

Olesia Witowska<sup>1</sup> ✉, Ewa Aniśko<sup>1</sup>, Andrzej Załęski<sup>1</sup>

## Wpływ warunków podsuszania nasion modrzewia europejskiego, daglezi zielonej i sosny górskiej przeznaczonych do długookresowego przechowywania na ich żywotność

The effect of drying seeds of European larch, Douglas-fir and mountain pine foreseen for a long-term storage on their viability

**Abstract.** The aim of the research was (1) to establish the minimal water content level in seeds of selected coniferous tree species (Douglas-fir, European larch and mountain pine) to which seeds can be dried without losing their germination viability and (2) to develop the technique for gradual seed drying that does not cause damage to and maintain the viability of seeds. The research results show that safe moisture level to which the natural moisture of seeds can be reduced is 4 per cent for Douglas-fir and mountain pine seeds and 4.5 per cent for European larch seeds. The maximal temperature at which the vitality of tested seeds is maintained is 35°C for mountain pine, 40°C – for European larch and 45°C – for Douglas-fir.

**Key words:** seed moisture content, germination viability, *Pseudotsuga douglasii* Carr, *Larix decidua* Mill., *Pinus mugo* Turro.

### 1. Wstęp

Zachowanie wartości użytkowej materiału siewnego po długotrwałym przechowywaniu zależy od spowolnienia tych procesów życiowych nasion, które prowadzą do zmniejszenia ich masy organicznej i utraty zdolności kiełkowania. Do zabiegów ograniczających aktywność życiową nasion, oprócz wyeliminowania wymiany gazowej z otoczeniem, ograniczenia dopływu światła i umieszczenia w chłodnym miejscu, należy również obniżenie ich wilgotności. Podsuszenie nasion jest warunkiem przetrzymywania ich w niskich temperaturach.

Dotyychczasowa znajomość dopuszczalnego poziomu odwodnienia nasion ma charakter orientacyjny, a podawane wartości wilgotności są rozbieżne. W działaniu gospodarczym zachowuje się na ogół daleko idącą ostrożność i stosuje się delikatne suszenie nasion w strumieniu lekko podgrzanego powietrza. Takie postępowanie wystarczające jest do poprawnego przechowywania nasion przez niezbyt długi okres, w temperaturze

zbliżonej do 0°C lub nieco niższej. Przechowywanie długookresowe, prowadzone w bardzo niskiej temperaturze, szczególnie w bankach genów, wymaga bardziej precyzyjnego określenia krytycznego poziomu zawartości wody w nasionach, który zależy od odporności nasion na odwodnienie.

Odporność na utratę wody wydaje się być uniwersalnym potencjałem ewolucyjnym nasion i może być znacząco różna dla poszczególnych gatunków, a także dla poszczególnych osobników w obrębie gatunku, a nawet dla tkanek u poszczególnych osobników. Nasiona uzyskują odporność na podsuszenie podczas rozwoju, lecz gdy kiełkują, tracą tę odporność w ciągu kilku godzin (Alpert et Oliver 2002). Oczywiście zaletą odporności nasion na odwodnienie jest możliwość przeżycia okresów suszy i dalszego rozwoju.

Według Bewley'a (1979) tkanka roślinna odporna na odwodnienie powinna ograniczać zagrożenie odwodnienia do poziomu odwracalności, podtrzymywać jedność fizjologiczną również w stanie odwodnionym, a

<sup>1</sup> Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, Poland; ✉ Fax +48 22 7150313; O.Witowska@ibles.waw.pl

podczas powtórnego nawadniania uruchamiać mechanizmy naprawiające uszkodzenia powstające podczas podsuszania i ponownej rehydratacji.

Według Bewley'a i Olivera (1992) komórki roślin odporne na odwodnienie mają mechanizmy, które chronią te komórki przed zewnętrzną utratą wody, oraz mechanizmy, które naprawiają szkody wyrządzone podczas wysuszenia i ponownego nawodnienia. Na reakcję tkanek na odwodnienie wpływa prędkość podsuszania, długość okresu, w jakim tkanki pozostają w stanie wysuszonym, a także sposób rehydratacji i naprawy powstałych uszkodzeń (Kermode et Finch-Savage 2002).

Do oszacowania uszkodzeń powstałych na skutek podsuszania stosowane są różne techniki badawcze. Najbardziej powszechnym badaniem jest kiełkowanie, a także pomiar wypływu elektrolitu z komórki, szeroko wykorzystywany w przypadku oceny małych nasion. Zaletą tej ostatniej metody jest jej prostota i szybkość. Badano też szereg biochemicznych oraz biofizycznych reakcji na odwodnienie – aktywność antyoksydantów (Tommasi et al. 1999), akumulację białek LEA (Finch-Savage et al. 1994), produkcję etylenu, oddychanie i syntezę białek (Salmen Espinola et al. 1994).

Celem prowadzonych badań było określenie dopuszczalnych minimalnych progów zawartości wody w nasionach wybranych gatunków drzew iglastych (daglezji zielonej, modrzewia europejskiego i sosny górskiej), poniżej których partia materiału siewnego zaczyna tracić zdolność kiełkowania.

## 2. Materiał i metody

Badaniami objęto nasiona 5 partii nasion daglezji zielonej (*Pseudotsuga douglasii* Carr.), 16 partii nasion modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) i 13 partii nasion sosny górskiej (*Pinus mugo* Turra). Badano nasiona zebrane w 2–3 sezonach w latach 2002–2005, a w każdym sezonie – co najmniej z dwóch różnych regionów kraju.

Partie szyszek sosny górskiej pozyskiwane były przez pracowników Zakładu Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych IBL. Nasiona jedlicy i szyszki modrzewia przysłane zostały przez wyluszczarne.

### Podsuszanie nasion

Nasiona badanych gatunków iglastych podlegały wstępnemu suszeniu już w procesie łuszczenia szyszek. Szyszki modrzewia łuszczono w temperaturze 30°C, natomiast szyszki sosny górskiej otwierały się już przy sztucznym nadmuchu powietrza o temperaturze pokojowej (20–24°C).

