

Zmienność obradzania szczyków na plantacji nasiennej modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) w Sękocinie Starym

Variability of cone crops in the European larch (*Larix decidua* Mill.) seed orchard in Sękocin Stary

Jan Kowalczyk^{1*} , Izabela Bociek²

¹Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Sękocin Stary, Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn;

²Filia Uniwersytetu Łódzkiego w Tomaszowie Mazowieckim, Uniwersytet Łódzki,
ul. Konstytucji 3 Maja 65/67, 97-200 Tomaszów Mazowiecki

*Tel. +48 22 7150 473, e-mail: J.Kowalczyk@ibles.waw.pl

Abstract. The genetic diversity of seed orchards is assessed by the effective number of clones. The effective number of clones is an indicator that is usually calculated based on the frequency of ramets in the clones. In this study, this parameter was compared by additionally calculating it only for the cone-producing ramets. The aim of this study was to determine the contribution of clones to cone production in the European larch seed orchard in Sękocin Stary in 2022. The cone production of individual clones growing in the seed orchard was analysed. Cones were collected from all larch ramets (trees). Of the 240 trees planted, only 186, representing a total of 40 clones, produced cones. The cones of each tree were counted and weighed individually. It was found that clone no. 19 produced the most cones with a yield of 1,493 cones, representing 8.13% of the total seed orchard. Clone no. 26 produced the lowest yield with only 14 cones from five trees (0.08% share of cone production). Analysis of variance showed the significance of differences between clones for the mean number of cones ($p = 0.0003$) and for the mean cone weight ($p = 0.0002$) for the clones. The effective number of clones was $N_c = 37.97$ for the trees with cones and 39.49 for all trees (originally planted), excluding crops. The relative effective number of clones for trees/ramets with cones was $N_r = 0.95$. Despite a high value of N_r , the clones in the studied seed orchard differed significantly in their contribution to cone crop in 2022. In order not to limit the genetic variability of forest reproductive material from seed orchards, cones should also be collected from trees that produce few cones.

Słowa kluczowe: modrzew europejski, plantacja nasienna, klon, szyszki, efektywna liczba klonów

Keywords: European larch, seed plantation, clone, cones, effective number of clones

1. Wstęp

Modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.) naturalnie tworzy drzewostany głównie w górach, na obszarze wyżyn środkowopolskich i na nizinach. Zazwyczaj występuje jako domieszka w drzewostanie. W statystykach modrzew ujmowany jest wraz z sosną zwyczajną i zajmują 4885 tys. ha, jest to 75,5% powierzchni leśnej Polski (GUS 2023). Jednak udział powierzchniowy modrzewia europejskiego według gatunków panujących nie przekracza od lat 0,1% lasów i w porównaniu do danych z lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku maleje. Według inwentaryzacji przeprowadzonej w początkach lat pięćdziesiątych drzewostany z modrzewiem od III klasy wieku wzwyż zajmowały w kraju ok. 127 000 ha (1,8% powierzchni Lasów Państwowych (Mąkosa 1998). Ostatnie dane wykazują zmniejszenie powierzchni drzewostanów z dominującym udziałem modrzewia w składzie gatunkowym (44 813

ha), (Jankowska i in. 2023). Modrzew to typowy gatunek pionierski, który jest silnie światłoządny, dlatego wymaga otwartych powierzchni do odnowienia. Ten czynnik oraz poprzednio obowiązujące wytyczne postępowania, przyczyniły się do stopniowego zmniejszania się powierzchni naturalnych stanowisk modrzewia (Tyszkiewicz 1931; Rozwałka 2002; Grygier i in. 2011). Pomimo, że jego udział w składzie gatunkowym lasów w Polsce nie przekracza 1%, w Polsce założono 63 plantacje nasienne (PN) (Kowalczyk i in. 2023). Tak duża liczba PN wynika z atrakcyjności tego gatunku dla gospodarki leśnej. Modrzew jest gatunkiem niezwykle plastycznym i daje bardzo dobre przyrosty, oddziałuje również korzystnie na siedlisko (Jankovská, Pokorný 2015; Paques 2013; Kulej 2007; Rożkowski 2000) Jest to gatunek szybko-rośnący i wzbogacający zmienność drzewostanów (Chylarecki 2000). Pomimo tego, że o modrzewiu od dawna dużo się mówi, nie przekłada się to na wzrost jego udziału

Wpłynęło: 4.01.2024 r., zrecenzowano: 29.01.2024 r., zaakceptowano: 17.04.2024 r.

w lasach (Tyszkiewicz 1949). Do dobrego wzrostu wymaga on żyznych gleb. Wprowadzany w uprawach jednostkowo lub grupowo eliminowany jest ze składu gatunkowego w czasie rozwoju drzewostanu, dlatego aby powstały drzewostany z udziałem modrzewia, należy go wprowadzać co najmniej na powierzchniach po 5–10 arów. Jednym z etapów gospodarki leśnej jest produkcja leśnego materiału rozmnożeniowego (LMR). Jest to bardzo ważna część sektora leśnego, ponieważ nasiona są niezbędne do produkcji sadzonek i zakładania upraw siewem. Wybór najlepszych populacji modrzewia dla danego regionu ma kluczowe znaczenie dla zrównoważonej gospodarki leśnej (Chałupka i in. 2011). Modrzew obficie obradza co dwa lata (Załęski 1995), a z jednego hektara plantacji nasiennej można uzyskać do 28 kg czystych nasion modrzewia (Kocięcki 1965; Kowalczyk i in. 2019). Polska znajduje się w czołówce krajów Europy o największych zasobach plantacji nasiennych modrzewia. Prawie wszystkie z nich to plantacje pierwszej generacji, które składają się z fenotypowo wybranych drzew matecznych modrzewia. Nasiona z plantacji nasiennych w Polsce są chętnie kupowane przez zagraniczne firmy nasienne. Badania na plantacjach nasiennych są przeprowadzane już od wielu lat w celu poprawy ich funkcjonowania. Analizowano różną problematykę od możliwego do osiągnięcia zysku genetycznego po produkcję nasion (Bonnet-Masimbert i in. 1998). Z badań wynika, że ważne jest, aby na plantacji nasiennej znajdowała się odpowiednia liczba klonów, co umożliwia wiele losowych krzyżowań szczepów z poszczególnych klonów (Zajączkowski 1993). Duża liczba klonów na plantacji ma również wpływ na wielkość puli genowej oraz na zmniejszone ryzyko powstawania pustych nasion. Zróżnicowanie plantacji nasiennych w pewnym uproszczeniu ocenia się poprzez efektywną liczbę klonów (Kang i in. 2001). Liczba ta jest niejako pochodną „efektywnej wielkości populacji”, która niewątpliwie jest związana z poziomem zmienności gene-

