

Władysław Barzdajn¹*, Mariusz Jelenewski², Maciej Kuss²

Próba wykorzystania rodowej plantacji nasiennej sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) do testowania drzew matecznych

An attempt of using of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed orchard for plus trees testing purposes

Abstract. Mass plus trees testing may be made only by means of half-sibs family tests. Family orchards are composed of such half-sibs, situated exactly as in the experiments using the complete randomized design method with one-tree plots. In the commercial half-sibs seed orchards the following have been estimated: the breeding value of each of 142 half-sibs as well as half-sibs and individual heritability, phenotypic, genotypic and environmental correlations between height, dbh, stem volume and absolute form factor.

The conclusions resulting from the experiment are as follows. Family seed orchards may be at least partially used for progeny tests purposes, as well as to estimate the genotypic parameters of the trees (families, and provenances, if the families represent different provenances).

The disadvantage of the family seed orchard in the scope of progeny tests purposes is lack of standards to compare and different parental population for each progeny (if plus trees derive from different populations). Family effects may be compared only with a mean that results in selection of particularly valuable families, however there are no unequivocal bases to reject the least valuable. Pines originating from Bory Tucholskie are of such high individual heritability of height, dbh, volume and absolute form factor (0.27–0.31) that selection of these features is purposeful. Family heritability is higher (0.49–0.53) that means that the selection of elite trees (family selection) shall bring more beneficial effects than the selection of trees according to their phenotype (individual selection).

Genotypic correlation of volume and dbh and height shows that the selection focused on height and dbh is simultaneously the selection focused on volume. Genotypic correlation of volume and dbh is higher comparing to correlation of volume and height. No genotypic correlation of volume and dbh has been found that may suggest that these features are inherited independently.

The plus trees are registered in the national register under the following numbers: 3887, 230, 3965, 4984, 3849, 3793, 3868, 3765, 3797, 3855, 1187, 3759, 3850, 1478, 3869, 1485, 3784, 3794 and 3779 and are of significantly high breeding value. Due to young age of the examined progeny this assessment may not be considered final.

Key words: *Pinus sylvestris*, quantitative inheritance, progeny tests, breeding value.

1. Wprowadzenie

Wybór drzew doborowych (matecznych), ich rozmnażanie i produkcja nasion w plantacjach nasiennych nie gwarantują sukcesu w postaci zysku genetycznego, ponieważ wybierane są na podstawie wartości fenotypowej, w której mają udział środowisko i genotyp. Możliwy jest zatem błędny wybór. Korczyk (2002) potwierdził słuszność wy-

boru około połowy testowanych przez siebie drzew doborowych, a około 20% drzew uznanych za doborowe określił jako negatywne. Zysk genetyczny jest możliwy do osiągnięcia tylko wtedy, gdy drzewa doborowe będą miały większą od przeciętnej wartość hodowlaną (genetyczną), a nie tylko wartość fenotypową. Ich wartość hodowlaną można poznać w specjalnie do tego celu założonych doświadczeniach

¹ Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego, Wydział Leśny, Katedra Hodowli Lasu, ul. Wojska Polskiego 69, 60-625 Poznań, ✉: fax 0 61 848 77 34, barzdajn@au.poznan.pl

² Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych, ul. Mickiewicza 9, 87-100 Toruń

genetycznych, nazywanych testami potomstwa. Jeżeli potomstwo drzewa doborowego wyróżnia się spośród potomstwa innych drzew, drzewo doborowe zostaje uznane za elitarne. Wegetatywne i generatywne potomstwo drzew elitarnych służy do zakładania plantacji nasiennych drugiej generacji.

W wypadku drzew leśnych, roślin obcopolnych i szczególnie długowiecznych, ich wartość hodowlaną najlepiej jest oznaczyć na podstawie potomstwa będącego rodzeństwem (z kontrolowanego zapylania) bądź półrodzeństwem (z wolnego zapylania). Prawie niedostępny jest sposób polegający na porównaniu rodziców z potomstwem.

Obowiązująca w Polsce metoda zakładania rodowych plantacji nasiennych, nazywanych w Lasach Państwowych plantacyjnymi uprawami nasinnymi, sprawia, że są one gotowymi doświadczeniami do testowania potomstw. Warunek jest jeden: nie może być pomyłek w oznaczeniu drzew poszczególnych rodów. Jest oczywiste, że porównywać można tylko potomstwa w tym samym wieku.

2. Metodyka

Do próby wykorzystania danych z rodowej plantacji nasiennej pod kątem testowania drzew matecznych wybrano plantację założoną w 1998 roku w Nadleśnictwie Gniewkowo (Obręb Gniewkowo, Leśnictwo Wierzbiczany – wcześniej Wielowieś, oddz. 271 r). W plantacji rośnie potomstwo 142 drzew doborowych z obszaru Borów Tucholskich. W 2005 r. plantację rozrzedzono cięciem schematycznym, wycinając w co drugim rzędzie co drugie drzewo. Drzewa przeznaczone do wycięcia zidentyfikowano pod względem przynależności do rodu oraz zaznaczono na nich strony świata i wysokość 1,3 m. Pomiar krzyżowy pierśnicy oraz wysokości (długości strzały) wykonano po ścięciu drzew. Objętość (miąższość) strzały oszacowano, przyjmując, że przekrój podłużny strzały jest trójkątem równoramiennym, a strzała jest stożkiem. Średnicę podstawy stożka otrzymano przez przedłużenie ramion trójkąta z wysokości 1,3 m na wysokość 0 m. Ze średnicy podstawy i wysokości drzewa otrzymano objętość walca, do którego odniesiono objętość stożka (strzały), otrzymując absolutną liczbę kształtu. Analizie numerycznej poddano więc cztery cechy: wysokość, pierśnicę, objętość strzały i absolutną liczbę kształtu. Łącznie zmierzono 1897 drzew.

Rozmieszczenie rodów w plantacji tworzy doświadczenie założone metodą kompletnej randomizacji, z poltkami jednodrzewowymi, tzn. że każde drzewo należy

traktować jak oddzielną jednostkę eksperymentalną. Analizę danych rozpoczęto więc od jednozmienną analizy wariancji, dla modelu stałego:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

gdzie:

y_{ij} – wartość dowolnej obserwacji

α_i – efekt obiektowy, w tym wypadku i -tego rodu

ε_{ij} – efekt czynników losowych, wewnątrzobiektowych (w tym wypadku związanych z drzewem).

Podstawowym celem tej analizy było oszacowanie fenotypowych efektów rodów. W badaniu chodziło o testowanie konkretnych, wybranych rodów, a nie wylosowanych z populacji, dlatego trzeba było przyjąć model stały. W wypadku wszystkich cech otrzymano w testach F istotne zróżnicowanie obiektów, więc dla wszystkich cech oszacowano parametry α_i i modelu, które są odchyleniami od ogólnej średniej arytmetycznej. Istotność odchylenia od średniej sprawdzono posługując się półprzedziałem ufności dla średnich obiektowych:

$$m = \frac{\sigma \cdot t_{0,05}}{\sqrt{n}}$$

gdzie:

$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ – błąd standardowy średniej obiektowej (dla rodu)

$t_{0,05}$ – wartość krytyczna rozkładu statystyki t Studenta dla n obserwacji i poziomu istotności $\alpha = 0,05$.