Intensywne suszenie materiału siewnego przeprowadzono powietrzem częściowo odwodnionym o

temperaturze 20–60°C w szafie suszarniczej firmy BCC. Podsuszanie w szafie BCC prowadzono etapowo, podwyższając temperaturę suszenia po upływie każdych 24 godzin o 5 lub 10°C. W trakcie każdego etapu suszenia kontrolowano zakres wilgotności suszącego powietrza, jaką można było uzyskać w szafie BCC przy danej temperaturze. Po zakończeniu każdego etapu suszenia pobrano próbki nasion do określenia ich wilgotności i żywotności i do przechowania.

### Przechowywanie nasion

Próbki nasion wszystkich badanych gatunków, pobrane przed suszeniem i po zakończeniu kolejnych etapów suszenia, umieszczono w hermetycznie zamkniętych torebkach z 3-warstwowej folii Alufol i złożono do przechowania w chłodni w temperaturze +3°C.

Po każdym roku przechowania badana była żywotność nasion. W drugiej połowie ostatniego roku doświadczenia zbadano żywotność nasion:

- sosny górskiej i modrzewia ze zbioru 2002/2003, przechowywanych przez 3,5 roku,
- sosny górskiej, modrzewia i daglezji ze zbioru 2003/2004, przechowywanych przez 2,5 roku,
- sosny górskiej, modrzewia, daglezji ze zbioru 2004/2005, przechowywanych przez 1,5 roku.

### Oznaczanie wilgotności nasion

Wilgotność nasion ( $W_g$ ) określono jako procentowy udział wody w świeżej masie próbki, według wzoru:

$$W_g = \frac{M_w - M_g}{M_w} \times 100\%$$

gdzie:

$M_w$  – masa próbki przed suszeniem,

$M_g$  – masa próbki po suszeniu.

Zawartość wody mierzona była ubytkiem masy próbki w wyniku jej wysuszenia w 105°C. Używano do tego celu wago-suszarki Mettler PM 480.

Wilgotność nasion suszonych w szafie BCC oznaczano przed rozpoczęciem suszenia (wariant kontrolny) i po każdym etapie suszenia, w dwóch powtórzeniach. Za ostateczny wynik pomiaru wilgotności przyjęto średnią z dwóch powtórzeń.

### Oznaczanie żywotności nasion

Żywotność próbek nasion pobranych przed suszeniem (kontrolnych), a następnie po zakończeniu kolejnych etapów suszenia, badano w zależności od gatunku następującymi metodami:

- kiełkowanie na bibule,
- kiełkowanie na bibule po teście przyspieszonego postarzania,
- oznaczanie współczynnika wypływu elektrolitu z nasion metodą konduktometryczną.

Kielkowanie na podłożu z bibuły prowadzono w 4 powtórzeniach (4×100 nasion), w stałej temperaturze 24±1°C. Nasiona sosny górskiej, modrzewia i jedlicy wysiewano na kielkownikach Jacobsena ze sztucznym doświetlaniem w ciągu dnia przez 8 godzin. Do określenia energii kiełkowania sosny i modrzewia liczono prawidłowo skielkowane nasiona po 7 dniach, a zdolności – po 14 dniach. W przypadku nasion daglezi energię określano po 14 dniach, a zdolność kiełkowania po 28. Namoczone przed wysiewem nasiona daglezi poddane były stratyfikacji polegającej na umieszczeniu ich przez 21 dni w temperaturze +3°C.

Nasiona sosny górskiej, modrzewia i daglezi, poddane stresowym warunkom przyspieszonego postarzenia, wysiewano równolegle z nasionami niepostarzonymi sztucznie, również 4×100 sztuk. Zastosowano test podobny do tego, jaki wypróbował Machaniček (1981). Polegał on na przetrzymaniu nasion sosny i świerka przed wysiewem przez 95 godzin w temperaturze podwyższonej do 40–41°C, przy wilgotności powietrza zwiększonej do 90–100%. Obserwacje energii i zdolności kiełkowania nasion poddanych testowi przyspieszonego postarzenia prowadzono tak jak nasion niepostarzanych, po 7 i 14 dniach dla sosny górskiej i modrzewia oraz po 14 i 28 dniach dla jedlicy. Różnica udziału nasion skielkowanych między próbkami poddanymi powyżej opisanym warunkom stresowym i niepoddanymi testowi postarzenia, jest miarą wrażliwości nasion na ten test.

Badania konduktometryczne przeprowadzono według zmodyfikowanej metodyki Leinonen (1998). Za miarę uszkodzeń błon komórkowych przyjęto współczynnik wpływu elektrolitu z nasion (P), określony według wzoru:

$$P = \frac{P_1}{P_2} \times 100\%$$

gdzie:

$P_1$  – przewodność roztworu wodnego po 24 godzinach moczenia nasion, w  $\mu\text{S cm}^{-1}/\text{g}^{-1}$ ,

$P_2$  – przewodność roztworu wodnego po całkowitym zniszczeniu błon komórkowych nasion, w  $\mu\text{S cm}^{-1}/\text{g}^{-1}$ .

Badania przewodności przeprowadzono w 4 powtórzeniach. Wielkość próbek cząstkowych dla poszczególnych gatunków wynosiła 1 g.

### Statystyczne opracowanie wyników

Analizy zdolności kiełkowania pomiędzy próbkami nasion pobranymi przed suszeniem (kontrolnych) i po wysuszeniu, w różnej temperaturze do różnych poziomów wilgotności prowadzono oddzielnie dla każdego gatunku i roku zbioru. Istotność różnic pomiędzy średnimi badano za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancyjnej (ANOVA) i porównania przedziałów

ufności. Jedno źródło zmienności stanowiła temperatura suszenia nasion, a drugie – czas przechowywania nasion. Wyniki opracowano matematycznie za pomocą programu komputerowego „Statistica”. W analizach statystycznych zastosowano przekształcenia wartości procentowych za pomocą wzoru:

