu populacji.

7. Największą odziedziczalność analizowanych cech uzyskano na powierzchni w Świebodzinie, która dla wysokości wyniosła 0,441, a dla przeżywalności 0,513. Wskazuje to na możliwość prowadzenia skutecznej selekcji potomstwa pod względem obydwu cech adaptacyjnych. Z kolei na uprawie w Górze Śląskiej odziedziczalność była znacznie niższa, co świadczy o większym wpływie czynników środowiskowych.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Badania zrealizowano w ramach tematu BLP-375 sfinansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych, koordynowanego przez Instytut Badawczy Leśnictwa. Autorzy dziękują pracownikom Nadleśnictwa Góra Śląska i Świebodzin za opiekę nad uprawami i pomoc przy realizacji badań terenowych.

Literatura

- Alfaro R.I., Fady B., Vendramin G.G., Dawson I.L., Fleming R.A., Sáenz-Romero C., Lindig-Cisneros R.A., Murdock T., Vinceti B., Navarro C.M., Skrøppa T., Baldinelli G., El-Kassaby Y.A., Loo J. 2014. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management* 333: 76–87. DOI 10.1016/j.foreco.2014.04.006.
- Banach J., Skrzyszewska K., Kempf M. 2012. Zmienność genetyczna i gospodarka nasienna, w: Buk zwyczajny – hodowla (red. J. Skrzyszewski). Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 71–96. ISBN 978-83-09-01083-8.
- Banach J., Skrzyszewska K., Smętek M., Kubacki K. 2015. Ocena potomstwa buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w początkowych latach wzrostu. *Leśne Prace Badawcze* 76(1): 49–58. DOI 10.1515/frp-2015-0005.
- Barzdajn W. 2009. Adaptacja i początkowy wzrost potomstwa drzewostanów nasiennych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) na uprawach porównawczych w nadleśnictwach Złotoryja i Łądek Zdrój. *Leśne Prace Badawcze* 70(2): 101–111.
- Buraczyk W., Szeligowski H., Studnicki M., Drozdowski S., Bielak K. 2016. Wielocechowa ocena potomstwa populacji buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) z południowo-wschodniej Polski w początkowych latach wzrostu. *Sylwan* 160(12): 981–992. DOI 10.26202/sylwan.2016045.
- Chałupka W., Matras J., Barzdajn W., Blonkowski S., Burczyk J., Fonder W., Grądzki T., Gryzłó Z., Kacprzak P., Kowalczyk J., Koziół C., Pytko T., Rzońca Z., Sabor J., Szelań Z., Tarasiuk S. 2011. Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew w Polsce na lata 2011–2035. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 142 s. ISBN 978-83-61633-60-0.
- Falconer D.S., Mackay T.F.C. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Fourth Edition. Longmans Green, Harlow, Essex, United Kingdom.

- Finlay K.W., Wilkinson G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 742–752.
- Giertych M. 1991. Selekcja proveniencyjna, rodowa i indywidualna w doświadczeniach wieloczynnikowych ze świerkiem pospolitym (*Picea abies* (L.) Karst.). *Arboretum Kórnickie* 36: 27–42.
- Giertych M. 2000. Zmienność genetyczna buka. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, seria Sesja Naukowa*: 68: 35–46.
- Klisz M., Ukalski K., Ukalska J., Jastrzębowski S., Puchałka R., Przybylski P., Mionskowski M., Matras J. 2018. What can we learn from an early test on the adaptation of silver fir populations to marginal environments? *Forests* 9(7): 441. DOI 10.3390/f9070441.
- Kowalewski D., Skrzyszewska K., Kowalczyk J. 2017. Zmienność wybranych cech jakościowych pochodzeń sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na powierzchni doświadczalnej w Nadleśnictwie Ruda Maleniecka. *Acta Agraria et Silvicultura ser. Silvestris* 55: 65–80.
- Kowalkowski W. 2013. Wyniki 18-letniego doświadczenia proveniencyjnego z bukiem zwyczajnym (*Fagus sylvatica* L.) w Nadleśnictwie Łobez. *Leśne Prace Badawcze* 74(3): 197–203. DOI 10.2478/frp-2013-0019.
- Sabor J., Stanuch H. 2009. Genetyczna reaktywność buka zwyczajnego na warunki glebowe. *Sylwan* 153(8): 507–518.
- Skrzyszewska K., Banach J., Kulej M. 2016. Znaczenie i realizacja testowania leśnego materiału podstawowego dla rozwoju zasobów genowych, w: Wyzwania gospodarki leśnej na terenie RDLP w Krakowie na początku XXI wieku. (red. L. Jagoda, A. Jaworski, S. Małek). Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, 221–237. ISBN 978-83-64758-30-0.
- StatSoft Inc. 2014. Statistica (data analysis software system), version 12. www.statsoft.com.
- Sułkowska M. 2004. Zmienność genetyczna wybranych cech biologii buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.). Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.
- Sułkowska M. 2010. Genetic and ecotypic characterization of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Poland. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 6(6): 115–122.
- Szeligowski H., Buraczyk W., Drozdowski S., Bielak K., Widawska Z., Będkowski M. 2019. Zmienność wybranych cech potomstwa buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) na powierzchni testowania w Nadleśnictwie Łosie. *Sylwan* 163(3): 188–197. DOI 10.26202/sylvan.2018098.
- Zarządzenie. 2004. Zarządzenie Nr 85 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 31 grudnia 2004 r. W sprawie realizacji w jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych Programu testowania potomstwa wyłączonych drzewostanów nasiennych, drzew doborowych, plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych, (ZG–7132–52/2004).
- Żuk B. 1989. Biometria stosowana. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

Wkład autorów

J.J. – badania terenowe, analiza danych pomiarowych, zestawienia tabelaryczne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu. J.B. – koncepcja badawcza, weryfikacja analiz, przygotowanie części graficznej, korekta manuskryptu; K.S. – weryfikacja części wynikowej, korekta manuskryptu; P.S.-J. – zestawienia tabelaryczne, napisanie pierwszej wersji części wynikowej manuskryptu.

