

Jan Kowalczyk¹✉, Ihor Neyko²

Wartość hodowlana wyselekcjonowanych rodów modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) z pochodzenia sudeckiego na przykładzie powierzchni doświadczalnej w Zwierzyncu Lubelskim

The breeding value of selected families of European larch (*Larix decidua* Mill.) of Sudeten origin growing on an experimental plot in Zwierzyniec Lubelski

Abstract. The aim of this study was the preliminary estimation of the breeding value of selected European larch half-sib families based on data from the experimental family trial in Zwierzyniec Lubelski. The trial in Nowiny, Zwierzyniec Forestry District, was established in spring, 2003. The initial spacing was 2.5 by 2.5 m and the forest site code, 'LMśw' – fresh mixed broadleaved forest. There were 2948 trees planted originating from 66 families from the region of Jesienik in the Czech eastern Sudeten Mountains. In September 2009, the DBH, height were recorded and wood density was measured using a Pilodyn penetrometer. Stem straightness, crown size and branch angle were scored using the scale from 1 to 5. The mean height of the trees after seven years of growth was 7.57 m. The tallest trees came from family 1414 (8.05 m mean height), and the smallest family was 1709 (6.79 m), a difference of 17% compared with the mean value. The relative differences among families were larger for DBH than for tree height. The overall mean DBH was 10 cm, and the difference between the best and worst performing families was 42% of the mean value. Wood quality did not differ greatly among families, particularly given that there were relatively large differences between individuals.

In order to evaluate trees based on a combination of all measured parameters, a selection index was calculated. Based on selection indices, as far as breeding value is concerned, the best families were numbers 1414 and 1411. They demonstrated both good growth and good quality features. The worst families were numbers 1709, 1734 and 1722. They were characterized by weak growth but moderate to good quality features. There was also a statistically-significant positive correlation between survival and the index breeding value of larch families.

Those families which grew best were characterized by higher survival rates, which probably resulted from phenotypic selection which eliminates individuals that are poorly-adapted to environmental conditions, thus favouring the best trees, in terms of their growth parameters.

The results obtained in this study after seven years of the growth should be considered as preliminary. To estimate the breeding value of the studied larch families a further evaluation is needed when trees reach the age of 15-20 years old.

Key words: selection index, half-sib family, heritability, progeny testing, family trial, *Larix decidua*

1. Wstęp

Modrzew europejski, ze względu na szybki wzrost, jest jednym z niewielu gatunków drzew leśnych, które

może być wykorzystane zarówno w uprawach gospodarczych, jak i w plantacjach drzew szybko rosnących. Według danych szacunkowych udział modrzewia w polskich lasach nie przekracza 2% powierzchni. Nie ma

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn; ✉ Fax: +48 227200397, e-mail: J.Kowalczyk@ibles.waw.pl

² Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration (URIFFM), Charków, Ukraina (w czasie przygotowywania publikacji stażysta w Zakładzie Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych Instytutu Badawczego Leśnictwa w Sękocinie Starym)

jednak dokładnych danych na temat zasobów modrzewia w naszym kraju, gdyż statystyki prowadzone są dla sosny i modrzewia łącznie (Leśnictwo 2010). Większe niż dotychczas wykorzystanie modrzewia w nasadzeniach może zwiększyć produkcję drewna, rekompensując zmniejszenie powierzchni lasów wykorzystywanych do celów produkcji, ze względu na przeznaczanie dużych powierzchni leśnych na cele ochronne, np. obszary Natura 2000 (Szujewski 2009). Obecnie do produkcji sadzonek używa się populacji nieprzetestowanych, do których należą wyłączone drzewostany nasienne i plantacje nasienne zakładane z fenotypowo wybranych drzew matecznych. Ponieważ obserwuje się trudności z obradaniem modrzewia w drzewostanach, nasiona w 40% zbierane są z plantacji nasiennych (Kowalczyk 2008). Aby można było osiągać dobre wyniki produkcyjne, należy używać przede wszystkim przetestowanego materiału rozmnożeniowego o znanej wartości genetycznej. Wybranie takich obiektów jest celem doświadczeń testujących.

Wartość genetyczna osobnika nie jest identyczna z jego cechami fenotypowymi. Do ustalenia wartości cech genotypowych ocenianych populacji lub osobników, konieczne jest zbadanie relacji zachodzących pomiędzy osobnikami rodzicielskimi i potomstwem w zakresie zdolności dziedziczenia cech przyrostowych, adaptacyjnych, odpornościowych, czy też morfologicznych (Sabor 2002). Najlepszym sposobem poznania wartości genetycznej wybranych rodziców jest analiza cech fenotypowych ich potomstwa w testach zakładanych w różnych warunkach środowiska. W badaniach takich, wykorzystanie metod genetyki ilościowej pozwala na oddzielenie efektu genotypu od efektu środowiska kształtujących fenotyp i oszacowanie wartości genetycznej badanego potomstwa. Końcowym etapem jest opracowanie danych, obliczenie parametrów genetycznych i wskazanie najlepszych populacji, rodów lub osobników. Dotychczasowe doświadczenia wykazały duże zróżnicowanie zarówno międzypopulacyjne, jak i wewnątrzpopulacyjne cech przyrostowych modrzewia (Kowalczyk, Matras 1999). Wyróżniono obszary występowania

modrzewia o szczególnie dobrych właściwościach dla gospodarki leśnej. Jedną z takich wyróżniających się populacji są modrzewie z obszaru Sudetów, które są badane na powierzchni doświadczalnej w Zwierzyńcu Lubelskim (Matras et al. 2006).

Celem pracy jest wstępne określenie wartości genetyczno-hodowlanej rodów z wolnego zapylenia modrzewia sudeckiego, na podstawie pomiarów wykonanych po siedmiu latach wzrostu na powierzchni doświadczalnej.

2. Materiał i metody

Badania były przeprowadzone na powierzchni doświadczalnej modrzewia europejskiego w Nowinach w Nadleśnictwie Zwierzyniec. Doświadczenie założono w leśnictwie Nowiny, oddz. 201 w miejscowości Nielisz (N 50°46'23", E 23°03'56").

Plany i szczegółowe rozmieszczenie drzewek w poszczególnych blokach zamieszczono w dokumentacji IBL (Matras et al. 2006). Powierzchnię założono w dniach 22–26 kwietnia 2003 r. Na siedlisku LMśw wysadzono 2948 drzewek w więźbie 2,5×2,5 m. Doświadczenie założono na roli klasy IIIb i IVa o glebie brunatnej piaszczysto-gliniastej na piasku. Powierzchnia doświadczenia wynosi 2,43 ha. W doświadczeniu testowane są 66 rody z wolnego zapylenia z regionu Jesienika w Czeskich Sudetach Wschodnich. Informacje o drzewach matecznych, z których zbierano nasiona do badań, podsumowano w tabeli 1. Ze względu na słaby urodzaj zbiór prowadzono przez kilka sezonów. Powierzchnia w Zwierzyńcu jest jedną z powierzchni równoległych założonych w ramach doświadczenia europejskiego koordynowanego przez L. Paques z INRA we Francji.