Następnie, posługując się już losowym modelem analizy wariancji, oszacowano komponenty wariancji, a z nich odziedziczalność rodową i indywidualną poszczególnych cech:

1) odziedziczalność rodowa jest stosunkiem komponentu rodowego wariancji do wariancji rodowej:

$$h_R^2 = \frac{\sigma_R^2}{\frac{\sigma_\varepsilon^2}{n} + \sigma_R^2}$$

2) odziedziczalność indywidualna jest stosunkiem komponentu rodowego wariancji do 1/4 ogólnej wariancji, na którą składają się wszystkie komponenty:

$$h_I^2 = \frac{\sigma_R^2}{0,25 \cdot (\sigma_p^2 + \sigma_\varepsilon^2)}$$

gdzie:

σ^2 (z indeksami R i ε) oznacza komponent rodowy i komponent błędny,

n jest parametrem związanym z liczebnością rodów; w naszym przypadku $n = 13,3532$.

Komponenty wariancji otrzymano rozwiązując układ równań:

$$MS = \sigma_{\varepsilon}^2 + 13,3532 \cdot \sigma_R^2$$

$$MS_R = \sigma_{\varepsilon}^2,$$

gdzie MS_R i MS_{ε} są średnimi kwadratami dla rodów i dla błędu.

Korelację fenotypową, genetyczną i środowiskową pomiędzy badanymi cechami obliczono posługując się następującymi wzorami (Żuk 1989):

1) współczynnik korelacji fenotypowej:

$$r_p = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2}} = \frac{\text{cov}_{\alpha} + \text{cov}_{\varepsilon}}{\sqrt{(\sigma_{\alpha x}^2 + \sigma_{\varepsilon x}^2)(\sigma_{\alpha y}^2 + \sigma_{\varepsilon y}^2)}}$$

2) współczynnik korelacji genetycznej:

$$r_G = \frac{\text{cov}_{\alpha}}{\sqrt{\sigma_{\alpha x}^2 \cdot \sigma_{\alpha y}^2}}$$

3) współczynnik korelacji środowiskowej:

$$r_E = \frac{\text{cov}_{\varepsilon} - 3\text{cov}_{\alpha}}{\sqrt{(\sigma_{\varepsilon x}^2 - 3\sigma_{\alpha x}^2)(\sigma_{\varepsilon y}^2 - 3\sigma_{\alpha y}^2)}}$$

Wariancje odpowiednich źródeł zmienności to komponenty wzięte z analiz wariancji, a komponenty kowariancji

wzięto z wykonanych analogicznie do nich analiz kowariancji.

Wartość hodowlaną rodów ze względu na badane cechy obliczono posługując się wzorem dla półrodzeństwa (Żuk 1989):

$$g = b(x - \mu)$$

gdzie:

b – współczynnik regresji pomiędzy wartością hodowlaną a wartością fenotypową;

$$b = \frac{2n}{n+a}; \quad a = \frac{4-h^2}{h^2}$$

x – średnia rodowa,

μ – średnia ogólna,

n – liczebność rodu,

h^2 – odziedziczalność indywidualna.

3. Wyniki

Średnie fenotypowe zmierzonych cech zestawiono w tabeli 1. Efekty rodowe, które są odchyleniami od średnich arytmetycznych, oraz wartość hodowlaną rodów zawiera tabela 2. W wielu wypadkach nie można było uznać za istotne nawet znacznych odchyżeń od średniej z powodu małej liczby spostrzeżeń (liczby zmierzonych

Tabela 1. Średnie fenotypowe cech sosen należących do poszczególnych rodów

Table 1. Mean values of phenotypic features of pines half-sibs

Nadleśnictwo Forest district	Drzewo doborowe Plus tree	Liczba zmierzonych drzew No of measurements	Wysokość Height m	Pierśnica DBH cm	Miąższość Volume dm ³	Absolutna liczba kształtu Absolute form factor
1	2	3	4	5	6	7
Czersk	820	14	5,34	10,29	26,55	0,4338
Czersk	1183	14	5,26	10,03	25,03	0,4351
Czersk	1185	14	5,00	9,53	22,81	0,4429
Czersk	1188	13	4,99	10,50	26,86	0,4418
Czersk	1193	10	5,29	10,13	25,48	0,4338
Czersk	1197	15	5,09	10,17	25,91	0,4397
Czersk	1921	15	4,85	9,52	21,84	0,4456
Czersk	3784	14	5,35	10,19	25,76	0,4323
Czersk	821	13	5,20	9,73	23,69	0,4365
Czersk	1199	12	5,25	10,35	26,39	0,4347
Czersk	1187	15	5,49	10,47	27,87	0,4301
Czersk	1191	12	5,07	9,89	24,72	0,4412
Czersk	1196	10	4,86	9,38	21,13	0,4446
Czersk	1198	11	5,14	10,02	25,50	0,4391
Czersk	1922	13	5,17	9,48	22,24	0,4365
Czersk	3785	17	5,00	9,67	23,14	0,4424
Dąbrowa	3884	11	5,04	9,69	22,85	0,4402
Dąbrowa	3886	12	5,14	10,23	25,73	0,4385

1	2	3	4	5	6	7
Tuchola	4955	6	4,68	8,52	18,82	0,4629
Tuchola	4961	14	5,26	9,83	24,02	0,4359
Woziwoda	221	16	4,94	9,35	21,10	0,4424
Woziwoda	230	15	5,51	11,03	30,55	0,4287
Woziwoda	1485	13	5,37	10,52	27,47	0,4319
Woziwoda	1492	14	4,88	9,33	20,90	0,4442
Woziwoda	1495	18	5,15	10,24	25,78	0,4377
Woziwoda	3743	14	5,07	9,89	24,30	0,4402
Woziwoda	3747	13	5,08	9,54	22,40	0,4392
Woziwoda	3751	10	4,76	8,88	18,70	0,4474
Woziwoda	3754	11	4,96	9,52	22,08	0,4424
Woziwoda	3756	14	5,31	9,86	24,07	0,4336
Woziwoda	3758	28	4,78	9,68	22,94	0,4488
Woziwoda	3760	14	4,82	8,98	19,60	0,4479
Woziwoda	3764	14	5,04	9,84	23,73	0,4408
Woziwoda	3766	15	5,06	9,53	22,50	0,4396
Woziwoda	3769	10	5,14	9,35	21,68	0,4376
Woziwoda	3771	13	5,14	9,62	22,64	0,4373
Woziwoda	3774	15	5,08	9,53	22,81	0,4398
Woziwoda	3776	18	5,04	10,11	24,85	0,4406
Woziwoda	3778	15	5,22	10,03	24,72	0,4360
Woziwoda	3780	10	5,17	9,67	22,97	0,4369
Woziwoda	3782	12	4,72	8,31	16,64	0,4521
Woziwoda	3785	17	5,00	9,67	23,14	0,4424
Woziwoda	3787	13	5,23	9,90	24,31	0,4355
Woziwoda	3790	17	5,21	9,89	24,05	0,4359
Woziwoda	3792	13	4,94	9,31	20,95	0,4429
Woziwoda	3794	17	5,33	10,12	25,53	0,4330
Woziwoda	4965	15	5,17	9,90	24,00	0,4368
Woziwoda	4968	13	5,29	10,12	25,60	0,4340
Woziwoda	4970	12	5,21	9,97	24,46	0,4363
Woziwoda	4972	10	4,96	8,62	17,96	0,4423
Woziwoda	4975	8	5,16	9,49	22,19	0,4371
Woziwoda	225	16	4,96	10,41	26,47	0,4440
Woziwoda	1490	14	5,02	9,06	20,18	0,4409
Woziwoda	1493	11	5,00	9,68	22,84	0,4421
Woziwoda	3746	12	5,21	10,01	24,90	0,4363
Woziwoda	3750	13	4,84	9,17	20,54	0,4471
Woziwoda	3753	12	4,98	9,98	24,14	0,4414
Woziwoda	3755	13	5,25	10,31	26,09	0,4352
Woziwoda	3757	19	5,24	10,06	25,12	0,4355
Woziwoda	3759	14	5,44	10,14	25,94	0,4308
Woziwoda	3762	14	4,95	9,70	23,30	0,4441
Woziwoda	3765	30	5,28	10,72	28,38	0,4343
Woziwoda	3767	10	4,93	9,13	19,96	0,4428
Woziwoda	3770	14	5,21	8,71	18,58	0,4360
Woziwoda	3772	12	5,02	10,10	24,83	0,4409
Woziwoda	3775	12	5,09	9,14	20,40	0,4388
Woziwoda	3777	15	5,12	10,11	25,07	0,4379
Woziwoda	3779	14	5,28	10,52	27,34	0,4339
Woziwoda	3781	12	5,20	10,35	26,52	0,4360
Woziwoda	3786	15	5,35	9,92	24,74	0,4336
Woziwoda	3788	11	4,88	8,73	18,86	0,4455
Woziwoda	3791	16	5,06	9,19	21,24	0,4402