$$y = \arcsin \sqrt{\%}$$

## 3. Wyniki badań

### Daglezja zielona

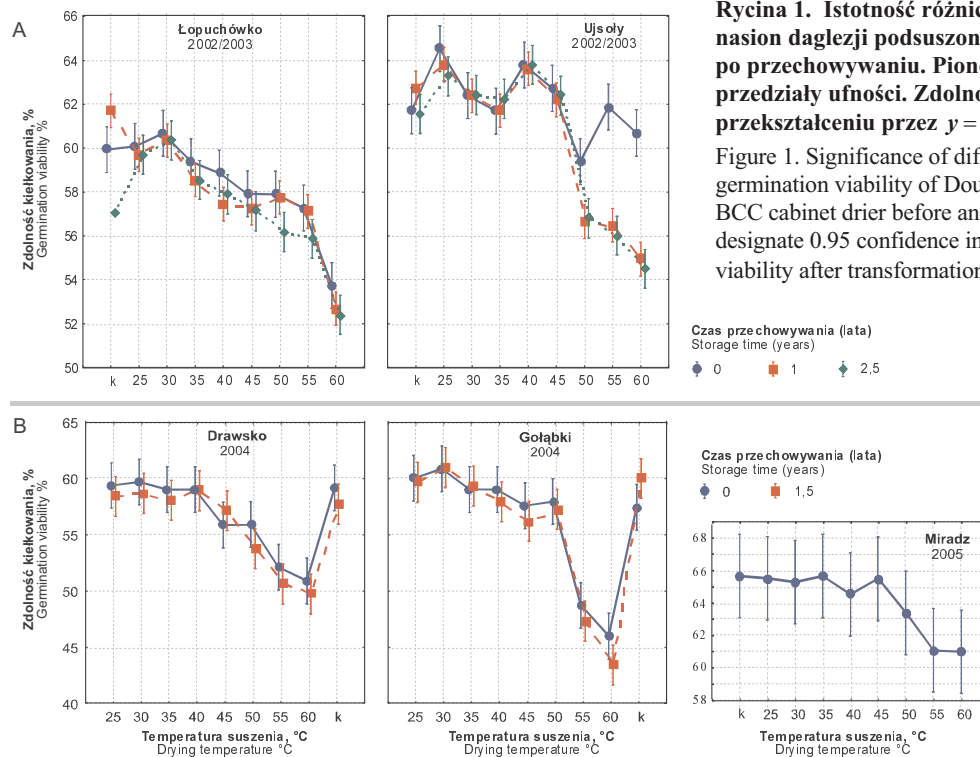
Do pierwszej serii badań pobrano 2 partie nasion daglezi ze zbioru 2003 r. o różnej wilgotności początkowej – 9,0% (Łopuchówko) i 5,3% (Ujsoły), lecz zbliżonej, wysokiej (I klasa) zdolności kiełkowania – 75 i 78% (tab. 1). Nasiona tych 2 pochodzeń różniły się natomiast znacznie pod względem odporności na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzenia – nasiona z Ujsoł były znacznie odporniejsze. W ostatnim etapie suszenia, powietrzem o temperaturze 60°C i wilgotności względnej 0,3–0,4%, udało się obniżyć zawartość wody w nasionach do 2,3% (Łopuchówko) i 1,6% (Ujsoły). Analiza statystyczna wykazała, że w trakcie zabiegu suszenia istotny spadek zdolności kiełkowania nastąpił tylko w przypadku nasion z Łopuchówka i to dopiero w ostatnim etapie suszenia (60°C) (ryc. 1).

Odporność obydwu partii nasion na test przyspieszonego postarzenia zmniejszyła się wyraźnie po wysuszeniu ich w temp. 55°C i obniżeniu wilgotności do 2,4–2,6%. Nasiona daglezi wysuszone w temp. wyższej od 45–50°C, o zawartości wody niższej od 2,7%, gorzej się przechowywały – nastąpił u nich wyraźny spadek zdolności kiełkowania w porównaniu z najbardziej żywotnymi próbkami mniej intensywnie podsuszanych. Analiza statystyczna udowodniła tę prawidłowość tylko w przypadku pochodzenia Ujsoły. W przypadku nasion z Łopuchówka większa była zmienność wyników po 1 i 2,5 roku przechowania (ryc. 1A).

W drugiej serii badań suszono 2 partie nasion pozyskane w 2004 r. (Drawsko i Gołąbki) o zbliżonej wilgotności początkowej (9,0 i 8,5%) i zbliżonej zdolności kiełkowania (74 i 71%) w granicach I kl. żywotności, a także charakteryzujące się podobną odpornością na test przyspieszonego postarzenia (tab. 2). Różne było natomiast tempo oddawania wody i odporność na wysuszenie. Udowodniono statystycznie, że zdolność kiełkowania nasion obniżyła się istotnie po wysuszeniu ich w 55°C i osiągnięciu wilgotności na poziomie 3,2% (Drawsko) lub 2,0% (Gołąbki). W przypadku bardziej wrażliwego na podsuszanie pochodzenia Drawsko istotny spadek żywotności nastąpił w

**Tabela 1. Żywotność nasion dęglizji zielonej (zbiór 2003 r.) podsuszanych w szafie BCC przed i po przechowywaniu**  
**Table 1. Viability of Douglas-fir (collection time 2003) dried in BCC cabinet drier before and after storage**

Pochodzenie nasion Seed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kielkowanie nasion Seed germination (%)			Obniżenie zdolności kiełkowania nasion po teście postarzenia Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wypływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)		
			przed przechowa- niem before storage	po przechowywaniu after storage			przed przechowywaniem before storage		po przechowywaniu przez 2,5 roku after storage for 2.5 years
				przez 1 rok for 1 year	przez 2,5 roku for 2.5 years		niepostar- zanych before ageing	postarzanych after ageing	
Łopuchówko	Kontrola	9,0	75	77	70	16	9,7	11,5	9,5
	25	6,2	75	75	75	17	9,8	11,4	9,8
	30	5,4	76	76	76	16	9,5	11,8	9,6
	35	4,6	74	73	73	18	9,6	12,3	9,9
	40	3,5	73	71	72	18	10,0	13,7	9,8
	45	3,3	72	71	71	18	9,3	13,8	9,6
	50	2,7	72	72	69	21	9,9	16,2	10,0
	55	2,6	71	71	69	28	9,8	15,3	10,1
60	2,3	65	63	63	28	10,0	16,6	9,9	
Ujsoły	Kontrola	5,3	78	79	77	0	9,7	10,7	10,1
	25	4,0	82	81	80	0	9,8	10,6	9,9
	30	3,9	79	79	79	0	9,5	10,8	9,7
	35	3,5	78	78	78	0	9,5	10,9	9,6
	40	3,1	80	80	81	0	9,7	11,4	9,5
	45	2,7	79	78	79	0	10,6	10,8	9,6
	50	2,4	74	70	70	0	10,7	10,6	10,8
	55	2,0	78	70	69	9	10,6	10,7	10,6
60	1,6	76	67	66	10	11,1	11,0	11,0	