Pomiary wysokości wszystkich drzewek na powierzchni wykonano jesienią 2006 r. We wrześniu 2009 r. ponownie przeprowadzono pomiary pierśnic i wysokości oraz oceniono prostość strzały, szerokość korony i kąt wyrastania gałęzi wszystkich drzew na powierzchni. Cechy jakościowe oceniano w skali od 1 (najgorsza war-

Tabela 1. Lokalizacja drzew matecznych modrzewia europejskiego badanych na powierzchni w Zwierzyńcu

Table 1. Location of European larch mother trees examined on the area in Zwierzyniec

Lp No.	Numer rodu Family No.	Kod próbki INRA INRA sample code	Pochodzenie Origin	Oznaczenie drzewa Tree marking	Rok zbioru szyszek Year of cones harvest
1	1385	R960012	Karlova Hora	tree# 1	95-96
2	1386	R960013	Karlova Hora	tree# 2	95-96
3	1387	R960014	Karlova Hora	tree# 3	95-96
4	1388	R960015	Karlova Hora	tree# 4	95-96
5	1389	R960016	Karlova Hora	tree# 5	95-96
6	1390	R960017	Karlova Hora	tree# 6	95-96
7	1391	R960018	Karlova Hora	tree# 7	95-96
8	1392	R960019	Karlova Hora	tree# 8	95-96
9	1393	R960020	Karlova Hora	tree# 9	95-96

Lp No.	Numer rodu Family No.	Kod próbki INRA INRA sample code	Pochodzenie Origin	Oznaczenie drzewa Tree marking	Rok zbioru szyszek Year of cones harvest
10	1394	R960021	Karlova Hora	tree# 10	95-96
11	1395	R960022	Karlova Hora	tree# 11	95-96
12	1396	R960023	Karlova Hora	tree# 12	95-96
13	1397	R960024	Karlova Hora	tree# 13	95-96
14	1398	R960025	Karlova Hora	tree# 14	95-96
15	1399	R960026	Karlova Hora	tree# 15	95-96
16	1400	R960027	Karlova Hora	tree# 16	95-96
17	1401	R960028	Karlova Hora	tree# 17	95-96
18	1402	R960029	Karlova Hora	tree# 18	95-96
19	1404	R960031	Karlova Hora	tree# 20	95-96
20	1405	R960032	Nove Herminovy	tree# 21	95-96
21	1406	R960033	Nove Herminovy	tree# 22	95-96
22	1407	R960034	Nove Herminovy	tree# 23	95-96
23	1408	R960035	Nove Herminovy	tree# 24	95-96
24	1409	R960036	Nove Herminovy	tree# 25	95-96
25	1410	R960037	Nove Herminovy	tree# 26	95-96
26	1411	R960038	Nove Herminovy	tree# 28	95-96
27	1412	R960039	Nove Herminovy	tree# 29	95-96
28	1413	R960040	Nove Herminovy	tree# 30	95-96
29	1414	R960041	Nove Herminovy	tree# 31	95-96
30	1415	R960042	Nove Herminovy	tree# 32	95-96
31	1416	R960043	Nove Herminovy	tree# 34	95-96
32	1417	R960044	Nove Herminovy	tree# 35	95-96
33	1418	R960045	Nove Herminovy	tree# 36	95-96
34	1419	R960046	Nove Herminovy	tree# 37	95-96
35	1420	R960047	Nove Herminovy	tree# 39	95-96
36	1421	R960048	Nove Herminovy	tree# 40	95-96
37	1422	R960049	Nove Herminovy	tree# 41	95-96
38	1702	R990032	Ruda Zdar 401B9	c1	97-98
39	1705	R990071	Hrabova	tree# 2	98-99
40	1706	R990072	Hrabova	tree# 3	98-99
41	1708	R990074	Hrabova	tree# 5	98-99
42	1709	R990075	Hrabova	tree# 6	98-99
43	1710	R990076	Hrabova	tree# 7	98-99
44	1712	R990078	Hrabova	tree# 9	98-99
45	1714	R990080	Hrabova	tree# 11	98-99
46	1715	R990081	Hrabova	tree# 12	98-99
47	1716	R990082	Hrabova	tree# 13	98-99
48	1719	R990085	Hrabova	tree# 16	98-99
49	1720	R990086	Hrabova	tree# 17	98-99
50	1721	R990087	Hrabova	tree# 18	98-99
51	1722	R990088	Hrabova	tree# 19	98-99
52	1723	R990089	Hrabova	tree# 20	98-99
53	1724	R990090	Hrabova	tree# 21	98-99
54	1726	R990092	Hrabova	tree# 23	98-99
55	1727	R990093	Hrabova	tree# 24	98-99
56	1728	R990094	Hrabova	tree# 25	98-99
57	1729	R990095	Zdar-Ruda	72	98-99
58	1730	R990096	Zdar-Ruda	34/5	98-99
59	1734	R990100	Zdar-Ruda	51	98-99
60	1735	R990101	Zdar-Ruda	39	98-99
61	1736	R990102	Zdar-Ruda	64/5	98-99
62	1849	R010200	Karlovice 551B11	K2	99-00
63	1851	R010202	Karlovice 551B11	K4	99-00
64	1853	R010204	Karlovice 551B11	K6	99-00
65	1854	R010205	Karlovice 551B11	K7	99-00
66	1857	R010208	Vel Heraltice	1	99-00

tość cechy) do 5 (najlepsza wartość) (ryc. 1, 2 i 3). Gęstość drewna badano za pomocą urządzenia pilodyn. Urządzenie to umożliwia wykonanie pośredniej oceny gęstości drewna w szybki, prosty i tani sposób. Po przyłożeniu urządzenia do pnia, bezpośrednio w drewno wprowadzana jest stalowa igła ze stałą siłą. Im głębiej igła penetruje drewno, tym mniejszą gęstością charakteryzuje się drewno. Zbadano wszystkie drzewa o pierśnicy większej od 7 cm rosnące na kwaterach (blokach) 3

i 4. Wyniki pomiarów i obserwacji analizowano bez przekształceń matematycznych według następującego modelu doświadczenia:

$$\text{wartość cechy} = \mu + B_k + R_m + E_n \quad (1)$$

μ – średnia ogólna dla doświadczenia,

B_k – wpływ bloku k ,

R_m – wpływ rodzaju m ,

E_n – wpływ drzewa n w rodzie m .



Rycina 1. Skala oceny prostości strzały: 1 – drzewa bardzo krzywe, wiele krzywizn lub jedno silne skrzywienie, 2 – drzewa krzywe, jedno wyraźne skrzywienie, 3 – drzewa przeciętne, jedno lub dwa słabe skrzywienia, 4 – drzewa proste, możliwe jedno nieznaczne skrzywienie, 5 – drzewa proste bez krzywizn

Figure 1. The scale of assessment of the straightness stem: 1 – very crooked trees, a lot of curves or one strong bias, 2 – crooked trees, a clear bias, 3 – average trees, one or two weak curvature, 4 – straight trees, possible one slight bias, 5 – straight trees, without bias



Rycina 2. Skala oceny szerokości korony: 1 – bardzo szerokie, 2 – szerokie, 3 – średnie, 4 – wąskie, 5 – bardzo wąskie

Figure 2. The scale of the crown width assessment: 1 – very wide, 2 – wide, 3 – average, 4 – narrow, 5 – very narrow



Rycina 3. Skala oceny kąta wyrastania gałęzi: 1 – ostry (<30°), 2 – mniej niż średni (30–45°), 3 – średni (46–60°), 4 – więcej niż średni (61–80°), 5 – zbliżony do prostego (>80°)

Figure 3. The scale of the angle of the rising branch assessment: 1 – acute (<30°), 2 – less than average (30–45°), 3 – average (46–60°), 4 – more than average (61–80°), 5 – close to the right angle (>80°)