1	2	3	4	5	6	7
Dąbrowa	3887	12	5,51	11,26	31,61	0,4290
Dąbrowa	4937	11	5,11	10,05	25,08	0,4391
Dąbrowa	4938	15	4,96	10,03	24,42	0,4423
Dąbrowa	4939	12	5,08	9,98	24,39	0,4396
Dąbrowa	4940	16	5,03	9,95	24,28	0,4413
Dąbrowa	4941	16	5,15	9,89	24,08	0,4380
Dąbrowa	4946	13	5,06	9,48	22,18	0,4405
Przymuszewo	4991	15	5,11	9,75	23,47	0,4386
Przymuszewo	4992	11	5,23	9,74	23,90	0,4367
Przymuszewo	4993	14	5,04	9,88	23,77	0,4399
Przymuszewo	4995	15	5,01	9,47	21,97	0,4414
Przymuszewo	4998	14	4,69	8,88	19,26	0,4511
Przymuszewo	5000	14	5,13	9,48	22,15	0,4377
Przymuszewo	4994	13	5,05	9,17	20,43	0,4396
Przymuszewo	4996	12	4,98	9,45	21,67	0,4419
Przymuszewo	4999	12	5,20	9,29	21,05	0,4357
Przymuszewo	5001	15	5,10	9,87	24,70	0,4421
Różanna	3848	17	5,01	10,13	24,86	0,4406
Rytel	231	16	5,10	9,98	24,77	0,4392
Rytel	1177	18	5,20	10,27	26,07	0,4364
Rytel	1181	15	5,11	10,25	25,78	0,4387
Rytel	1917	15	5,25	10,23	25,83	0,4349
Rytel	3849	13	5,25	10,82	28,98	0,4357
Rytel	3851	17	5,30	9,77	23,72	0,4333
Rytel	3855	15	5,45	10,58	28,11	0,4313
Rytel	3858	14	4,99	9,12	21,06	0,4443
Rytel	3860	16	4,81	9,38	21,32	0,4468
Rytel	3862	23	4,73	8,66	18,19	0,4504
Rytel	3864	13	5,20	9,65	23,02	0,4361
Rytel	3965	10	5,28	10,74	29,11	0,4377
Rytel	4977	11	4,90	9,53	21,79	0,4442
Rytel	4980	12	5,07	9,85	23,89	0,4404
Rytel	4982	6	4,71	9,51	21,96	0,4516
Rytel	4985	14	5,26	10,43	27,04	0,4349
Rytel	1180	16	5,08	9,63	22,91	0,4400
Rytel	1918	14	5,19	10,51	27,08	0,4366
Rytel	3850	15	5,39	9,87	24,16	0,4314
Rytel	3852	9	4,89	8,92	19,35	0,4448
Rytel	3856	14	5,14	9,57	22,39	0,4373
Rytel	3859	9	4,89	9,19	20,82	0,4443
Rytel	3861	14	5,31	10,10	25,34	0,4340
Rytel	3863	6	4,95	9,98	24,72	0,4434
Rytel	3967	4	4,90	9,89	24,26	0,4479
Rytel	4976	11	5,06	9,59	23,09	0,4406
Rytel	4978	15	5,25	10,14	25,28	0,4348
Rytel	4981	12	5,11	9,36	21,71	0,4389
Rytel	4984	12	5,43	10,81	29,02	0,4311
Rytel	4986	12	5,27	9,80	23,92	0,4350
Tuchola	3797	16	5,09	10,73	28,13	0,4388
Tuchola	3801	12	4,87	9,32	21,57	0,4461
Tuchola	4956	11	5,10	9,58	22,69	0,4389
Tuchola	4957	11	5,03	10,07	24,93	0,4408
Tuchola	3799	12	5,28	10,20	25,71	0,4339

1	2	3	4	5	6	7
Woziwoda	3793	14	5,19	10,78	28,66	0,4370
Woziwoda	3795	12	5,12	9,98	24,67	0,4397
Woziwoda	4969	8	5,09	9,18	20,56	0,4389
Woziwoda	4971	4	4,75	8,56	17,99	0,4494
Woziwoda	4974	12	5,25	9,75	23,49	0,4351
Woziwoda	4976	11	5,06	9,59	23,09	0,4406
Zamrzenica	1476	20	5,30	9,96	24,75	0,4342
Zamrzenica	3868	14	5,32	10,73	28,54	0,4330
Zamrzenica	3869	14	5,37	10,18	25,59	0,4322
Zamrzenica	3876	9	4,95	9,55	22,09	0,4424
Zamrzenica	3883	14	5,07	9,49	22,31	0,4396
Zamrzenica	4951	12	5,02	9,24	21,04	0,4410
Zamrzenica	1478	14	5,38	10,31	26,49	0,4316
Zamrzenica	3874	12	5,30	9,76	23,75	0,4336
Zamrzenica	3880	11	5,20	9,86	24,57	0,4369
Zamrzenica	4946	13	5,06	9,48	22,18	0,4405
Zamrzenica	4952	12	5,04	9,58	22,28	0,4398
Sumy lub średnie	–	1897	5,11	9,79	23,73	0,4392
Sums or means						
Poziom istotności α	–	–	$6,45 \times 10^{-11}$	$5,29 \times 10^{-11}$	$4,86 \times 10^{-12}$	$7,26 \times 10^{-10}$
Significance level α						
Współczynniki zmienności średnich	–	–	3,4985	5,4596	11,3268	1,1790
Coefficients of variability						

Tabela 2. Efekty rodowe i wartości hodowlane testowanych rodów. Efekty rodów istotnie różniące się od średniej ogólnej zaznaczono pogrubioną czcionką

Table 2. Families effects and breeding values of progenies tested. For half-sibs effects significant differences with mean are bold marked