**Rycina 1. Istotność różnic w zdolności kiełkowania nasion dęglizji podsuszanych w szafie BCC przed i po przechowywaniu. Pionowe słupki oznaczają 0,95 przedziały ufności. Zdolność kiełkowania po przekształceniu przez  $y = \arcsin \sqrt{v}$**

Figure 1. Significance of differences between the germination viability of Douglas-fir seeds dried in the BCC cabinet drier before and after storage. Vertical bars designate 0.95 confidence intervals. Germination viability after transformation  $y = \arcsin \sqrt{v}$

**Tabela 2. Żywotność nasion dąglezji zielonej (zbiór 2004 r.) podsuszanych w szafie BCC przed i po przechowaniu**  
 Table 2. Viability of Douglas-fir (collection time 2004) dried in BCC cabinet drier before and after storage

Pochodzenie nasion Seed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kielkowanie nasion Seed germination (%)		Obniżenie zdolności kiełkowania nasion po teście postarzenia Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wypływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)		
			przed przechowaniem before storage	po przechowaniu przez 1,5 roku after storage for 1.5 years		przed przechowywaniem before storage		po przechowywaniu przez 1,5 roku after storage for 1.5 years
						niepostarzonych before aging	postarzanych after aging	
Drawsko	kontrola	9,0	74	72	0	12,0	12,1	14,9
	25	6,7	74	73	0	13,0	13,4	12,6
	30	5,8	75	73	0	13,3	12,4	12,5
	35	5,6	74	72	1	11,7	12,8	12,2
	40	4,9	74	73	0	14,3	15,1	12,5
	45	4,0	69	71	2	15,0	15,0	12,7
	50	3,4	69	65	7	14,9	14,8	13,5
	55	3,2	62	60	12	15,0	15,2	15,4
	60	2,6	60	58	13	14,8	15,3	13,9
Gołębki	kontrola	8,5	71	75	3	10,7	12,2	10,6
	25	5,9	75	75	5	10,6	11,5	10,7
	30	4,9	76	77	6	10,7	11,3	10,5
	35	4,2	74	74	7	10,5	11,7	10,7
	40	3,4	74	73	10	10,3	12,8	10,5
	45	2,5	73	72	10	10,6	13,9	10,6
	50	2,5	72	71	9	11,0	15,1	10,8
	55	2,0	57	54	11	11,3	15,5	11,2
	60	1,8	52	47	15	12,5	15,9	12,4

**Tabela 3. Żywotność nasion dąglezji zielonej (zbiór 2005 r.) podsuszonych w szafie BCC**  
 Table 3. Viability of Douglas-fir (collection time 2005) dried in BCC cabinet drier before and after storage

Pochodzenie nasion Seed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kielkowanie nasion Seed germination (%)	Obniżenie zdolności kiełkowania nasion po teście postarzenia Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wypływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)	
					niepostarzanych before aging	postarzanych after aging
Miradz	kontrola	6,5	83	1	10,0	10,1
	25	5,5	83	2	10,0	10,1
	30	5,3	83	0	9,9	9,8
	35	4,7	83	0	10,3	10,2
	40	3,6	82	1	9,8	10,1
	45	2,8	83	5	10,7	10,8
	50	2,4	80	3	10,6	10,8
	55	1,8	77	3	10,8	10,7
	60	1,8	77	5	10,7	10,7

przechowywanej przez 1,5 roku próbce nasion wysuszonych w temp. 50°C do wilgotności 3,4% (ryc. 1B).

Nasiona dąglezji z Nadl. Miradz, pozyskane w 2005 r. do 3 serii badań, okazały się bardzo odporne na podsuszanie (tab. 3). Niewielkie zmniejszenie żywotności tych nasion obserwowano w próbce wysuszonej w 55°C do wilgotności 1,8%, ale istotność różnicy nie została udowodniona statystycznie (ryc. 1B).

### *Modrzew europejski*

W pierwszej serii badań podsuszanie nasion z szyszek modrzewia zebranych zimą 2002/2003, prowadzono w 2 terminach. We wcześniejszym terminie (początek lutego) podsuszano nasiona 3 partii: Łuków I, Kaczory I i Kaczory II, a w późniejszym terminie (koniec marca) – 2 partii: Łuków II i Lidzbark. Nasiona



podszuszane we wcześniejszym terminie miały przed suszeniem wilgotność dwukrotnie większą (10–12%) niż nasiona podszuszone w drugim terminie (ok. 5,5%). Natomiast w pierwszym terminie były dużo lepsze

warunki do suszenia i nasiona dużo szybciej traciły wodę. Wilgotność względna suszącego powietrza w szafie BCC w temp. 30°C wynosiła ok. 7% w terminie pierwszym i ok. 13% w terminie drugim, dlatego już w

**Tabela 4. Żywotność nasion modrzewia europejskiego (zbiór 2002/2003) podszuszonych w szafie BCC przed i po przechowywaniu**

Table 4. Viability of European larch (collection time 2002/2003) dried in BCC cabinet drier before and after storage