Do obliczenia komponentów wariancji wykorzystano program statystyczny AsReml (Gilmour et al. 2009). W modelu (1) jako zmienną losową przyjęto wpływ rodu. Założono, że efekt bloku nie ma charakteru zmiennej losowej, dlatego nie jest on uwzględniany we wzorze na odziedziczalność. Na podstawie otrzymanych komponentów wariancji obliczono odziedziczalność rodową i indywidualną według wzorów przedstawionych poniżej (Giertych, Mąka 1994):

– odziedziczalność rodowa

$$h_R^2 = \frac{\sigma_R^2}{\frac{\sigma_R^2}{n} + \sigma_R^2} \quad (2)$$

– odziedziczalność indywidualna

$$h_i^2 = \frac{4\sigma_R^2}{\sigma_R^2 + \sigma_E^2} \quad (3)$$

Błąd odziedziczalności obliczono w programie AsReml (Gilmour et al. 2009) według wzoru:

$$SEh^2 = \left(\frac{\sigma_n^2}{\sigma_d^2} \right)^2 \left(\frac{Var(\sigma_n^2)}{\sigma_n^4} + \frac{Var(\sigma_d^2)}{\sigma_d^4} - \frac{2Cov(\sigma_n^2, \sigma_d^2)}{\sigma_n^2 \sigma_d^2} \right) \quad (4)$$

gdzie: σ_n^2, σ_d^2 – oznacza odpowiednio wariancję licznika i mianownika we wzorze na odziedziczalność.

Korelacje genetyczne obliczone zostały według wzoru:

$$r_d = \frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}} \quad (5)$$

gdzie:

σ_{xy} – kowariancja genetyczna pomiędzy cechami x i y ,

σ_x^2, σ_y^2 – komponenty wariancji genetycznej odpowiednio dla cech x i y .

Wartość hodowlana (BV , z ang. breeding value) definiowana jest jako uwarunkowana genetycznie zdolność drzewa do przekazywania określonej cechy lub cech potomstwu (White et al. 2007). Może być ona określona dla populacji, rodu, klonu, czy też pojedynczego drzewa. Parametr BV można obliczać dla pojedynczej cechy lub też dla grupy cech. Wartość hodowlana określana dla grupy cech, nazywana jest zagregowaną wartością indeksową.

Wartość hodowlaną BV obliczono oddzielnie dla każdej z analizowanych cech. Aby dokonać wyboru najlepszych drzewek, pod względem kilku cech jednocześnie obliczono również wartość indeksową Wr , uwzględniając pierśnicę, wysokość, prostotę strzały, szerokość korony i kąt wyrastania gałęzi. Indeks obliczono według wzoru (White, Hodge 1989):

$$Wr = \hat{w} = b'(y - \alpha) \quad (6)$$

gdzie:

y – wektor obserwacji (wysokość, pierśnica i cechy jakościowe),

α – wartości oczekiwane obserwacji w wektorze y (średnie dla danych, które w tym przypadku odpowiadają wartościom oczekiwany),

$V = Var(y)$ jest macierzą o wymiarach ($n \times n$) wariancji i kowariancji pomiędzy obserwacjami wykonanymi dla pojedynczego drzewa, n - liczba obserwacji.

$G = Var(g)$ macierz wariancji pomiędzy q genetycznymi wartościami w wektorze g nie obserwowalnych wartości genetycznych. Macierz G ma wymiary ($q \times q$).

$C = Cov(y, g)$ jest to macierz o wymiarach ($n \times q$) kowariancji pomiędzy obserwacjami dla pojedynczego drzewa i wartościami genetycznymi.

a – wektor relatywnych wag ekonomicznych dla cech w wektorze \hat{w} (dla pierśnicy i wysokości przyjęto wartość 1, dla prostości strzały, szerokości korony i kąta wyrastania gałęzi przyjęto wartość 0,5).

3. Wyniki

Wyniki pomiarów po siedmiu latach wzrostu na powierzchni doświadczalnej, a po dziewięciu latach od wysiewu nasion przedstawiono w tabeli 2. Średnia wysokość modrzewia wyniosła 7,57 m. Najlepiej przyrastały na wysokość drzewka w rodzie 1414 (8,05 m), a najgorzej w rodzie 1709 (6,79 m). Różnica pomiędzy średnią wysokością najlepszego rodu i najgorszego wyniosła 17% w odniesieniu do średniej dla całej powierzchni. Najwyższe drzewka osiągnęły wysokość 10 m. W tabeli przedstawiono również trzyletni przyrost wysokości. Największym przyrostem cechowały się drzewa w rodzie 1408 (5,71 m), a najmniejszym w rodzie 1710 (4,8 m). W ostatnich latach drzewka w najszybciej rosnących rodach przyrastały na wysokość blisko 2 m rocznie. Przyrosty te zwiększały się wraz z wiekiem. Średnia pierśnica po 7 latach dla wszystkich drzewek na powierzchni wyniosła 10 cm. Różnica pomiędzy najlepszym, a najgorszym rodem była równa 42% średniej. Pod względem cech jakościowych rody nie wykazywały już tak dużego zróżnicowania. Duże różnice obserwowano jednak pomiędzy osobnikami w rodach.

Analiza wariancji wykazała istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami dla rodów dla wszystkich analizowanych cech. Różnice dla wszystkich cech, z wyjątkiem gęstości drewna badanej urzędzeniem pilodyn, były istotne na poziomie istotności $p=0,001$. Gęstość drewna różnicowała rody na poziomie $p=0,01$ (dane niezamieszczone). W tabeli 3 przedstawiono komponenty wariancji, odziedziczalności i błąd ich oszacowania. Wariancja rodowa w stosunku do wariancji niewyjaś-

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów wykonanych we wrześniu 2009 r. na powierzchni w Zwierzynicy Lubelskim
 Table 2. Summary of the measurement results made in September 2009 on the area in Zwierzyniec Lubelski