Rody Families	Efekty rodów Families effects				Wartości hodowlane Breeding values			
	Wysokość Height	Pierśnica DBH	Miąszość Volume	Absolutna liczba kształtu Absolute form factor	Wysokość Height	Pierśnica DBH	Miąszość Volume	Absolutna liczba kształtu Absolute form factor
1	2	3	4	5	6	7	8	9
820	0,2242	0,4642	2,6570	-0,005077	0,2342	0,4864	2,8741	-0,005109
1183	0,1406	0,2071	1,1375	-0,003788	0,1469	0,2170	1,2304	-0,003812
1185	-0,1165	-0,3001	-1,0863	0,004043	-0,1218	-0,3144	-1,1750	0,004069
1188	-0,1297	0,6749	2,9658	0,002883	-0,1307	0,6822	3,0986	0,002795
1193	0,1732	0,3049	1,5857	-0,005052	0,1519	0,2684	1,4491	-0,004241
1197	-0,0292	0,3449	2,0160	0,000811	-0,0315	0,3733	2,2495	0,000844
1921	-0,2625	-0,3051	-2,0499	0,006738	-0,2833	-0,3301	-2,2874	0,007012
3784	0,2385	0,3678	1,8669	-0,006536	0,2491	0,3854	2,0194	-0,006577
821	0,0849	-0,0981	-0,2032	-0,002428	0,0856	-0,0992	-0,2124	-0,002353
1199	0,1367	0,5208	2,4966	-0,004224	0,1323	0,5055	2,5086	-0,003925
1187	0,3782	0,6416	3,9816	-0,008834	0,4081	0,6943	4,4428	-0,009194
1191	-0,0425	0,0624	0,8247	0,002346	-0,0411	0,0606	0,8287	0,002180
1196	-0,2538	-0,4501	-2,7657	0,005756	-0,2227	-0,3961	-2,5275	0,004832
1198	0,0205	0,1977	1,6076	0,000233	0,0190	0,1833	1,5454	0,000206
1922	0,0588	-0,3443	-1,6520	-0,002378	0,0592	-0,3480	-1,7260	-0,002305

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3785	-0,1129	-0,1515	-0,7531	0,003545	-0,1288	-0,1733	-0,8865	0,003910
3884	-0,0749	-0,1342	-1,0472	0,001269	-0,0693	-0,1244	-1,0067	0,001124
3886	0,0267	0,4041	1,8330	-0,000344	0,0258	0,3923	1,8418	-0,000320
3887	0,3958	1,4374	7,7133	-0,009902	0,3831	1,3953	7,7504	-0,009202
4937	-0,0058	0,2204	1,1851	0,000209	-0,0054	0,2044	1,1393	0,000185
4938	-0,1532	0,2083	0,5242	0,003381	-0,1653	0,2254	0,5850	0,003519
4939	-0,0383	0,1499	0,4945	0,000718	-0,0371	0,1455	0,4969	0,000668
4940	-0,0833	0,1249	0,3854	0,002445	-0,0926	0,1392	0,4422	0,002623
4941	0,0354	0,0624	0,1833	-0,000879	0,0393	0,0696	0,2104	-0,000943
4946	-0,0574	-0,3443	-1,7102	0,001655	-0,0578	-0,3480	-1,7868	0,001604
4991	-0,0078	-0,0717	-0,4216	-0,000306	-0,0085	-0,0776	-0,4704	-0,000318
4992	0,1096	-0,0887	0,0096	-0,002190	0,1013	-0,0823	0,0092	-0,001941
4993	-0,0808	0,0571	-0,1202	0,000971	-0,0845	0,0598	-0,1300	0,000977
4995	-0,1025	-0,3517	-1,9260	0,002546	-0,1106	-0,3806	-2,1492	0,002650
4998	-0,4265	-0,9465	-4,6357	0,012243	-0,4457	-0,9917	-5,0144	0,012320
5000	0,0120	-0,3501	-1,7413	-0,001187	0,0126	-0,3668	-1,8836	-0,001194
4994	-0,0689	-0,6597	-3,4643	0,000745	-0,0694	-0,6668	-3,6195	0,000722
4996	-0,1325	-0,3751	-2,2256	0,002986	-0,1282	-0,3641	-2,2363	0,002775
4999	0,0850	-0,5376	-2,8398	-0,003175	0,0823	-0,5218	-2,8534	-0,002951
5001	-0,0118	0,0416	0,8067	0,003239	-0,0128	0,0450	0,9001	0,003371
3848	-0,1064	0,3014	0,9714	0,001705	-0,1214	0,3448	1,1435	0,001880
231	-0,0177	0,1499	0,8810	0,000330	-0,0197	0,1670	1,0110	0,000354
1177	0,0875	0,4444	2,1775	-0,002534	0,1023	0,5207	2,6231	-0,002867
1181	-0,0072	0,4249	1,8829	-0,000202	-0,0077	0,4598	2,1010	-0,000210
1917	0,1368	0,4016	1,9369	-0,003950	0,1477	0,4346	2,1613	-0,004111
3849	0,1311	0,9903	5,0908	-0,003226	0,1321	1,0009	5,3189	-0,003127
3851	0,1877	-0,0515	-0,1736	-0,005629	0,2142	-0,0590	-0,2044	-0,006209
3855	0,3348	0,7583	4,2189	-0,007545	0,3613	0,8205	4,7077	-0,007853
3858	-0,1265	-0,7072	-2,8335	0,005402	-0,1322	-0,7410	-3,0650	0,005436
3860	-0,3033	-0,4501	-2,5746	0,007874	-0,3370	-0,5014	-2,9545	0,008448
3862	-0,3897	-1,1685	-5,7069	0,011521	-0,5008	-1,5047	-7,5252	0,014391
3864	0,0865	-0,1712	-0,8692	-0,002795	0,0871	-0,1731	-0,9082	-0,002709
3965	0,1672	0,9149	5,2188	-0,001193	0,1466	0,8053	4,7692	-0,001001
4977	-0,2167	-0,2978	-2,1045	0,005325	-0,2004	-0,2762	-2,0231	0,004719
4980	-0,0467	0,0249	-0,0002	0,001522	-0,0452	0,0242	-0,0002	0,001415
4982	-0,4108	-0,3167	-1,9295	0,012750	-0,2622	-0,2030	-1,2946	0,007718
4985	0,1392	0,6035	3,1510	-0,003941	0,1454	0,6323	3,4084	-0,003966
1180	-0,0327	-0,2001	-0,9867	0,001146	-0,0363	-0,2229	-1,1323	0,001230
1918	0,0706	0,6821	3,1853	-0,002264	0,0738	0,7146	3,4455	-0,002279
3850	0,2742	0,0416	0,2696	-0,007526	0,2959	0,0450	0,3009	-0,007833
3852	-0,2292	-0,9084	-4,5431	0,005888	-0,1892	-0,7527	-3,9155	0,004643
3856	0,0256	-0,2536	-1,4982	-0,001542	0,0267	-0,2657	-1,6206	-0,001552
3859	-0,2225	-0,6306	-3,0710	0,005429	-0,1837	-0,5225	-2,6467	0,004282
3861	0,1892	0,2749	1,4486	-0,004911	0,1976	0,2881	1,5669	-0,004942
3863	-0,1642	0,1583	0,8315	0,004515	-0,1048	0,1014	0,5579	0,002733
3967	-0,2183	0,0624	0,3709	0,008997	-0,1040	0,0299	0,1868	0,004038
4976	-0,0540	-0,2387	-0,8053	0,001754	-0,0499	-0,2214	-0,7742	0,001555
4978	0,1348	0,3149	1,3825	-0,004097	0,1455	0,3408	1,5427	-0,004264
4981	-0,0025	-0,4667	-2,1815	-0,000016	-0,0024	-0,4531	-2,1920	-0,000015
4984	0,3183	0,9874	5,1288	-0,007773	0,3081	0,9585	5,1535	-0,007224
4986	0,1558	-0,0209	0,0239	-0,003866	0,1508	-0,0203	0,0240	-0,003593
3797	-0,0233	0,9093	4,2383	-0,000056	-0,0259	1,0130	4,8637	-0,000060
3801	-0,2500	-0,5084	-2,3221	0,007179	-0,2419	-0,4935	-2,3333	0,006672