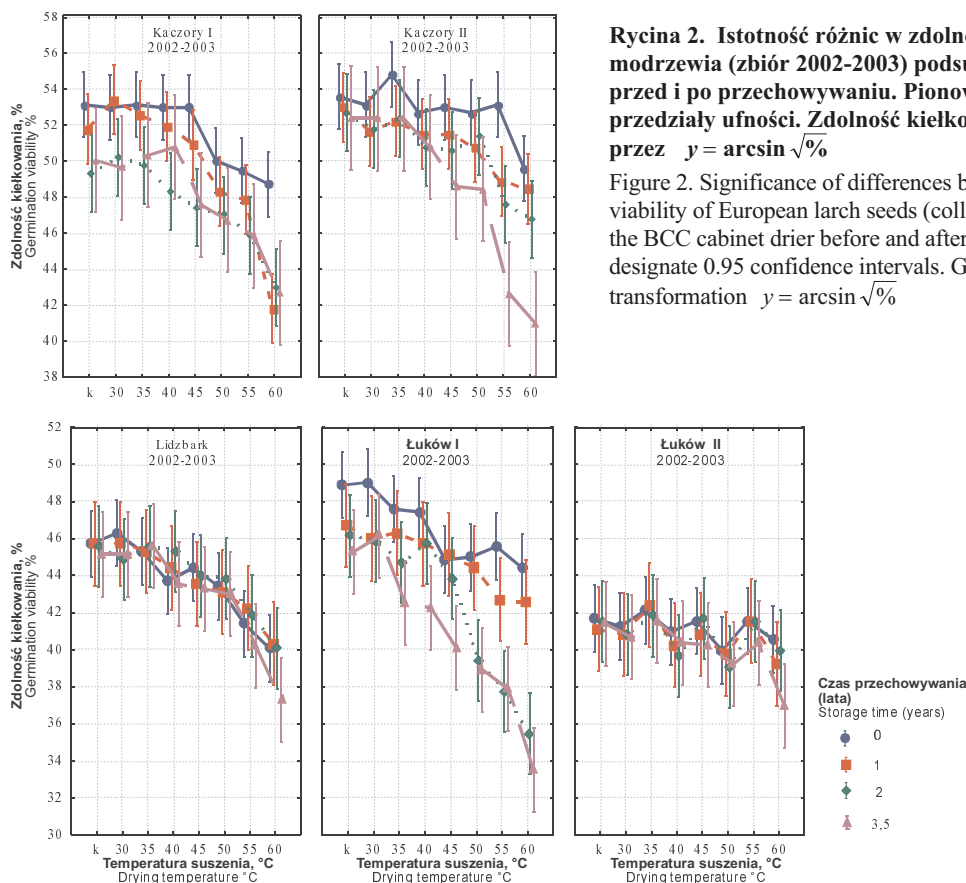
Pochodzenie nasion Seed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kielkowanie nasion Seed germination (%)			Obniżenie zdolności kiełkowania nasion po tęście postarzenia Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wypływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)			
			po przechowywaniu przez: after storage for:				przed przechowywaniem before storage		po przechowywaniu przez 3,5 roku after storage for 3.5 years	
			1 rok 1 year	2 lata 2 years	3,5 roku 3.5 years		niepostarzanych before ageing	postarzanych after ageing		
Kaczory I	kontrola	11,8	64	62	58	59	1	18,4	18,5	18,5
	30	3,9	64	65	59	58	0	17,9	17,9	18,1
	35	3,9	64	63	58	59	1	17,9	18,1	18,1
	40	3,6	64	62	56	60	1	17,8	18,3	17,9
	45	3,0	64	60	54	55	0	18,9	18,8	18,1
	50	2,6	59	56	54	53	1	18,7	18,9	18,9
	55	1,4	58	55	52	52	4	18,9	19,2	19,1
	60	1,4	57	45	47	46	4	18,9	19,6	19,2
Kaczory II	kontrola	11,9	65	64	63	63	0	17,4	17,5	17,6
	30	3,9	64	62	62	63	0	17,5	17,5	17,4
	35	3,3	67	63	63	63	3	17,4	17,6	17,5
	40	3,5	63	61	60	60	1	17,6	17,8	17,3
	45	3,0	64	61	60	56	0	17,8	18,2	17,8
	50	2,6	63	60	61	56	4	18,6	18,9	18,1
	55	1,8	64	57	55	46	3	18,9	19,1	18,2
	60	1,5	58	56	53	43	5	19,0	19,5	18,6
Łuków I	kontrola	10,3	57	53	52	51	10	18,5	24,9	20,0
	30	4,2	57	52	52	52	11	18,1	24,4	20,4
	35	3,6	55	52	50	46	11	18,2	23,9	20,1
	40	3,4	54	51	51	45	10	18,3	24,0	20,1
	45	2,7	50	50	48	42	10	18,5	23,8	22,2
	50	2,2	50	49	41	40	12	19,1	24,2	22,7
	55	1,8	51	46	38	38	19	19,9	24,9	23,1
	60	1,7	49	46	34	31	21	21,3	25,6	23,3
Lidzbark	kontrola	5,5	51	51	51	50	1	22,3	23,5	22,3
	30	5,2	52	51	50	50	2	22,1	23,2	22,9
	35	4,0	51	51	51	51	1	22,3	24,7	22,5
	40	3,2	48	49	51	48	5	23,0	23,0	23,2
	45	2,8	49	48	48	47	6	22,9	25,7	23,5
	50	2,3	47	47	48	47	5	22,0	24,1	23,6
	55	2,2	44	45	45	42	4	22,8	23,6	23,2
	60	1,8	42	42	42	37	7	23,4	24,6	24,1
Łuków II	kontrola	5,3	44	43	44	44	1	21,2	22,3	20,2
	30	5,1	44	43	43	43	3	19,2	22,5	20,1
	35	4,0	45	46	45	44	3	20,6	22,4	21,1
	40	3,2	43	42	41	42	4	19,6	22,5	19,8
	45	2,6	44	43	44	42	6	20,5	22,7	20,8
	50	2,3	41	41	40	40	6	21,3	26,2	21,2
	55	2,2	44	44	44	42	9	22,4	26,6	23,2
	60	1,9	42	40	41	36	11	22,5	26,8	24,1

pierwszym etapie nasiona modrzewia suszone w pierwszym terminie miały niższą zawartość wody (3,9–4,2%) niż suszone w drugim terminie (5,1–5,2%).

Żywotność nasion modrzewia z pierwszej serii badań odznaczała się dużą zmiennością, choć dla wszystkich partii mieściła się w granicach I klasy (tab. 4). Początkowa zdolność kiełkowania (przed suszeniem) wahała się bowiem od ok. 65% (Kaczory I i Kaczory II) do 44% (Łuków II). Nasiona większości partii charakteryzowały się dużą odpornością na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzania, jedynie nasiona pochodzenia Łuków I miały odporność zmniejszoną. Nasiona tego pochodzenia były również najmniej odporne na podsuszanie, ponieważ ich zdolność kiełkowania uległa istotnemu obniżeniu już na 4 etapie suszenia (w 45°C, do wilgotności 2,7%). U najodporniejszych nasion (Łuków II) zdolność kiełkowania nie zmniejszyła się istotnie nawet po wysuszeniu ich w temperaturze 60°C do wilgotności 1,9%. W pozostałych partiach żywotność nasion obniżała się istotnie na ogół po wysuszeniu w temperaturze 55–60°C do wilgotności 2,2–1,4%. Prawidłowości dotyczące różnic żywotności nasion modrzewia po ich wysuszeniu, na ogół nie zmieniały się również po przechowywaniu nasion (tab. 4), a ich istotność została udowodniona statystycznie (ryc. 2).

