

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., zrecenzowano: 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:

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

gdzie:

y_{kijn} – wartość obserwacji o numerze $kijn$,

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

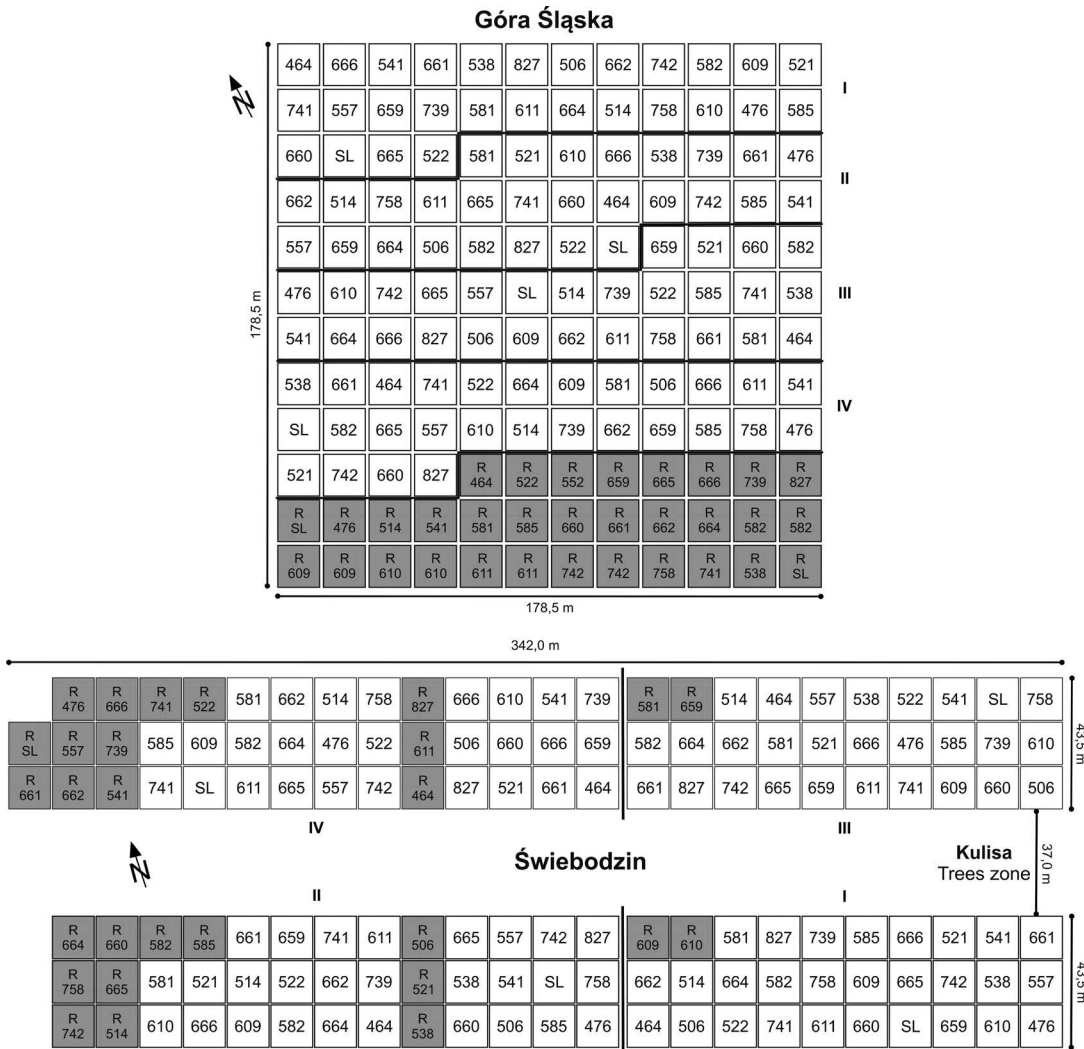
Tabela 2. Lokalizacja drzewostanów buka zwyczajnego, których potomstwo jest testowane na uprawach Góra Śląska oraz Świebodzin (SR – standard regionalny, SL – standard lokalny)

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 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)			
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 pochodzenia Progeny number	Regionalna dyrekcja Lasów Państwowych Regional directorate of the State Forest	Nadleśnictwo Forest District	Leśnictwo Forest Subdistrict	Pododział Subcompartment	Wspól. 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)		
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 analizy 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 Wilkinson (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).

