

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.

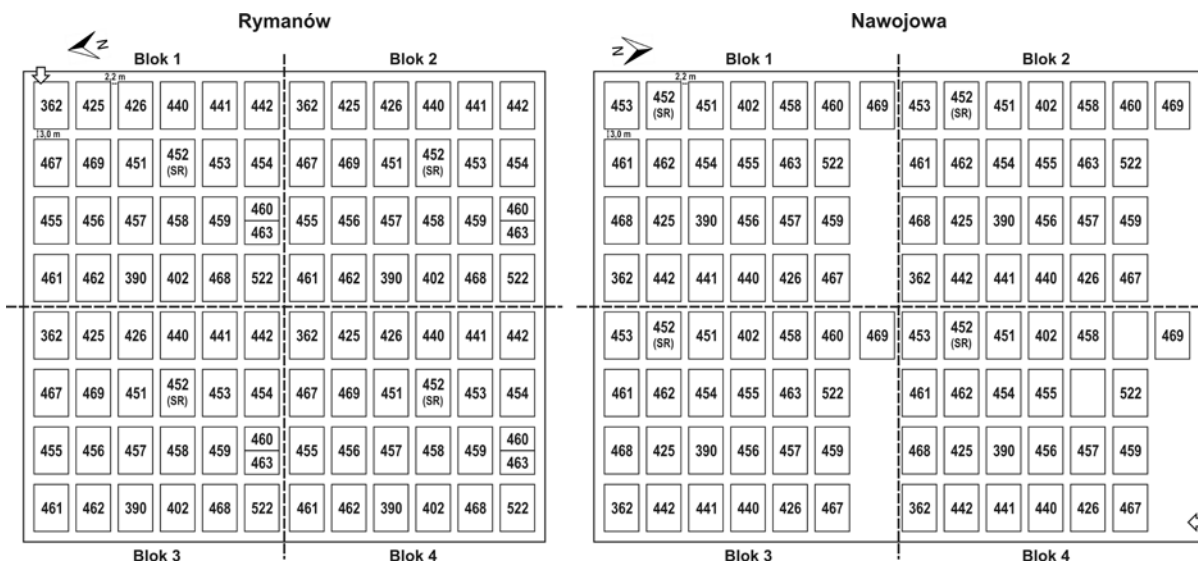
2. Materiał i metody

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 , 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.

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 (σ_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: σ_p^2 – komponent wariancji pochodzeniowej, σ_E^2 – komponent wariancji błędu, σ_{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
	Średnia Mean	90,2	63,6	94,6	92,4	46,4	66,1	56,2	121,6
	Odchylenie standardowe Standard deviation	3,5	6,8	1,9	2,3	2,6	5,2	2,5	8,1
	Współczynnik zmienności Coefficient of variance	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	Blok	2	6,551	< 0,001	1,801	0,156
	Block	5	4,292	0,008	2,510	0,066
	Pochodzenie	2	2,205	0,005	1,333	0,185
	Provenance	5	1,734	0,039	0,850	0,655
	Blok × Pochodzenie	2	2,618	< 0,001	3,570	< 0,001
	Block × Provenance	5	5,133	< 0,001	3,810	< 0,001
Wysokość Height	Blok	2	5,812	0,001	7,816	< 0,001
	Block	5	4,856	0,004	15,542	< 0,001
	Pochodzenie	2	3,047	< 0,001	2,066	0,013
	Provenance	5	1,421	0,129	2,192	0,008
	Blok × Pochodzenie	2	4,857	< 0,001	6,495	< 0,001
	Block × Provenance	5	8,334	< 0,001	9,735	< 0,001

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	Powierzchnia	1	2	18,25	< 0,001
	Plot		5	732,48	< 0,001
	Pochodzenie	24	2	1,04	0,463
	Provenance		5	0,75	0,759
	Powierzchnia × Pochodzenie	24	2	5,05	< 0,001
	Plot × provenance		5	3,67	< 0,001
Wysokość Height	Powierzchnia	1	2	257,25	< 0,001
	Plot		5	1120,35	< 0,001
	Pochodzenie	24	2	1,90	0,062
	Provenance		5	1,55	0,145
	Powierzchnia × Pochodzenie	24	2	8,88	< 0,001
	Plot × provenance		5	9,02	< 0,001

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	
Przeżywalność Survival	2	0,1468	-0,5214	0,4026	0,1614	0,0829	-0,0066
	5	0,0290	-0,3901	0,5716	-0,0770	0,0071	0,1468
Wysokość Height	2	-0,0610	-0,0449	0,0010	-0,1924	0,0236	-0,0282
	5	0,0569	-0,4488	0,5851	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.