Lp. No.	Numer rodu Family No.	Przeżywalność Survival	Wartość indeksu The index value	Liczba drzew Number of trees	Wysokość Height		Przyrost wysokości Height increment		Pierśnica Diameter at breast height		Prostość strzały Stem straightness		Szerokość korony Width of the crown		Kąt wyrastania gałęzi The angle of the rising branch		PIŁODYN	
					\bar{h}	bl. st. statistic. error	Δh	bl. st. statistic. error	$\bar{d}_{1,3}$	bl. st. statistic. error	średnia mean	bl. st. statistic. error	średnia mean	bl. st. statistic. error	średnia mean	bl. st. statistic. error	średnia mean	bl. st. statistic. error
1	1385	53,9	-2,4821	28	751,57	20,85	530,79	15,58	94,89	4,87	3,39	0,16	3,00	0,10	3,07	0,13	23,00	0,39
2	1386	88,0	6,3786	39	791,88	11,30	550,30	7,49	107,23	2,83	3,18	0,09	2,87	0,16	3,38	0,09	22,36	0,68
3	1387	67,2	-1,1188	31	745,55	13,92	529,58	10,52	98,26	3,38	3,03	0,11	3,06	0,11	3,26	0,11	23,30	0,93
4	1388	64,5	2,8096	31	800,90	16,59	565,10	13,21	103,19	3,88	3,16	0,12	2,74	0,11	3,45	0,09	23,00	0,71
5	1389	93,1	5,4311	34	773,85	12,61	545,06	12,55	104,68	3,06	3,30	0,13	3,00	0,12	2,94	0,09	22,54	0,84
6	1390	57,6	5,0294	28	795,50	11,31	554,32	11,84	106,89	2,96	3,46	0,13	2,79	0,12	3,32	0,12	20,44	0,96
7	1391	84,8	1,7973	40	739,90	16,81	528,30	10,88	102,05	4,27	3,20	0,10	2,93	0,13	2,93	0,11	23,13	0,67
8	1392	77,2	6,0718	37	772,16	14,88	562,03	12,35	106,43	3,76	3,32	0,12	2,89	0,12	3,11	0,11	23,42	1,14
9	1393	44,0	6,2482	21	782,10	18,73	555,19	12,77	107,33	4,99	3,48	0,16	2,86	0,16	3,00	0,14	24,00	0,82
10	1394	81,8	2,2344	36	760,72	13,90	527,53	13,51	101,92	3,80	3,25	0,12	3,17	0,09	3,17	0,10	22,08	0,99
11	1395	78,2	5,5403	35	783,03	12,82	555,38	11,17	105,66	2,95	3,57	0,12	3,06	0,10	3,20	0,08	21,85	0,71
12	1396	71,1	2,9251	34	774,26	17,97	556,44	12,83	102,47	3,45	3,35	0,10	3,21	0,10	3,24	0,11	22,86	0,72
13	1397	59,8	1,1753	29	760,79	18,07	534,28	15,97	103,55	3,38	2,97	0,13	2,69	0,12	3,41	0,12	21,18	0,66
14	1398	87,4	3,3768	41	786,07	11,82	531,61	9,95	106,41	3,13	3,29	0,11	2,44	0,15	3,37	0,09	21,53	0,41
15	1399	66,7	3,2722	31	788,87	16,92	564,71	13,53	102,90	3,46	3,39	0,13	2,94	0,12	3,23	0,11	22,00	0,67
16	1400	86,6	2,2139	40	774,30	15,89	540,50	12,47	103,35	3,71	3,13	0,12	2,78	0,13	3,33	0,08	21,08	0,51
17	1401	81,1	3,4186	41	780,34	14,98	538,80	9,58	103,20	3,57	3,37	0,11	3,22	0,12	3,29	0,11	21,43	0,51
18	1402	54,2	0,4989	27	763,74	19,33	517,30	15,77	101,11	4,26	3,14	0,15	2,43	0,14	3,11	0,12	24,83	1,58
19	1404	90,3	4,9334	35	793,69	15,00	549,49	12,63	108,40	3,18	3,14	0,12	2,86	0,14	3,63	0,09	22,64	1,12
20	1405	71,8	2,3514	30	757,03	19,01	515,77	17,45	107,07	4,76	3,03	0,17	2,37	0,11	3,37	0,11	23,63	0,50
21	1406	75,2	7,6237	40	795,05	13,56	556,10	11,87	107,70	3,59	3,23	0,09	2,88	0,11	2,98	0,10	22,53	0,70
22	1407	82,6	8,2040	42	778,36	14,90	528,88	14,28	110,14	3,16	3,02	0,13	2,98	0,12	3,07	0,10	22,93	1,03
23	1408	62,9	1,4359	28	782,32	13,76	571,04	10,63	99,75	3,17	3,25	0,12	2,71	0,14	3,07	0,09	22,25	0,90
24	1409	87,8	4,2935	40	759,43	20,87	539,36	13,35	106,85	3,42	3,23	0,13	2,88	0,13	3,18	0,10	23,29	1,01
25	1410	82,4	3,2533	36	790,17	15,68	549,25	12,32	103,22	3,62	3,06	0,13	2,92	0,10	3,36	0,09	22,50	0,72
26	1411	53,2	10,6100	25	804,60	20,52	547,60	13,00	114,40	5,74	3,68	0,14	2,88	0,15	3,16	0,11	23,00	1,00
27	1412	80,0	4,3568	35	775,29	14,65	534,57	11,52	108,97	3,04	2,89	0,11	2,54	0,13	3,51	0,11	25,18	0,98
28	1413	85,2	0,7275	42	740,74	13,43	513,95	12,00	101,57	2,61	3,38	0,13	3,00	0,09	3,10	0,09	22,50	0,94
29	1414	53,7	15,6796	13	805,92	21,57	556,17	24,38	119,46	4,49	3,15	0,10	2,85	0,15	3,15	0,15	23,86	0,34
30	1415	81,6	4,2273	39	774,90	14,96	540,44	12,64	105,82	2,40	2,69	0,15	2,79	0,11	3,33	0,08	21,09	1,34