tycznej w badanej populacji. Jest to jedyny wskaźnik podawany w rejestrach opisujący zróżnicowanie i efektywność plantacji, nie jest on jednak miarą zmienności genetycznej na poziomie alleli. Efektywna liczba klonów to wskaźnik zdolności klonów do przekazywania informacji genetycznej swojemu pokoleniu. Liczba klonów jest jednym z najważniejszych czynników genetycznych charakteryzujących zmienność plantacji nasiennych. W Polsce zakłada się plantacje z minimum 40 klonów dla świerka i sosny, dla pozostałych gatunków z minimum 30 (Zarządzenie 2013). Na plantacjach zmienność w zakresie obradzenia jest duża pomiędzy klonami i w ich obrębie (Ulusán, Bilir 2008). Można przyjąć, że różnica pomiędzy wartościami takimi jak początkowa liczba klonów a efektywna liczba klonów jest wyznacznikiem liczby klonów, które nie wyprodukowały nasion. Liczba szczepów przypadająca na dany klon w plantacji nasiennej ma znaczący wpływ na jego udział w produkcji potomstwa. Skład plantacji zmienia się, gdyż szczepy mogą obumierać na skutek niekorzystnych warunków wzrostu i szkodliwych czynników biotycznych lub abiotycznych. Efektywna liczba klonów (N_e) jest więc w pewnym uproszczeniu parametrem określającym różnorodność genetyczną plantacji nasiennej (Trojankiewicz, Burczyk 2005). Efektywna liczba klonów może być zmienna w czasie, zależy to od wydajności plantacji, czyli od tego jaki odsetek szczepów wyprodukował nasiona lub szyszki. W celu obliczenia efektywnej liczby klonów wykorzystywany jest współczynnik zmienności (CV%) dla liczby szczepów reprezentujących wszystkie klony w plantacji nasiennej.

Celem pracy było określenie udziału klonów w produkcji szyszek na plantacji nasiennej modrzewia europejskiego w Sękocinie Starym po 2022 roku. Analizowano produkcję szyszek badanych klonów w plantacji nasiennej. Obliczono efektywną liczbę klonów, wskaźnik który, w pewnym uproszczeniu, wskazuje jaka liczba klonów przekazuje geny



Rycina 1. Widok na plantację nasienną w czasie zbioru szyszek (fot. J. Kowalczyk)
Figure 1. View of a seed orchard during cone harvesting (photo J. Kowalczyk)

rosnących na plantacji drzew (nie uwzględnia się tu pyłku z zewnątrz) do następnego pokolenia.

Przyjęto następujące hipotezy badawcze:

- 1) efektywna liczba klonów obliczona z uwzględnieniem szczepów wytwarzających szyszki będzie mniejsza niż rzeczywista liczba klonów oraz,
- 2) średnia liczba szyszek wytwarzanych przez klony różni się istotnie statystycznie.

2. Metodyka badań

Doświadczalna plantacja nasienna modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) została założona wiosną 2017 r. w Nadleśnictwie Chojnów, leśnictwie Sękocin, oddział 25 g. Plantacja składa się z 40 klonów i 240 szczepów rosnących w więźbie 4×5 m i zajmuje powierzchnię 0,5 ha (Fot. 1). Drzewka zostały posadzone w piętnastu rzędach po szesnaście drzew (kolumn), (Ryc. 1). Typ siedliskowy lasu to – BMśw, typ gleby RDw. Średnia temperatura roczna to $7,6^{\circ}\text{C}$; a długość okresu wegetacyjnego to 215–220 dni (Lorenc 2005).

Badania przeprowadzono w listopadzie 2022 r. Z każdego drzewka (szczepu) oddzielnie zebrano szyszki modrzewia.

Zebrane szyszki dla każdego drzewa oddzielnie zostały polichowane oraz zważone z dokładnością do 0,1 grama na wadze laboratoryjnej. Szyszki ważono po zbiorze, przed posuszeniem, przy wilgotności ok. 40%. Dla wszystkich klonów oraz całej plantacji określono średnią liczbę i masę szyszek z drzewa. Obliczono błąd standardowy średnich.

Istotność różnic pomiędzy średnimi badano wykonując analizę wariancji według modelu całkowicie losowego. Jako powtó-

rze nie przyjęto pojedynczy szczep. W przypadku udowodnienia różnic pomiędzy średnimi, istotność różnic pomiędzy klonami oceniano testem Tukey'a.

Uwzględniając sumę liczby szczepów w klonach oraz liczbę szczepów które miały szyszki, obliczono efektywną liczbę klonów (N_c), która jest wskaźnikiem zróżnicowania genetycznego oraz relatywną efektywną liczbę klonów (N_r), (Kang i in. 2001; Trojankiewicz, Burczyk 2005).

$$N_c = \frac{N}{\left(\frac{CV\%}{100}\right)^2 + 1}$$

$$N_r = N_c/N$$

gdzie:

N – rzeczywista liczba klonów na plantacji

$CV\%$ – współczynnik zmienności $CV\% = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) * 100$

s – odchylenie standardowe

\bar{x} – średnia

15	4097	1848	134	7003	1836	35	1846	1850	7005	134	5	136	22	7006	4099	7004
14	7002	7001	26	1845	7017	22	7004	7000	7001	4079	935	16	4078	7017	7005	133
13	19	4090	4078	1849	33	16	4099	7696	30	1847	1849	19	37	7694	1848	30
12	935	34	4078	1847	37	1833	7694	1848	34	7003	1845	7013	7000	4090	4	34
11	7005	4	1846	30	1850	935	134	26	136	4090	4096	1850	35	7696	7002	7003
10	7696	4099	7004	7000	4096	4097	7006	4	7002	1846	4099	1833	30	4079	1849	1847
9	7013	136	7694	7017	935	1836	4078	5	19	16	7004	133	7001	4097	7017	1845
8	5	4079	7002	22	7005	4090	7696	35	37	30	7005	22	4078	935	19	4099
7	4096	16	34	33	1849	1845	7013	7003	1847	7000	7006	1836	33	5	1846	7013
6	26	4097	7006	30	4099	133	1833	4096	4079	136	34	1850	4	37	26	4097
5	134	1836	7696	35	37	7694	7002	1848	4097	7017	134	4090	7694	30	35	1833
4	19	4090	935	7003	4	7000	26	1836	33	1849	7001	19	1845	16	7004	7006
3	7002	7013	4079	7017	4078	4099	16	22	7005	35	7003	7696	133	7002	1836	1850
2	1847	1848	7001	136	1849	34	1847	1850	7006	4	1833	4078	935	5	136	1848
1	37	1836	7005	4097	33	1846	133	4090	7004	7694	7013	4096	1846	26	22	7000
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

–	– szczep bez szyszek / ramet without cones	–	– brak szczepu / no ramet
---	--	---	---------------------------

Rycina 2. Rozmieszczenie klonów i szczepów modrzewia europejskiego na plantacji nasiennej w Sękocinie Starym. Na osi x i y podano pozycję szczepu. Pozostałe numery to oznaczenia klonów (tożsame z numerami drzew matecznych wg. IBL).

Figure 2. Distribution of European larch clones and grafts at the seed orchard in Sękocin Stary. The x and y axes show the position of the graft. The other numbers are clone numbers (the same as the numbers of plus trees according to IBL register).