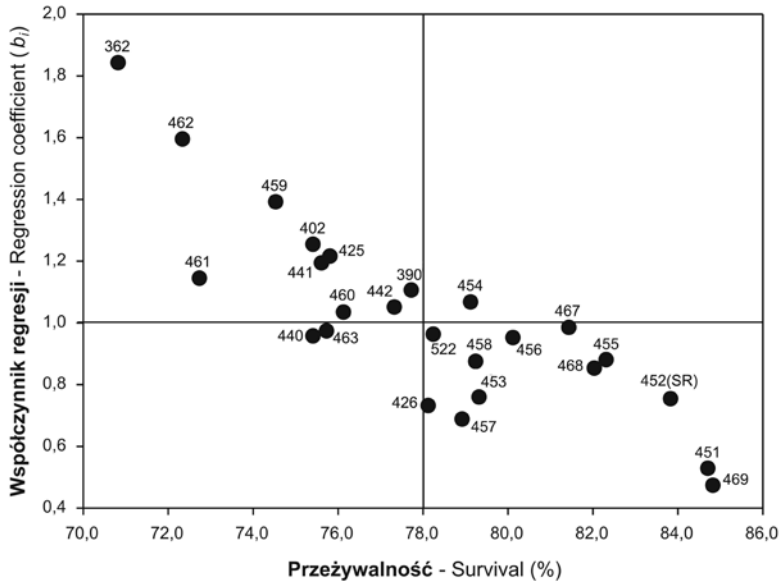
Średnia przeżywalność buków po dwóch latach wzrostu na uprawach testowych była zbliżona, natomiast po kolejnych trzech latach zaobserwowane różnice były już większe. Na powierzchni w Rymanowie przeżywalność wynosiła 63,6%, natomiast w Nawojowej 92,4%. Taka duża rozbieżność może mieć związek z warunkami, 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.

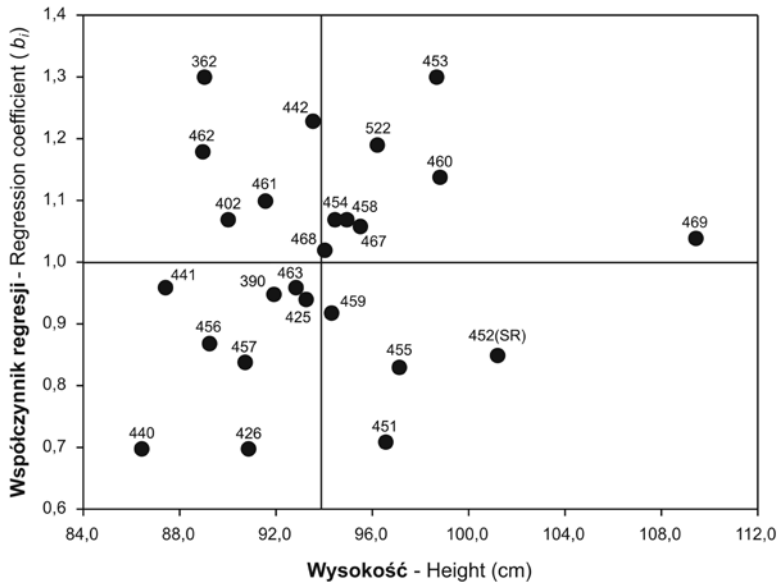
Duża różnica między obiema powierzchniami umożliwiła przeprowadzenie oceny stabilności genotypów przy wykorzystaniu metody Finlay-Wilkinson (1963). Z przeprowadzonych analiz wynika, że najbardziej stabilnymi po pierwszych pięciu latach wzrostu były buki pochodzenia 469–Nawojowa, które charakteryzowało 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 najgorszych, z kolei na uprawie w Nawojowej do najlepszych.

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 czołówce 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.

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

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

Hugon Kołłątaj Agricultural University in Krakow, Faculty of Forestry, Institute of Forest Ecology and Silviculture, Department of Genetics and Forest Tree Breeding, Al. 29 Listopada 46, 31–425 Kraków, Poland.

* Tel./fax +48 12 662 51 28, 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 seed 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. Introduction and study aims

The variability of individuals comprising the tree populations of forests is an essential condition for the effective selection of the most valuable provenances. It is the basis for the adaptability, stability and sustainability of forest ecosystems in the face of changing climates and environmental stress.

