

## Ocena potomstwa buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w początkowych latach wzrostu

### Evaluating the progeny of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the early years of growth

Jacek Banach\*, Kinga Skrzyszewska, Mateusz Smętek, Kamil Kubacki

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny, Instytut Ekologii i Hodowli Lasu,  
Zakład Genetyki, Nasiennictwa i Szkółkarstwa Leśnego, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków,

\* Tel./ Fax +48 12 6625128, e-mail: rlbanach@cyf-kr.edu.pl

**Abstract.** This research was carried out on two experimental plots located in the Rymanów and Nawojowa forest districts. In the second and fifth year after planting, at three and six years of age respectively, survival and height of 25 beech progenies of selected stands were measured. Furthermore, we show the effect of beech origin and growth environment (significant ‘provenance × block’ and ‘provenance × test plot’ interactions). Beeches from both experimental plots differed significantly in growth and survival and this difference increased with tree age. The highest provenance heritability was obtained for the tree height after two years of growth in Rymanów. In Nawojowa, the heritability of beech survival reached zero after five years of growth. An evaluation of the stability of beech provenances (genotypes) in terms of survival and height under the habitat conditions of our experimental plots was done using the Finlay and Wilkinson method. The beech provenances of 469–Nawojowa and 452–Lesko (regional standard) were included as a stable basis for reference. A high degree of stability and high average values for the characteristics investigated indicate high progeny quality within these stands.

**Keywords:** testing program, survival, tree height, heritability, stability of genotypes

## 1. Wstęp i cel pracy

Zmienność osobników tworzących populacje drzew leśnych jest niezbędnym warunkiem skutecznej selekcji najwartościowszych proveniencji. Stanowi ona podstawę możliwości adaptacyjnych, stabilności i trwałości ekosystemów leśnych w zmieniających się układach klimatycznych oraz przy występowaniu stresów środowiskowych.

Dla lepszego poznania potencjału wzrostowego poszczególnych populacji najważniejszych gatunków lasotwórczych od 2004 r. realizowany jest w Polsce „Program testowania potomstwa wyłączonych drzewostanów nasiennych, drzew doborowych, plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych” (Sabor et al. 2004). Wiedza na temat wartości hodowlanej potomstwa każdego drzewostanu stanowiącego bazę nasienną, a także analiza interakcji cech adaptacyjnych z warunkami wzrostu jest bardzo ważna dla prowadzenia prawidłowej gospodarki leśnej. Zakładanie upraw przy użyciu potomstwa z najlepszych obiektów nasiennych rosnących w określonym regionie pozwoli na uzyskanie drzewostanów potomnych charakteryzujących się dobrymi parametrami wzrostowymi, jakościowymi i zdrowotnymi. Dla każdego

gatunku objętego programem testowania obszar Polski podzielony został na tzw. regiony testowania bazy nasiennej. Utworzone dla buka zwyczajnego cztery regiony testowania przedstawiono na rycinie 1.

Pierwsze w Polsce uprawy testujące buka zwyczajnego założono w 2006 r. w regionie III (południowo-zachodnim) oraz regionie IV (południowo-wschodnim). Liczba powierzchni z bukiem, na których testowane jest potomstwo losowo wybranych drzew w wyłączonych drzewostanach nasiennych oraz drzew matecznych systematycznie wzrasta i aktualnie jest ich 28.

Przedstawione w pracy wyniki dotyczą oceny cech adaptacyjnych buka, tj. przeżywalności i wysokości, w drugim i piątym roku po założeniu upraw testujących potomstwo wyłączonych drzewostanów nasiennych. Badania prowadzono w południowo-wschodnim regionie testowania tego gatunku na uprawach zlokalizowanych w nadleśnictwach: Rymanów i Nawojowa.

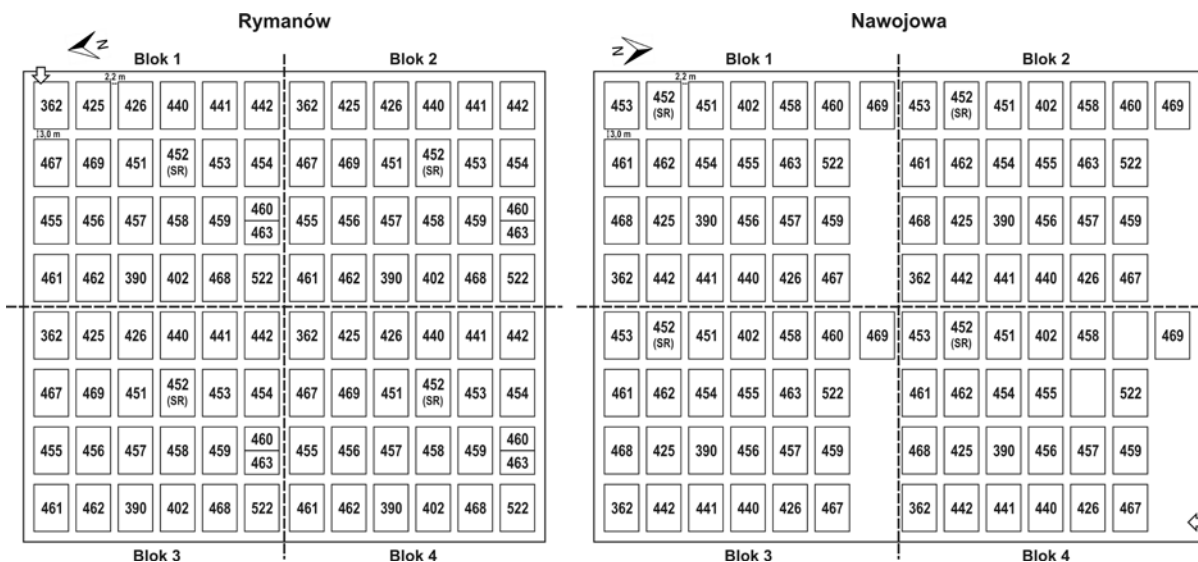
## 2. Materiał i metody

Pierwszą uprawę testującą w Nadleśnictwie Rymanów założono w Leśnictwie Lipowiec (pododdział 147Anp) na płaskim nieużytku, wcześniej wykorzystywanym jako