3. Wyniki

Na plantacji nasiennej w Sękocinie Starym obrodziło 186 szczepów modrzewia europejskiego co stanowiło 77,5% z 240 początkowej liczby szczepów. Pozostałe 22,5%, czyli w sumie 54 szczepy, nie dało plonu. Powodem tego był brak szyszek na 29 szczepach i brak szczepu na skutek zamarcia (25 szczepów) (Ryc. 2). Dane o całkowitej liczbie szczepów oraz liczbie szczepów, na których były szyszki, liczbę zebranych szyszek i udział procentowy oraz wagę szyszek po 2022 roku zestawiono w Tabeli 1.

Analizując jedynie obecność lub brak szyszek zauważono, że spośród 215 rosnących szczepów aż 29 nie wytworzyło szyszek (Tab. 1). Pełne obradanie zaobserwowano u klonów o numerach: 5, 33, 134, 1845, 1846, 1848 oraz 7003. U tych klonów wszystkie szczepy miały szyszki. Dobrze obrodziły klon o numerach: 16, 26, 133, 1833, 1847, 1849, 4078, 4090, 7002, 7006, 7013, 7694 oraz 7696, tu tylko jeden ze szczepów nie wytworzył szyszek. Średnio obrodziły klon o numerach: 4, 22, 30, 35, 37, 136, 1836, 4079, 4099, 7000, 7001, 7005 oraz 7017 (dwa szczepy bez szyszek). Po trzy szczepy nie obrodziły u klonów o numerach: 34, 1850, 4097 oraz 7004. Szczepy trzech klonów miały tylko po jednej szyszce, są to numery drzew 1845/13/4 (oznaczenie drzewa: 1845 jest to numer klonu, 13/4 – wyznacza pozycję szczepu, 13 to kolumna – x, a 4 to rząd – y), (Ryc. 2), 34/11/6 oraz 26/3/14.

Analizując liczbę szyszek, oceniano 186 szczepów modrzewia europejskiego należących w sumie do 40 klonów. Klon o numerze 19 obrodził najliczniej, przekraczając tym samym aż 8,13%, (Ryc. 3) czyli 1493 szyszki zebrane z plantacji nasiennej. Licznie obrodziły także klon 1845, 4078, których łączna suma dała 22,6%. Najmniej szyszek wytworzył klon 26, na który składało się pięć szczepów. Zebrano z nich jedynie 14 szyszek co stanowiło 0,08% udziału klonów w produkcji szyszek.

Klon 19 dał również najwięcej pod względem wagowym szyszek, 3126,7 g, co dało 10,47%. Cztery klon o numerach 1845, 935, 7694 oraz 33 przekroczyły wynik 5% udziałów w wadze szyszek dając razem 7173,2 g, co łącznie dało wynik 24,03% udziału wagi szyszek poszczególnych klonów z plantacji nasiennej.

Wynik analiz statystycznych dla średniej liczby szyszek zostały przedstawione w Tabeli 4, dla masy szyszek w Tabeli 5. Testem Tukey'a zbadano istotność różnic pomiędzy klonami dla liczby szyszek (Ryc. 4) oraz dla masy szyszek (Ryc. 5).

Spośród 215 szczepów należących w sumie do 40 klonów rosnących w 2022 roku obrodziło 186, z których łącznie zebrano 18360 szyszek, a ich waga wynosiła 29858,3 g. Biorąc pod uwagę tylko te szczepy, które wytworzyły szyszki, czyli 186, to średnio na każdy przypadają 98,7 szyszek. Największy wkład w produkcję szyszek miał klon 19, jego udział wynosił aż 8,13% zebranych szyszek. Na klon 19 składało się łącznie sześć

Tabela 1. Zestawienie liczby szczepów oraz liczby szyszek i ich wagi dla danego klonu

Table 1. Summary of number of ramets and number of cones and their weight for a clone

Numer klonu Clone id	Początkowa liczba szczepów Initial of ramets	Liczba szczepów żywych / z szyszkami Number of ramets alive / with cones	Przeżywalność [%] Survival [%]	Liczba zebranych szyszek (szt) Number of harvested cones (pcs)	Waga szyszek [g] Weight of cones [g]	Średnia liczba szyszek (szt) Average number of cones (pcs)	Średnia masa szyszek (g) Average weight of cones (g)
4	6	6/4	100	414	548,7	103,5	137,18
5	5	5/5	100	81	124,2	16,2	24,84
16	6	5/5	83	245	470,4	49,0	94,08
19	6	6/6	100	1493	3126,7	248,8	521,12
22	6	5/4	83	601	1191,8	150,3	297,95
26	6	6/5	100	14	27,1	2,8	5,42
30	7	5/5	71	282	718,4	56,4	143,68
33	5	5/5	100	811	1693,6	162,2	338,72
34	6	5/3	83	18	16,3	6,0	5,43
35	6	5/2	83	18	18,8	9,0	9,40
37	6	5/4	83	87	152,2	21,8	38,05
133	5	5/4	100	1009	1305	252,3	326,25
134	5	5/5	100	530	818,9	106,0	163,78
136	6	5/4	83	236	517,3	59,0	129,33
935	7	6/7	86	683	1779,5	97,6	254,21
1833	5	4/4	80	575	731,9	143,8	182,98
1836	7	6/5	86	609	1132,4	121,8	226,48
1845	5	5/5	100	1397	1948,6	279,4	389,72
1846	6	6/6	100	588	552	98,0	92,00
1847	6	6/5	100	175	248,6	35,0	49,72
1848	6	6/6	100	147	272	24,5	45,33

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

The Table continues on the next page

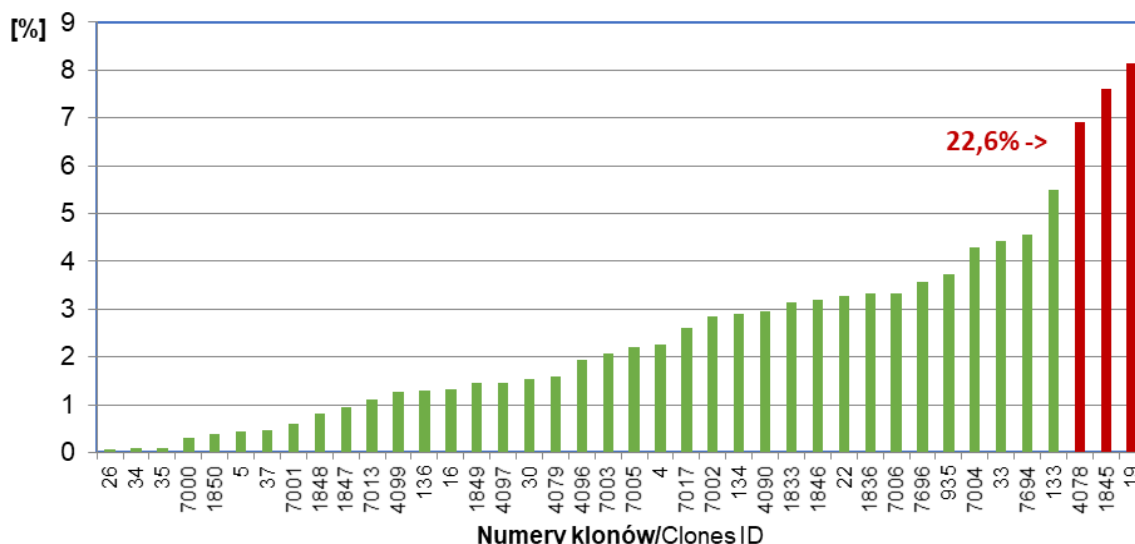
Ciąg dalszy Tabeli z poprzedniej strony

Continuation of the Table from the previous page

Tabela 1. Zestawienie liczby szczepów oraz liczby szyszek i ich wagi dla danego klonu