Adaptation stability of European beech *Fagus sylvatica* L. after five years of growth

Jakub Jaźwiński^{1*}, Jacek Banach², Kinga Skrzyszewska², Paulina Strejczek-Jaźwińska¹

¹University of Agriculture in Krakow, Faculty of Forestry, Institute of Forest Resources Management, Department of Forest Management, Geomatics and Forest Economics, al. 29 Listopada 46, 31–425 Kraków, Poland; ²University of Agriculture in Krakow, Institute of Forest Ecology and Silviculture, Faculty of Forestry, Department of Genetics, Seed Management and Forest Nursery, al. 29 Listopada 46, 31–425 Kraków, Poland

*Tel. +48 12 6625277; e-mail: j.jazwinski@ur.krakow.pl

Abstract. This study was focused on the evaluation of beech adaptation on test plots in the Góra Śląska and Świebodzin Forest Districts. For this purpose, we examined offspring from seed stands of beech growing in the Regional Directorates of State Forests in Szczecin, Szczecinek, Piła, Zielona Góra and Poznań, which were brought to both test plots. The aim was to determine the adaptive response of the offspring from these stands after five years of growth with respect to the changed environmental conditions compared to the site of origin. Our analysis revealed a relatively low survival rate, which was 60.8% and 72.2% in Góra Śląska and Świebodzin respectively. Interestingly, beeches grown on the plot in Góra Śląska were about 40% higher than those grown in Świebodzin (77.6 cm). The trees from both plots were significantly different from each other in terms of the analysed features and a significant interaction was observed between the test plot and the site of origin. However, the variability in the adaptive response of the seedlings was large. Using a regression coefficient and the average height value, we determined the seedlings' stability, which indicated high quality in offspring from the beech stand in the Łopuchówko Forest District (Buczyna forest range, sub-compartment 95n) and a high degree of adaptation to growth in adverse environmental conditions. Our results also indicate a low survival rate and reduced height of beech offspring from commercial seed stands (local standard).

Keywords: Progeny testing, selected seed stand, survival, height, heritability, genotype stability

1. Introduction and study aim

In Poland, the issues related to the enhancement of forests and their productivity have been given a lot of attention by the State Forests, the example of which is the 'Program of conserving forest genetic resources and breeding of trees in Poland for the years 2011–2035' (Chałupka et al. 2011) – a continuation of the Program implemented in the years 1991–2010. An important aspect of the activities undertaken has been testing the progeny of selected forest stands, maternal trees and plantations in different environmental conditions in order to gain knowledge of intraspecific variability as a source of adaptation to climate change and other environmental factors (Alfaro et al., 2014). Better understanding of these aspects is of great importance in view of progressive degradation of the natural environment and the adverse ef-

fects of numerous biotic and abiotic factors, which locally may threaten the existence of forests. Increasing demand for wood as the most environmentally friendly product, necessitates intensification of the production of this raw material. On the other hand, despite the ever-increasing forested area, in many forest stands, intensive management activities or logging are restricted (e.g., Natura 2000 sites).

Poland is divided into the so-called test regions designated within the Regional Directorates of the State Forests for observations on important forest-forming species included in the testing program, that is: European beech *Fagus sylvatica* L., pedunculate oak *Quercus robur* L. and sessile oak *Q. petraea* (Matt.) Liebl., birch *Betula pendula* Roth, black alder *Alnus glutinosa* Gaertn., silver fir *Abies alba* Mill., Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst, European larch *Larix decidua* Mill. and Scots pine *Pinus sylvestris* L. For

Received: 5.11.2018 r., accepted after revision: 18.07.2019 r.

European beech, taking into account its range of occurrence and capability of the seed base, there were designated 4 test regions (Banach et al. 2012; Skrzyszewska et al. 2016). In 2006, first comparative beech provenance trials (8 test areas) were established in the test regions: III and IV. Two years later, another 20 test areas were established in the regions I and II: 8 for testing progenies of beech stands and 12 for testing progenies of beech maternal trees (Banach et al. 2012).

By 2019, the testing areas have been established to study not only the European beech progenies, but also those of Scots pine, silver fir and Norway spruce selected stands and maternal trees. A relatively short duration of the testing program (launched in 2006) resulted in fairly small amount of published test data. The majority of scientific papers have been so far published as regards the results obtained in the studies on European beech offspring (Barzdajn 2009; Banach et al. 2015; Buraczyk et al. 2016; Szeligowski et al. 2019). Klisz et al. (2018) published the results on silver fir and Kowalewski et al. (2017) – on Scots pine.

The aim of this study was to evaluate the European beech adaptation on 2 experimental plots established in test region II. On both plots, there were tested the progenies of the same set of selected seed stands from the test regions: I and II. Beech progeny survival, height and stability were assessed in view of the environmental conditions in the test plots. The experimental trees were examined 5 years after planting in the experimental plots, that is, in the first term determined in the general principles of the ‘Program of testing the progeny of basic forest material’ (Zarządzenie [Regulation] 2004).

2. Research material and methodology

Experimental plots were established at the turn of April and May 2008, in the Góra Śląska Forest District (Góra Śląska FD) and the Świebodziń Forest District (Świebodziń FD) (Table 1). The Góra Śląska FD (the Poznań Regional Directorate of State Forests) is located in the Nizina Wielkopolska (*Wielkopolska Lowland*), and the Świebodziń FD (the Zielona Góra Regional Directorate of State Forests) is located within in the Pojezierze Łagowskie (*Łagowskie Lakeland*) region.

On both experimental plots, there were planted the European beech progenies from 27 selected seed stands – designated in 5 Regional Directorates of State Forests (Piła, Poznań, Szczecin, Szczecinek and Zielona Góra). As a local standard, within each plot, there were planted seedlings developed from seeds obtained in the production seed stands growing in a given area (Table 2).

In the Góra Śląska FD, the plot for testing European beech progeny was established on 180 m × 180 m clear area, divided into five experimental blocks. The progenies of the selected seed stands were planted in 4 blocks (I, II, III, IV), and the fifth block was used to plant seedlings intended for replenishing losses in the experimental material in the first year subsequent to planting. Each block (replication) comprised of 28 provenance sub-plots (Fig. 1). On each sub-plot, 100 beech trees (10 × 10 seedlings) were planted at a density 1.5 m × 1.5 m. In the Świebodziń FD, the test plot was established in a former ground nursery, within two divisions (approx. 50 m × 350 m), separated with 38 m-wide Scots pine stand (Fig. 2).

On both plots, the observations were carried out in September 2012. Seedling survival and height (measured with the use of a telescopic rule) was evaluated. For each studied population, the mean value of the trait examined was determined. The results were tabulated together with the standardised units (JS), which were calculated as the difference between the mean for the progeny of a given stand and the mean for the experimental plot, divided by the standard deviation. Calculations and statistical analyses were carried out separately for each study plot. The mean value, standard deviation and coefficient of variation were determined for each plot. The results were arranged in a table form, comprising measuring units [cm] and standardised units [JS]. The used model of multivariate analysis of variance was:

$$y_{kijn} = \mu + B_j + P_k + PB_{kj} + E_{n(jk)}$$

where:

y_{kijn} – value of observation kjn ,

μ – overall mean,

B_j – effect of experimental block j ,

P_k – effect of provenance k ,

PB_{kj} – effect of interaction $k \times j$,

$E_{n(jk)}$ – error.