Rycina 1. Regiony testowania buka zwyczajnego na tle podziału Lasów Państwowych na dyrekcje regionalne (Sabor et al. 2004)

Figure 1. Testing regions of European beech against the division of the State Forests into regional directorates (Sabor et al. 2004)



Rycina 2. Rozmieszczenie bloków i poletek na powierzchniach testujących potomstwo buka zwyczajnego, zlokalizowanych w nadleśnictwach Rymanów i Nawojowa; 362–522 – numery drzewostanów według tabeli 1

Figure 2. Distribution of replication and provenance plots on the test area with offspring of the European beech, situated at Rymanów and Nawojowa forest districts; 362–522 – numbers of stands according to the Table 1

łąka. Pod względem regionalizacji przyrodniczo-leśnej jest to Kraina Karpacka, Dzielnica Beskidu Niskiego. Druga uprawa testowa znajduje się w Nadleśnictwie Nawojowa w Leśnictwie Berest (pododdział 152k), również w Krainie Karpackiej, w Dzielnicy Gorców i Beskidu Sądec-

kiego. Uprawę założono na stoku o wystawie wschodniej, na powierzchni powstałej po usunięciu rozpadającego się drzewostanu świerkowego. Jesienią 2005 r. obydwie powierzchnie ogrodzono, a wiosną następnego roku posadzono materiał doświadczalny.

**Tabela 1. Charakterystyka wyłączonych drzewostanów nasiennych buka zwyczajnego, z których potomstwo jest badane w południowo-wschodnim regionie testowania**

Table 1. Characteristic of the separated seed stands of beech whose offspring is studied in south-east region of testing

RDLP*	Numer i nazwa pochodzenia No and name of provenance	Pododdział Sub-compartment	Powierzchnia Area (ha)	Współrzędne geograficzne Geographical coordinates		Wysokość n.p.m Altitude	Symbol regionu Region symbol
				długość longitude	szerokość latitude		
Kraków	362 –Gromnik	110c	15,06	21°11'	49°51'	399	852
	425 –Łosie	25b	30,00	21°07'	49°37'	540	854
	426 –Łosie	14a	21,19	21°00'	49°29'	554	854
	440 –Stary Sącz	134ac,135ikmn, 136c	36,64	20°36'	49°29'	641	803
	441 –Brzesko	100d	7,00	20°31'	49°50'	431	852
	442 –Brzesko	101b	7,00	20°31'	49°50'	431	852
	467 –Nawojowa	354m	4,91	20°48'	49°29'	775–850	803
	469 –Nawojowa	340c	21,48	20°49'	49°28'	894	803
Krosno	451 –Lutowiska	63b	20,14	22°34'	49°12'	620–860	806
	452 –Lesko (SR)	81c,82c,83ac	39,22	22°15'	49°23'	537	806
	453 –Bircza	166c, 167af	14,70	22°38'	49°37'	373–530	804
	454 –Bircza	62c, 63bc,64abc	76,40	22°34'	49°41'	409–573	804
	455 –Krasieczyn	173a, 176a	19,27	22°35'	49°41'	421	804
	456 –Krasieczyn	131a	10,48	22°36'	49°48'	369	804
	457 –Rymanów	9a	5,00	22°01'	49°33'	388	806
	458 –Rymanów	15a	11,00	21°57'	49°34'	385	806
	459 –Strzyżów	250bd, 251c	19,51	21°46'	49°58'	383	854
	460 –Kańczuga	126a	10,98	22°14'	49°55'	339	852
	461 –Leżajsk	205a	7,00	22°16'	50°15'	232	661
	462 –Leżajsk	213c	6,10	22°16'	50°15'	230	661
463 –Narol	89Aa, 89b	25,35	23°15'	50°20'	324	606	
Radom	390 –Kielce	156b, 157d	23,00	20°25'	50°59'	334	604
	402 –Suchedniów	110g	8,87	20°55'	50°01'	346	604
	468 –Staszów	198bcdf, 199ac	35,96	21°09'	50°38'	269	658
	522 –Łągów	44abc, 45a, 46a, 47a, 50b, 51a, 52ab, 53a	148,31	21°07'	50°50'	417	604

\* RDLP – **Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych** / Regional Directorate of State Forest; (SR) – **standard regionalny** / regional standard

W testowaniu bierze udział potomstwo drzew z dwudziestu pięciu wyłączonych drzewostanów nasiennych rosnących na gruntach zarządzanych przez trzy dyrekcje regionalne Lasów Państwowych: w Krakowie, Krośnie i Radomiu. Charakterystykę drzewostanów matecznych testowanego potomstwa przedstawiono w tabeli 1.

Na uprawach posadzono jednoroczne sadzonki buka z zakrytym systemem korzeniowym (1/0k), w więźbie 1,5×1,1 m, po 100 sztuk na każdym poletku pochodzeniowym. Sadzenie wykonano na placówkach o wymiarach 60×60 cm. Ze względu na niewystarczającą liczbę sadzonek reprezentujących drzewostany 460-Kańczuga oraz 463-Narol ich potomstwo nie było testowane na uprawie w Nawojowej w bloku 4. Schemat obydwu powierzchni z rozmieszczeniem bloków (powtórzeń) i poletek pochodzeniowych przedstawiono na rycinie 2. Dla obydwu upraw standardem regionalnym jest potomstwo drzewostanu o numerze 452 Lesko, natomiast za standard lokalny dla powierzchni w Rymanowie przyjęto potomstwo pocho-

dzeń 457 i 458 (Nadleśnictwo Rymanów), a dla powierzchni w Nawojowej – potomstwo pochodzeń 467 i 469 (Nadleśnictwo Nawojowa).

W drugim i piątym roku po posadzeniu buka na uprawach testujących, tj. w 3 i 6 roku życia, oceniono jego przeżywalność i wysokość. Oddzielnie na każdej uprawie zbadano istotność wpływu pochodzenia (genotypu), bloku (powtórzenia) oraz interakcję obydwu źródeł zmienności. Zastosowano wieloczynnikowy schemat analizy danych określony wzorem:

$$y_{kijn} = \mu + B_j + P_k + PB_{kj} + E_{n(jk)}, \quad (1)$$

gdzie:  $y_{kijn}$  – wartość obserwacji o numerze  $kjn$ ,  $\mu$  – 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.