31	1416	80,5	-3,3820	37	750,73	18,41	530,49	15,44	97,70	3,34	3,14	0,12	2,86	0,07	3,59	0,11	22,55	0,95
32	1417	68,3	-0,9350	14	763,00	31,58	544,50	25,17	101,14	6,78	3,36	0,20	2,71	0,16	3,50	0,14	21,43	0,84
33	1418	83,0	2,4329	40	756,85	12,10	516,59	8,30	105,10	2,38	3,03	0,12	2,68	0,11	3,28	0,07	22,31	0,88
34	1419	86,9	0,8960	40	758,93	16,42	520,25	15,04	99,53	4,08	3,05	0,11	3,05	0,11	3,13	0,10	22,33	0,53
35	1420	77,1	1,8991	41	746,48	12,64	529,55	12,41	104,15	2,67	2,88	0,13	2,51	0,11	3,15	0,07	24,42	0,89
36	1421	68,1	2,6300	35	761,14	13,86	533,34	10,68	103,23	3,40	3,46	0,11	2,80	0,13	3,00	0,11	23,08	0,36
37	1422	71,0	5,8178	22	760,95	17,41	528,09	14,24	107,55	3,90	2,68	0,18	2,86	0,14	3,09	0,11	22,08	0,68
38	1702	35,6	-0,6453	15	729,07	20,51	502,93	17,13	99,67	5,52	3,20	0,11	3,00	0,10	3,07	0,07	22,78	0,70
39	1705	59,5	-7,7189	22	710,73	22,73	510,68	15,45	89,32	4,84	3,00	0,17	3,00	0,11	3,14	0,12	23,25	1,21
40	1706	68,0	-8,7361	34	709,82	21,82	496,24	16,85	88,29	4,30	2,97	0,13	2,91	0,10	3,18	0,09	21,86	0,70
41	1708	60,7	-7,0924	18	725,39	23,99	546,83	18,50	88,06	5,30	3,39	0,12	3,17	0,25	3,00	0,20	20,33	1,20
42	1709	62,5	-15,9198	30	676,40	18,75	483,10	12,67	79,47	3,90	3,80	0,12	3,07	0,12	3,10	0,09	23,78	0,62
43	1710	69,7	-9,1718	34	707,79	17,59	480,79	13,11	89,38	4,09	2,76	0,13	2,71	0,10	3,32	0,10	21,58	0,60
44	1712	47,9	-6,5681	23	747,91	18,60	520,61	12,67	91,57	4,62	2,83	0,17	2,87	0,17	3,57	0,11	23,00	0,93
45	1714	51,9	-9,6247	23	723,30	26,74	521,87	18,67	87,74	6,02	3,35	0,15	2,83	0,12	3,30	0,13	23,80	0,73
46	1715	64,2	-6,7610	30	735,43	17,00	524,53	14,04	91,83	3,85	3,40	0,10	2,97	0,12	3,40	0,09	22,67	1,01
47	1716	58,2	-1,4706	9	694,44	59,92	496,78	34,97	82,33	12,06	3,11	0,31	3,22	0,22	3,44	0,18	21,33	1,20
48	1719	69,0	-11,9637	23	771,50	22,68	552,29	20,73	95,13	5,12	3,29	0,15	2,88	0,14	3,33	0,10	22,09	0,68
49	1720	43,7	-16,8309	22	727,82	27,67	530,68	22,32	82,77	4,82	2,91	0,19	3,27	0,13	3,59	0,13	21,78	0,81
50	1721	21,7	-2,1566	8	718,25	36,14	529,75	22,12	86,00	7,99	2,71	0,18	2,86	0,26	3,71	0,18	21,33	3,18
51	1722	32,9	-5,3435	17	700,35	26,84	522,94	19,49	77,41	5,80	3,69	0,15	2,94	0,14	3,44	0,18	21,67	0,67
52	1723	53,4	-9,9440	14	736,93	34,75	530,00	33,32	95,14	6,32	3,13	0,19	2,60	0,19	3,13	0,17	22,00	0,00
53	1724	91,3	-0,6453	11	739,27	38,04	507,09	21,52	97,55	7,59	2,82	0,18	2,45	0,16	3,73	0,14	24,80	0,86
54	1726	44,5	-7,7189	21	715,90	22,20	521,86	15,17	86,43	5,12	3,29	0,14	3,10	0,17	3,29	0,14	24,60	1,03
55	1727	72,1	-6,2243	39	749,03	16,37	529,50	10,47	92,26	4,02	3,41	0,10	2,74	0,11	3,54	0,10	22,00	0,45
56	1728	64,8	8,2291	8	697,00	30,85	518,29	19,66	95,50	8,36	3,38	0,32	3,13	0,30	3,50	0,19	22,50	0,50
57	1729	70,2	-1,4206	17	784,88	16,92	547,88	14,07	111,35	3,82	3,35	0,24	2,71	0,11	3,06	0,10	22,57	1,07
58	1730	71,5	-16,0181	34	760,29	19,02	540,85	13,02	98,41	4,60	3,21	0,12	2,97	0,13	3,41	0,13	22,67	0,71
59	1734	34,4	-10,7598	25	695,42	15,23	494,21	11,94	79,64	3,38	3,16	0,11	2,84	0,15	3,36	0,11	19,25	0,25
60	1735	79,2	-5,2002	28	732,07	16,63	529,64	12,54	82,71	3,88	3,11	0,12	3,00	0,21	3,18	0,12	21,67	0,99
61	1736	52,8	-6,2243	22	730,14	22,36	507,68	18,05	94,32	6,22	3,27	0,16	2,91	0,13	3,32	0,12	18,44	2,15
62	1849	81,8	-0,0985	13	755,92	26,05	543,00	12,90	100,38	6,08	3,15	0,19	2,77	0,20	3,23	0,20	21,50	2,50
63	1851	76,0	2,8617	38	760,50	13,69	525,61	10,03	107,13	3,00	3,26	0,09	2,50	0,12	3,32	0,09	22,79	0,71
64	1853	53,9	-1,7713	29	765,62	18,07	553,10	12,87	97,59	4,46	3,21	0,12	2,66	0,11	3,28	0,10	21,25	0,85
65	1854	88,0	-1,5641	37	738,22	17,96	527,57	12,88	99,22	3,69	3,03	0,09	2,49	0,12	3,08	0,11	23,58	0,38
66	1857	67,2	-1,0112	38	738,08	15,17	512,00	12,63	99,53	4,00	3,16	0,15	2,89	0,11	3,18	0,10	22,10	0,85
Łącznie / Total				1926	757,36	2,26	532,57	1,75	100,10	0,52	3,19	0,02	2,85	0,02	3,25	0,01	22,49	0,11

Tabela 3. Charakterystyka mierzonych i ocenianych cech na powierzchni w Zwierzyńcu Lubelskim

Table 3. Characteristics of the measured and evaluated parameters on the area in Zwierzyniec Lubelski

Cecha Parameter	Komponent wariancji rodowej Component of family variance	Komponent wariancji błędu Component of error variance	Odziedziczalność rodowa h_R^2 Family heritability h_R^2	Odziedziczalność indywidualna h_i^2 Individual heritability h_i^2
Wysokość po 2009 Height after 2009	499,599	8919.530	0,626 ± 0,070	0,212 ± 0,060
Wysokość po 2005 Height after 2005	215,070	2254,820	0,740 ± 0,049	0,348 ± 0,081
Przyrost wysokości od 2005 do 2009 Height increment from 2005 to 2009	164,363	5512.260	0,471 ± 0,097	0,116 ± 0,044
Pierśnica Diameter at breast height	59,445	438,760	0,802 ± 0,036	0,477 ± 0,098
Prostość strzały Stem straightness	0,033	0,515	0,661 ± 0,063	0,245 ± 0,064
Szerokość korony Width of the crown	0,024	0,487	0,593 ± 0,074	0,186 ± 0,054
Kąt wyrastania gałęzi The angle of the rising branch	0,020	0,351	0,627 ± 0,069	0,213 ± 0,059
Pilodyn	0,371	7,712	0,313 ± 0,077	0,183 ± 0,001
Przeżywalność Survival	5,35*10 ⁻⁷	247,006	0,785± 0,009	-