Table 1. Location of experimental plots with offspring of European beech in the middle region of testing

Experimental plot ID	Forest District	Forest range, sub-compartment	Geographical coordinates		Altitude m a.s.l.
			longitude (N)	latitude (E)	
15/Bk/P/1/3/WDN1	Góra Śląska	Wronki, 119m	16°37'33"	51°41'11"	121
16/Bk/P/1/4/WDN1	Świebodziń	Dolina, 138ab	15°13'33"	52°19'48"	124

Table 2. Location of beech stands, whose offspring is tested on plots Góra Śląska and Świebodzin (SR – regional standard, SL – local standard)

No	Progeny number	Regional directorate of the State Forest	Forest District	Forest Subdistrict	Subcompartment	Geographical coord.		Altitude m a.s.l.	Type of forest site	
						longitude (E)	latitude (N)			
1	464/ZP/06	Poznań	Łopuchówko	Buczyna	95m	16°58'	52°41'	119	Lśw	
2	476/ZP/06	Szczecin	Bierzwnik	Radachowo	405a	15°30'	53°01'	117	Lśw	
3	506/ZP/06	Zielona Góra	Świebodzin	Długoszyń	30a	15°19'	52°22'	205	Lśw	
4 (SR)	514/ZP/06	Piła	Krucz	Goraj	15g	16°30'	52°52'	111	Lśw	
5	521/ZP/06	Poznań	Pniewy	Dąbrowa	226c	16°18'	52°29'	104	Lśw	
6	522/ZP/06	Szczecin	Dobrzany	Kielno	467i, 468b	15°29'	53°23'	127	Lśw	
7	538/ZP/06		Myślibórz	Grzybno	170c	14°37'	53°04'	93	Lśw	
8	541/ZP/06		Czaplinek	Sikory	58ah	16°15'	53°35'	161	Lśw	
9	557/ZP/06	Szczecinek	Świerczyna	Jeleni Stok	31b, 32a, 33a	16°12'	53°25'	179	Lśw	
10	581/ZP/06	Piła	Okonek	Węgorzewo	21a	16°54'	53°36'	164	Lśw	
11	582/ZP/06	Szczecinek	Leśny Dwór	Podwilczyn	191a	17°11'	54°19'	123	LMśw	
12	585/ZP/06		Damnica	Wolinia	89a	17°33'	54°36'	34	Lśw	
13	609/ZP/06		Szczecinek	Szczecinek	Dalęcino	355f	16°34'	53°46'	150-160	Lśw
14	610/ZP/06		Szczecinek	Janowo	137f	16°38'	53°40'	172	Lśw	
15	611/ZP/06		Szczecinek	Janowo	138o	16°37'	53°40'	185	Lśw	
16	659/ZP/06		Gryfino	Śmierdnica	153b, 154a, 155a, 172b	14°44'	53°19'	99	Lśw	
17	660/ZP/06		Gryfino	Kołowo	317ab	14°39'	53°20'	159	Lśw	
18	661/ZP/06	Szczecin	Gryfino	Kołowo	213b, 227a, 214b, 212ac	14°42'	53°18'	91	Lśw	
19	662/ZP/06		Gryfino	Kołowo	161b, 160b, 159a	14°42'	53°20'	117	Lśw	
20	664/ZP/06		Gryfino	Osetno	30b	14°46'	53°19'	86	Lśw	
21 (SR)	665/ZP/06		Gryfino	Glinna	206i, 211d	14°43'	53°18'	106	Lśw	
22	666/ZP/06		Gryfino	Osetno	171d	14°44'	53°19'	117	Lśw	
23	739/ZP/06	Gryfino	Kłęskowo	163c	14°41'	53°20'	101	Lśw		

No	Progeny number	Regional directorate of the State Forest	Forest District	Forest Subdistrict	Subcompartment	Geographical coord.		Altitude m a.s.l.	Type of forest site
						longitude (E)	latitude (N)		
24	741/ZP/06	Szczecinek	Świerczyna	Jeleni Stok	83c	16°12'	53°20'	101	Lśw
25	742/ZP/06		Świerczyna	Jeleni Stok	42c, 43c	16°12'	53°25'	151	Lśw
26	758/ZP/06		Gościno	Bagicz	25a	15°41'	54°11'	30	Lśw
27	827/ZP/06		Połczyn	Kluczewo	399f	16°10'	53°41'	203	Lśw
28 (SL)	Góra Śląska	Poznań	Łopuchówko	Bartków	164a	17°08'	52°34'	123	Lśw
	Świebodzin	Zielona Góra	Świebodzin	Długoszyń	14a	15°20'	52°23'	195	Lśw

Type od forest site: Lśw – deciduous forest, fresh variant; LMśw – mixed deciduous forest, fresh variant