Według tego samego schematu analizy oceniono efekt lokalizacji uprawy, zastępując we wzorze 1 efekt bloku ( $B_j$ ) efektem lokalizacji  $i$  ( $L_i$ ). Dla obydwu cech, tj. przeżywalności i wysokości, obliczono również odziedziczalność, oddziel-

nie na każdej uprawie. Ze względu na zastosowanie modelu mieszanego (blok – efekt losowy, pochodzenie – efekt stały) odziedziczalność wyliczono wzorem opartym na komponentach wariancyjnych. Oczekiwane średnie kwadraty dla analizy dwuczynnikowej z interakcją przyjęto za Żukiem (1989).

Odziedziczalność pochodzeniową obliczono, dzieląc komponent wariancji pochodzeniowej ( $\sigma_p^2$ ) przez wariancję pochodzeniową ( $V_p$ ) (Giertych 1991). Po podstawieniu wariancji pochodzeniowej do ogólnego wzoru na odziedziczalność w dwuczynnikowej analizie wariancji oraz podzieleniu przez współczynnik  $k_3$  znajdujący się przy komponencie pochodzeniowym, wzór na odziedziczalność pochodzeniową ( $h_p^2$ ) przyjmuje postać:

$$h_p^2 = \frac{\sigma_p^2}{\frac{\sigma_E^2}{k_3} + \frac{k_2 \sigma_{PB}^2}{k_3} + \sigma_p^2}, \quad (2)$$

gdzie:  $\sigma_p^2$  – komponent wariancji pochodzeniowej,  $\sigma_E^2$  – komponent wariancji błędu,  $\sigma_{PB}^2$  – komponent wariancji dla interakcji,  $k_2$  – średnia liczba drzew w bloku i pochodzeniu,  $k_3$  – średnia liczba drzew w pochodzeniu.

Obliczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona ( $r$ ) dla zobrazowania siły zależności przeżywalności i wysokości buka w poszczególnych latach na obydwu uprawach testujących ze współrzędnymi geograficznymi drzewostanów macierzystych i ich wysokością n.p.m.

Do oceny stabilności pochodzeń buka zastosowano metodę Finlay'a i Wilkinsona (1963). Wykorzystuje ona współczynnik regresji  $b$  do określenia charakteru przystosowania pochodzenia w różnych latach i środowiskach wzrostu. Wartość współczynnika  $b$  na poziomie 1,0 charakteryzuje potomstwo przeciętne pod względem adaptacji. Współczynnik  $b$  poniżej 1,0 wskazuje na pochodzenia stabilne, dobrze dostosowujące się do wielu środowisk, natomiast jeśli jest większy od 1,0 oznacza, że potomstwo danego pochodzenia wykazuje się dużą reaktywnością i jest zdolne do przystosowania się tylko do określonych warunków środowiskowych (Finlay, Wilkinson 1963; Giertych 1988). Obliczenia wykonano na wartościach średnich, które poddano transformacji logarymicznej. Interpretację stopnia dostosowania badanych pochodzeń buka do warunków uprawowych zobrazowano graficznie. Przedstawiono zależność między wielkością współczynnika regresji  $b$  a średnią wartością cechy, którą obliczono oddzielnie dla każdego pochodzenia.

### 3. Wyniki

Średnia przeżywalność sadzonek buka na uprawie w Rymanowie w drugim roku po posadzeniu wyniosła 90,2% i przez następne trzy lata zmniejszyła się do 63,6%. Z kolei na uprawie w Nawojowej średnia przeżywalność w badanym okresie była wysoka. W drugim i piątym roku po posadzeniu wynosiła odpowiednio 94,6 i 92,4%. Największą przeżywalnością na powierzchni w Rymanowie po pięciu latach wzrostu cechowały się buki pochodzenia 469–Nawo-

jowa, 451–Lutowiska oraz 452–Lesko. Najgorzej przeżywały natomiast buki populacji: 362–Gromnik, 462–Leżajsk, i 459–Strzyżów. Na powierzchni w Nawojowej najlepszymi okazało się potomstwo drzewostanów: 467–Nawojowa, 455–Krasieczyn i 452–Lesko. Najslabiej na tej uprawie testującej przeżywały buki pochodzenia 440–Stary Sącz, 426–Łosie oraz 461–Leżajsk (tab. 2).

Średnia wysokość buka na uprawie w Rymanowie w dwa lata po posadzeniu wyniosła 46,4 cm i przez następne trzy lata zwiększyła się do 66,1 cm (przyrost o 42,5%). Na uprawie testującej w Nawojowej średnia wysokość buka była zdecydowanie wyższa niż na uprawie w Rymanowie i kształtowała się na poziomie 56,2 cm w drugim roku oraz 121,6 cm w piątym roku wzrostu (przyrost o 116,4%). Na powierzchni w Rymanowie przeciętnie największą wysokością w 5 lat po posadzeniu charakteryzowały się buki pochodzeń: 451–Lutowiska, 452–Lesko oraz 455–Krasieczyn, natomiast najmniejszą – pochodzenia 362–Gromnik, 462–Leżajsk oraz 442–Brzesko. Na uprawie badawczej w Nawojowej najlepiej wzrastało potomstwo wyłączonych drzewostanów nasiennych: 469–Nawojowa, 453–Bircza i 522–Łągów, natomiast najslabiej 440–Stary Sącz, 426–Łosie oraz 441–Brzesko i 456–Krasieczyn (tab. 2).

Ocena wpływu pochodzenia i bloku na badane cechy (przeżywalność, wysokość) wykazała istotną statystycznie interakcję „pochodzenie × blok” niezależnie od lokalizacji uprawy testującej (Rymanów, Nawojowa) ani od roku wykonania pomiaru. Na uprawie w Rymanowie stwierdzono także utrzymujący się z wiekiem istotny wpływ bloku na wielkość obu analizowanych cech, natomiast efekt pochodzenia był istotny tylko w dwa lata po posadzeniu, natomiast po pięciu latach już go nie stwierdzono. W Nawojowej, w przeciwieństwie do Rymanowa, wpływ pochodzenia na zaobserwowane różnice wysokości zwiększył się istotnie między 2. a 5. rokiem wzrostu buka na uprawie (tab. 3).