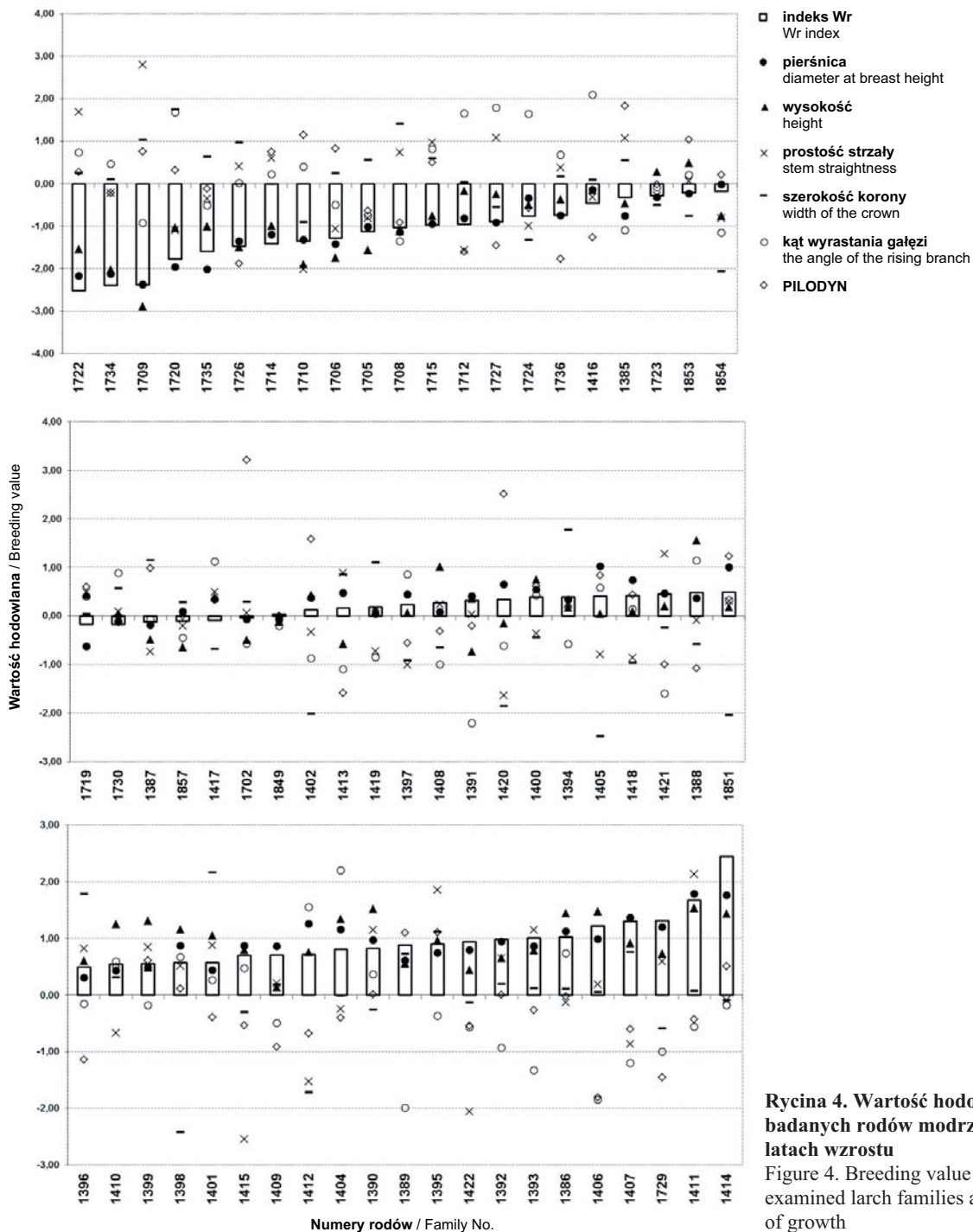
Tabela 4. Korelacje fenotypowe i genetyczne (pogrubiona czcionka) cech, które zostały uwzględnione przy obliczaniu indeksu selekcyjnego modrzewia europejskiego testowanego na powierzchni w Zwierzyńcu Lubelskim. Istotność statyczna korelacji fenotypowych (*) – $p > 0,001$, ns – nie istotne)**Table 4. Phenotypic and genetic correlations (in bold) of features included while calculating the selection index of European larch tested on the area in Zwierzyniec Lubelski. The significance of the static phenotypic correlation (***) – $p > 0.001$, ns - not significant)

Cecha Parameter	Pierśnica Diameter at breast height	Wysokość Height	Prostość strzały Stem straightness	Szerokość korony Width of the crown	Kąt wyrastania gałęzi The angle of the rising branch
Pierśnica Diameter at breast height	1	0,576***	0,001 ^{ns}	0,033***	0,028***
Wysokość Height	0,8258	1	0,019***	0,013***	0,035***
Prostość strzały Stem straightness	-0,0647	0,0530	1	0,006***	0,001 ^{ns}
Szerokość korony Width of the crown	-0,2599	-0,1197	0,2898	1	0,024***
Kąt wyrastania gałęzi The angle of the rising branch	-0,1259	0,0443	-0,2255	-0,1701	1

nionej (wariancji błędu) stanowi mały procent zmienności: od 11% w przypadku pierśnicy do 3% w przypadku przeżywalności.

Średnie wartości mierzonych i ocenianych cech oraz łączna wartość hodowlana badanych rodów modrzewia po 7 latach wzrostu przedstawione zostały w tab. 2. Wyniki są bardzo zróżnicowane. Wśród badanych genotypów są zarówno osobniki dobre, średnie, jak i gorsze. Korelacje fenotypowe i genetyczne pomiędzy pierśnicą i wysokością były dodatnie, przyjmując duże wartości (0,576 i 0,8258 odpowiednio). Korelacje

fenotypowe pomiędzy cechami jakościowymi i cechami przyrostowymi (pierśnica i wysokość) były również dodatnie, natomiast korelacje genetyczne były ujemne (tab. 4). Na rycinie 4 przedstawiono wartości hodowlane BULP 63 rodów obliczone dla poszczególnych cech. Dla trzech rodów reprezentowanych przez mniej niż 10 drzew nie obliczano wartości indeksowej. Z uwagi na dużą ilość informacji trudno omówić je szczegółowo. Zainteresowany czytelnik może znaleźć najlepsze rody w zależności od tego jaka cecha jest dla niego najważniejsza. W formie diagramów zobrazowano

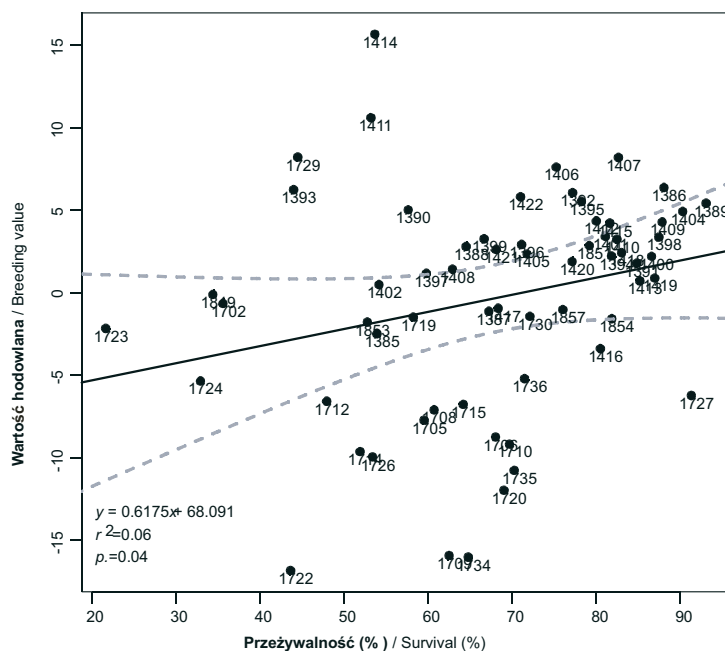


Rycina 4. Wartość hodowlana badanych rodzin modrzewia po 7 latach wzrostu

Figure 4. Breeding value of the examined larch families after 7 years of growth

wartość indeksową Wr obliczoną dla wszystkich analizowanych cech. Wartość hodowlaną dla poszczególnych cech przedstawiono punktowo. Na rycinie rodziny uszeregowano od najniższej do najwyższej wartości indeksu. Umożliwia to przedstawienie wkładu poszczególnych cech do sumarycznego indeksu. Najlepsze rodziny o numerach 1414 i 1411 wyróżniają zarówno dobry wzrost, jak i dobre cechy jakościowe. Następne rodziny w uszeregowaniu pod względem wartości indeksowej

cechują się dobrym wzrostem, ale gorszymi cechami jakościowymi. Najgorsze rodziny pod względem cech przyrostowych cechują się jednak dobrymi wartościami cech jakościowych. Na rycinie 5 porównano wartość hodowlaną badanych rodzin i ich przeżywalność, zależność ta jest słaba ($r^2=0.06$), ale statystycznie istotna.