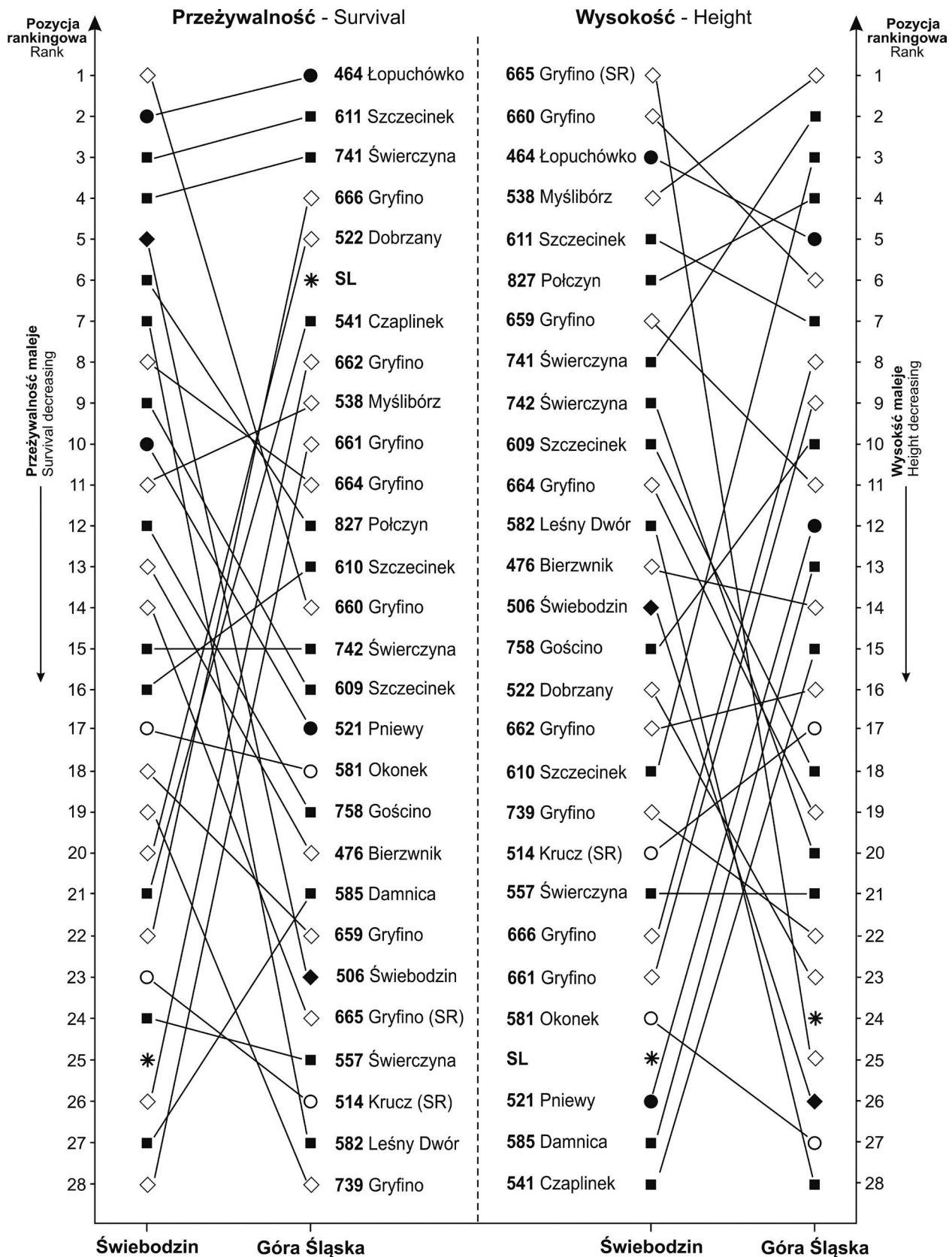
Wartości odziedziczalności dla badanych cech buka na poszczególnych powierzchniach były bardzo zróżnicowane. Najwyższą odziedziczalność osiągnięto dla przeżywalności buka na powierzchni w Świebodzinie, która wyniosła 0,513, nieco tylko niższa była odziedziczalność wysokości – 0,441. Natomiast na powierzchni 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	×	*0,668	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 Dyрекcyję 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. *Sylvan* 160(12): 981–992. DOI 10.26202/sylvan.2016045.
- Chałupka W., Matras J., Barzdajn W., Blonkowski S., Burczyk J., Fonder W., Grądzki T., Gryzło 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 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.