Wykazano również istotny wpływ lokalizacji powierzchni testującej na przeżywalność i wysokość buków oraz efektu interakcji „pochodzenie × powierzchnia”. Reakcja potomstwa na warunki siedliskowe uprawy była różna. W obu terminach pomiarowych pochodzenie nie miało istotnego wpływu na zmienność badanych cech (tab. 4).

Odziedziczalność analizowanych cech buka obliczona dla upraw testujących i w latach pomiaru była różna. Na powierzchni w Rymanowie odziedziczalność przeżywalności buka po 2 i 5 latach od posadzenia była wysoka i na zbliżonym poziomie, natomiast na uprawie w Nawojowej odziedziczalność przeżywalności po 2 latach testu była niska i zmniejszyła się do zera w drugim okresie pomiarowym, tj. po 5 latach wzrostu buka na uprawie. Odwrotnie kształtowała się odziedziczalność wysokości. Wysoką odziedziczalność tej cechy, porównywalną w obu terminach obserwacji, odnotowano na uprawie w Nawojowej, natomiast w Rymanowie odziedziczalność wysokości wyraźnie się zmniejszyła w piątym roku od założenia uprawy i wynosiła 0,296 (tab. 5).

Korelacja między wartością średnią analizowanych cech dla poszczególnych potomstw a lokalizacją geograficzną i położeniem n.p.m. ich drzewostanów matecznych w przypadku kolekcji testowanej na uprawie w Nawojowej okazała

**Tabela 2. Przeżywalność oraz wysokość buka zwyczajnego testowanego na powierzchniach w Rymanowie i Nawojowej (po 2. i 5. latach po posadzeniu)**

Table 2. Survival and height of European beech tested on experimental plots in Rymanów and Nawojowa (2 and 5 years after planting)

RDLP	Numer i nazwa pochodzenia No. and name of provenance	Przeżywalność – Survival (%)				Wysokość – Height (cm)			
		Rymanów		Nawojowa		Rymanów		Nawojowa	
		2	5	2	5	2	5	2	5
Kraków	362–Gromnik	89,5	47,3	95,8	94,3	38,9	55,5	56,9	122,5
	425–Łosie	88,0	58,8	94,3	92,8	47,9	67,2	56,9	119,2
	426–Łosie	92,8	67,5	91,3	88,8	47,2	71,6	55,2	110,0
	440–Stary Sącz	92,0	62,0	90,8	88,8	45,2	68,2	51,8	104,8
	441–Brzesko	86,8	59,0	94,5	92,3	47,2	62,6	57,2	112,1
	442–Brzesko	87,0	62,3	94,3	92,3	47,6	60,0	61,3	127,0
	467–Nawojowa	88,8	66,5	97,5	96,3	45,5	65,8	59,0	125,6
	469–Nawojowa	93,0	77,3	94,0	92,3	44,1	75,9	56,0	142,8
Krosno	451–Lutowiska	96,8	76,3	94,3	93,0	46,6	75,9	52,0	117,1
	452–Lesko (SR)	96,5	72,0	96,8	95,5	50,0	75,5	56,1	126,9
	453–Bircza	92,3	68,0	92,8	90,5	47,2	61,5	59,9	136,1
	454–Bircza	88,0	63,5	98,0	94,8	46,1	64,6	56,9	124,3
	455–Krasieczyn	96,0	68,8	97,5	95,8	48,8	73,0	57,1	121,1
	456–Krasieczyn	95,0	66,0	95,8	94,3	45,0	66,0	51,2	112,3
	457–Rymanów	91,8	68,8	92,5	89,0	49,8	68,1	56,4	113,3
	458–Rymanów	89,8	66,3	94,3	92,0	48,3	64,9	58,7	124,9
	459–Strzyżów	86,8	55,5	95,5	93,5	48,4	68,4	59,0	120,3
	460–Kańczuga	89,0	61,5	92,7	90,7	43,7	65,8	54,7	131,7
	461–Leżajsk	86,0	57,3	92,3	88,0	46,5	62,0	54,0	121,4
	462–Leżajsk	85,0	51,3	96,8	93,3	41,4	58,2	53,0	119,6
	463–Narol	87,0	62,0	93,7	89,3	43,8	66,3	55,7	119,3
	Radom	390–Kielce	88,5	61,8	94,0	93,5	50,2	66,2	56,4
402–Suchedniów		88,7	58,0	93,8	92,8	46,2	61,5	55,9	118,4
468–Staszów		93,5	69,0	96,3	95,0	47,6	65,7	58,8	122,2
522–Łagów		85,7	64,3	95,3	92,3	45,9	62,9	54,9	129,4
	<b>Średnia Mean</b>	90,2	63,6	94,6	92,4	46,4	66,1	56,2	121,6
	<b>Odchylenie standardowe Standard deviation</b>	3,5	6,8	1,9	2,3	2,6	5,2	2,5	8,1
	<b>Współczynnik zmienności Coefficient of variance</b>	3,9%	10,7%	2,0%	2,5%	5,6%	7,9%	4,4%	6,7%

się niska i nieistotna statystycznie. Z kolei na uprawie w Rymanowie korelacja między wysokością n.p.m. a przeżywalnością oraz wysokością n.p.m. a średnią wysokością buków w piątym roku po posadzeniu była dodatnia i istotna. Podobnie kształtowała się korelacja tych cech z szerokością geograficzną lokalizacji drzewostanu rodzicielskiego, z tą różnicą, że była ona ujemna (tab. 6).