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4956	-0,0195	-0,2432	-1,2033	0,000002	-0,0180	-0,2256	-1,1568	0,000002
4957	-0,0858	0,2431	1,0347	0,001943	-0,0793	0,2254	0,9947	0,001722
3799	0,1617	0,3708	1,8180	-0,004982	0,1565	0,3599	1,8268	-0,004630
4955	-0,4375	-1,3084	-5,0735	0,024062	-0,2793	-0,8385	-3,4041	0,014565
4961	0,1449	0,0071	0,1259	-0,003030	0,1514	0,0074	0,1362	-0,003049
221	-0,1765	-0,4719	-2,7946	0,003559	-0,1961	-0,5258	-3,2070	0,003818
230	0,3975	1,2049	6,6619	-0,010230	0,4290	1,3039	7,4337	-0,010647
1485	0,2534	0,6942	3,5817	-0,007011	0,2554	0,7016	3,7422	-0,006795
1492	-0,2323	-0,4929	-2,9941	0,005278	-0,2427	-0,5165	-3,2388	0,005311
1495	0,0381	0,4166	1,8823	-0,001217	0,0445	0,4881	2,2674	-0,001376
3743	-0,0458	0,0642	0,4115	0,001302	-0,0479	0,0673	0,4451	0,001310
3747	-0,0405	-0,2866	-1,4951	0,000275	-0,0408	-0,2897	-1,5621	0,000266
3751	-0,3578	-0,9451	-5,1910	0,008550	-0,3139	-0,8318	-4,7439	0,007178
3754	-0,1567	-0,3023	-1,8109	0,003499	-0,1449	-0,2804	-1,7408	0,003101
3756	0,1906	0,0392	0,1721	-0,005325	0,1991	0,0411	0,1862	-0,005358
3758	-0,3355	-0,1501	-0,9579	0,009869	-0,4605	-0,2064	-1,3449	0,013214
3760	-0,2965	-0,8429	-4,2931	0,009031	-0,3098	-0,8832	-4,6439	0,009088
3764	-0,0801	0,0178	-0,1636	0,001876	-0,0837	0,0186	-0,1770	0,001888
3766	-0,0578	-0,2984	-1,3965	0,000712	-0,0624	-0,3229	-1,5583	0,000741
3769	0,0272	-0,4751	-2,2089	-0,001241	0,0238	-0,4181	-2,0186	-0,001042
3771	0,0195	-0,2020	-1,2565	-0,001547	0,0197	-0,2042	-1,3128	-0,001499
3774	-0,0378	-0,2917	-1,0788	0,000952	-0,0408	-0,3157	-1,2038	0,000991
3776	-0,0803	0,2833	0,9599	0,001762	-0,0938	0,3319	1,1563	0,001993
3778	0,0995	0,2016	0,8310	-0,002863	0,1074	0,2182	0,9273	-0,002979
3780	0,0542	-0,1551	-0,9251	-0,001956	0,0475	-0,1365	-0,8454	-0,001642
3782	-0,3992	-1,5126	-7,2518	0,013199	-0,3863	-1,4683	-7,2867	0,012267
3785	-0,1129	-0,1515	-0,7531	0,003545	-0,1288	-0,1733	-0,8865	0,003910
3787	0,1126	0,0711	0,4179	-0,003404	0,1135	0,0719	0,4367	-0,003300
3790	0,0977	0,0632	0,1604	-0,002937	0,1115	0,0723	0,1889	-0,003239
3792	-0,1789	-0,5135	-2,9458	0,004032	-0,1803	-0,5190	-3,0778	0,003908
3794	0,2142	0,2985	1,6386	-0,005866	0,2444	0,3414	1,9287	-0,006471
4965	0,0562	0,0749	0,1090	-0,002050	0,0606	0,0811	0,1216	-0,002133
4968	0,1711	0,2942	1,7039	-0,004930	0,1724	0,2973	1,7802	-0,004779
4970	0,0892	0,1416	0,5659	-0,002546	0,0863	0,1375	0,5687	-0,002366
4972	-0,1518	-1,2101	-5,9319	0,003366	-0,1332	-1,0650	-5,4209	0,002826
4975	0,0404	-0,3313	-1,7060	-0,001803	0,0311	-0,2558	-1,3727	-0,001322
225	-0,1527	0,5812	2,5737	0,005065	-0,1697	0,6475	2,9535	0,005435
1490	-0,1008	-0,7679	-3,7104	0,002055	-0,1054	-0,8046	-4,0135	0,002068
1493	-0,1195	-0,1478	-1,0484	0,003217	-0,1104	-0,1371	-1,0079	0,002851
3746	0,0917	0,1874	1,0097	-0,002611	0,0887	0,1819	1,0146	-0,002426
3750	-0,2728	-0,6558	-3,3552	0,008167	-0,2749	-0,6629	-3,5055	0,007916
3753	-0,1358	0,1499	0,2421	0,002563	-0,1315	0,1455	0,2433	0,002382
3755	0,1372	0,4865	2,1963	-0,003651	0,1383	0,4917	2,2947	-0,003539
3757	0,1242	0,2302	1,2301	-0,003400	0,1484	0,2757	1,5134	-0,003936
3759	0,3277	0,3178	2,0449	-0,008122	0,3424	0,3330	2,2120	-0,008174
3762	-0,1708	-0,1251	-0,5893	0,005167	-0,1785	-0,1310	-0,6374	0,005200
3765	0,1618	0,8983	4,4919	-0,004566	0,2269	1,2615	6,4347	-0,006251
3767	-0,1878	-0,7001	-3,9286	0,003960	-0,1648	-0,6161	-3,5902	0,003325
3770	0,0970	-1,1179	-5,3154	-0,002875	0,1014	-1,1713	-5,7497	-0,002893
3772	-0,0992	0,2791	0,9340	0,002060	-0,0960	0,2709	0,9385	0,001914
3775	-0,0233	-0,6834	-3,4979	-0,000110	-0,0226	-0,6634	-3,5147	-0,000102
3777	0,0068	0,2849	1,1818	-0,001033	0,0074	0,3083	1,3187	-0,001076
3779	0,1627	0,6964	3,4421	-0,005019	0,1700	0,7296	3,7233	-0,005050