Druga seria badań nasion modrzewia obejmowała również dwa terminy suszenia prowadzonego zimą 2003/2004. W pierwszym terminie suszono nasiona z Lidzbarka, a w drugim terminie nasiona z Leżajska, Łukowa i Zaporowa (tab. 5). W pierwszym terminie nasiona charakteryzowały się mniejszą wilgotnością początkową (6,6%) niż w drugim terminie (10,7–12,1%). Powietrze suszące w szafie BCC w pierwszym terminie było również mniej wilgotne i dlatego nasiona z Lidzbarka już w pierwszych etapach (30 i 35°C) były wysuszone lepiej niż nasiona pozostałych pochodzeń. Nie wpłynęło to jednak w istotnym stopniu na tempo zmian ich żywotności.

Różnice w początkowej żywotności (przed suszeniem) pomiędzy 4 partiami materiału siewnego były niewielkie. Zdolność kiełkowania wahała się w granicach od 64% (Zaporowo) do 48% (Łuków), a więc we wszystkich przypadkach odpowiadała I klasie żywotności. Nasiona okazały się dość odporne na odwodnienie. Zdolność kiełkowania nasion z Lidzbarka i Łukowa obniżyła się istotnie dopiero po wysuszeniu ich w temperaturze 60°C do wilgotności 1,8 i 2,2%, a brak istotnych różnic w zdolności kiełkowania świadczył, że nasiona z Leżajska i Zaporowa zachowały pełną żywotność nawet w ostatnim etapie, po wysuszeniu ich



do wilgotności 2,1%. Wzrost wrażliwości na test przyspieszonego postarzania obserwowano tylko u nasion z Łukowa, po suszeniu w temperaturze powyżej 45°C (tab. 5). W żadnej z 4 partii materiału siewnego nie stwierdzono również gwałtownego zwiększenia się współczynnika wpływu elektrolitu z nasion podsuszanych. Z praktycznego punktu widzenia, w trakcie przechowywania żywotność nasion nie uległa zmianie, i po 2,5 latach utrzymały się różnice zdolności kiełkowania stwierdzone na początku (ryc. 3A).

Suszenie nasion w trzeciej serii badań, w sezonie 2004/2005, prowadzono również w dwóch terminach. W

marcu podsuszano nasiona 4 partii: Kaczory, Lidzbark, Syców I i Syców II, a w kwietniu 1 partii – Łuków. W pierwszym terminie nasiona charakteryzowały się niższą wilgotnością początkową (5,7–6,0%) i suszone były powietrzem o niskiej wilgotności (ok. 7% w temp. 30°C), natomiast w drugim terminie nasiona miały większą zawartość wody (ok. 9%) i suszone były wilgotniejszym powietrzem (ok. 27% w 30°C), dlatego te pierwsze osiągnęły wilgotność zbliżoną do 3% już w temp. 35°C, a nasiona suszone w kwietniu – dopiero w temp. 55°C.

Żywotność wszystkich 5 partii nasion z trzeciej serii odpowiadała I klasie jakości (tab. 6), a zdolność kiełko-

**Tabela 5. Żywotność nasion modrzewia europejskiego (zbiór 2003/2004) podsuszonych w szafie BCC przed i po przechowywaniu**

Table 5. Viability of European larch (collection time 2003/2004) dried in BCC cabinet drier before and after storage

Pochodzenie nasion Seed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kiełkowanie nasion Seed germination (%)			Obniżenie zdolności kiełkowania nasion po teście postarzania Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wpływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)		
			przed przechowywaniem before storage	po przechowywaniu przez: after storage for :			przed przechowywaniem before storage		po przechowywaniu przez 2,5 roku after storage for 2.5 years
				1 rok 1 year	2,5 roku 2.5 years		niepostarzanych before ageing	postarzanych after ageing	
Lidzbark	kontrola	6,6	50	50	49	0	19,9	22,6	19,1
	30	4,4	50	51	51	2	19,5	22,4	19,6
	35	3,6	51	51	51	4	19,6	23,1	20,2
	40	3,1	48	48	48	4	19,9	22,9	19,9
	45	2,6	48	49	49	4	21,7	23,5	22,8
	50	2,4	48	49	48	2	23,1	23,5	22,9
	55	2,0	46	45	45	6	23,1	23,4	23,2
	60	1,8	39	39	38	2	24,4	24,6	24,8
Leżajsk	kontrola	11,2	54	54	53	0	17,3	18,8	17,4
	30	6,1	53	53	53	0	17,1	18,9	17,1
	35	4,4	53	53	53	0	18,0	19,3	17,8
	40	3,3	54	52	53	1	18,2	21,0	17,9
	45	3,1	53	52	52	0	18,1	20,6	18,1
	50	2,3	52	52	52	0	18,2	20,2	18,5
	55	2,4	50	50	50	0	18,0	20,0	18,8
	60	2,1	50	50	50	3	18,1	20,9	19,2
Łuków	kontrola	12,1	48	45	47	4	22,4	28,2	22,7
	30	6,3	45	44	42	1	23,2	25,4	24,1
	35	4,6	44	45	44	6	23,4	25,2	24,2
	40	3,2	42	42	43	6	23,0	26,7	24,4
	45	3,1	42	42	42	6	21,3	27,0	23,6
	50	2,3	43	43	42	12	22,4	25,8	23,6
	55	2,5	43	41	42	14	24,7	26,1	24,9
	60	2,2	39	37	37	10	23,9	26,1	24,8
Zaporowo	kontrola	10,7	64	64	63	2	18,1	18,3	18,2
	30	6,1	62	62	62	3	18,1	18,9	17,9
	35	4,4	59	59	60	3	17,8	18,1	18,1
	40	3,1	60	60	60	3	19,1	20,2	19,2
	45	3,0	60	60	59	4	19,2	19,4	19,1
	50	2,2	60	60	59	2	19,1	19,1	19,3
	55	2,4	60	60	58	3	18,4	19,4	19,4
	60	2,1	59	59	57	5	19,2	20,0	19,4



wania wahała się od 73% (Syców II) do 49% (Lidzbark). Nasiona wszystkich partii charakteryzowały się dużą odpornością na test przyspieszonego postarzenia. Różne były natomiast zmiany w zdolności kiełkowania. U nasion najwrażliwszych partii istotny spadek zdolności

kiełkowania nastąpił już po wysuszeniu ich w temperaturze 50°C do 3,6% zawartości wody (z Łukowa), lub – w 55°C do 1,7% zawartości wody (z Lidzbarka). U tych partii, po osiągnięciu przez nasiona wyżej wymienionych progów wilgotności, zwiększył się wyraźnie