Ocena stabilności cech adaptacyjnych wykonana metodą Finlay'a i Wilkinsona przeprowadzona po pięciu latach po posadzeniu buka na uprawach wykazała, że do najbardziej stabilnych pod względem przeżywalności zaliczało się potomstwo pochodzeń: 469–Nawojowa ( $b = 0,47$ ), 451–Lutowiska ( $0,53$ ), 457–Rymanów ( $0,69$ ). Na szczególną uwagę zasługuje pochodzenie 469, które spośród wszystkich badanych pocho-

dzeń osiągnęło jednocześnie największą wartość cechy i niską wartość współczynnika  $b$ . Z kolei znaczną stabilnością wysokości charakteryzowały się pochodzenia: 440–Stary Sącz ( $0,70$ ), 426–Łosie ( $0,70$ ), 451–Lutowiska ( $0,71$ ). Pod względem zarówno współczynnika regresji  $b$ , jak i średniej wysokości najlepsze okazały się populacje 469–Nawojowa oraz 452–Lesko. Ta ostatnia populacja jest standardem dla regionu testowania południowo-wschodniego. W przypadku obydwu pochodzeń, choć szczególnie w przypadku standardu regionalnego, wartości cech były wysokie a współczynnik regresji  $b$  niski, co świadczy o stabilnych, wysokich walorach adaptacyjnych. Oba standardy lokalne dla Rymanowa (457 i 458) charakteryzowały się dużą stabilnością wysokiej wartości przeżywalności. Przeżywalność na obydwu powierzchniach

**Tabela 3. Analiza wariancji przeżywalności i wysokości buka zwyczajnego testowanego na powierzchniach doświadczalnych w Rymanowie i Nawojowej (po dwóch i pięciu latach po posadzeniu)**

Table 3. The variance analysis of height and survival of European beech tested on experimental plots in Rymanów and Nawojowa (two and five years after planting)

Cecha Trait	Źródło zmienności Source of variance	Lata po posadzeniu Years after planting	Rymanów		Nawojowa	
			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	<b>Blok</b>	2	6,551	< <b>0,001</b>	1,801	0,156
	Block	5	4,292	<b>0,008</b>	2,510	0,066
	<b>Pochodzenie</b>	2	2,205	<b>0,005</b>	1,333	0,185
	Provenance	5	1,734	0,039	0,850	0,655
	<b>Blok × Pochodzenie</b>	2	2,618	< <b>0,001</b>	3,570	< <b>0,001</b>
	Block × Provenance	5	5,133	< <b>0,001</b>	3,810	< <b>0,001</b>
Wysokość Height	<b>Blok</b>	2	5,812	<b>0,001</b>	7,816	< <b>0,001</b>
	Block	5	4,856	<b>0,004</b>	15,542	< <b>0,001</b>
	<b>Pochodzenie</b>	2	3,047	< <b>0,001</b>	2,066	0,013
	Provenance	5	1,421	0,129	2,192	<b>0,008</b>
	<b>Blok × Pochodzenie</b>	2	4,857	< <b>0,001</b>	6,495	< <b>0,001</b>
	Block × Provenance	5	8,334	< <b>0,001</b>	9,735	< <b>0,001</b>

**Tabela 4. Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji analizowanych cech buka zwyczajnego z uwzględnieniem powierzchni testujących w Rymanowie i Nawojowej**

Table 4. Results of the multifactorial variance analysis for analyzed traits of beech together for the testing plots in Rymanów and Nawojowa

Cecha Trait	Źródło zmienności Source of variance	Stopnie swobody Degree of freedom	Lata po wysadzeniu Years after planting	Test <i>F</i> <i>F</i> -test	Istotność Significance ( <i>p</i> )
Przeżywalność Survival	<b>Powierzchnia</b>	1	2	<b>18,25</b>	< <b>0,001</b>
	Plot		5	<b>732,48</b>	< <b>0,001</b>
	<b>Pochodzenie</b>	24	2	1,04	0,463
	Provenance		5	0,75	0,759
	<b>Powierzchnia × Pochodzenie</b>	24	2	<b>5,05</b>	< <b>0,001</b>
	Plot × provenance		5	<b>3,67</b>	< <b>0,001</b>
Wysokość Height	<b>Powierzchnia</b>	1	2	<b>257,25</b>	< <b>0,001</b>
	Plot		5	<b>1120,35</b>	< <b>0,001</b>
	<b>Pochodzenie</b>	24	2	1,90	0,062
	Provenance		5	1,55	0,145
	<b>Powierzchnia × Pochodzenie</b>	24	2	<b>8,88</b>	< <b>0,001</b>
	Plot × provenance		5	<b>9,02</b>	< <b>0,001</b>

**Tabela 5. Odziedziczalność analizowanych cech buka zwyczajnego testowanego na uprawach w Rymanowie i Nawojowej (po dwóch i pięciu latach po wysadzeniu)**

Table 5. Heritability of analyzed traits of European beech tested on plots in Rymanów and Nawojowa (two and five years after planting)

Cecha Trait	Lata po posadzeniu Years after planting	Odziedziczalność dla uprawy Heritability for plot	
		Rymanów	Nawojowa
Przeżywalność Survival	2	0,523	0,213
	5	0,423	0,000
Wysokość Height	2	0,661	0,511
	5	0,296	0,485

**Tabela 6. Korelacja średniej wartości cech buka zwyczajnego populacji testowanych na uprawach doświadczalnych w Rymanowie i Nawojowej ze współrzędnymi geograficznymi i wysokością n.p.m. lokalizacji drzewostanów matecznych (pogrubioną czcionką wyróżniono korelacje istotne dla  $p = 0,05$ )**

Table 6. Correlation of average values of the characteristics of beech populations tested on experimental plots in Rymanów and Nawojowa with geographic coordinates and altitude mother stands location (correlations significant at  $p = 0.05$  are in bold)

Cecha Trait	Lata po posadzeniu Years after planting	Rymanów			Nawojowa		
		współ. geograficzne geographical coord.		wysokość n.p.m. altitude	współ. geograficzne geographical coord.		wysokość n.p.m. altitude
		długość longitude	szerokość latitude		długość longitude	szerokość latitude	
<b>Przeżywalność</b> Survival	2	0,1468	<b>-0,5214</b>	<b>0,4026</b>	0,1614	0,0829	-0,0066
	5	0,0290	<b>-0,3901</b>	<b>0,5716</b>	-0,0770	0,0071	0,1468
<b>Wysokość</b> Height	2	-0,0610	-0,0449	0,0010	-0,1924	0,0236	-0,0282
	5	0,0569	<b>-0,4488</b>	<b>0,5851</b>	0,0620	0,0209	0,2026

była różna w przypadku pochodzeń 362–Gromnik ( $b=1,84$ ), 462–Leżajsk (1,59), 459–Strzyżów (1,40). W przypadku wysokości współczynnik regresji  $b$  znacznie przekraczający wartość 1 odnotowano w przypadku pochodzeń: 453–Bircza (1,28), 442–Brzesko (1,23), 362–Gromnik (1,30). W opisanym doświadczeniu najmniejszą stabilnością cechowało się pochodzenie 362–Gromnik, i to zarówno pod względem przeżywalności, jak i wysokości (ryc. 3–4).