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3781	0,0825	0,5208	2,6240	-0,002865	0,0798	0,5055	2,6366	-0,002662
3786	0,2328	0,0983	0,8469	-0,005249	0,2513	0,1063	0,9450	-0,005463
3788	-0,2395	-1,0932	-5,0367	0,006620	-0,2214	-1,0138	-4,8419	0,005867
3791	-0,0552	-0,6344	-2,6483	0,001279	-0,0613	-0,7068	-3,0391	0,001372
3793	0,0720	0,9535	4,7627	-0,001930	0,0752	0,9990	5,1518	-0,001942
3795	0,0058	0,1541	0,7818	0,000811	0,0056	0,1496	0,7856	0,000754
4969	-0,0283	-0,6438	-3,3353	-0,000003	-0,0218	-0,4971	-2,6836	-0,000002
4971	-0,3633	-1,2626	-5,9056	0,010479	-0,1730	-0,6040	-2,9742	0,004703
4974	0,1292	-0,0709	-0,3982	-0,003768	0,1250	-0,0688	-0,4001	-0,003502
4976	-0,0540	-0,2387	-0,8053	0,001754	-0,0499	-0,2214	-0,7742	0,001555
1476	0,1802	0,1299	0,8569	-0,004695	0,2197	0,1588	1,0749	-0,005552
3868	0,2049	0,8999	4,6517	-0,005886	0,2141	0,9429	5,0317	-0,005923
3869	0,2563	0,3499	1,6929	-0,006700	0,2678	0,3666	1,8312	-0,006742
3876	-0,1614	-0,2751	-1,8042	0,003522	-0,1333	-0,2279	-1,5549	0,002778
3883	-0,0444	-0,3358	-1,5852	0,000682	-0,0464	-0,3518	-1,7148	0,000686
4951	-0,0933	-0,5834	-2,8562	0,002153	-0,0903	-0,5663	-2,8699	0,002001
1478	0,2685	0,4892	2,6000	-0,007267	0,2805	0,5126	2,8125	-0,007313
3874	0,1858	-0,0626	-0,1439	-0,005251	0,1798	-0,0607	-0,1446	-0,004880
3880	0,0851	0,0386	0,6725	-0,002007	0,0786	0,0358	0,6465	-0,001779
4946	-0,0574	-0,3443	-1,7102	0,001655	-0,0578	-0,3480	-1,7868	0,001604
4952	-0,0758	-0,24173	-1,6111	0,000872	-0,0734	-0,2347	-1,6189	0,000810

Tabela 3. Korelacje pomiędzy badanymi cechami

Table 3. Correlations between studied features

	Współczynnik korelacji Correlation coefficient	Wysokość – pierśnica Height-DBH	Wysokość – miąższość Height-volume	Wysokość – liczba kształtu Height-form factor	Pierśnica – miąższość DBH-volume	Pierśnica – liczba kształtu DBH-form factor	Miąższość – liczba kształtu Volume-form factor
fenotypowej phenotypic	r_P	0,6564	0,6903	-0,9741	0,9897	-0,6545	-0,6633
genetycznej genetic	r_G	-0,1555	0,4114	–	0,8154	-0,2839	-0,1543
środowiskowej environmental	r_E	0,9890	0,8101	–	1,0650	0,1439	-0,0327

drzew). Ocena rodów wykonana według efektów rodowych i według ich wartości hodowlanej jest bardzo zbliżona. Współczynniki korelacji obu ocen są bardzo wysokie. Dla wysokości współczynnik korelacji wynosi $r = 0,9832$; dla pierśnic $r = 0,9863$; dla miąższości $r = 0,9886$; dla liczby kształtu $r = 0,9732$.

Zjawisko plejotropii genów (wpływania tych samych alleli na różne cechy) jest przyczyną występowania tzw. korelacji genetycznych. Właśnie istotne korelacje genetyczne świadczą o istnieniu plejotropii, co oznacza, że selekcja na określoną cechę będzie jednocześnie selekcją na cechy genetyczne z nią skorelowane. Dlatego korelację fenotypową pomiędzy cechami rozdzielono na komponenty genetyczny i środowiskowy. Odpowiednie współczynniki korelacji zamieszczono w tabeli 3.

Podstawowym parametrem genetycznym jest odziedziczalność, ponieważ na jej podstawie wnioskuje się o możliwościach poprawy wartości cech przez selekcję oraz o metodach selekcji. Odpowiednie współczynniki odziedziczalności zawarte są w tabeli 4, wraz z wartościami komponentów wariacyjnych, służących do ich obliczania. Półprzedziały ufności współczynników odziedziczalności wynoszą: dla wysokości $\pm 0,0031$, dla pierśnic $\pm 0,0032$, dla objętości strzały $\pm 0,0033$ i dla liczby kształtu $\pm 0,0030$. Otrzymane wartości należy uznać za względnie wysokie i wyrównane. Odziedziczalność rodowa jest znacznie wyższa od indywidualnej.

Tabela 4. Komponenty wariancji i odziedziczalność badanych cech

Table 4. Variance components and heritabilities of features studied

Cecha Feature	Komponent dla rodów Family component	Komponent dla błędu Error component	Odziedziczalność	
			indywidualna Individual heritability	rodowa Family heritability
Wysokość Height	0,016062	0,205585	0,2899	0,5106
Pierśnica DBH	0,141371	1,798804	0,2915	0,5121
Miąższość Volume	3,719065	44,201660	0,3104	0,5291
Liczba kształtu Form factor	0,000012	0,000168	0,2698	0,4913

4. Dyskusja

Wszelkie programy hodowlane mające zrealizować cele selekcji (poprawa produktywności, jakości i odporności) muszą opierać się na znajomości zakresu zmienności i dziedziczenia ilościowego rozpatrywanych cech. Do tego służą testy potomstwa osobników, wybranych losowo lub też celowo, w ramach selekcji fenotypowej. Znajomość dziedziczenia ilościowego cech sosny zwyczajnej nie jest wystarczająca, niedostatecznie rozpoznana jest też zmienność genetyczna polskich populacji sosen. Dlatego należy wykorzystywać każdą okazję do zdobycia tej wiedzy. Jedną z możliwości jest użycie do tego celu istniejących obiektów.

Oznaczenie wartości hodowlanej drzew doborowych ma znaczenie dla dalszych etapów selekcji, już na podstawach genetycznych, a nie tylko fenotypowych. W literaturze jest nieco zamieszania terminologicznego. W naszej pracy przyjęliśmy definicje za Żukiem (1989): „Obserwowaną wartość danej cechy osobnika nazywamy [jego] *wartością fenotypową*, natomiast efekt działania poszczególnych genów warunkujących cechę nazywamy *wartością hodowlaną*”. Wartości hodowlanej nie można bezpośrednio zmierzyć, ale można ją oszacować na podstawie obserwacji cech samego ocenianego osobnika lub jego krewnych. Wzór na wartość hodowlaną przytoczono w rozdziale „Metodyka”. Wartość hodowlana jest wielkością powiązaną z efektem rodowym, którym jest odchylenie średnich rodowych od średniej ogólnej. Efekt rodowy należy tylko pomnożyć przez współczynnik regresji (między wartością hodowlaną a wartością fenotypową), który zależy od liczebności rodu i od odziedziczalności.

Pierwszą informacją z Polski dotyczącą odziedziczalności i możliwości selekcji rodowej i indywidualnej, fenotypowej i genotypowej była praca Giertycha (1995), wykonana na 14-letnich sosnach 6 proveniencji, po 7 rodów w proveniencji. Jego doświadczenie jest mode-

lowe, założone specjalnie do oznaczenia parametrów genetycznych i oszacowania spodziewanego zysku genetycznego przy różnych metodach selekcji. Wcześniej w Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku parametry genetyczne oznaczano na podstawie pełnego rodzeństwa, z kontrolowanego zapylenia (Giertych i Mąka 1994, Giertych 1998). Zebrane do tej pory informacje dotyczące parametrów genetycznych (odziedziczalności) polskich populacji sosny przedstawiono w tabeli 5. Wartości tam przedstawione dla takich samych albo podobnych cech nieraz bardzo się różnią. Wynika to z różnego materiału, na którym pracowano, z różnych warunków i różnych metod oznaczania. Giertych (1998) zwrócił uwagę na to, że ten sam materiał doświadczalny daje różne wyniki w różnych latach. Kowalczyk i Gout (2005) podkreślają, że dokładność oznaczania parametrów genetycznych zależy od wielkości ocenianej próby. Możliwe są różnice oznaczenia odziedziczalności z pełnego rodzeństwa i z półrodzeństwa. Ta druga metoda ma tę przewagę nad pierwszą, że jest bardzo łatwa do zastosowania, nawet na dużą skalę. Różnice mogą wynikać także z lokalnych warunków doświadczenia i ze zmienności genetycznej w ocenianych populacjach. Wielkość odziedziczalności jest tym większa, im większe jest zróżnicowanie genetyczne, i jest tym większa, im mniejsze jest zróżnicowanie siedliskowe doświadczenia, w którym się ją oznacza. Dane w tabeli 5 wskazują, że większość cech wzrostowych i jakościowych osiąga wysokie odziedziczalności, co wskazuje na możliwość znacznej poprawy wartości tych cech na drodze selekcji. Wyniki uzyskane przez nas w Gniewkowie całkowicie mieszczą się w zakresach określonych przez innych autorów ramach.