For a better understanding of the growth potential of specific populations of the most important forest species, we have been implementing ‘A programme of testing the progeny of selected seed stands, high quality trees, seed plantations and seed stand planting stock’ (Sabor et al. 2004) since 2004 in Poland. Knowledge of the breeding value of the progeny of each seed provenance, as well as an analysis of the interaction of adaptive traits to growing conditions is very important for proper forest management. Establishing plantations by using the offspring of the best seed sources growing in a particular region could provide progeny stands with good parameters of growth, quality and health. For each species in the testing

programme, the area of Poland was divided into test regions of the seed base. The four test regions established for the European beech are presented in Figure 1.

Poland’s first test plantations of beech were established in 2006 in region III (south-west) and region IV (south-east). Currently, there are 28 test plantations where beech progeny of randomly chosen trees from selected seed stands and parent trees are being tested, and this number is steadily increasing.

This study presents the results of an assessment of the adaptive traits of survival and height in the second and fifth years of age of European beech progeny from selected seed stands. The study was conducted in the south-eastern region of beech testing in experimental plantations located in the Rymanów and Nawojowa Forest Districts.

2. Materials and methods

The first test stand in the Rymanów Forest District was established in Lipowiec Forest Range (subdivision

Received: 13.06.2014, reviewed: 30.06.2014, accepted after revision: 11.07.2014.



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

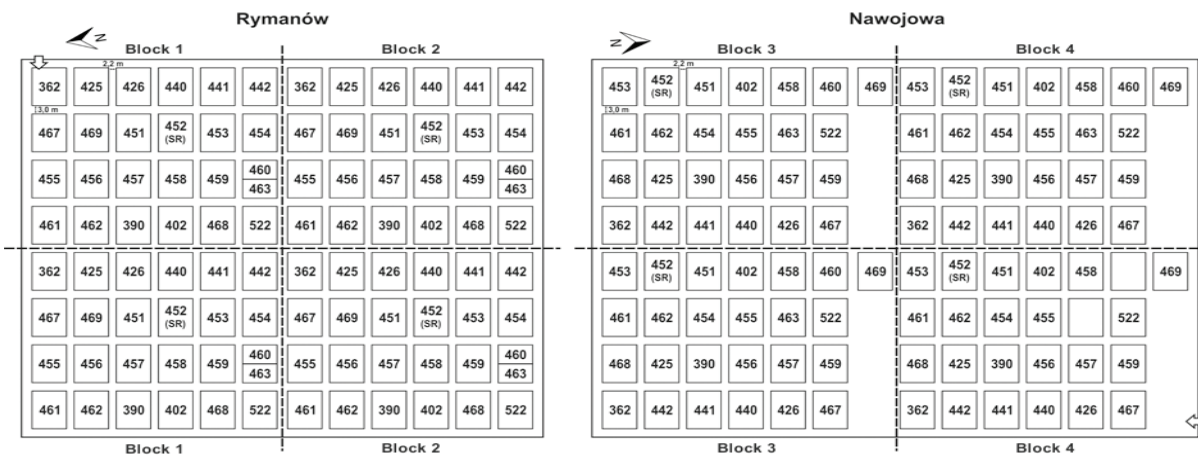


Figure 2. Distribution of replication and provenance plots on the test area with offspring of the European beech, situated at Rymanów and Nawojowa forest districts; 362–522 – numbers of stands according to the Table 1

147Anp) on flat, uncultivated land, formerly used as a meadow. In terms of natural-forest regionalisation, this is the Low Beskid subregion of the Carpathian region. The second test plantation is in the Berest Forest Range (sub-division 152k) of the Nawojowa Forest District, also in

the Carpathian region, in the Gorce and Beskid Sądecki subregion. The stand was established on an eastern facing slope in an area cleared of a deteriorating spruce stand. Both plots were fenced in 2005 and planted the following spring with the test material.

Table 1. Characteristics of the selected seed stand of whose offspring is studied in south-eastern region of testing

RDLP*	No and name of provenance	Sub-compartment	Area (ha)	Geographical coordinates		Altitude	Region symbol	
				longitude	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
402		–Suchedniów	110g	8.87	20°55'	50°01'	346	604
468		–Staszów	198bcdf, 199ac	35.96	21°09'	50°38'	269	658
522		–Łagów	44abc, 45a, 46a, 47a, 50b, 51a, 52ab, 53a	148.31	21°07'	50°50'	417	604

*RDLP – Regional Directorate of State Forests; (SR) – regional standard

Tests are being conducted on the offspring of 25 selected seed stands growing on land managed by three regional State Forest Directorates: Kraków, Krosno and Radom. Table 1 presents the characteristics of the parent beech stands of the tested progeny.