Table 1. Summary of number of ramets and number of cones and their weight for a clone

Numer klonu Clone id	Początkowa liczba szczepów Initial of ramets	Liczba szczepów żywych / z szyszkami Number of ramets alive / with cones	Przeżywalność [%] Survival [%]	Liczba zebranych szyszek (szt) Number of harvested cones (pcs)	Waga szyszek [g] Weight of cones [g]	Średnia liczba szyszek (szt) Average number of cones (pcs)	Średnia masa szyszek (g) Average weight of cones (g)
1849	6	6/5	100	266	405,6	53,2	81,12
1850	6	5/3	83	70	123,4	23,3	41,13
4078	7	7/6	100	1270	1345	211,7	224,17
4079	5	4/3	80	293	256,3	97,7	128,15
4090	7	6/6	86	540	888	90,0	148,00
4096	5	5/5	100	357	593,5	71,4	118,70
4097	7	6/4	86	268	503,6	67,0	125,90
4099	7	6/5	86	231	404,8	46,2	80,96
7000	6	6/4	100	56	90	14,0	22,50
7001	5	4/3	80	110	220,5	36,7	73,50
7002	7	6/6	86	521	1031,2	86,8	171,87
7003	6	6/6	100	381	497,5	63,5	82,92
7004	6	4/3	67	790	1004,5	263,3	334,83
7005	7	6/4	86	405	539,8	101,3	134,95
7006	6	5/5	83	612	748,1	122,4	149,62
7013	6	6/5	100	204	365,8	40,8	73,16
7017	6	4/4	67	477	748,1	119,3	187,03
7694	6	5/5	83	839	1751,5	167,8	350,30
7696	6	6/5	100	657	946,7	131,4	189,34
Łącznie / Total	240	215/186	90	18360	29858,3	96,3	154,85



Rycina 3. Udział [%] liczby szyszek danego klonu w sumarycznym zbiorze z plantacji

Figure 3. Share [%] of the number of cones of a given clone in the total harvest from the seed orchard

szczepów, które dały kolejno: 33, 111, 118, 194, 175 oraz 231 szyszek. Najmniejszy wkład miał klon o numerze 26. Ze wszystkich jego szczepów zebrano łącznie 14 szyszek, co dało wynik 0,08%. Na klon 26 składało się pięć szczepów,

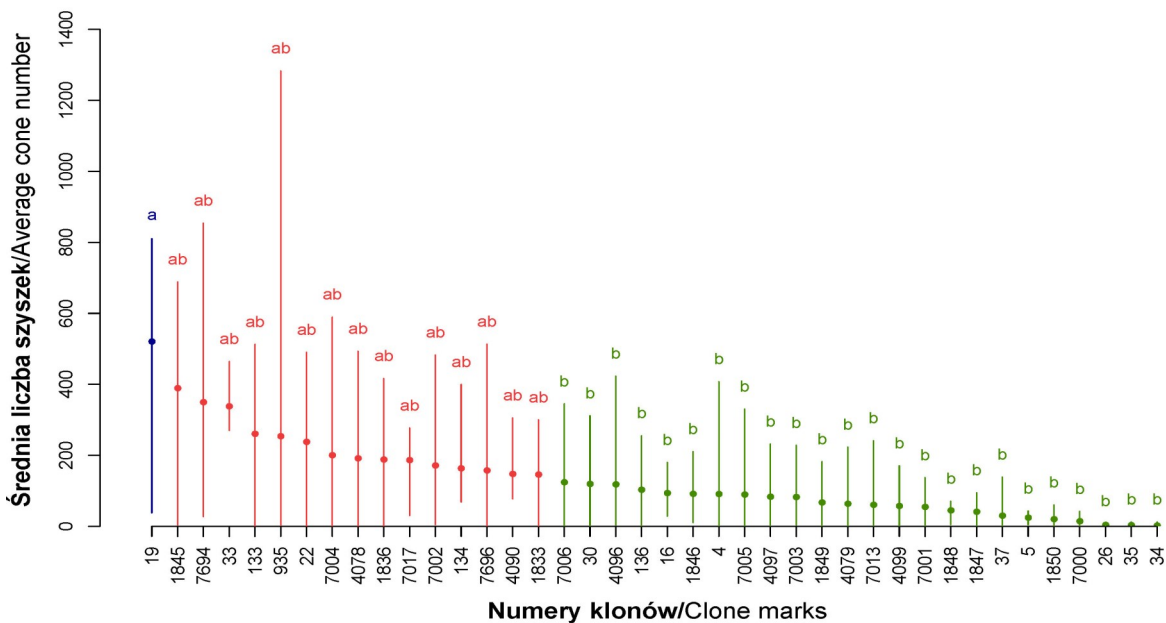
które dały kolejno: 2, 1, 4, 3 oraz 4 szyszki (Tab. 1). Liczba szyszek nie jest całkowicie skorelowana z wagą szyszek. Klon 26 cechujący się najmniejszą liczbą szyszek (14) nie osiągnął najmniejszego wyniku co do ich wagi. Dał on wynik

Tabela 2. Wyniki analizy wariancji określającej istotność różnic między średnimi liczbami szyszek obliczonymi dla badanych klonów.
Table 2. Results of the Anova determining the significance of differences between the mean cone numbers.