Informacją o znaczeniu użytecznym, którą otrzymaliśmy z danych zebranych w Gniewkowie, jest wartość hodowlana reprezentowanych na plantacji rodów, pod względem pierśnicy, wysokości i miąższości strzały. Liczba kształtu nie będzie raczej przedmiotem selekcji. Rody, których efekty (np. w zakresie miąższości) są

Tabela 5. Odziedziczalność różnych cech sosny zwyczajnej w Polsce

Table 5. Heritability of various features of Scots pine in Poland

Cecha w wieku Feature in age	Odziedziczalność Heritability				Źródło Source
	proweniencyjna provenancea	rodowa family	indywidualna individual		
1	2	3	4	5	6
Wysokość Height	10–20	0,60–0,82	0,48–0,83	0,32–0,50	Korczyk 2002
Pierśnica DBH	10–20	0,36–0,38	0,30–0,83	0,10–0,42	
Przeżywalność Survival	10–20	0,06–0,66	0,06–0,78	0,01–0,25	
Jakość strzały Stem form	10–20	0,18–0,74	0,27–0,74	0,04–0,47	
Wysokość Height	14	0,95	0,40	0,142	Giertych 1995
Pierśnica DBH	14	0,95	0,60	0,275	
Wysokość Height	15	–	–	0,664	Almohamad 1999
Pierśnica DBH	15	–	–	0,210	
Objętość strzały Stem volume	15	–	–	0,336	
Wysokość korony Crown height	15	–	–	0,404	
Liczba roczników igieł Age of needles	15	–	–	0,158	
Grubość gałęzi Branch diameter	15	–	–	0,198	
Smukłość Slenderness	15	–	–	0,499	
Długość szyszek Cone length	15	–	–	0,525	
Grubość szyszek Cone diameter	15	–	–	0,150	
Sucha masa szyszek Cone dry mass	1	–	–	0,493	
Długość igieł Needle length	15	–	–	0,434	
Pierśnica DBH	9	–	0,73	0,65	Giertych i Mąka 1994
Wysokość Height	9	–	0,68	0,54	
Prostość Stem straightness	9	–	0,48	0,25	
Regularna budowa okółka Node regularity	9	–	0,82	1,00	
Występowanie szyszek do 1 r. Female strobiles	9	–	0,86	1,00	
Występowanie szyszek 1 r. 1-year-old cones	9	–	0,00	0,00	
Występowanie szyszek 2 l. 2-year-old cones	9	–	0,00	0,00	
Występowanie szyszek 3 l. 3-year-old cones	9	–	0,00	0,00	

1	2	3	4	5	6
Wielowierzchołkowość Multiple tops	9	–	0,104	0,04	Giertych i Mąka 1994
Silna gałąź pionowa Spike knots	9	–	0,16	0,06	
Brak wierzchołka Dead tops	9	–	0,27	0,11	
Krzywy wierzchołek Diseased tops	9	–	0,00	0,00	
Skrętał sosny Tops with Melamsora	9	–	0,00	0,00	
Pierśnica DBH	22–24	–	0,232–0,923	–	Kowalczyk 2004
Wysokość Height	22–24	–	0,425–0,923	–	
Prostość pnia Stem Straightness	22–24	–	0,089–0,820	–	
Szerokość korony Crown width	22–24	–	0,000–0,725	–	
Grubość gałęzi Branch diameter	22–24	–	0,000–0,866	–	
Wielowierzchołkowość Multiple tops	22–24	–	0,098–0,357	–	
Kąt osadzenia gałęzi Branch angle	22–24	–	0,047–0,846	–	
Kształt korony Crown shape	22–24	–	0,335–0,882	–	
Obecność szyszek Cones	22–24	–	0,591–0,819	–	
Silna gałąź pionowa Spike knots	22–24	–	0,548	–	
Krzywizny u podstawy Basal curvature	22–24	–	0,461–0,773	–	
Dwójki Double stem	22–24	–	0,416	–	
Krzywizny choroby i żery Curvatures diseases and eatings	22–24	–	0,937	–	
Kwitnienie Flowering	22–24	–	0,943	–	
Rozwidlenie pnia Twin stem	22–24	–	0,789	–	
Pierśnica DBH	12–13	–	0,75–0,76	–	Kowalczyk i Gout 2005
Prostość pnia Stem straightness	12–13	–	0,57–0,94	–	
Grubość gałęzi Branch diameter	12–13	–	0,51–0,61	–	
Kąt wyrastania gałęzi Branch angle	12–13	–	0,44–0,50	–	

dotąd, a w tabeli 2 są wyróżnione tekstem wytłuszczonym, można już dziś uznać za elitarne. Natomiast rody, których efekty są ujemne, a w tabeli 2 są również wyróżnione tekstem wytłuszczonym, są istotnie gorsze od średnich i w wypadku dalszej selekcji powinny zostać wybrakowane. Uszeregowanie rodów pod względem ich

wartości hodowlanej jest niemal identyczne, jak pod względem efektów. Wartość hodowlana pozostałych rodów musi zostać oceniona później lub w innych doświadczeniach. Wadą rodowych plantacji nasiennych jako powierzchni doświadczalnych jest brak obiektów porównawczych. Efekty rodów i ich wartość hodowlana są

więc odnoszone do średniej, a nie do drzew porównawczych czy do określonych standardów. Uzyskane dane wystarczą jednak do uszeregowania rodów pod względem ich wartości hodowlanej.

Liczebność poszczególnych rodów w plantacjach także nie jest barierą w wykorzystaniu plantacji jako doświadczeń rodowych. Optymalna (z punktu widzenia minimalizacji wariancji odziedziczalności) wielkość rodziny (półrodzeństwa) powinna wynosić (wg Falconera 1974):

$$n = \frac{4}{h^2}$$

Dla poszczególnych cech liczebności optymalne wynoszą: dla wysokości $n = 13,80$; dla pierśnicy $n = 13,72$; dla objętości strzał $n = 12,89$ i dla liczby kształtu $n = 14,83$. Po zaokrągleniu wartości te wahają się od 13 do 15 drzew. Wartości te można określić dopiero po zakończeniu badań, zatem nie można podobnych doświadczeń dokładnie zaplanować. W opisywanym badaniu dysponowaliśmy liczbą drzew w rodach od 4 do 30, a wartość średnia oszacowana w analizie wariancji wyniosła 13,35. Była więc bliska optymalnej.