One-year-old beech seedlings were planted using the container seedlings (1/0k), spaced at 1.5×1.1 m, with 100 trees in each provenance plot. The trees were planted in the centres of 60×60 cm holes. Due to the insufficient number of seedlings from the 460-Kańczuga and 463-Narol stands, their progeny was not tested in block 4 in Nawojowa. Figure 2 presents a schematic diagram of the two plantations showing the placement of the blocks (repetitions) and provenance plots. For both plantations, the regional standard is the progeny of stand number 452-Lesko, whereas the progeny of stands 457 and 458 (Rymanów Forest District) served as the local standard for Ry-

manów, and stands 467 and 469 (Nawojowa Forest District) were the local standard for the progeny in Nawojowa.

Survival and height of the beech seedlings were evaluated in the second and fifth year after planting in the test plantations, that is, in the third and sixth years of life. Each plantation was tested separately for the influence of provenance (genotype), block (repetitions), and the interaction of the two sources of variability. A multifactorial analysis of the data with the following formula was used:

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

where: y_{kjm} – value of the observation of the kjm number, μ – overall average, B_j – influence of block j , P_k – influence of provenance k , PB_{kj} – influence of interaction with provenance k and block j , $E_{n(jk)}$ – error.

The influence of plantation location was analysed using the same formula, substituting the effect of block (B_j) with the effect of location (L_i). The heritability of both survival and height was also calculated separately for each plantation. Due to the use of a mixed model (block – a random effect, provenance – a fixed effect), heritability was calculated using a formula based on the variance of components. The expected mean squares for the analysis of two-way interaction were taken from Żuk (1989).

Provenance heritability was calculated by dividing the provenance variance component (σ_p^2) by the provenance variance (V_p) (Giertych 1991). After inserting the provenance variance into the general formula for heritability in the two-way analysis of variance, and dividing it by the k_3 factor of the provenance component, the model for provenance heritability (h_p^2) assumes the following form:

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

where: σ_p^2 – provenance variance component, σ_E^2 – error variance component, σ_{PB}^2 – variance component of the interaction, k_2 – average number of trees in a block and provenance, k_3 – average number of trees in the provenance.

The Pearson correlation coefficients (r) were calculated to determine the strength of the relationship of beech survival and height in specific years at both test plantations with the geographic coordinates and altitude of parent stands.

Finlay and Wilkinson's (1963) method was used to assess the stability of beech provenances. It uses the regression coefficient b to describe the nature of the adaptation of the provenance in different years and growth environments. The value of coefficient b at a level of 1.0 indicates progeny with an average ability to adapt. A value of less than 1.0 indicates a stable provenance that adapts well in many environments, whereas if the value is greater than 1.0, the progeny is highly reactive and only able to adapt to very specific environmental conditions (Finlay, Wilkinson 1963; Giertych 1988). The calculations were performed on average values, which were logarithmically transformed. The interpretation of the degree of adaptability of the studied beech provenances to growing conditions is illustrated in graphs, showing the relationship between the size of the regression coefficient b and the average value of the traits calculated separately for each provenance.

3. Results

The average survival of beech seedlings cultivated in Rymanów in the second year after planting was 90.2% and dropped to 63.6% over the next 3 years. In turn, the average survival rate in Nawojowa for the same period was high,

at 94.6 and 92.4% for the second and fifth years after planting, respectively. The highest survival rates in Rymanów after 5 years of growth were found for beech originating from 469-Nawojowa, 451-Lutowiska and 452-Lesko. The lowest survival rates were found for the beech population from 362-Gromnik, 462-Leżajsk and 459-Strzyżów. The best progeny stands in Nawojowa were 467-Nawojowa, 455-Krasiczyn and 452-Lesko. The lowest survival rates at this plantation were found for beech from 440-Stary Sącz, 426-Łosie and 461-Leżajsk (Table 2).

The average height of beech seedlings in Rymanów 2 years after planting was 46.4 cm, increasing to 66.1 cm (an increase of 42.5%) in the next 3 years. The average height of beech in the Nawojowa test plantation was significantly higher than in Rymanów, at 56.2 cm in the second year and 121.6 cm in the fifth year of growth (an increase of 116.4%). In Rymanów, the highest average height at 5 years after planting was found for beech originating from 451-Lutowiska, 452-Lesko and 455-Krasiczyn, while the lowest was found for 362-Gromnik, 462-Leżajsk and 442-Brzesko. In Nawojowa, the best height results were achieved by progeny from the selected seed stands of 469-Nawojowa, 453-Bircza and 522-Łagów, while worst results were from 440-Stary Sącz, 426-Łosie and the 441- and 456-Brzesko Krasiczyn (Table 2).