Cecha Source of Variation	Stopnie swobody Degrees of Freedom	Suma kwadratów Sum of Squares	Średni kwadrat Mean Squares	Wartość F F Value	Wartość P P Value
Klon Clone	39	973896	24972	2,394	0.0001
Reszta Error	146	1522874	10431	-	-

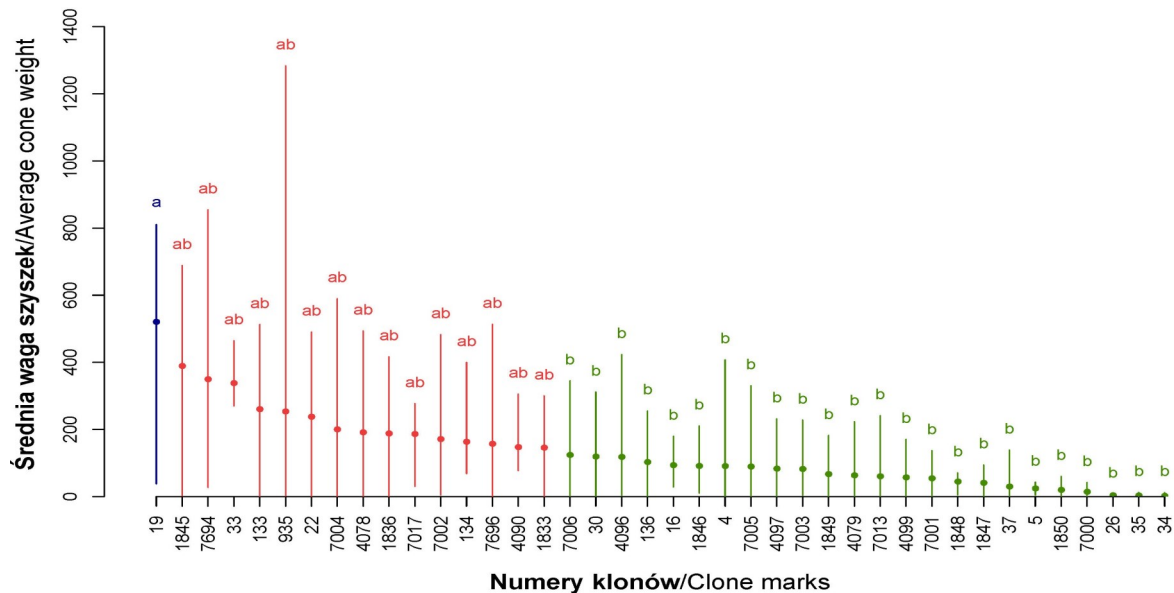
Tabela 3. Wyniki analizy wariancji określającej istotność różnic między średnimi dla masy szyszek obliczonymi dla badanych klonów.
Table 3. Results of the Anova determining the importance of differences between the means for cone weight.

Cecha Source of Variation	Stopnie swobody Degrees of Freedom	Suma kwadratów Sum of Squares	Średni kwadrat Mean Squares	Wartość F F Value	Wartość P P Value
Klon Clone	39	2733933	70101	2,382	0.0001
Reszta Error	146	4266890	29427	-	-



Rycina 4. Wyniki testu Tukey'a dla sumy liczby zebranych szyszek z poszczególnych szczepów dla klonu. Wartości dla klonów połączone tą samą literą nie różnią się statystycznie między sobą.

Figure 4. Tukey's test results for the sum of the number of cones harvested from each graft for a clone. Values for clones linked by the same letter are not statistically different from each other.



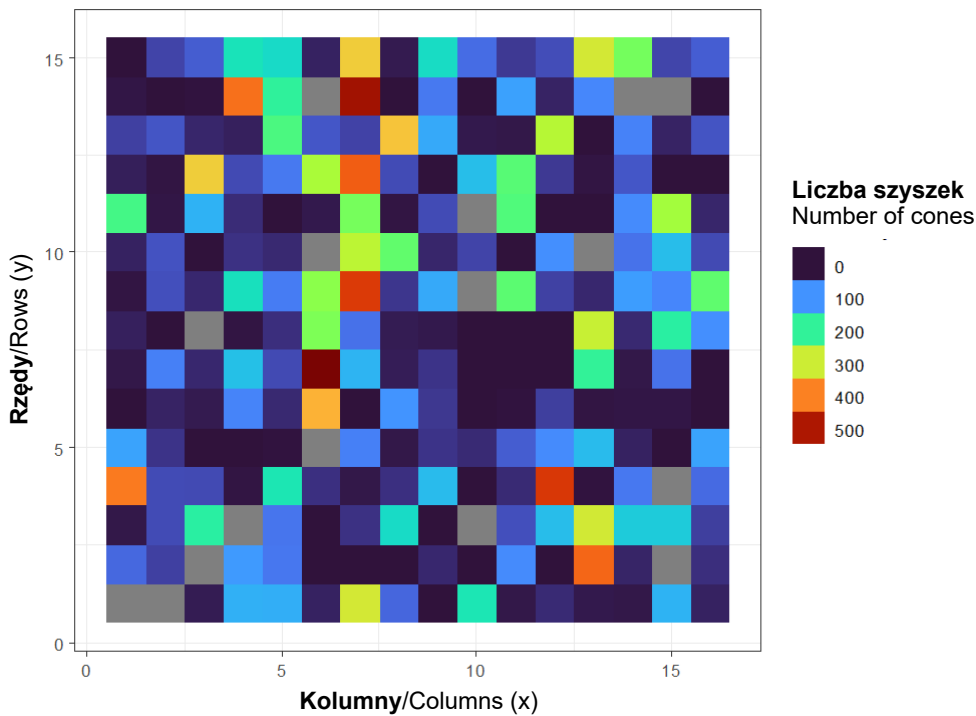
Rycina 5. Wyniki testu Tukey'a dla łącznej wagi szyszek dla szczepów w klonie. Wartości dla klonów połączone tą samą literą nie różnią się statystycznie między sobą.

Figure 5. Tukey's test results for total cone weight for grafts in a clone. Values for clones linked by the same letter are not statistically different from each other.

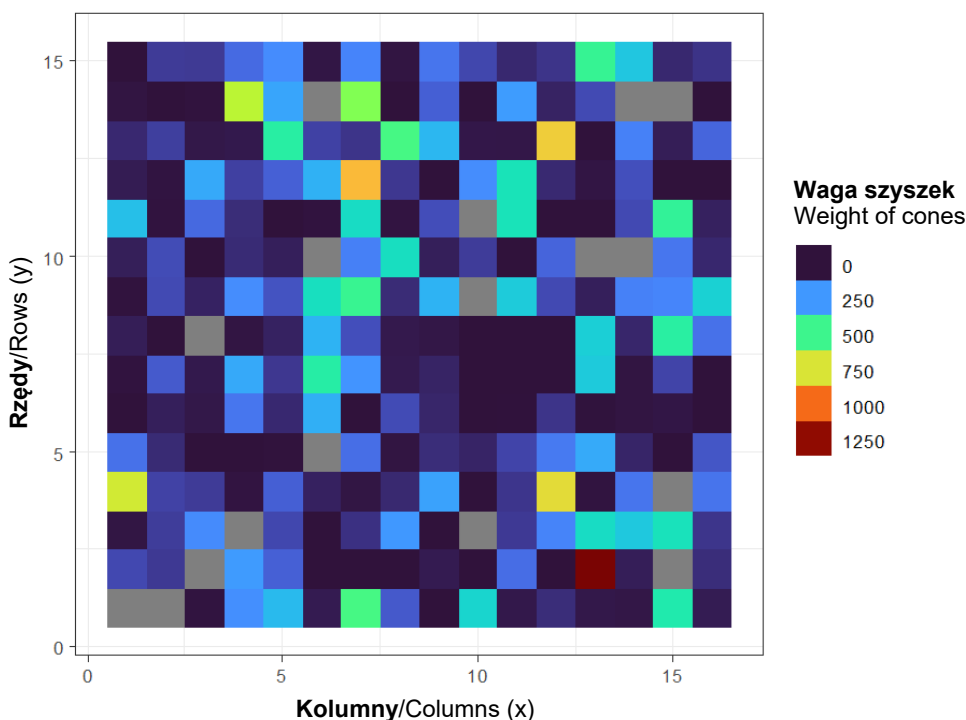
27,1 g. Natomiast klon z numerem 34, z którego pozyskano 18 szyszek osiągnął wagę 16,3 g. Wiąże się to z różnicą wielkości szyszek (Tab. 1). Wyniki analizy wariancji różnic między średnimi liczbami i masą szyszek dla klonów zawierają Tabele 2 i 3.