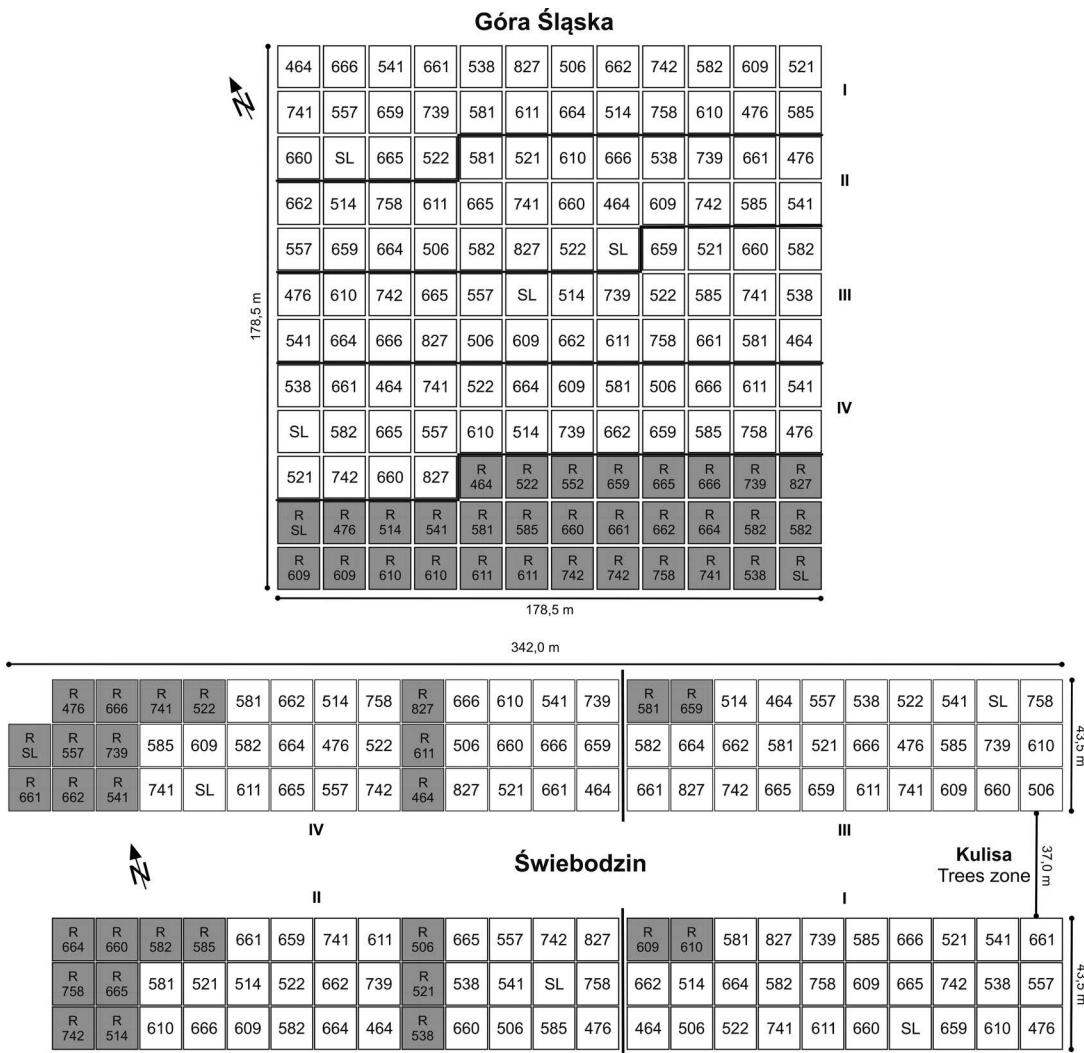


Figure 1. Plan of experimental plots with offspring of selected seed stands of the European beech, located in the Góra Śląska and Świebodzin forest districts; I–IV – block numbers (replications), SL – local standard, R – reserve

The same analytical model was used to assess the effect of the location of the study plot. In the above formula, the effect of block (B_j) was replaced by the effect of the i -th location. In order to determine the possibility of effective selection, provenance heritability was calculated with the use of variance components obtained in the analysis of variance for each trait examined. Heritability was calculated based on variance components, and this was associated with a mixed data analysis model. The expected mean squares for the used data analysis scheme (Zuk 1989) are given in Table 3.

To calculate provenance heritability (h_p^2), the following general formula was used (Giertych 1991):

$$h_p^2 = \frac{\sigma_p^2}{V_p}$$

where:

σ_p^2 – provenance variance component,
 V_p – provenance variance.

General formula was transformed into heritability formula, using in the two-factor analysis of variance: provenance variance and provenance variance component divided by the coefficient k_3 . The following formula was obtained (Banach et al. 2015):

$$h_p^2 = \frac{\sigma_p^2}{\frac{\sigma_e^2}{k_3} + \frac{k_2 \sigma_{pb}^2}{k_3} + \sigma_p^2}$$

where:

σ_p^2 – provenance variance component,
 σ_{pb}^2 – variance component for interaction provenance x block,
 σ_e^2 – variance component for error,
 k_2 – mean number of trees in block and provenance
 k_3 – mean number of trees in provenance

Calculations and statistical analyses were carried out with the use of the functions in Statistica software: General Linear Models (means, statistical analyses) and Variance Components (variance components and coefficients for the components) (StatSoft 2014). For the obtained values of trait heritability on individual plots, a standard error of heritability estimation ($se_{h_p^2}$) was calculated in line with the formula by Falconer and Mackay (1996). The stability of each analysed provenance was determined by the method of Finlay and Wilkinson (1963). It consists in calculating the regression coefficient b between the trait values on individual crops for each analysed origin and the averages for experimental plots. The average stability is determined by a factor of 1.0. The value of regression coefficient b lower than 1.0 indicates better adaptation to adverse environmental conditions, whereas the higher value – only adaptation to the favourable environment. The provenance with higher regression coefficient values usually adapt well only in one specific

Table 3. Expected average squares in the analysis of measurement data

Source of variance	Degree of freedom	Expected mean square
Block (B)	$b - 1$	$\sigma_e^2 + k_3 \sigma_b^2$
Provenance (P)	$p - 1$	$\sigma_e^2 + k_2 \sigma_{pb}^2 + k_3 \sigma_p^2$
Interaction (P×B)	$pb - p - b + 1$	$\sigma_e^2 + k_1 \sigma_{pb}^2$
Error	$n... - pq$	σ_e^2

σ_x^2 – variance component for the x source of variance, $k_1...k_3$ – coefficients for individual components

environment (Giertych, 2000). In the present study, the stability was analysed in relation to two traits: height and survival, the mean values of which were transformed using the logarithm function (Finlay, Wilkinson, 1963). Regression coefficients were compared to the mean trait values for provenances, jointly for both test plots. The progenies with regression coefficient values close to 1.0 and the value of trait above the overall mean were classified as well adapting to all environments. The progenies well adapted to favourable and adverse environments were also determined. To determine the relationship between the analysed traits, the Pearson's linear correlation coefficient was used ($p < 0.05$). Calculations were carried out with the use of Statistica 12 software (StatSoft 2014).

3. Results

After 5 years of growth, the survival of European beech seedlings on the plot established in the Świebodzin FD was 72.2%, and in the Góra Śląska FD – 60.8%. Overall (plots analysed jointly), on average, the highest survival values were observed in the progenies of the following selected seed stands: 464 – Łopuchówko (78.8%), 611 – Szczecinek (76.7%), 741 – Świerczyna (74.4%) and 660 – Gryfino (72.6%). The lowest survival values were observed in the progenies of the stands: 585 – Damnica (57.0%), 557 – Świerczyna (58.0%), 514 – Krucz (58.4%), 661 – Gryfino (60.2%), 739 – Gryfino (60.3%). When the experimental plots were analysed separately, in the Góra Śląska FD, the highest survival values were observed in the progenies of the stands: 464 – Łopuchówko (76.4%), 611 – Szczecinek (72.5%), 741 – Świerczyna (69.3%). In the plot established in the Świebodzin FD, the highest survival was observed in the progenies of the stands: 660 – Gryfino (84.0%), 464 – Łopuchówko (81.2%), and 611 – Szczecinek (81%) (Table 4).

Multi-factor analysis of variance showed a significant effect of provenance on the European beech survival only in the plot established in the Świebodzin FD. On both test plots,

Table 4. Average survival of European beech on plots in Świebodzin and Góra Śląska with regression coefficient *b*