An assessment of the influence of provenance and block on the tested traits (survival, height) showed a statistically significant interaction of 'provenance × block' regardless of the location of the test plantation (Rymanów, Nawojowa) or year of measurement. In Rymanów, we also found a significant influence of block on the size of both analysed traits, which was sustained as the trees aged. However, provenance was significant only for the second year after planting, as it was not confirmed after 5 years. In contrast to Rymanów, the effect of progeny on the observed differences in height significantly increased between the second and fifth years of growth of the beech in the Nawojowa plantation (Table 3).

We also found that test plantation location and the interaction of 'progeny × test plantation' also significantly influenced survival and height of the beech. The response of progeny to habitat conditions was varied. Provenance did not significantly affect the variance of the studied traits for both measurement periods (Table 4).

The heritability of the analysed beech traits calculated for the test plantations and year of measurement varied. The heritability of survival after 2 and 5 years was high and at a similar level for both periods in Rymanów, but in Nawojowa, heritability of survival after 2 years was low and decreased to zero during the second measurement period, after 5 years of growth in the plantation. The heritability of height achieved the opposite result. The high heritability of this trait, comparable for both periods of measurement, was noted in Nawojowa,

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

RDLP	No. and name of provenance	Survival (%)				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	117.7
	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–Łągów	85.7	64.3	95.3	92.3	45.9	62.9	54.9	129.4
Mean		90.2	63.6	94.6	92.4	46.4	66.1	56.2	121.6
Standard deviation		3.5	6.8	1.9	2.3	2.6	5.2	2.5	8.1
Coefficient of variance		3.9%	10.7%	2.0%	2.5%	5.6%	7.9%	4.4%	6.7%

whereas in Rymanów, height heritability clearly decreased after 5 years of growth, amounting to 0.296 (Table 5).

The correlation between the average value of each analysed trait for specific progeny and the geographical location and altitude of parent stand location was low and not statistically significant in the Nawojowa test plantation. However, in Rymanów, the correlation between altitude and survival, as well as altitude and average beech height in the fifth year after planting was positive and significant. A similar correlation was found for these traits and the latitude of the parent-stand location, except that it was negative (Table 6).

The Finlay and Wilkinson method, used to evaluate the stability of the adaptive traits 5 years after planting, sho-

wed that the most stable beech in terms of survival was the progeny from the provenance of 469-Nawojowa ($b = 0.47$), 451-Lutowiska (0.53), and 457-Rymanów (0.69). Particularly noteworthy is the 469-Nawojowa provenance, which among all studied provenances, simultaneously achieved the highest value for the trait and a low value of coefficient b . On the other hand, height was a significantly stable trait for the provenances of 440-Stary Sącz (0.70), 426-Łosie (0.70), and 451-Lutowiska (0.71). In terms of both the regression coefficient b and average height, the best were found to be 469-Nawojowa and 452-Lesko. This latter population is the regional standard for the south-eastern test region. In the case of both provenances, but especially in the case of the regional

Table 3. The variance analysis of height and survival of European beech tested on experimental plots in Rymanów and Nawojowa (2 and 5 years after planting)

Trait	Source of variance	Years after planting	Rymanów		Nawojowa	
			<i>F</i> -test	significance level (<i>p</i>)	<i>F</i> -test	significance level (<i>p</i>)
Survival	Block	2	6.551	<0.001	1.801	0.156
		5	4.292	0.008	2.510	0.066
	Provenance	2	2.205	0.005	1.333	0.185
		5	1.734	0.039	0.850	0.655
	Block × Provenance	2	2.618	<0.001	3.570	<0.001
		5	5.133	<0.001	3.810	<0.001
Height	Block	2	5.812	0.001	7.816	<0.001
		5	4.856	0.004	15.542	<0.001
	Provenance	2	3.047	<0.001	2.066	0.013
		5	1.421	0.129	2.192	0.008
	Block × Provenance	2	4.857	<0.001	6.495	<0.001
		5	8.334	<0.001	9.735	<0.001

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

Trait	Source of variance	Degree of freedom	Years after planting	<i>F</i> -test	Significance (<i>p</i>)
Survival	Plot	1	2	18.25	<0.001
			5	732.48	<0.001
	Provenance	24	2	1.04	0.463
			5	0.75	0.759
	Plot × provenance	24	2	5.05	<0.001
			5	3.67	<0.001
Height	Plot	1	2	257.25	<0.001
			5	1120.35	<0.001
	Provenance	24	2	1.90	0.062
			5	1.55	0.145
	Plot × provenance	24	2	8.88	<0.001
			5	9.02	<0.001

Table 5. Heritability of analyzed traits of European beech tested on plots in Rymanów and Nawojowa (2 and 5 years after planting)