**Tabela 6. Żywotność nasion modrzewia europejskiego (zbiór 2004/2005) podsuszonych w szafie BCC przed i po przechowywaniu**

Table 6. Viability of European larch (collection time 2004/2005) dried in BCC cabinet drier before and after storage

Pochodzenie nasion Seed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kiełkowanie nasion Seed germination (%)			Obniżenie zdolności kiełkowania nasion po teście postarzenia Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wypływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)		
			przed przechowywaniem before storage		po przechowywaniu przez 1,5 roku after storage for 1.5 years		przed przechowywaniem before storage		po przechowywaniu przez 1,5 roku after storage for 1.5 years
			przed przechowywaniem before storage	po przechowywaniu przez 1,5 roku after storage for 1.5 years			niepostarzonych before ageing	postarzonych after ageing	
Kaczory	kontrola	5,7	59	57	5	21,8	23,5	21,8	
	30	3,8	54	54	0	21,3	23,9	21,2	
	35	3,3	55	54	0	22,2	24,0	21,9	
	40	3,0	55	55	1	22,5	23,8	22,4	
	45	2,5	55	54	4	22,1	24,7	22,6	
	50	2,0	54	54	4	22,8	25,0	22,7	
	55	1,7	56	54	4	22,2	24,3	22,9	
	60	1,6	53	50	3	23,1	24,9	23,9	
Lidzbark	kontrola	6,0	49	47	2	24,3	28,6	24,5	
	30	4,1	47	48	1	24,7	28,9	24,6	
	35	3,4	49	48	1	25,3	29,1	25,4	
	40	3,2	48	46	2	26,5	28,8	25,9	
	45	2,5	47	44	4	26,5	29,1	26,4	
	50	2,2	49	44	7	26,8	29,3	27,3	
	55	1,7	40	35	4	27,8	29,0	28,6	
	60	1,6	37	33	4	28,0	30,5	29,4	
Syców I	kontrola	5,7	70	68	4	16,8	22,4	17,3	
	30	3,7	69	69	3	16,9	21,8	17,1	
	35	3,2	71	69	5	16,4	21,7	17,1	
	40	2,8	70	66	5	16,2	21,7	17,3	
	45	2,5	70	67	6	16,4	22,1	17,6	
	50	2,2	69	64	6	17,1	22,2	18,2	
	55	1,7	69	64	5	17,3	23,5	18,5	
	60	1,7	62	58	6	17,4	24,4	19,1	
Syców II	kontrola	5,7	73	71	1	16,4	18,6	17,3	
	30	3,8	72	71	2	16,2	17,5	17,1	
	35	3,3	71	71	0	16,5	18,1	17,1	
	40	3,0	70	70	0	17,0	18,3	17,3	
	45	2,6	71	69	2	17,5	19,0	17,6	
	50	2,2	70	69	3	17,6	19,5	18,2	
	55	2,0	70	69	3	17,7	20,4	18,5	
	60	1,8	68	65	5	17,9	22,6	19,1	
Łuków	kontrola	8,9	58	58	0	21,6	22,3	21,3	
	30	7,3	58	57	0	20,5	20,9	21,0	
	35	6,6	58	59	5	23,8	23,6	22,9	
	40	5,6	59	58	6	25,7	25,3	24,8	
	45	4,4	56	56	2	22,4	23,9	23,0	
	50	3,6	50	54	2	21,2	24,8	23,1	
	55	3,1	52	51	3	25,5	28,1	25,8	
	60	2,7	52	52	4	26,2	28,3	26,1	

**Tabela 7. Żywotność nasion modrzewia (zbiór 2005/2006) podsuszonych w szafie BCC**

Table 7. Viability of European larch (collection time 2005/2006) dried in BCC cabinet drier before and after storage

Pochodzenie nasion Sed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kielkowanie nasion Seed germination (%)	Obniżenie zdolności kiełkowania nasion po teście postarzenia Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wypływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)	
					nieposta-rzanych before aging	postarzanych after aging
Grójec	kontrola	11,3	48	0	20,3	21,9
	30	8,0	46	2	21,3	21,9
	35	6,7	46	4	21,4	22,2
	40	6,1	45	2	21,7	22,8
	45	4,4	46	9	22,5	28,3
	50	3,8	46	8	22,1	31,0
	55	3,4	40	11	22,4	30,6
	60	3,4	37	12	22,9	31,1
Lidzbark	kontrola	10,4	22	1	33,8	40,2
	30	7,9	23	1	33,2	39,1
	35	6,4	23	0	34,0	38,9
	40	5,8	21	2	33,1	38,8
	45	4,7	20	1	32,6	39,9
	50	4,2	20	1	34,4	40,6
	55	3,7	18	4	32,8	40,1
	60	3,1	16	4	36,2	42,2

współczynnik wypływu elektrolitu, co świadczy o destrukcji błon komórkowych. Istotność różnic w zdolności kiełkowania została udowodniona statystycznie. W mniej wrażliwych partiach (Kaczory, Syców I i Syców II) istotny spadek żywotności nastąpił dopiero po wysuszeniu nasion w temp. 60°C do 1,6–1,8% zawartości wody. W trakcie przechowywania pogłębiły się różnice w żywotności nasion pochodzenia Syców I suszonych w różnych warunkach – w porównaniu do próbki kontrolnej po 1,5 roku przechowywania. Istotnie mniejsza okazała się również zdolność kiełkowania nasion wysuszonych, w temperaturze powyżej 45°C, do wilgotności niższej od 2,5% (ryc. 3B).