Provenance No.	Forest District	Świebodzin + Góra Śląska			Świebodzin		Góra Śląska		<i>b</i>
		mean [%]	stand. unit	rank	mean [%]	rank	mean [%]	rank.	
464	Łopuchówko	78.8	2.28	1	81.2	2	76.4	1	0.36
476	Bierzwnik	66.5	0.00	17	75.3	13	57.6	20	1.56
506	Świebodzin	66.8	0.06	15	79.1	5	54.6	23	2.16
514	Krucz	58.4	-1.50	25	64.8	23	52.0	26	1.29
521	Pniewy	67.0	0.09	14	75.6	10	58.3	17	1.51
522	Dobrzany	67.9	0.26	8	68.1	20	67.8	5	0.02
538	Myślibórz	69.8	0.61	6	75.5	11	64.2	9	0.95
541	Czaplinek	67.3	0.15	10	67.8	21	66.8	7	0.08
557	Świerczyna	58.0	-1.57	26	63.3	24	52.6	25	1.09
581	Okonek	65.4	-0.20	18	72.8	17	58.0	18	1.32
582	Leśny Dwór	64.6	-0.35	19	77.4	7	51.8	27	2.34
585	Damnica	57.0	-1.76	27	57.3	27	56.7	21	0.06
609	Szczecinek	67.3	0.15	10	76.0	9	58.5	16	1.53
610	Szczecinek	67.3	0.15	10	73.3	16	61.4	13	1.03
611	Szczecinek	76.7	1.89	2	81.0	3	72.5	2	0.65
659	Gryfino	62.6	-0.72	21	69.8	18	55.5	22	1.34
660	Gryfino	72.6	1.13	4	84.0	1	61.1	14	1.85
661	Gryfino	60.2	-1.17	24	56.4	28	64.0	10	-0.74
662	Gryfino	61.2	-0.98	22	57.6	26	64.8	8	-0.69
664	Gryfino	70.0	0.65	5	77.2	8	62.8	11	1.20
665	Gryfino	64.6	-0.35	19	74.7	14	54.6	24	1.83
666	Gryfino	67.2	0.13	13	65.5	22	68.9	4	-0.30
739	Gryfino	60.3	-1.15	23	69.1	19	51.6	28	1.70
741	Świerczyna	74.4	1.46	3	79.4	4	69.3	3	0.80
742	Świerczyna	67.4	0.17	9	73.9	15	61.0	15	1.12
758	Gościno	66.6	0.02	16	75.4	12	57.8	19	1.55
827	Półczyn	69.8	0.61	6	78.0	6	61.6	12	1.37
Local standard		–	–	–	58.6	25	67.6	6	–
Mean		66.5	–	–	72.2	–	60.8	–	–
Standard deviation		5.4	–	–	7.5	–	6.6	–	–
Coefficient of variability		8.1	–	–	10.4	–	10.9	–	–

there were found significant effects of other sources of variation ('block' and interaction 'block × provenance') (Table 5).

The analysis of the heights of European beech trees (the experimental plots jointly) showed that the average height was 97 cm. At a level of individual progenies, the highest were those of the selected seed stands: 538 – Myślubórz (114.9 cm), 742 – Świerczyna (107.6 cm), 660 – Gryfino (106.5 cm), 464 – Łopuchówko (106.3 cm), 827 – Połczyn (106.2 cm) and 611 – Szczecinek (104.4 cm). Comparatively, the lowest height values were shown by the progenies of the stands from: 581 – Okonek (85.2 cm), 541 – Czaplunek (87.9 cm), 506 – Świebodzin (88.9 cm), 582 – Leśny Dwór (89.2 cm) and 585 – Damnica (89.5 cm). The average height of the trees examined after 5 years of growth in Świebodzin was 69.6 cm, and in Góra Śląska – 103.2 cm. On the plot established in Świebodzin, the highest were the progenies of the stands: 665 – Gryfino (94.5 cm), 660 – Gryfino (90.8 cm) and 464 – Łopuchówko (90.2 cm), and in Góra Śląska – those from 538 – Myślubórz (142.3 cm), 741 – Świerczyna (131.4 cm), 610 – Szczecinek (127.5 cm) and 827 – Połczyn (127.4 cm). In both experimental plots, tree height increment in the progenies of local production seed stands was comparatively the smallest (Table 6).

The results achieved by the best provenances in terms of tree height obtained in the plot Góra Śląska did not correspond to those obtained in the plot Świebodzin. In general, European beech heights varied considerably, even though the experimental plots were located in the same test region and the same experimental material was planted at the same time in the experimental plots.

Analysis of variance showed no effect of site of origin on the height of the beech trees studied; however, a significant effect of 'block × provenance' interaction on both experimental plots was found. Significant differences between blocks were also found in the case of the plot established in the Świebodzin FD (Table 5).

Analysis of variance performed for individual traits, including the effect of the location of the experimental plot, showed a significant differentiation between the plots, with no effect of the site of origin on beech height and survival. The effect of interaction 'provenance × plot' was significant, which proves different response of individual beech provenances to changed environmental conditions for their growth (Table 7).

On both experimental plots, the provenance 464 – Łopuchówko – was the best in terms of survival (the first ranking position in the Góra Śląska FD and the second – in the Świebodzin FD). The progenies of the following selected seed stands also ranked high: 611 – Szczecinek and 741 – Świerczyna. On the other hand, the provenances from: 557 – Świerczyna, 514 – Krucz and 585 – Damnica achieved the lowest scores. The response showed by the progenies of seed stands representing local standards was differentiated: on the experimental plot established in the Świebodzin FD, beech seedling survival was one of the poorest, and the Góra Śląska FD was at the forefront in the ranking of this trait. On both test plots, similar mean survival values were shown by the progenies from the following origin sites: 538 – Myślubórz, 609 – Szczecinek and 581 Okonek. The remaining progenies tested were characterised by varied survival values and reached differentiated positions in the ranking (Fig. 2).

On both experimental plots, the progenies of the selected seed stands: 538 – Myślubórz, then 464 – Łopuchówko and 660 – Gryfino, showed the uppermost values in terms of tree height. Irrespective of the experimental plot, the progenies of beech provenances: 581 – Okonek as well as seedlings representing both local standards showed low height growth values. On both test plots, similar average height values were shown by the progenies of the stands: 476 – Bierzwnik, 662 – Gryfino and 557 – Świerczyna. Likewise, in the case of seedling survival, the remaining beech progenies tested showed diverse values of their height and reached considerably different scores in the ranking (Fig. 2).

Table 5. Results of multivariate variance analysis of beech survival and height on experimental plots in Świebodzin and Góra Śląska

Trait	Source of variance	Świebodzin		Góra Śląska	
		<i>F</i> -test	significance level (<i>p</i>)	<i>F</i> -test	significance level (<i>p</i>)
Survival	block	39.2905	< 0.001	12.2606	< 0.001
	provenance	2.0545	0.007	1.1483	0.310
	block × provenance	6.5248	< 0.001	9.1453	< 0.001
Height	block	17.8604	< 0.001	1.4503	0.235
	provenance	1.7901	0.024	1.0728	0.392
	block × provenance	15.9772	< 0.001	2.4977	< 0.001

Table 6. Average height of European beech on plots in Świebodzin and Góra Śląska with regression coefficient *b*