Trait	Years after planting	Heritability for plot	
		Rymanów	Nawojowa
Survival	2	0.523	0.213
	5	0.423	0.000
Height	2	0.661	0.511
	5	0.296	0.485

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 locations (correlations significant at $p = 0.05$ are in bold)

Trait	Years after planting	Rymanów			Nawojowa		
		geographical coord.		altitude	geographical coord.		altitude
		longitude	latitude		longitude	latitude	
Survival	2	0.1468	-0.5214	0.4026	0.1614	0.0829	-0.0066
	5	0.0290	-0.3901	0.5716	-0.0770	0.0071	0.1468
Height	2	-0.0610	-0.0449	0.0010	-0.1924	0.0236	-0.0282
	5	0.0569	-0.4488	0.5851	0.0620	0.0209	0.2026

standard, the values of the traits were high, while regression coefficient b was low, indicating stability and high adaptability. Both local standard provenances for Rymanów (457 and 458) had very stable, high survival values. The survival rates in both test plantations differed for provenances 362-Gromnik ($b = 1.84$), 462-Leżajsk (1.59), and 459-Strzyżów (1.40). In the case of the regression coefficient b for height, provenances 453-Bircza (1.28), 442-Brzesko (1.23), and 362-Gromnik (1.30) significantly exceeded the value of 1. The lowest level of stability was found for provenance 362-Gromnik, both in terms of survival and height (Figures 3–4).

4. Discussion

The evaluation of the adaptive abilities of progeny from selected seed stands of European beech from the south-eastern test region found large differences in the analysed traits between the test plantations, as well as among specific provenances.

Average beech survival after 2 years of growth at the test plantations was similar; however, after 3 more years, the observed differences were greater. The survival rate in Rymanów was 63.6%, while in Nawojowa, it was 92.4%. Such a large variance may be related to the conditions prevailing at each site. The Nawojowa Forest District site was established in the forest, on a plot formed after the removal of a spruce stand, while the Rymanów Forest District site is on former agricultural land – a meadow, though unused for many years. The progeny from this site exhibited a greater effect of the genetic properties of particular provenances (significant effect of provenance) than in Nawojowa, where all of the progeny was assessed similarly after 5 years of growth (no significant differences). The best average survival rate regardless of test plantation or year of observation was found for the progeny of the 455-Krasiczyn tree stand, which was only slightly better than the regional standard (452-Lesko). The worst result of this trait was found for the progeny of stand 461-Leżajsk, which usually ranked at the bottom of the list. When both measurement periods for each

plantation were analysed separately, we found that the best results were attained by 451-Lutowiska in the Rymanów test plantation and 467-Nawojowa at Nawojowa. The latter provenance was one of the best in terms of survival assessed in the second and fifth years of growth, regardless of conditions at the test plantations. The analysis of correlation showed no relationship between the plantations, which may result from differences in the adaptive response of specific populations to various environments.

Such a pattern of variability is confirmed by the results of Barzdajn (2006) at the Siemianice experimental plantation. The significance of the interaction ‘provenance \times test plantation’ indicates that some of the provenances responded differently in each of the test plantations, and therefore, are characterised by low plasticity, understood as a comparative response of the same genotype growing in different environmental conditions. Barzdajn (2009) also reached a similar conclusion when analysing the progeny of beech seed stands from Złotoryja and Łądek Zdrój plantations in the south-western test region.

The large difference between the two plantations allowed us to assess the stability of genotypes using the Finlay–Wilkinson (1963) method. Analyses show that the most stable progeny after the first 5 years of growth were the beeches from 469-Nawojowa, which was further characterised by a very high average survival rate. The least stable provenance, and also the worst in terms of average value, was the progeny of stand 362-Gromnik. The progeny of stand 452-Lesko was very stable; therefore, the standard for the south-eastern region is one of the best stands of this species. According to Barzdajn (2009), who studied beech progeny, the standard for the south-western region is an average provenance.

Average height, as with survival, was very diverse. The difference between plantations was approximately 10 cm after 2 years and nearly 60 cm after 5 years since planting. In both cases, the results were better for the beech trees growing in the Nawojowa plantation. The reason for such a big difference may be the large disparity in the conditions at each plantation, as evidenced by the significant effect of the ‘provenance \times test plantation’ interaction. Considering the