Rycina 5. Zależność wartości hodowlanej badanych rodów i ich przeżywalności. Regresja jest istotna statystycznie na poziomie $p=0,04$. Przerwanymi liniami oznaczono przedział ufności dla $P = 95\%$

Figure 5. The breeding value and survival relationship between examined families. Regression is statistically significant at the level $p=0.04$. Confidence interval for $P = 95\%$ marked with dotted lines

4. Dyskusja

Określenie „wartość hodowlana” jest powszechnie używane w hodowli lasu. Jednak w znaczeniu odmiennym niż zdefiniowane w niniejszej pracy za White'm (White et al. 2007). Dla hodowcy „wartość hodowlana” odnosi się przede wszystkim do fenotypowej jakości drzewostanu i jest stosowana zamiennie z określeniem „jakość hodowlana”. Obowiązujące „Zasady hodowli lasu” nie definiują tego terminu (Rozwałka 2002). Korczyk używa określenia wartość genetyczna drzewostanu w odniesieniu do cech o podłożu dziedzicznym, a określenia jakość hodowlana – w nawiązaniu do fenotypowej jakości drzewostanu (Korczyk 2002). Kulej natomiast stosuje określenie wartość genetyczno-hodowlana w odniesieniu do wartości genetycznej, nie definiując jednak tego terminu (Kulej 2010). Powyższy przegląd literatury wskazuje zatem, że w leśnictwie „wartość hodowlana” nie jest precyzyjnie zdefiniowana, w przeciwieństwie do tego terminu stosowanego w hodowli zwierząt (Piwczyński 2009). Ważne jest więc, aby na początku dyskusji uściślać ten termin w odniesieniu do hodowli selekcyjnej drzew leśnych jako: „uwarunkowana genetycznie zdolność populacji drzew leśnych lub pojedynczego drzewa do przekazywania określonej cechy lub cech potomstwu”.

Modrzew charakteryzuje się dużą zmiennością genetyczną. Często wzrost populacji pochodzących z sąsiednich drzewostanów jest zupełnie różny (Kowalczyk, Dobrzyński 1996). Modrzew sudecki należy do najlepiej przyrastających (Kowalczyk, Matras 1999). Uzyskane wyniki po 7 latach wzrostu na powierzchni są wynikami wstępnymi. Wraz z wiekiem wzrost badanych

pochodzeń zmienia się, może zmienić się również ich wartość hodowlana (Kowalczyk, Matras 1999). W niniejszej pracy badane są rody z wolnego zapylenia z rejonu Jasiennika w Czeskich Sudetach. Jest to region wyróżniający się występowaniem bardzo dorodnego modrzewia. W polskich doświadczeniach proweniencyjnych nie jest on reprezentowany. Wartość hodowlana i parametry genetyczne tej populacji nie były dotychczas testowane na szerszą skalę. Jak dotychczas wyniki z powierzchni równoległych nie zostały opublikowane, więc brak jest możliwości porównania wartości badanych rodów hodowanych w innych środowiskach wzrostu. Wyniki prezentowane w niniejszej pracy, chociaż mają charakter wstępny, dokumentują wzrost w okresie młodocianym i pozwalają na wstępny ranking badanych rodów na jednej powierzchni badawczej w warunkach Roztocza Środkowego na południowym wschodzie Polski. Wzrost i rozwój modrzewia powinien zostać przeanalizowany powtórnie, uwzględniając dane ze wszystkich powierzchni oraz uwarunkowania klimatyczne i środowiskowe. Pozwoli to na określenie zdolności adaptacyjnych badanych rodów.

Przeżywalność na powierzchni w Zwierzyńcu jest bardzo zróżnicowana. Wynika to z przemrozenia sadzonek w szkółce kontenerowej w Oleszycach, jesienią 2002 r.. W ciągu kilku godzin nastąpił duży spadek temperatury i padający deszcz zamienił się w lód, uszkadzając sadzonki przechowywane w kontenerach styropianowych. W związku z tymi uszkodzeniami część sadzonek zamierała w pierwszym roku po wysadzeniu. Wykazano istotną statystycznie korelację pomiędzy przeżywalnością a wartością hodowlaną modrzewia po 7 latach wzrostu (ryc. 5). Podobne wyniki

uzyskano w badaniach nad eukaliptusem (Chambers et al. 1996) i nad sosną (Olsson, Ericsson 2002). Wynika to prawdopodobnie z oddziaływania selekcji fenotypowej (Kowalczyk 2002), zgodnej w dużej części z selekcją na podstawie wartości hodowlanej (wyborem genotypowym). Czynnikiem selekcyjnym eliminującym osobniki niedostosowane do warunków środowiska, faworyzuje najlepsze drzewka, które cechują się, oprócz żywotności, również dobrymi cechami przyrostowymi.

Badania te mają praktyczne znaczenie dla programu testowania leśnego materiału podstawowego, prowadzonego przez Lasy Państwowe, a koordynowanego i nadzorowanego od strony naukowej przez Instytut Badawczy Leśnictwa. Doświadczenia zdobyte na małych powierzchniach, w ramach współpracy międzynarodowej, pozwalają później prowadzić badania na dużą skalę i ograniczają możliwość popełnienia pomyłek hodowlanych.

Właściwa analiza danych jest bardzo ważnym etapem testowania (Williams et al. 2002). Pewne rodzaje danych są zwykle transformowane przed analizą statystyczną. Przykładem może być transformacja danych procentowych funkcją *arcsin*. Niekiedy transformacja jest zalecana również dla danych ciągłych liniowych (Anderson, McLean 1974). Zalecenia te dotyczą zwykle modeli stałych w analizie wariancyjnej, gdzie celem jest porównanie średnich dla czynnika doświadczenia i wskazanie, czy i w jakim stopniu różnią się one od siebie. Przydatność transformacji w modelach mieszanych i losowych nie jest już tak oczywista (White et al. 2007). Celem analiz w testach genetycznych jest obliczenie komponentów wariancji dla analizowanych cech, traktowanych jako zmienne losowe. W doświadczeniach testujących wartość hodowlaną leśnego materiału podstawowego celem będzie estymacja wartości hodowlanej na podstawie obliczonych komponentów wariancji. Problematiczne z punktu widzenia statystycznego jest analizowanie zmiennych po przekształceniu dla pojedynczych osobników, a następnie przeliczanie ich do skali oryginalnej, tak aby zostały uwzględnione przy obliczeniach wartości hodowlanej. W przypadku wizualnej i szacunkowej oceny cech jakościowych, np. prostości strzały, autorzy zwykle pomijają ten problem i analizują cechy o rozkładzie zmiennych losowych wielowymiarowych, tak jakby były to zmienne liniowe (Happanen et al. 1997; Krupski, Giertych 1997). Powszechnie przyjmuje się, że jeżeli próba jest liczna a skala jest przynajmniej pięć stopniowa, to błąd oszacowania w przypadku modeli mieszanych i losowych jest nieduży. Takie założenie przyjęto w niniejszym opracowaniu. Wyniki oceny prostości strzały, szerokości korony i kąta wyrastania gałęzi analizowano bez przekształceń, gdyż ich frekwencja w klasach była zbliżona do rozkładu normalnego. Jednak zawsze należy sprawdzić, jaki rozkład ma analizowana cecha i jeżeli

częstości występowania w poszczególnych klasach znacznie odbiegają od rozkładu normalnego, należy stosować przekształcenia (Gianola, Norton 1981).