Prove-nance No.	Forest District	Świebodzin + Góra Śląska			Świebodzin		Góra Śląska		<i>b</i>
		mean (cm)	stand. unit	rank	mean (cm)	rank	mean (cm)	rank.	
464	Łopuchówko	106.3	1.29	4	90.2	3	122.4	5	0.76
476	Bierzwnik	97.7	0.10	11	78.5	13	116.8	14	1.00
506	Świebodzin	88.9	-1.13	25	76.8	14	100.9	26	0.68
514	Krucz	93.5	-0.49	19	73.9	20	113.0	17	1.06
521	Pniewy	94.0	-0.42	18	68.4	26	119.6	12	1.40
522	Dobrzany	90.0	-0.97	21	75.2	16	104.7	23	0.83
538	Myślubórz	114.9	2.49	1	87.5	4	142.3	1	1.22
541	Czaplinek	87.9	-1.26	26	60.3	28	115.4	15	1.63
557	Świerczyna	91.2	-0.81	20	73.7	21	108.7	21	0.97
581	Okonek	85.2	-1.64	27	69.8	24	100.5	27	0.91
582	Leśny Dwór	89.2	-1.08	24	78.9	12	99.4	28	0.58
585	Damnica	89.5	-1.04	23	61.1	27	117.9	13	1.65
609	Szczecinek	96.3	-0.10	14	80.4	10	112.1	18	0.83
610	Szczecinek	101.1	0.57	8	74.7	18	127.5	3	1.34
611	Szczecinek	104.4	1.03	6	87.0	5	121.8	7	0.84
659	Gryfino	102.2	0.72	7	84.6	7	119.7	11	0.87
660	Gryfino	106.5	1.32	3	90.8	2	122.1	6	0.74
661	Gryfino	95.6	-0.19	15	70.8	23	120.3	9	1.33
662	Gryfino	95.0	-0.28	17	75.1	17	114.8	16	1.06
664	Gryfino	95.5	-0.21	16	79.7	11	111.2	19	0.83
665	Gryfino	98.2	0.17	9	94.5	1	101.9	25	0.19
666	Gryfino	96.7	-0.04	12	71.7	22	121.7	8	1.33
739	Gryfino	90.0	-0.97	21	74.0	19	105.9	22	0.90
741	Świerczyna	107.6	1.47	2	83.7	8	131.4	2	1.13
742	Świerczyna	96.6	-0.06	13	82.2	9	110.9	20	0.75
758	Gościno	97.9	0.13	10	75.9	15	119.8	10	1.14
827	Połczyn	106.2	1.28	5	84.9	6	127.4	4	1.02
Local standard		–	–	–	69.6	25	103.2	24	–
Mean		97.0	–	–	77.6	–	115.5	–	–
Standard deviation		7.2	–	–	8.4	–	10.3	–	–
Coefficient of variability [%]		7.4	–	–	10.8	–	8.9	–	–

Table 7. Results of multivariate analysis of variance of analyzed European beech traits for both test plots

Trait	Source of variance	df	<i>F</i> -test	Significance level (<i>p</i>)
Survival	plot	1	63.0507	< 0.001
	provenance	27	0.9365	0.567
	provenance × plot	27	11.0028	< 0.001
Height	plot	1	337.9014	< 0.001
	provenance	27	1.6655	0.097
	provenance × plot	27	4.1256	< 0.001

The experimental plots differed in terms of the conditions for survival and height growth of the examined European beech progenies. On the plot established in the Świebodzin FD, the pressure of various environmental factors was somewhat lesser, and so, the average values of seedling survival were higher as compared to those achieved in the Góra Śląska FD. At the same time, the average height of the progenies growing in the Świebodzin FD was lower when compared to those observed in the Góra Śląska FD, where the experimental plot was established within clear cut area, hence a higher-quality site. Survival stability analysis showed that the progeny of European beech population from 464 – Łopuchówko ($b = 0.36$), followed by those from 611 – Szczecinek ($b = 0.65$) and 74 – Świerczyna ($b = 0.80$) indicated high survival values and adaptation to unfavourable environmental conditions (Table 5). In the case of tree height, the progeny of the regional standard in the test region I, that is, stand 665 – Gryfino ($b = 0.19$), was the best adapted to adverse environmental conditions. Populations 660 – Gryfino ($b = 0.74$) and 464 – Łopuchówko ($b = 0.76$) showed high values in terms of tree height and low values of regression coefficients. On average, the progeny of the stand 538 – Myślibórz – was the best in terms of height of trees achieved in both experimental plots. In this case, the high coefficient b value (1.22) indicated good adaptation to favourable growth conditions. The progeny of the stand 827 – Polczyn, characterised by very good height values and a regression coefficient close to 1.0 was well adapted to the analysed environments (Table 6).

On individual experimental plots, the values of heritability of the studied beech traits showed a lot of differences. The highest heritability values (0.513 and 0.441 for survival and height, respectively) were observed in the case of survival European beech trees growing within the plot established in the Świebodzin FD. The trees observed on the plot established in the Góra Śląska FD, achieved much lower heritability values (0.129 and 0.068 for survival and height, respectively) (Table 8).

Differences were observed between the values of linear correlation coefficients for the traits tested obtained within the experimental plots. A significant correlation between tree survival and height ($r = 0.437$) was found in Góra Śląska. In Świebodzin, this correlation was stronger ($r = 0.668$). No correlation was found between the survival of the seedlings examined in Góra Śląska and Świebodzin ($r = 0.090$). In the case of the average beech heights, the positive correlation was weak ($r = 0.240$) and not statistically significant (Table 9).

4. Discussion and conclusions

The study was carried out to evaluate the European beech adaptation examined on two experimental plots located in the test region II, in the Forest Districts: Góra Śląska and Świebodzin. The aim was to determine the adaptive response in the studied provenances, in view of their stability in changed environmental conditions. The progenies of the selected seed stands growing in 5 Regional Directorates of State Forests (Szczecin, Szczecinek, Piła, Zielona Góra and Poznań) were observed. The results obtained after five years of observations showed a large diversity in beech survival and height and different response to environmental conditions in the test plots. The testing program assumes 10-year-long tree survival assessments in established experimental areas. The results of the present study confirmed that preliminary

Table 8. Provenance heritability of the analyzed traits of European beech, tested on plots in Góra Śląska and in Świebodzin

Trait	Heritability ± for test plot	
	Świebodzin	Góra Śląska
Survival	0,513 ± 0,120	0,129 ± 0,035
Height	0,441 ± 0,108	0,068 ± 0,019