Średnia liczba i waga szyszek dla klonów nieco inaczej porządkowała klony (Ryc. 4 i 5). Najwięcej szyszek zebrano ze szczepów w klonie o numerze 1845. Klon ten stanowił statystycznie grupę, natomiast klon numer 26 cechował się najmniejszą średnią.

Liczbę i wagę szyszek z każdego szczepu z plantacji nasiennej w Sękocinie Starym przedstawiono graficznie w układzie przestrzennym (Ryc. 6 i 7). Każdy kwadracik symbolizuje jeden szczep (drzewko). Kolorem czerwonym oznaczono szcypy, z których zebrano najwięcej szyszek, natomiast kolorem ciemnogranatowym oznaczono szcypy, które nie miały szyszek. Można zauważyć, że obradanie było rozłożone na całej powierzchni plantacji. Jeden kwadracik symbolizuje masę szyszek



Rycina 6. Graficzna prezentacja stopnia obradania według przyjętej skali liczby szyszek na poszczególnych szczepach.
Figure 6. Graphical presentation of the extent of crop yield according to the scale adopted for the number of cones on individual grafts.



Rycina 7. Graficzna prezentacja stopnia obradania według przyjętej skali wagi szyszek na poszczególnych szczepach.
Figure 7. Graphical presentation of the extent of crop yield according to the scale adopted for the weight of cones on individual grafts.

Tabela 4. Zmienność plantacji nasiennej dla trzech wariantów liczby szczepów w plantacji.

Table 4. Seed orchard variability for three variants of the number of grafts in a seed orchard.

Parametr Parameter	Początkowa (wysadzona) liczba szczepów Initial (planted) number of ramets	Obecna liczba szczepów po 6 latach Current number of ramets after 6 years	Szczepy z szyszkami Ramets with cones
Średnia Mean	6,00	5,78	4,65
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,68	0,73	1,08
Współczynnik zmienności [CV%] Coefficient of variation [CV%]	11,32	13,60	23,13
Efektywna liczba klonów (Nc) The effective number of clones (Nc)	39,49	39,27	37,97
Relatywna efektywna liczba klonów / Relative effective number of clones (Nr)	0,99	0,98	0,95

zebranych z danego drzewa. Żółty kolor oznacza, że tylko jedno drzewo dało wysoki wynik (Ryc. 6).

Uwzględniając 240 (186) szczepów modrzewia europejskiego należących do 40 klonów wykonano obliczenia parametrów opisujących zmienność plantacji uwzględniając początkowy stan plantacji po założeniu (podawany w rejestrach), wszystkie obecnie rosnące szczepy i tylko te które miały szyszki. Efektywna liczba klonów produkujących szyszki obliczona dla plantacji nasiennej modrzewia europejskiego wyniosła $N_c = 37,97$ (Tab. 4).

4. Dyskusja i podsumowanie

Działania mające na celu ochronę zmienności genetycznej populacji oraz selekcję przydatnych dla człowieka populacji i genotypów są stale prowadzone przez leśników (Matras, Pâques 2008). Ograniczone występowanie modrzewia w formie drzewostanów powoduje trudności ze zbiorem nasion. W Polsce zapotrzebowanie to zaspokajają plantacje nasienne, które dostarczają ponad 60% potrzebnych nasion (Lewandowski i in. 2017). Do produkcji szyszek w dużej mierze przyczynia się żyzność gleby (Markiewicz 2007). Szczepy na plantacji nasiennej w Sękocinie Starym zostały rozmieszczone w taki sposób, aby dwa szczepy jednego klonu nie znajdowały obok siebie. Dzięki temu zmienność genetyczna nasion z plantacji nie powinna ulegać zawężeniu. Losowe krzyżowanie się ze sobą różnych klonów daje bardziej zróżnicowane potomstwo oraz zmniejsza ryzyko powstawania pustych nasion. Głównym celem zakładania plantacji nasiennych jest produkcja ulepszonych pod względem genetycznym nasion, dlatego należy dbać o ich izolację. Nie może docierać do niej pyłek z zewnątrz, dlatego gatunki otaczające plantację muszą być inne niż te znajdujące się wewnątrz plantacji (Kowalczyk i in. 2023). Według tych zasad została założona plantacja nasienne w Sękocinie. Jest ona izolowana przez sąsiedztwo drzewostanów sosnowych. Jednak, jaki jest faktyczny udział obcego pyłku w zapyłaniu plantacji, nie wiadomo. Można przypuszczać, że pomimo izolacji, podobnie jak w przypadku innych gatunków (Burczyk i in. 1997; Heuchel i in. 2022; Sønstebø i in. 2018), również w tym przypadku docierał obcy pyłek wzbogacając zróżnicowanie genetyczne plantacji.

Wskaźnik różnorodności wegetatywnej plantacji nasiennej obliczany jest przy pomocy wskaźnika efektywnej liczby klonów (N_c), który jest oparty na zróżnicowaniu liczby szczepów między klonami. Opisuje on pulę genową plantacji. Efektywna liczba klonów wynosiła $N_c = 37,97$ (Tab. 4), oznacza to, iż rzeczywista liczba klonów była większa niż efektywna liczba klonów. Podobne wyniki przedstawiają Trojankiewicz i Burczyk (2005). Zatem pierwsza postawiona hipoteza badawcza, która zakładała, że efektywna liczba klonów obliczona na podstawie szczepów, które wytworzyły szyszki, była mniejsza niż rzeczywista liczba klonów, została potwierdzona. Biorąc pod uwagę rzeczywistą liczbę klonów znajdujących się na plantacji nasiennej, oszacowano jaka część szczepów będzie miała udział w produkcji szyszek, dało to rzeczywisty wynik, a nie tylko oparty na początkowej liczbie szczepów w klonach jak w cytowanej pracy (Trojankiewicz, Burczyk 2005).