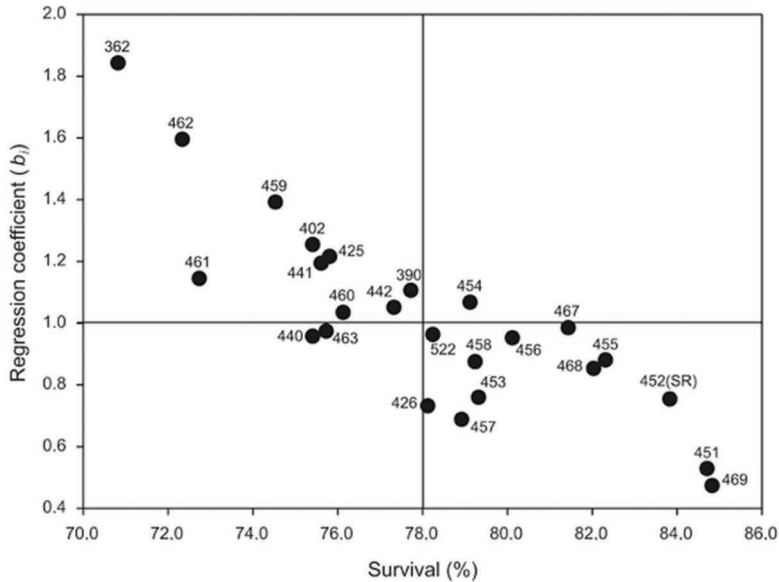


Figure 3. Mean survival 5 years after planting and the regression coefficient (b_i) for individual provenances of the European beech tested on Rymanów and Nawojowa plot; 452 (SR) – the regional standard

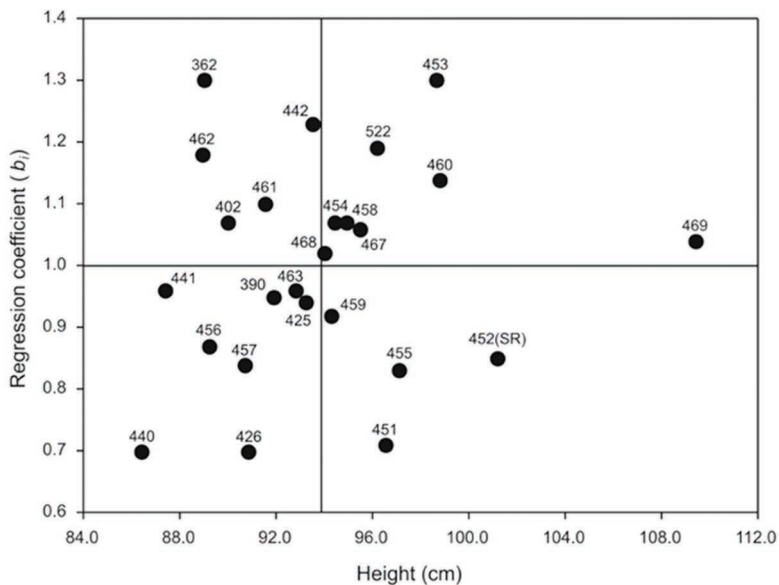


Figure 4. Mean height 5 years after planting and the regression coefficient (b_i) for individual provenances of the European beech tested on Rymanów and Nawojowa plot; (SR) – the regional standard

average results of test plantation and period of measurement, it was found that the progeny of the 452-Lesko provenance (regional standard) achieved the best results of average height, only slightly better than the beeches from stand 459-Strzyżów. The worst height growth was found for the progeny of stand 462-Leżajsk. When analysing the plantations separately, the best provenance in Rymanów was 452-Lesko (the regional standard), while in Nawojowa, it was the 453-Bircza provenance. Large changes were observed in the provenance rankings of this trait between the two me-

asurement periods (a difference of 3 years). The assessment of various beech provenances for growth could change after conducting successive studies planned at 10 years after planting in the test plantations.

Variations in the response of beech to growth conditions depending on location is shown in the studies of Sabor and Stanuch (2009), who found that soil influenced the height of beech to at least the sixth year after planting. Similar relationships were found for beech in test plantations in the south-western region, where the height increment of most of

the provenances differed in each site and was due to changes in growth conditions (Sułkowska 2004, Barzdajn 2009).

A similar growth trend was observed in our study. The provenances that grew well in the Rymanów plantation did not always achieve good results in Nawojowa.

It was also shown that local provenances are not always well adapted to local conditions, as suggested, among others, by the research of Sułkowska (2004). The results achieved by local provenances assessed in our study varied. They had the worst results in the Rymanów plantation, but some of the best in Nawojowa.