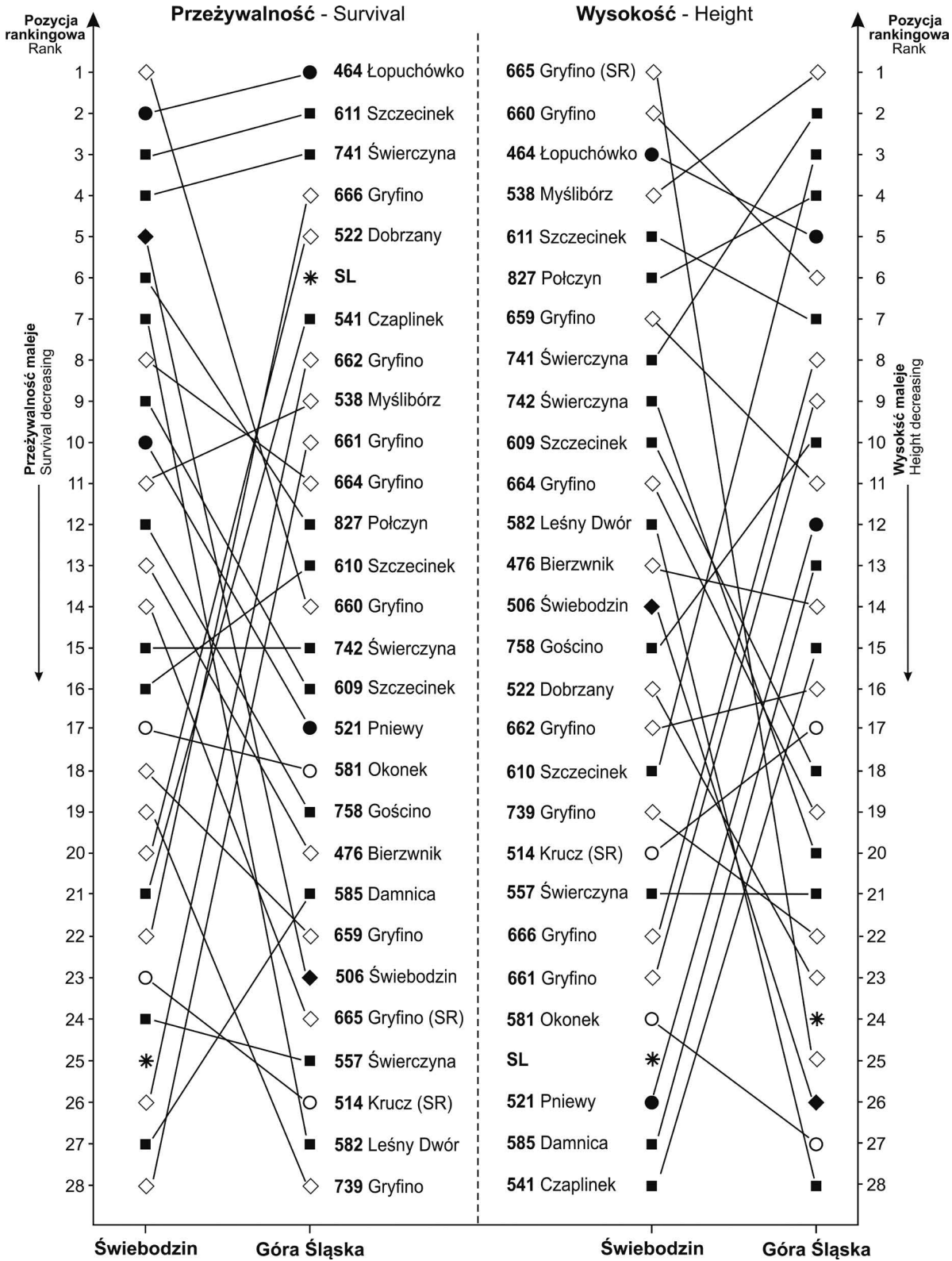


Figure 2. Change in ranking positions of provenances for analyzed traits on both test plots; SR – regional standard, SL – local standard (*), regional directorate of State Forests: Piła (○), Poznań (●), Szczecin (◇), Szczecinek (■), Zielona Góra (◆)

Table 9. Correlation coefficient between traits of European beech, tested on plots in Góra Śląska and in Świebodzin (* significant value for $p < 0,05$)

Trait / plot	Survival		Height	
	Świebodzin	Góra Śląska	Świebodzin	Góra Śląska
Survival	Świebodzin	×	*0.668	0.189
	Góra Śląska		0.138	*0.437
Height	Świebodzin		×	0.240
	Góra Śląska			×

assessment was possible after a shorter, 5-year-long period. The average values of European beech survival, obtained in the experimental plots in Góra Śląska and Świebodzin, were 60.8% and 72.2%, respectively. This difference between the plots may be related to environmental conditions. In the Góra Śląska FD, the experimental plot was established on a clear cut area, covered by intensively developing vegetation (natural regeneration) that was competing with the tested seedlings. In the Świebodzin FD, the plot was established within the area of a former forest nursery. The majority of the tested European beech provenances showed different responses when examined on the experimental plots separately. This was evidenced by the differences in the rankings of provenance survival and height prepared for the plots, as well as significant interaction origin ‘provenance × plot’. Similar results were obtained by Barzdajn (2009) in the study on progenies of seed stands in Złotoryja and Łądek Zdrój, in the south-western region of European beech testing, as well as by Banach et al. (2015) in the south-eastern region – experimental plots in Rymanów and Nawojowa. In the Świebodzin FD, some European beech provenances were characterised by relatively high survival rates when compared to the other provenances tested. This indicates their better adaptation to local conditions. A similar relationship was demonstrated by Kowalkowski (2013), in the study on the progenies of various European beech provenances carried out on the testing areas established in the Łobez Forest District. The results of the tests on European beech, carried out by Sabor and Stanuch (2009) indicated a different adaptation response to planting conditions. The authors showed that the soil could play an important role in seedling growth in the first few years after planting. In the experimental plot in Świebodzin, in general, relatively high inheritance values were obtained, both for European beech survival and height, and the values obtained did not differ considerably from those reported by Galoux (Giertych 2000). It means that the results obtained in this study can enable effective selection of desirable population in terms of both traits. The heritability observed in Góra Śląska achieved considerably lower values,

which could be influenced by hard growth conditions due to weed overgrowth, which outweighed adaptation capability of individual beech progenies. Observations carried out in Góra Śląska indicated that the tested seedlings had to compete for access to light, with, for example, common hornbeam *Carpinus betulus* L. and bushgrass *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. These species were left behind in the experimental plot so as to protect the newly planted beech seedlings against late frost. Subsequently, they were gradually removed from the plot, as their effects on beech adaptation became negative (when compared to Świebodzin, there were observed more dead beech seedlings and lower average survival rates).

The correlations between mean values of the tested provenance traits obtained in the two experimental plots were not significant, whereas the relationship between the survival rate and tree height within an individual plot was positive and statistically significant. This indicates that beech trees that achieved high survival values also grew well in height.

The assessment of European beech adaptation did not show that the progeny of the local seed stands achieved the best results. This is confirmed by the results obtained by Banach et al. (2015) and Szeligowski et al. (2019) obtained in the southeast beech test region. A similar conclusion was drawn by Sułkowska (2004). On the other hand, however, Giertych (1990) stated that local populations are best adapted to environmental conditions. In the present study, relatively poor adaptation of local provenances (local standard) may be related to the category of the seed stand, as in both experimental plots, there were observed European beech progenies of the production seed stands.

The progenies of local European beech populations growing in the same region (Forest District) were tested in the present study, yet their adaptive response differed considerably between each other as depending on the experimental plot, they were among the best and the worst provenances in terms of both traits studied. This indicates European beech ecotypic variation, confirmed by other authors (Giertych 2000; Sułkowska 2010; Szeligowski et al. 2019).

As a result of the analyses of the progeny of the European beech examined on the test plots in the Góra Śląska and Świebodzin Forest Districts, the following conclusions were drawn:

1. The European beech progenies examined significantly differed in terms of tree survival and height assessed on the two experimental plots. A significant difference between the two locations and the significant interaction ‘provenance × plot’ were found, which demonstrated strong response of European beech to the change of growth conditions.