#### 4. Dyskusja

Przedstawiona ocena możliwości adaptacyjnych potomstwa wyłączonych drzewostanów nasiennych buka zwyczajnego z południowo-wschodniego regionu testowania tego gatunku wykazała duże różnice pod względem analizowanych cech między uprawami testującymi, a także między poszczególnymi pochodzeniami.

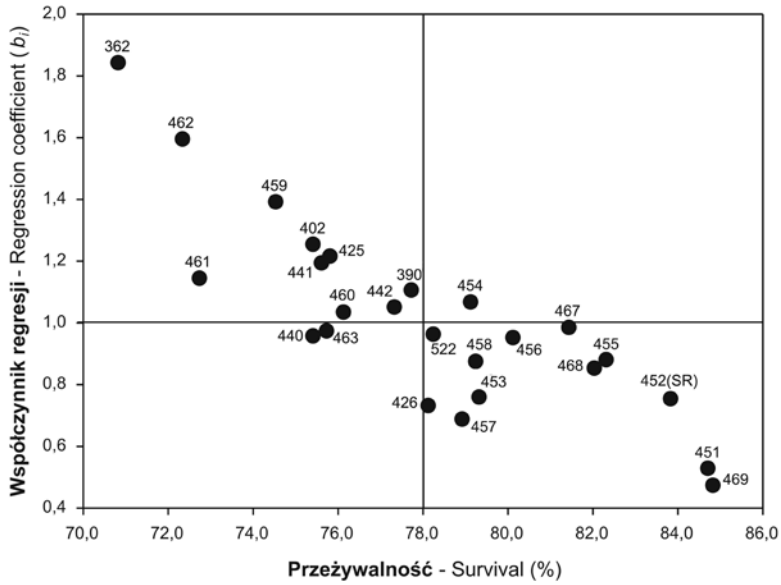
Średnia przeżywalność buków po dwóch latach wzrostu na uprawach testowych była zbliżona, natomiast po kolejnych trzech latach zaobserwowane różnice były już większe. Na powierzchni w Rymanowie przeżywalność wynosiła 63,6%, natomiast w Nawojowej 92,4%. Taka duża rozbieżność może mieć związek z warunkami, jakie panują na każdej z upraw. Powierzchnia w Nadleśnictwie Nawojowa została założona wewnątrz drzewostanu, na gnieździe powstałym po usunięciu drzewostanie świerkowym, natomiast powierzchnię w Nadleśnictwie Rymanów zlokalizowano na terenie porolnym – łące, chociaż nieużytkowanej od wielu lat. Na tej uprawie bardziej uwidoczniły się właściwości genetyczne potomstwa poszczególnych drzewostanów (istotny efekt pochodzenia) niż w Nawojowej, gdzie po pięciu latach wzrostu wszystkie potomstwa ocenione zostały podobnie (brak istotnych różnic). Przeciętnie najlepszym pod względem przeżywalności, niezależnie od uprawy testowej i roku obserwacji, było potomstwo drzewostanu 455–Krasieczyn, które nieznacznie tylko wyprzedzało standard regionalny (452–Lesko). Najslabiej w ocenie tej cechy wypadło potomstwo drzewostanu 461–Leżajsk, które zazwyczaj plasowało się pod koniec listy rankingu. Anali-

zując obydwie terminy badawcze, dla każdej powierzchni z osobna, okazało się, że w uprawie testującej w Rymanowie najlepsze było pochodzenie 451–Lutowiska, a w Nawojowej potomstwo lokalnego drzewostanu 467–Nawojowa. To ostatnie pochodzenie, niezależnie od warunków uprawy testującej, należało do jednych z lepszych pod względem przeżywalności ocenianej w drugim i piątym roku po założeniu upraw badawczych. Analiza korelacji nie wykazała związku między powierzchniami, co może wynikać z różnicy reakcji adaptacyjnej poszczególnych populacji w różnych środowiskach.

Taki obraz zmienności potwierdzają wyniki uzyskane przez Barzdajna (2006) na uprawie doświadczalnej w Siemianicach. Istotność interakcji „pochodzenie  $\times$  powierzchnia” świadczy, że część pochodzeń zachowywała się odmiennie w każdym ze środowisk, a więc charakteryzowała się małą plastycznością, rozumianą jako porównywalna reakcja tego samego genotypu rosnącego w różnych warunkach środowiskowych. Do podobnego wniosku doszedł również Barzdajn (2009) analizując potomstwo drzewostanów nasiennych buka z południowo-zachodniego regionu testowania na powierzchniach w Złotorzy oraz Łądku Zdrój.

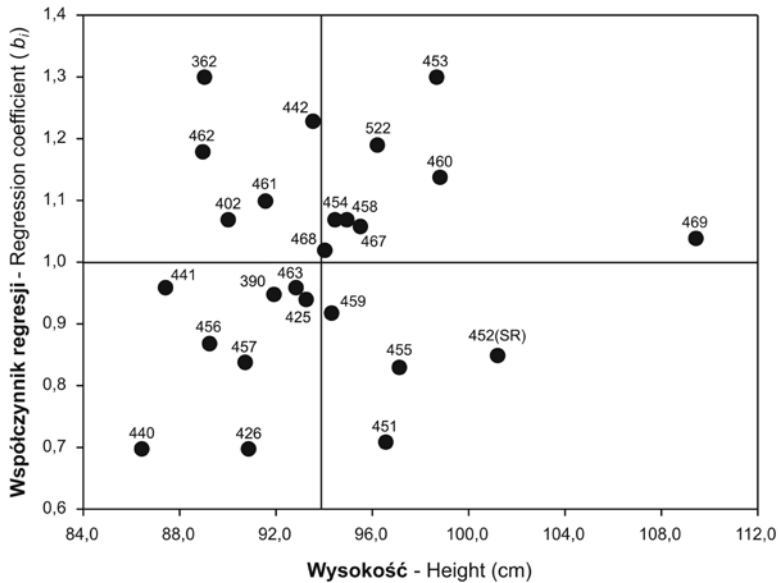
Duża różnica między obiema powierzchniami umożliwiła przeprowadzenie oceny stabilności genotypów przy wykorzystaniu metody Finlay-Wilkinson (1963). Z przeprowadzonych analiz wynika, że najbardziej stabilnymi po pierwszych pięciu latach wzrostu były buki pochodzenia 469–Nawojowa, które charakteryzowało się dodatkowo bardzo wysoką średnią przeżywalnością. Najmniej stabilnym pochodzeniem, a zarazem najgorszym pod względem średniej wartości, było potomstwo drzewostanu 362–Gromnik. Bardzo stabilnie zachowywało się potomstwo drzewostanu 452–Lesko, zatem dla regionu południowo-wschodniego standardem jest jeden z najlepszych drzewostanów tego gatunku. Według Barzdajna (2009), który badał potomstwa buka, standard dla regionu południowo-zachodniego jest pochodzeniem przeciętnym.