Wykazano, że średnia liczba szyszek różni się statystycznie pomiędzy klonami. Druga założona hipoteza została potwierdzona. Dane zebrane w listopadzie 2022 roku dostarczyły ważnych informacji dotyczących obradzenia modrzewia europejskiego na plantacji nasiennej w Sękocinie Starym. Badaniom poddano szyszki, jednak nie uwzględniano w tej pracy nasion pozyskiwanych z tych szyszek. W przypadku niektórych genotypów liczba pełnych nasion w szyszkach jest bardzo zróżnicowana (Kosiński 1987; Bonnet-Masimbert i in. 1998; Slobodník, Guttenberger 2005). Dlatego wyniki obradzenia oceniane jedynie na podstawie liczby szyszek i ich wagi mogą być niepełne i wymagają uzupełnienia o wydajność pełnych nasion z szyszek. Nie zaobserwowano wytwarzania przez szczepy jednego klonu takiej samej liczby szyszek. Liczba wytworzonych przez nie szyszek różni się w niewielkim stopniu. Może to być spowodowane różnym stopniem nasłonecznienia, który ma wpływ na zawiązywanie się pąków (Wilczyński i in. 2014). Asynchroniczne obradzenie plantacji nasiennych było opisywane dla sosny zwyczajnej (Burczyk 1997; Danusevičius 1987), świerka pospolitego (Nikkanen, Ruotsalainen 2000; Sønstebø i in. 2018), jak i innych gatunków drzew leśnych (Bilir i in. 2004). Badania prowadzono również na plantacjach nasiennych modrzewia (Burczyk i in. 1997; Shufen i in. 2022), wszystkie badania wskazują, że zdolność produkcji nasion drzew leśnych w plantacjach nasiennych zależy od terminu kwitnienia i wielkości koron u poszczególnych klonów oraz stosowanej stymulacji

obradzania. Rytm produkcji nasion wykazują dużą różnorodność. Niektóre osobniki plonują często, podczas gdy inne raczej rzadko (Markiewicz, 2007; Mencuccini i in. 1995). Kwitnienie klonów jest asynchroniczne i ma niekorzystny wpływ na zapylanie krzyżowe. Jak sugeruje (Danusevičius 1987), kwitnienie można synchronizować poprzez zastosowanie genetycznie podobnych podkładek, lecz nasze badania wykazały jednoznacznie, że decydujący tu jest wpływ genotypu w porównaniu do podkładki.

W naszych badaniach nie zauważono ścisłego związku między liczbą i wagą szyszek u klonów. Przykładowo, klon 26 cechujący się najmniejszą liczbą szyszek (14) nie osiągnął najmniejszego wyniku co do ich wagi, a klon 34, z którego pozyskano 18 szyszek, osiągnął wagę 16,3 g. Wynika to z różnej wielkości szyszek. Jak wykazują niektóre badania, wagowa klasyfikacja nasion miała duży wpływ na strukturę genetyczną zarodków. Zarodki z nasion ciężkich były bardziej heterozygotyczne niż zarodki z nasion lekkich (Szmidt 1987).

Jak wynika z literatury, jest wiele czynników wpływających na efektywność plantacji nasiennych oraz metod i technik, które można zastosować w celu poprawy kwitnienia i produkcji nasion u gatunków iglastych. Na kwitnienie i plony nasion u drzew iglastych wpływają: dostępność pyłku, temperatura, światło, dostępność wody, poziom składników odżywczych w glebie. W celu poprawy obradzania opracowano szereg technik, w tym ogławianie, przycinanie i formowanie koron, nawożenie, zabiegi hormonalne, dodatkowe zapylanie itp. (Li i in. 2021). Badania powinny uwzględniać również naturalne zróżnicowanie obradzania pomiędzy klonami. Wyniki takich badań mogą być przydatne dla zarządców lasów do zwiększenia efektywności plantacji.

5. Wnioski

- 1) Na plantacji nasiennej w Sękocinie Starym klony modrzewia europejskiego charakteryzowały się dużą zmiennością obradzania w 2022 r., aby poznać lepiej trendy co do obradzania należy prowadzić obserwacje w dłuższym okresie czasu.
- 2) Badania zostały przeprowadzone na stosunkowo młodej plantacji nasiennej, mającej w 2022 roku sześć lat. Można więc przypuszczać, że wraz z rozwojem drzew w następnych latach, udział klonów w produkcji szyszek będzie się zmieniał.
- 3) Aby nie zawężać zmienności genetycznej leśnego materiału rozmnożeniowego, należy zbierać szyszki również z tych klonów, które wytwarzają ich niewiele.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Wkład autorów

J.K. – opracowanie koncepcji badań, analizy statystyczne, zestawienie wyników i dyskusja; I.B. – wykonanie prac terenowych, zestawienie danych, przygotowanie wstępu do pracy.

Literatura

- Bilir N., Kang K.S., Zang D., Lindgren D. 2004. Fertility variation and status number between a base population and a seed orchard of *Pinus brutia*, *Silvae Genetica* 53(1–6): 161–163.
- Bonne-Masimbert M., Baldet P., Paques L.E., Philippe G. 1998. From flowering to artificial pollination in larch for breeding and seed orchard production, *The Forestry Chronicle* 74(2): 195–202. DOI: 10.5558/tfc74195-2.
- Burczyk J., Nikkanen T., Lewandowski A. 1997. Evidence of an unbalanced mating pattern in a seed orchard composed of two larch species, *Silvae Genet* 46: 176–181.
- Burczyk J. 1997. Flowering and cone production variability and its effect on parental balance in Scots pine clonal seed orchard, *Annals of Forest Science* 54: 129–144.
- Chałupka W. i in. 2011. Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew w Polsce na lata 2011–2035. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Shufen Ch., Ishizuka W., Unno Y., Kusunoki K., Goto S. 2022. Pollen dispersal patterns and male reproductive success based on pedigree reconstruction in a hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) open-pollinated seed orchard, *Tree Genetics & Genomes* 18(5): 1–11.
- Chylarecki H. 2000. Modrzewie w Polsce. Dynamika wzrostu, rozwój i ekologia wybranych gatunków i ras. Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań.
- Danusevičius J. 1987. Flowering and seed production of clones and their stimulation in seed orchards, *Forest Ecology and Management* 19(1–4): 233–240.
- Grygier P., Mroziński P., Artych P. 2011. Zasady hodowli lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- GUS. 2023. Rocznik Statystyczny Leśnictwa, A. Kawalko (red.). Główny Urząd Statystyczny, Warszawa. ISSN: 2956-8366. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-lesnictwa-2023,13,6.html> (dostęp 28.12.2023)
- Heuchel A., Hall D., Zhao W., Gao J., Wennström U., Wang X.R. 2022. Genetic diversity and background pollen contamination in Norway spruce and Scots pine seed orchard crops, *Forestry Research* 2(1), 1–12.
- Jankovská V., Pokorný P. 2015. Native occurrence of larch (*Larix*) in Central Europe: Overview of currently available fossil record, w: S. Sázlová, M. Novák, A. Mizerová (red.) *Forgotten times and spaces: New perspectives in paleoanthropological, paleoetnological and archeological studies*. s. 80–90. Masaryk University. Brno. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-7781-2015-7.
- Jankowska A., Sagan J., Potocki M. 2023. The Identification of the Abundance of European Larch Trees in Polish Forests, *Forests* 14(8): 1642.
- Kang K.S., Harju A.M., Lindgren D., Nikkanen T., Almqvist C., Suh G.U. 2001. Variation in effective number of clones in seed orchards, *New Forests* 21.
- Kocięcki S. 1965. Plantacje nasienne ze szczepów – zakładanie i prowadzenie, *Sylwan* 109(1): 51–63.
- Kosiński G. 1987. Empty seed production in European larch (*Larix decidua*), *Forest Ecology and Management* 19(1–4): 241–246.
- Kowalczyk J., Chałupka W., Banach J., Skrzyszewska K., Bystrowski C., Lewandowski A., Burczyk J., Urbaniak L., Chudzińska E., Lewandowska-Wosik A., Chmura J.D. 2023. Plantacje nasienne drzew leśnych w Polsce. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Kowalczyk J., Matras J., Wojda T., Rzońca M., Guziejko A., Bystrowski C., Kantorowicz W., Przyborowski J., Garbień-Pieniążkiewicz D., Burczyk J., Chybicki I., Chmura D., Rożkowski R., Lewandowski A., Litkowiec M., Barzdajn W., Kowalkowski W., Skrzyszewska K., Banach J., Urbaniak L. 2019. Ocena potencjału produkcyjnego plantacji i plantacyjnych upraw nasiennych i optymalizacja ich wykorzystania w planowaniu hodowlanym. Dokumentacja naukowa. Instytut Badawczy Leśnictwa Sękocin Stary. https://tbr.lasy.gov.pl/apex/apex_util.get_blob?s=640133437866&a=102&c=14119844708833545&p=3&k1=4392&k2=&cck=Mg_FRQvR9zH5c2dCb4gK69veHPcanpdiR7ApGx6EzclymrxxTqXAmxjUgOP8E62wHYt8Qfkub_iTjxkqz-