Bardzo interesującym spostrzeżeniem w naszych badaniach jest istnienie korelacji między obserwowanymi cechami. Korelacja fenotypowa pomiędzy pierśnicą a wysokością jest oczywiście istotna, lecz po rozłożeniu jej na korelację genetyczną i środowiskową okazało się, że jej składnik genetyczny jest niewielki i nawet zmienił znak (tabela 3). Zaobserwowana korelacja jest więc wynikiem działania środowiska. Upoważnia to do postawienia hipotezy, że wysokość i pierśnica dziedziczą się u badanych sosen niezależnie i że nie ma tu plejotropii genów. To z kolei mogłoby znaczyć, że selekcja na zwiększenie pierśnicy nie wpłynie na zwiększenie wysokości, i odwrotnie. Selekcja na obie te cechy wpłynie na miąższość. Pierśnica wpływa na miąższość silniej od wysokości, na każdym poziomie: fenotypowym, genotypowym i środowiskowym. Selekcja na miąższość strzał w określonym wieku może więc opierać się na selekcji na pierśnicę (współczynnik korelacji genetycznej obu cech wynosi $r_G=0,81$). Liczba kształtu, w tym rozpatrywana przez nas absolutna liczba kształtu, jest miarą wypełnienia strzały. Pomiedzy liczbą kształtu a miąższością zachodzi związek na poziomie fenotypowym. Podobny związek zachodzi pomiędzy liczbą kształtu a pierśnicą. Istotną korelację zaobserwowano pomiędzy liczbą kształtu a wysokością na poziomie fenotypowym i środowiskowym.

W hodowli zwierząt i roślin parametry genetyczne określa się trzema zasadniczymi metodami, z których każda wykorzystuje podobieństwo pomiędzy osobnikami spokrewnionymi (rodzinami) i różnice pomiędzy rodzinami. Pierwsza metoda wykorzystuje podobieństwo (regresję) pomiędzy rodzicami a potomstwem.

Druuga metoda korzysta z podobieństwa osobników wewnątrz pełnego rodzeństwa. Trzecia metoda opiera się na podobieństwie osobników wewnątrz półrodzeństwa, mającego wspólną matkę lub wspólnego ojca (Falconer 1974). W wypadku drzew leśnych jedynie ta trzecia metoda nadaje się do stosowania na szeroką skalę. Określenie zależności 'rodzice – potomstwo' wymaga odroczenia okresu trwania pełnego pokolenia, w porównywalnych warunkach. Długowieczność drzew ogranicza stosowanie tej metody do wyjątkowych przypadków. Porównanie rodzin składających się z pełnego rodzeństwa wymaga kontrolowanego zapyłania, w koronach wybranych drzew lub w plantacjach selekcyjnych. Założenie plantacji selekcyjnej wymaga czasu, lecz można korzystać z istniejących plantacji produkcyjnych. Problem polega na bardzo dużej pracochłonności kontrolowanego zapyłania i braku możliwości przetestowania kilku tysięcy drzew w jednym programie selekcyjnym. Najbardziej obiecujące jest korzystanie z półrodzeństw z wolnego zapylenia. Półrodzeństwo można otrzymać przez zbiór nasion wprost z drzew doborowych. Z takich półrodzeństw składają się właśnie rodowe plantacje nasienne. Mankamentem takiego postępowania jest fakt, że drzewa doborowe występują z reguły w różnych populacjach, i chociaż ojcowie są losowi, to są dla każdego rodu inni. Przez dobór wyrównanej liczby rodów w zdefiniowanych populacjach (drzewostanach nasiennych) można określić także parametry genetyczne tych populacji. Można także korzystać ze szczepów w produkcyjnych plantacjach nasiennych, co sprawia, że poszczególne porównywane rody mają wspólną pulę ojców. Kryje się tu jednak kolejne niebezpieczeństwo. Wśród potomków jednej matki mogą być osobniki będące półrodzeństwem lub pełnym rodzeństwem. Odziedziczalność oszacowana według podobieństwa półrodzeństw będzie wtedy zbyt wysoka.

5. Wnioski

Rodowe plantacje nasienne (plantacyjne uprawy nasienne) przynajmniej w części nadają się do wykorzystania na testy potomstwa, a także do oszacowania parametrów genetycznych rosnących w nich obiektów (rodów, a jeśli rody reprezentują różne proveniencje, także proveniencji).

Wadą rodowych plantacji nasiennych w zakresie wykorzystania do testów potomstw jest brak standardów do porównań i różna pula ojców dla każdego potomstwa (jeśli drzewa doborowe pochodzą z różnych populacji). Efekty rodowe można porównywać tylko ze średnią, co sprawia, że można wskazać na rody szczególnie cenne,

lecz nie ma jednoznacznych podstaw do odrzucenia najgorszych.

Odziedziczalność indywidualna wysokości, pierśnic, miąższości i absolutnej liczby kształtu sosny z Borów Tucholskich jest na tyle wysoka (0,27–0,31), że selekcja na te cechy jest celowa. Odziedziczalność rodowa jest wyższa (0,49–0,53), co oznacza, że wybór drzew elitarnych (selekcja rodowa) przyniesie większe efekty niż wybór najlepszych drzew wg fenotypu (selekcja indywidualna).

Korelacja genetyczna miąższości z pierśnicą i z wysokością wskazuje, że selekcja na wysokość i na pierśnicę jest jednocześnie selekcją na miąższość. Korelacja genetyczna miąższości z pierśnicą jest wyższa niż korelacja miąższości z wysokością.

Nie stwierdzono istnienia korelacji genetycznej wysokości z pierśnicą, co sugeruje, że cechy te dziedziczą się niezależnie.

Jako szczególnie wartościowe (elitarnie) rody można wskazać potomstwo wyróżniające się miąższością i pierśnicą, następujących drzew doborowych: 3887, 230, 3965, 4984, 3849, 3793, 3868, 3765, 3797, 3855. Ponadto dobre wyniki w zakresie miąższości a szczególnie dobre wyniki w zakresie wysokości osiągnęło potomstwo drzew: 1187, 3759, 3850, 1478, 3869, 1485, 3784, 3794, 3779. Ze względu na niski wiek badanych potomstw i możliwość zmian zachodzących z wiekiem ta ocena nie może być ostateczna.

Literatura

- Almohamad B. 1999. Szacowanie charakterystyk genetycznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w rodowych plantacjach nasiennych. Praca doktorska w Katedrze Hodowli Lasu Akademii Rolniczej w Poznaniu.
- Falconer D. S. 1974. Dziedziczenie cech ilościowych. PWN Warszawa, pp. 391.
- Giertych M. 1995. Zmienność rodowa sosny i wybór drzew elitarnych. Arbor. Kórnickie, 40: 55-70.
- Giertych M. 1998. Full-sib Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) progenies differ depending on year when obtained. Symposium "Scots pine breeding and genetics", Lithuania 13–17 September 1994. Proceeding of the IUFRO S.2.02.18: 135-139.
- Giertych M., Mąka A. 1994. Ocena indeksowa dziewięcioletnich rodów sosny (*Pinus sylvestris* L.) z kontrolowanych krzyżówek na plantacji nasiennej. Arbor. Kórnickie, 39: 87-107.
- Korczyk A. 2002. Jakość hodowlana drzewostanów sosnowych oraz wartość hodowlana i genetyczna drzew doborowych i porównawczych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) ośmiu polskich pochodzeń. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Rozprawy i Monografie, 3: 1-125.
- Kowalczyk J. 2004. Comparison of phenotypic and genetic selection in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) single tree plot half-sib progeny tests. Dendrobiology, 53: 45–56.
- Kowalczyk J., Gout R. 2005. Wpływ wielkości próby na dokładność oceny wartości hodowlanej rodów z wolnego zapylenia w doświadczeniach testujących. Leśne Prace Badawcze, 3: 39-50.
- Żuk B. 1989. Biometria stosowana. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, pp. 425.