Średnia wysokość, podobnie jak przeżywalność, była bardzo zróżnicowana. Rozbieżność między uprawami wynosiła ok. 10 cm po dwóch latach oraz blisko 60 cm po pięciu latach od założenia upraw, w obydwu przypadkach na



**Rycina 3. Średnia przeżywalność poszczególnych pochodzeń buka zwyczajnego testowanego 5 lat po posadzeniu na uprawach w Rymanowie i Nawojowej oraz współczynnik regresji ( $b_1$ ); 452 (SR) – standard regionalny**

Figure 3. Mean survival 5 years after planting and the regression coefficient ( $b_1$ ) for individual provenances of the European beech tested on Rymanów and Nawojowa plot; 452 (SR) – the regional standard



**Rycina 4. Średnia wysokość poszczególnych pochodzeń buka zwyczajnego testowanego 5 lat po posadzeniu w uprawach w Rymanowie i Nawojowej oraz współczynnik regresji ( $b_1$ ); (SR) – standard regionalny**

Figure 4. Mean height 5 years after planting and the regression coefficient ( $b_1$ ) for individual provenances of the European beech tested on Rymanów and Nawojowa plot; (SR) – the regional standard

korzyść buków rosnących na powierzchni w Nawojowej. Przyczyną tak dużej różnicy może być duża dysproporcja między warunkami panującymi na każdej z upraw, o czym świadczy również istotny efekt interakcji „pochodzenie  $\times$  powierzchnia”. Biorąc pod uwagę średnią z obydwu upraw i lat pomiarowych, stwierdzono, że najlepsze pod względem średniej wysokości było potomstwo pochodzenia 452–Lesko (standard regionalny), które nieznacznie tylko wyprzedzało buki pochodzące z drzewostanu 459–Strzyżów. Najgorzej pod względem wzrostu na wysokość wypadło potomstwo drzewostanu 462–Leżajsk. Biorąc pod uwagę pojedyncze uprawy, okazało się, że najlepszym pochodzeniem na powierzchni w Rymanowie było pochodzenie 452–Lesko (standard regionalny), natomiast w Nawojowej – pochodzenie 453–Bircza. Między obu latami pomiaru (różnica trzech lat) zauważalne były duże zmiany w rankingu tej cechy, co może

zmienić ocenę wzrostu buków poszczególnych pochodzeń po wykonaniu kolejnej serii badań, zaplanowanej w dziesięć lat po założeniu upraw testujących.

O różnej reakcji buka na warunki wzrostu w miejscu posadzenia świadczą badania przeprowadzone przez Sabora i Stanuch (2009), które wykazały wpływ gleby na przyrost wysokości buka przynajmniej do szóstego roku po posadzeniu na uprawie. Podobne zależności charakteryzowały buki testowane na uprawach w regionie południowo-zachodnim, gdzie reakcja przyrostowa większości pochodzeń była różna na każdej z powierzchni i wynikała ze zmiany warunków wzrostu (Sułkowska 2004, Barzdajn 2009).

Podobną tendencję przyrostową zaobserwowano w przedstawianych badaniach. Pochodzenia, które wzrastały dobrze na powierzchni w Rymanowie, nie zawsze osiągały dobre rezultaty wysokości na powierzchni w Nawojowej.



Wykazano także, że pochodzenia lokalne nie zawsze są dobrze przystosowane do warunków lokalnych, co zasugerowała m.in. Sułkowska (2004) na podstawie wyników swoich badań. Pochodzenia lokalne w przedstawianych badaniach oceniono niejednolicie. Na uprawie w Rymanowie należały one do najlepszych, z kolei na uprawie w Nawojowej do najgorszych.

Wyniki uzyskane w niniejszych badaniach są zbieżne z wynikami otrzymanymi przez Kowalkowskiego (2013a) na uprawie założonej w 1981 r. w Nadleśnictwie Strzyżów, a więc na terenie obecnego południowo-wschodniego regionu testowania. W doświadczeniu Kowalkowskiego buki proveniencji Suchedniów, Narol i lokalnej ze Strzyżowa należały do najsłabszych, podobnie jak na uprawach testujących w Nawojowej i Rymanowie. Niektóre potomstwa pochodzące z regionu południowo-wschodniego były testowane przez Kowalkowskiego (2013b) w północno-zachodniej Polsce na uprawie w Nadleśnictwie Łobez. Tam potomstwa buczyn z Łagowa, Suchedniowa i Łosi należały także do słabo adaptujących się, natomiast pochodzenie z Kańczugi okazało się nieco lepsze. Z kolei na uprawie w Krynicy (Sabor, Żuchowska 2002) w pierwszych latach wzrostu dobrze wzrastało potomstwo proveniencji z południowego zasięgu gatunku, z wyjątkiem pochodzeń z Bieszczadów, a na uprawie założonej w Bystrzycy Kłodzkiej (południowo-zachodni region testowania) lepiej adaptowały się buki pochodzące z północy Polski niż z południowo-wschodniego zasięgu gatunku (Matras 2002). Podobny wynik otrzymali Kowalkowski i in. (2012) w jednym z najstarszych doświadczeń krajowych z bukiem zwyczajnym, z 1967 r., w którym populacja Rytro (region południowo-wschodni) przeniesiona na dużą odległość do regionu południowo-zachodniego (uprawa w Nadleśnictwie Śnieżka) uzyskała w wieku 30. i 40. lat najniższą oceną pod względem cech wzrostowych, a drugie potomstwo z tego regionu (Łagów) okazało się przeciętnym.