Wykonując pomiary i oceniając cechy fenotypowe w analizach, dążymy do oszacowania wartości hodowlanej, która jest z założenia nieznaną (Ubysz-Borucka et al. 1985). Zaawansowane techniki statystyczne analizy danych wykorzystywane w badaniach leśnych adaptowane są z hodowli zwierząt i rolnictwa (Muir 2005). Do analizy testów genetycznych w leśnictwie brak jest powszechnie dostępnych i prostych narzędzi do obliczania wartości hodowlanej. W Australii został opracowany program TREEPAN (McRae et al. 2003). Jest to komercyjny system gromadzenia i analizy danych uwzględniający rodowody drzew. Często wykorzystywany jest również program „AsReml” napisany dla potrzeb hodowli zwierząt, jak również programy statystyczne takie jak SAS, S-plus i R. Algorytmy wykorzystywane w tych programach są na tyle złożone, że przeciętny użytkownik nie jest w stanie ich kontrolować.

Praca pokazuje mały fragment procesu analizy danych z doświadczeń testujących. Wskazuje na najlepsze rody. Nie analizuje jednak takich bardzo ważnych problemów, jak zmienność genetyczna populacji hodowlanej, sposób określenia wag ekonomicznych i interakcji genotypu ze środowiskiem. Należy pamiętać, że uzyskane wartości parametrów genetycznych powinny być odniesione do konkretnych warunków środowiska w Zwierzyńcu i nie mogą być uogólniane na inne lokalizacje tego doświadczenia. Aby można było określić wartość hodowlaną, doświadczenie powinno być przeanalizowane wspólnie przez wszystkich uczestników.

5. Wnioski

Przy obliczeniu indeksowej wartości hodowlanej duże znaczenie mają wagi przypisane poszczególnym cechom i korelacje genetyczne pomiędzy cechami.

Rody charakteryzujące się słabym wzrostem mogą wyróżniać się dobrymi cechami jakościowymi.

Istnieje statystycznie istotna korelacja pomiędzy przeżywalnością a wartością hodowlaną modrzewia po 7 latach wzrostu. Lepiej przyrastające rody cechują się większą przeżywalnością.

Najlepsze rody pod względem łącznej wartości hodowlanej po 7 latach wzrostu to rody o numerach 1414 i 1411. Wyróżnia je zarówno dobry wzrost, jak i dobre cechy jakościowe.

Najgorsze rody to rody o numerach 1709, 1734 i 1722. Charakteryzują się słabym wzrostem, lecz dobrymi cechami jakościowymi.

Podziękowania

Badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach projektów stażowych realizowanych w Instytucie Badawczym Leśnictwa.

Literatura

- Anderson V. L., McLean R. A. 1974. Design of experiments; a realistic approach. New York, Marcel Dekker.
- Chambers P. G. S., Borralho, N. M. G., Potts, B. M. 1996. Genetic analysis of survival in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. *Silvae Genetica*, 45: 107–111.
- Gianola D., Norton H. W. 1981. Scaling threshold characters. *Genetics*, 99: 357–364.
- Giertych M., Mąka A. 1994. Ocena indeksowa dziewięcioletnich rodów sosny (*Pinus sylvestris* L.) z kontrolowanych krzyżówek na plantacji nasiennej. *Arboretum Kórnickie*, 33: 87–107.
- Gilmour A. R., Gogel B. J., Cullis B. R., Thompson R. 2009. ASReml User Guide. Release 3.0. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK, www.vsn.co.uk. Data dostępu 10.12.2010.
- Haapanen M., Velling P., Annala M. L., Samfund F. F. 1997. Progeny trial estimates of genetic parameters for growth and quality traits in Scots pine. *Silva Fennica*, 31(1): 3–12.
- Korczyk A. F. 2002. Jakość hodowlana drzewostanów sosnowych oraz wartość hodowlana i genetyczna drzew doborowych i porównawczych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) ośmiu polskich pochodzeń. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa, ISBN 83-87-647-26-8.
- Kowalczyk J. 2008. Combining production of improved seeds with genetic testing in seedling seed orchards. Proceedings of a Seed Orchard Conference (ed. D. Lindgren D.), Umeå, Sweden, 26–28 September 2007: 126–134.
- Kowalczyk J., Dobrzyński M. 1996. Długookresowe obserwacje wzrostu i formy modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) na powierzchni doświadczalnej w Rogowie. *Sylwan*, 11: 33–44.
- Kowalczyk J., Matras J. 1999. Wyniki doświadczenia prowniencyjnego z modrzewiem europejskim *Larix decidua* Mill. *Sylwan*, 143, 3: 43–59.
- Kowalczyk J. 2002. Analysis of accuracy of phenotypic selections based on European larch half-sib progeny test results. w: Improvement of larch (*Larix* sp.) for better growth, stem form and wood quality. Proceedings of an International Symposium, Gap (Hautes Alpes) – Auvergne & Limousin, France, 16–21 September 2002: 95–103.
- Krupski P., Giertych M. 1997. Analiza produktywności świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) różnych proveniencji i rodów z niżu południowej Polski. *Arboretum Kórnickie*, 42: 185–198.
- Kulej M. 2010. Wartość genetyczno-hodowlana wybranych pochodzeń jodły olbrzymiej (*Abies grandis* Lindl.) w warunkach Beskidu Sądeckiego. *Leśne Prace Badawcze*, 71, 249–256.
- Leśnictwo 2010. Warszawa, GUS, Departament Rolnictwa. 1–316. www.stat.gov.pl; data dostępu 20.11.2010.
- Matras J., Barzdajn W., Kulej M., Szeligowski H., Kowalczyk J., Markiewicz P. 2006. Badania porównawcze populacyjnej i rodowej zmienności cech hodowlanych wybranych pochodzeń modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.). Sprawozd. Naukowe Inst. Bad. Leśnictwa: 1–106.
- McRae T.A., Apiolaza L.A., Dutkowski G.W., Kerr R.J., Pilbeam D.J., Powell M.B. Tier B. 2003. TREEPLAN – a genetic evaluation system for forest trees. 27th Southern Forest Tree Improvement Conference, Stillwater, OK, USA: 25–27.
- Muir W. M. 2005. Incorporation of competitive effects in forest tree or animal breeding programs. *Genetics*, 170 (3): 1247–1259.
- Olsson T., Ericsson T. 2002. Genetic parameter estimates of growth and survival of *Pinus sylvestris* with mixed model multiple-trait restricted maximum likelihood analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17: 103–110.
- Piwczyński D. 2009. Parametry genetyczne i wartość hodowlana owiec rasy merynos polski oszacowana metodą BLUP-AM w zakresie wybranych cech użytkowości reprodukcyjnej. *Zeszyty Naukowe Zootechnika*, 37(37): 79–88.
- Rozwałka Z. 2002. Zasady hodowli lasu. Warszawa, DGLP, Warszawa.
- Szujecki A. 2009. Wielkopowierzchniowa ochrona przyrody w lasach państwowych. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej*, 11, 2 (21): 10–16.
- Sabor J. 2002. Czemu służy genetyka leśna. *Głos Lasu*, 1: 5–.
- Ubysz-Borucka L., Mądry W., Muszyński S. 1985. Podstawy statystyczne genetyki cech ilościowych w hodowli roślin. Warszawa, Wydawnictwo SGGW-AR.
- White T. L., Hodge G. R. 1989. Predicting breeding values with applications in forest tree improvement. Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publishers.
- White T. L., Adams W. T., Neale D. B. 2007. Forest genetics. CABI.
- Williams E.R., Matheson A.C., Harwood C.E., 2002. Experimental design and analysis for tree improvement. Melbourne, Csiro. ISBN 0643062599.