The results of this study are consistent with those obtained by Kowalkowski (2013) in a plantation established in 1981 in the Strzyżów Forest District, and thus in the south-eastern test region. In Kowalkowski's experiment, beeches from the provenances of Suchedniów, Narol and locally from Strzyżów were the weakest, similar to the trees tested in Nawojowa and Rymanów. Some of the progeny from the south-eastern region were tested by Kowalkowski (2013b) in north-western Poland at a plantation in the Łobez Forest District. At that site, beech progeny from Lagów, Suchedniów and Łosie also poorly adapted, while those from Kańczuga fared slightly better. In turn, provenances planted in Krynica (Sabor, Żuchowska 2002) from the southern range of the species, with the exception of those from the Bieszczady Mountains, did well in their early years of growth, whereas at the Bystrzyca Kłodzka plantation (south-western test region), beeches from northern Poland better adapted than those from the south-eastern range of the species (Matras 2002). Kowalkowski et al. (2012) obtained similar results with one of the oldest national studies of European beech, from 1967, in which a population from Rytro (south-eastern region) was moved a great distance to the south-western region (to a plantation in the Śnieżka Forest Directorate). At 30 and 40 years of age, these trees were found to have the lowest rating in terms of growth traits, and the second generation from this region (Łagów) turned out to have average results.

Height was the only trait to show relatively high heritability by year of measurement (from 0.296 to 0.661). Heritability (h^2) obtained at both test plantations, however, was much lower than that estimated by Galoux (1966, from Giertych 2000) (0.84). The most stable in terms of growth in height was the progeny of stand 469-Nawojowa, which, regardless of test plot, always ranked in the top provenances for this trait. As in the case of survival, the regional standard was also highly rated, achieving relatively better height in Rymanów with more difficult environmental conditions.

A statistically significant linear correlation between height and survival of beech progeny was found only in the Rymanów plantation. Barzdajn (2009) found a similar relationship at the Złotoryja plantation in the south-western region of beech testing. In Rymanów, a significant negative correlation

was found between beech height and survival and latitude. A positive correlation was found between these traits and height above sea level of the parent stand, which was not confirmed in the case of the Nawojowa plantation. This suggests the better adaptation of beech trees from higher altitudes growing under the conditions present in Rymanów, where the soil is more compacted and there is more open space. Under these conditions, however, the progeny of stands growing in the same test area, but further to the north, adapted more poorly.

5. Conclusions

1. The analysis of European beech progeny growing in the south-eastern test region of this species exhibited a high degree of variation in adaptive traits (survival and height) during its first year of growth in the test plots.

2. In the early stage of growth, the tested provenances were highly reactive, indicated by the significant interaction of 'provenance × block' and 'provenance × test plantation'.

3. The regional standard selected for the south-eastern test region provides some of the best European beech progeny in this region.

4. The assessment of adaptive traits (survival and height) indicated that it is possible to transfer the reproductive material of forests from some provenances within the same test region. It was also confirmed that the progeny of local tree stands can adapt very well to the site where it is planted, which was not generally exhibited by other authors.

5. The results confirm that natural populations growing in difficult environmental conditions grow better in sites with more demanding conditions (for example, at higher altitudes).

Conflict of interest

None declared.

Acknowledgements and financial support

The research was performed as part of topics BLP-281 and BLP-375 funded by the State Forests National Forest Holding and coordinated by the Forest Research Institute.

References

- Barzdajn W. 2006. Proweniencyjna zmienność buka zwyczajnego w Polsce, in: Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych. Eds. 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 Złotoryja i Łądek Zdrój [Adaptation and initial growth of

- seed stand progeny of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in comparative plantations established in the Złotoryja and Łądek Zdrój Forest Districts]. *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, in: Ocena wartości genetycznej oraz problemy zagospodarowania selekcyjnego buczyn karpacckich. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kollataja 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 [Results of research into the variability of provenence of the European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a 30 year experiment in Strzyzow Forest District]. *Forestry Letters*, 104: 117–123.
- Kowalkowski W. 2013b. Wyniki 18-letniego doświadczenia proveniencyjnego z bukiem zwyczajnym (*Fagus sylvatica* L.) w Nadleśnictwie Łobez [The results of an 18-year old beech trees (*Fagus sylvatica* L.) provenance trial in the Łobez Forest District]. *Leśne Prace Badawcze*, 74 (3): 197–203.
- 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. *Sylvan*, 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 [Genetic response of European beech to soil conditions]. *Sylvan*, 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 [The initial results of the investigations on the provenance variability of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in the experiment of GC 2234 1992-1995 series in Łobez Forest District]. *Sylvan*, 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.

Authors' contribution

J.B. – developed the study concept, analysed measurement data, prepared the graphs, and wrote the manuscript. K.S. – verified part of the results and wrote the manuscript. M.S. – performed field research, prepared table sets, and wrote the first version of the section on results. K.K. – performed field research, prepared table sets, and wrote the first version of the section on results.