Wysokość była jedyną cechą, dla której otrzymano względnie wysoką odziedziczalność *sensu lato* (od 0,296 do 0,661). Odziedziczalność ( $h^2$ ) uzyskana na obydwu powierzchniach była jednak dużo niższa od tej oszacowanej przez Galoux (1966, za Giertychem 2000) (0,84). Najbardziej stabilnym pod względem wzrostu na wysokość było potomstwo drzewostanu 469–Nawojowa, które niezależnie od uprawy testującej lokowało się w czołowiec rankingu cechy. Podobnie, jak w przypadku przeżywalności, również pod względem wysokości bardzo dobrze oceniono standard regionalny, którego dodatkowo cechował relatywnie lepszy wzrost na uprawie o trudniejszych warunkach środowiska, zlokalizowanej w Rymanowie.

Istotny statystycznie związek wyrażony korelacją liniową między wysokością i przeżywalnością potomstwa drzewostanów bukowych wykazano tylko na uprawie w Rymanowie. Podobną zależność zaobserwował także Barzdajn (2009) na powierzchni w Złotorzy w południowo-zachodnim regionie testowania buka. Na uprawie w Rymanowie otrzymano również istotną ujemną zależność między wysokością i przeżywalnością buka a szerokością geograficzną oraz dodatnią między tymi cechami a wysokością n.p.m. drzewostanów macierzystych, której jednak nie potwierdzono w przypadku uprawy w Nawojowej. Sugeruje to lepszą adaptację buków

pochodzących z wyższych położen n.p.m. w warunkach powierzchni w Rymanowie – bardziej zbita gleba oraz otwarta przestrzeń. W tych warunkach słabo adaptowało się natomiast potomstwo drzewostanów rosnących w tym samym regionie testowania, ale bardziej na północ.

## 5. Wnioski

1. Analiza potomstwa buczyn rosnących w południowo-wschodnim regionie testowania tego gatunku wykazała duże zróżnicowanie pod względem cech adaptacyjnych (przeżywalność i wysokość) w pierwszych latach wzrostu na uprawie.
2. Wykazano dużą reaktywność badanych pochodzeń w początkowej fazie wzrostu na co wskazuje istotna interakcja „pochodzenie × blok” oraz „pochodzenie × uprawa testująca”.
3. Standard regionalny wybrany dla południowo-wschodniego regionu testowania zalicza się do najlepszych potomstw buka zwyczajnego w tym regionie.
4. Ocena cech adaptacyjnych (przeżywalność i wysokość) wskazała, że w przypadku niektórych pochodzeń możliwe jest przenoszenie leśnego materiału rozmnożeniowego w ramach tego samego regionu testowania. Stwierdzono także, że potomstwo drzewostanów lokalnych względem miejsca posadzenia uprawy może charakteryzować się bardzo dobrą adaptacją, co z reguły nie było wykazywane przez innych autorów.
5. Otrzymane wyniki potwierdzają, że w bardziej wymagających warunkach środowiskowych lepiej wzrastają populacje naturalnie rosnące w trudniejszych warunkach (np. wyższe położenia n.p.m.).

## Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

## Podziękowania i źródła finansowania

Badania zostały zrealizowane w ramach tematów BLP-281 oraz BLP-375 sfinansowanych przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych, koordynowanych przez Instytut Badawczy Leśnictwa.

## Literatura

- Barzdajn W. 2006. Proveniencyjna zmienność buka zwyczajnego w Polsce, w: Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych. Red. J. Sabor, Warszawa, Wyd. CILP 211–222.
- Barzdajn W. 2009. Adaptacja i początkowy wzrost potomstwa drzewostanów nasiennych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) na uprawach porównawczych w nadleśnictwach Złotorzy i Łądek Zdrój. *Leśne Prace Badawcze*, 70(2): 101–111.
- 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. 1988. Interakcja genotypu ze środowiskiem oraz z wiekiem polskich proveniencji sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Arboretum Kórnickie*, 33: 159–169.

- 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, w: Ocena wartości genetycznej oraz problemy zagospodarowania selekcyjnego buczyn karpackich. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kollątaja w Krakowie, Sesja Naukowa*, 68: 35–46.
- Kowalkowski W. 2013a. Wyniki badań nad proveniencyjną zmiennością buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w 30-letnim doświadczeniu w Nadleśnictwie Strzyżów. *Forestry Letters*, 104: 117–123.
- Kowalkowski W. 2013b. 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.
- Kowalkowski W., Kaźmierczak K., Korzeniewicz R. 2012. Analiza cech taksacyjnych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w doświadczeniu proveniencyjnym w Nadleśnictwie Śnieżka. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych*, 103: 17–24.
- Matras J. 2002. Wzrost i rozwój populacji buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w okresie pierwszych trzech lat na powierzchni doświadczalnej w Bystrzycy Kłodzkiej. *Sylwan*, 146 (2): 111–127.
- Sabor J., Barzdajn W., Blonkowski S., Chałupka W., Fonder W., Giertych M. et al. 2004. Program testowania potomstwa wyłączonych drzewostanów nasiennych, drzew doborowych, plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.
- Sabor J., Stanuch H. 2009. Genetyczna reaktywność buka zwyczajnego na warunki glebowe. *Sylwan*, 153(8): 507–518.
- Sabor J., Żuchowska J. 2002. Wstępne wyniki badań nad proveniencyjną zmiennością buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) na powierzchni porównawczej doświadczenia serii GC 2234 1992–1995 w Krynicy. *Sylwan*, 146(2): 43–72.
- StatSoft, Inc. 2009. STATISTICA (data analysis software system) version 9. www.statsoft.com.
- Sułkowska M. 2004. Zmienność genetyczna wybranych cech biologii buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.). Rozprawa doktorska. SGGW Warszawa.
- Żuk B. 1989. Biometria stosowana. Wyd. PWN, Warszawa.

## Wkład autorów

J.B. opracował koncepcję badawczą, wykonał analizę danych pomiarowych, przygotował część graficzną i napisał manuskrypt. K.S. zweryfikowała część wynikową i napisała manuskrypt. M.S. wykonał badania terenowe i zestawienia tabelaryczne, napisał pierwszą wersję części wynikowej manuskryptu. K.K. wykonał badania terenowe i zestawienia tabelaryczne, napisał pierwszą wersję części wynikowej manuskryptu.