- LA&rt=CR (dostęp 3.01.2024)
- Kulej M. 2007. The genetic-silvicultural value and capability of adaptation of polish provenances of larch under conditions of the Beskid Sądecki mountains (Southern Poland). Integrated research activities for supply of improved larch to tree planting: tree improvement, floral biology and nursery production Proceedings/Actes Saint-Michel-des-Saints and Québec City, September 16–21, 2007 LARIX 2007: International Symposium of the IUFRO Working Group S2.02.07 (Larch Breeding and Genetic Resources), 59–65.
- Lewandowski A., Kowalczyk J., Litkowiec M., Urbaniak L., Rzońca M. 2017. Wybór elitarnych drzew matecznych sosny zwyczajnej i modrzewia europejskiego do założenia plantacji nasiennych 1,5 generacji, *Sylwan* 161(11): 917–926.
- Li Y., Li X., Zhao M.H., Pang Z.Y., Wei J.T., Tigabu M., Chiang V.L., Sederoff H., Sederoff R., Zhao X.Y. 2021. An Overview of the Practices and Management Methods for Enhancing Seed Production in Conifer Plantations for Commercial Use, *Horticulturae* 7(8). DOI: 10.3390/horticulturae7080252.
- Lorenc H. 2005. Atlas klimatu Polski. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Markiewicz P. 2007. Problems with seed production of European larch in seed orchards in Poland. Proceedings from a conference at Umeå, Umeå. s. 26–28.
- Matras J., Pâques L. 2008. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European Larch (*Larix decidua*). Bioversity International. EUFORGEN, Rome. 6 s.
- Makosa K. 1998. Występowanie modrzewia w lasach oliwskich, *Sylwan* 142(4): 99–103.
- Mencuccini M., Piussi P., Sulli A.Z. 1995. Thirty years of seed production in a subalpine Norway spruce forest: Patterns of temporal and spatial variation, *Forest Ecology and Management* 76 (1–3): 109–125.
- Nikkanen T., Ruotsalainen S. 2000. Variation in flowering abundance and its impact on the genetic diversity of the seed crop in a Norway spruce seed orchard, *Silva Fennica* 34: 205–222. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17056909> (dostęp 15.03.2024)
- Paques L.E. (red.) 2013. Forest Tree Breeding in Europe. Current State-of-the-Art and Perspectives. Springer, Dordrecht, 527 s. DOI: 10.1007/978-94-007-6146-9.
- Rożkowski R. 2000. Proweniencje modrzewia dla Polski, *Sylwan* 144(01): 87–107.
- Rozwałka Z. 2002. Zasady hodowli lasu. DGLP, Warszawa.
- Shufen Ch., Ishizuka W., Unno Y., Kusunoki K., Goto S. 2022. Pollen dispersal patterns and male reproductive success based on pedigree reconstruction in a hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) open-pollinated seed orchard, *Tree Genetics & Genomes* 18(5): 1–11.
- Słobodnik B., Guttenberger H. 2005. Zygotic embryogenesis and empty seed formation in European larch (*Larix decidua* Mill.), *Annals of Forest Science* 62(2): 129–134. DOI: 10.1051/forest:2005004.
- Sønstebø J.H., Tollefsrud M.M., Myking T., Steffenrem A., Nilsen A.E., Edvardsen Ø.M., Johnskås O.R., El-Kassaby Y.A. 2018. Genetic diversity of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seed orchard crops: Effects of number of parents, seed year, and pollen contamination, *Forest Ecology and Management* 411: 132–41. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.01.009.
- Szmidt A.E. 1987. Genetic composition of seed orchard crops, *Forest Ecology and Management, Flowering and seed-bearing in forest seed orchard* 19(1): 227–32. DOI: 10.1016/0378-1127(87)90031-4.
- Trojankiewicz M., Burczyk J. 2005. Efektywna liczba klonów na plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), *Sylwan* 149(11): 50–58.
- Tyszkiewicz S. 1931. Z badań nad polskim modrzewiem, *Sylwan* 49 (01): 43–75. <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-be64d039-f416-4649-b5af-13f4b0852ef6> (dostęp 15.03.2024)
- Tyszkiewicz S. 1949. Nasiennictwo Leśne. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa, 358 s.
- Ulusan M.D., Bilir N. 2008. Effective Number of Clones in Seed Orchards of *Cedrus libani* A. Rich, *Pakistan Journal of Biological Sciences* 11(17): 2159–2162.
- Wilczyński S., Szymański N., Wertz B., Muter E. 2014. Wpływ wieku na odpowiedź przyrostową drzew na czynnik klimatyczny na przykładzie modrzewia europejskiego, *Studia i Materiały CILP w Rogowie* 40(3): 253–264. https://cepl.sggw.edu.pl/wp-content/uploads/sites/75/2021/08/SIM_40_Wilczynski_Szymanski_Wertz_Muter.pdf (dostęp 1.05.2024)
- Zajączkowski J. 1993. PLANTAGRAF – numeryczna metoda projektowania plantacji nasiennych, *Sylwan* 137(6): 49–54.
- Załęski A. (red.). 1995. Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat. Warszawa. ISBN 83-85597-27-1.
- Zarządzenie 2013. Zarządzenia nr 29 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 21 marca 2013 r. (znak: ZH-7132-7/2013) w sprawie ochrony leśnych zasobów genowych na potrzeby nasiennictwa i hodowli drzew leśnych, *Biuletyn Informacyjny Lasów Państwowych* 5(245), poz. 3.