2. When compared to the experimental plot established in the Góra Śląska FD, European beech trees achieved higher average survival values within the experimental plot established in the Świebodzin FD. However, the trees growing in Góra Śląska were on average approximately 40% higher than those growing in Świebodzin.

3. On both experimental plots, the progeny of the selected seed stand 464 – Łopuchówko was the best in terms of survival, and the progeny of the stand 538 – Myślibórz achieved the top average height value.

4. European beech stability evaluated on the basis of regression coefficients and the average survival and height values, indicated that the progeny of the European beech stand in the Łopuchówko Forest District (Forest Sub-District Buczyna, sub-division 95n) adapted well, especially to adverse environmental conditions.

5. The progeny of the regional standard 514 – Krucz showed low survival and height values on both experimental plots, whereas the progeny of the regional standard 665 – Gryfino showed average values. These results can enable choosing European beech progenies with better adaptive traits.

6. Within both experimental plots, the local standards ranked among the worst populations in terms of tree height. In the case of survival, the local standards showed the best values in Góra Śląska, whereas in Świebodzin – the worst when compared to other progenies tested.

7. The highest values of heritability of the analysed traits was observed within the plot established Świebodzin: 0.441 for height and 0.513 for survival. This indicates the possibility of effective selection of progenies in terms of both adaptive traits. The values of heritability obtained in Góra Śląska were much lower, which indicates a greater impact of environmental factors.

Conflict of interest

The authors declare no potential conflicts.

Acknowledgements and sources of funding

The study was carried out under the framework of the Project BLP-375, financed by the General Directorate of

State Forests and coordinated by the Forest Research Institute. The authors thank the foresters from the Góra Śląska and Świebodzin Forest Districts for taking care of study plots and assistance in field work.

References

- Alfaro R.I., Fady B., Vendramin G.G., Dawson I.L., Fleming R.A., Sáenz-Romero C., Lindig-Cisneros R.A., Murdock T., Vinceti B., Navarro C.M., Skrøppa T., Baldinelli G., El-Kassaby Y.A., Loo J. 2014. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management* 333: 76–87. DOI 10.1016/j.foreco.2014.04.006.
- Banach J., Skrzyszewska K., Kempf M. 2012. Zmienność genetyczna i gospodarka nasienna, w: Buk zwyczajny – hodowla (red. J. Skrzyszewski). Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 71–96. ISBN 978-83-09-01083-8.
- Banach J., Skrzyszewska K., Smętek M., Kubacki K. 2015. Ocena potomstwa buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w początkowych latach wzrostu. *Leśne Prace Badawcze* 76(1): 49–58. DOI 10.1515/frp-2015-0005.
- Barzdajn W. 2009. Adaptacja i początkowy wzrost potomstwa drzewostanów nasiennych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) na uprawach porównawczych w nadleśnictwach Złotyryja i Łądek Zdrój. *Leśne Prace Badawcze* 70(2): 101–111.
- Buraczyk W., Szeligowski H., Studnicki M., Drozdowski S., Bielak K. 2016. Wielocechowa ocena potomstwa populacji buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) z południowo-wschodniej Polski w początkowych latach wzrostu. *Sylwan* 160(12): 981–992. DOI 10.26202/sylwan.2016045.
- Chałupka W., Matras J., Barzdajn W., Błonkowski S., Burczyk J., Fonder W., Grądzki T., Gryzłó Z., Kacprzak P., Kowalczyk J., Koziół C., Pytko T., Rzońca Z., Sabor J., Szelaż Z., Tarasiuk S. 2011. Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew w Polsce na lata 2011–2035. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 142 s. ISBN 978-83-61633-60-0.
- Falconer D.S., Mackay T.F.C. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Fourth Edition. Longmans Green, Harlow, Essex, United Kingdom.
- Finlay K.W., Wilkinson G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 742–752.
- Giertych M. 1991. Selekcja proweniencyjna, rodowa i indywidualna w doświadczeniach wieloczynnikowych ze świerkiem pospolitym (*Picea abies* (L.) Karst.). *Arboretum Kórnickie* 36: 27–42.
- Giertych M. 2000. Zmienność genetyczna buka. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, seria Sesja Naukowa*: 68: 35–46.
- Klisz M., Ukalski K., Ukalska J., Jastrzębowski S., Puchałka R., Przybylski P., Mionskowski M., Matras J. 2018. What can we learn from an early test on the adaptation of silver fir populations to marginal environments? *Forests* 9(7): 441. DOI 10.3390/f9070441.
- Kowalewski D., Skrzyszewska K., Kowalczyk J. 2017. Zmienność wybranych cech jakościowych pochodzeń sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na powierzchni doświadczalnej w Nadle-

- śnictwie Ruda Maleniecka. *Acta Agraria et Silvicultura ser. Silvestris* 55: 65–80.
- Kowalkowski W. 2013. Wyniki 18-letniego doświadczenia pro-niencyjnego z bukiem zwyczajnym (*Fagus sylvatica* L.) w Nadleśnictwie Łobez. *Leśne Prace Badawcze* 74(3): 197–203. DOI 10.2478/frp-2013-0019.
- Sabor J., Stanuch H. 2009. Genetyczna reaktywność buka zwyczajnego na warunki glebowe. *Sylvan* 153(8): 507–518.
- Skrzyszewska K., Banach J., Kulej M. 2016. Znaczenie i realizacja testowania leśnego materiału podstawowego dla rozwoju zasobów genowych, w: Wyzwania gospodarki leśnej na terenie RDLP w Krakowie na początku XXI wieku. (red. L. Jagoda, A. Jaworski, S. Małek). Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, 221–237. ISBN 978-83-64758-30-0.
- StatSoft Inc. 2014. Statistica (data analysis software system), version 12. www.statsoft.com.
- Sułkowska M. 2004. Zmienność genetyczna wybranych cech biologii buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.). Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.
- Sułkowska M. 2010. Genetic and ecotypic characterization of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Poland. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 6(6): 115–122.
- Szeligowski H., Buraczyk W., Drozdowski S., Bielak K., Widańska Z., Będkowski M. 2019. Zmienność wybranych cech potomstwa buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) na powierzchni testowania w Nadleśnictwie Łosie. *Sylvan* 163(3): 188–197. DOI 10.26202/sylvan.2018098.
- Zarządzenie. 2004. Zarządzenie Nr 85 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 31 grudnia 2004 r. W sprawie realizacji w jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych Programu testowania potomstwa wyłączonych drzewostanów nasiennych, drzew doborowych, plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych, (ZG–7132–52/2004).
- Żuk B. 1989. Biometria stosowana. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

Authors' contribution

J.J. – field studies, analysis of measurement data, tabular summaries, manuscript writing; J.B. – research concept, verification of analyses, preparation of graphs, manuscript edition/revision; K. S. – tabular summaries, description of the results.