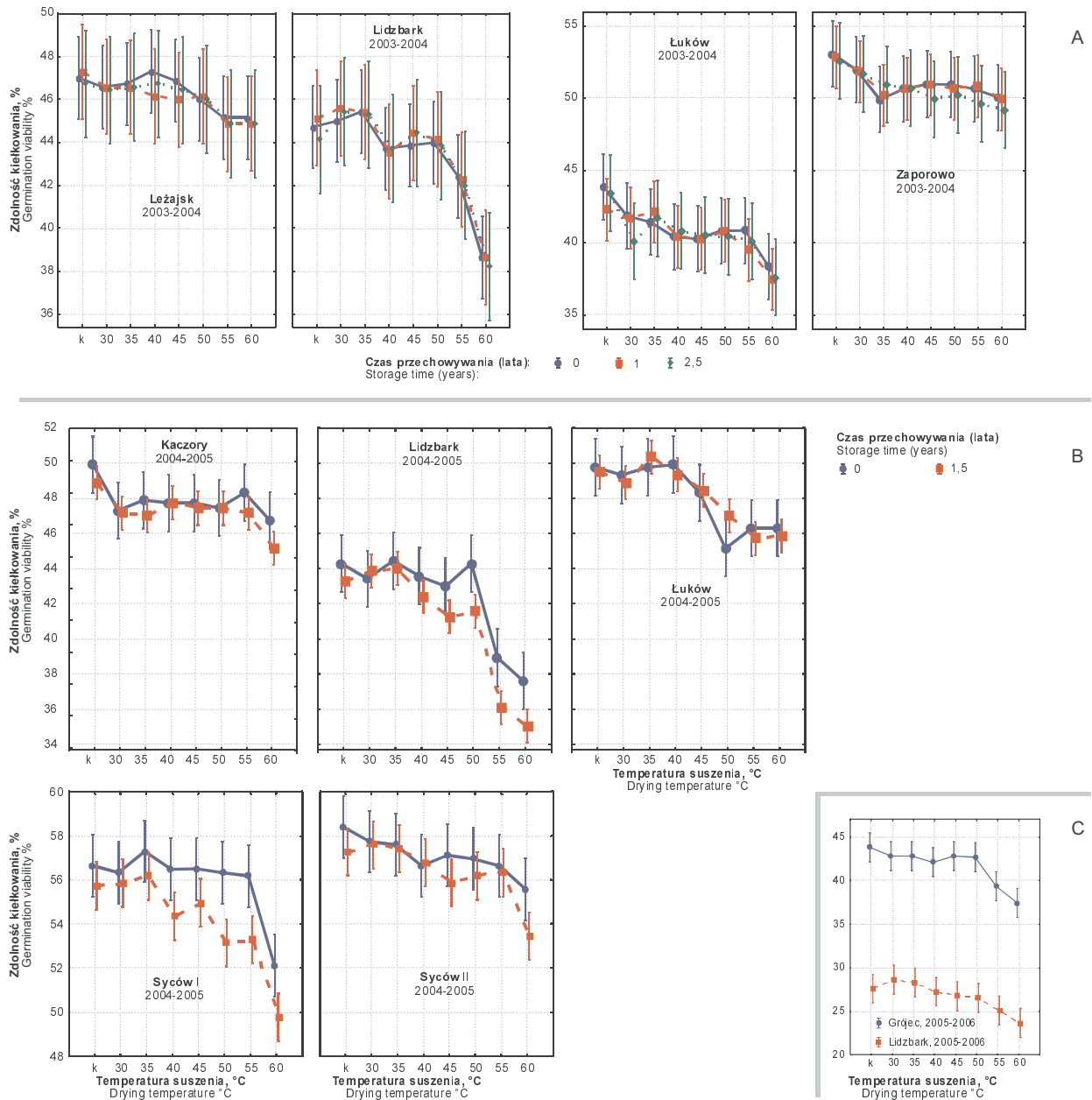
W czwartej serii badań, na początku 2006 roku, suszono dwie partie nasion modrzewia o podwyższonej wilgotności początkowej (10–11%). Dość wysoka była również wilgotność suszącego powietrza w szafie BCC (ok. 25% w 30°C), w wyniku czego nawet w ostatnim etapie suszenia (w 60°C) wilgotność nasion spadła zaledwie do 3,1 i 3,4% (tab. 7).

Obie partie nasion różniły się istotnie pod względem zdolności kiełkowania (tab. 7). Żywotność nasion z Nadl. Grójec mieściła się w granicach I kl., a żywotność nasion z Nadl. Lidzbark – w granicach klasy III. Nasiona z Grójca były jednak mniej odporne na podsuszanie. Zdolność kiełkowania obniżyła się u nich istotnie (ryc. 3C) już po wysuszeniu ich w 55°C do wilgotności 3,4%. Na tym etapie suszenia zmniejszyła się również odporność nasion na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzenia (tab. 7). Natomiast u nasion z Lidzbarka

istotny spadek żywotności obserwowano dopiero w ostatnim etapie suszenia (60°C) przy wilgotności nasion 3,1%. Odporność tych nasion na test przyspieszonego postarzenia również utrzymywała się na wysokim poziomie we wszystkich etapach suszenia.

### *Sosna górska*

Do pierwszej serii badań, na początku marca 2003 r., udało się pozyskać nasiona sosny górskiej tylko z wydmy nadmorskiej w Słowińskim Parku Narodowym (Sł.P.N.). Wyłuszczone w strumieniu powietrza o temperaturze pokojowej nasiona charakteryzowały się dość niską zawartością wody (6,8%) i wysoką zdolnością kiełkowania (powyżej 90%), która utrzymywała się na wysokim poziomie do przedostatniego etapu suszenia (tab. 8). Dopiero po wysuszeniu nasion w temp. 60°C do wilgotności 1,7% nastąpił niewielki (o 4%) lecz istotny spadek żywotności (ryc. 4A). Te małe różnice w zdolności kiełkowania nasion sosny górskiej, wysuszonych w różnej temperaturze do różnej wilgotności, nie zwiększyły się również w czasie przechowywania przez 3,5 roku (tab. 8). Stwierdzono natomiast, że w przypadku nasion wysuszonych w temperaturze powyżej 50°C do wilgotności poniżej 2,4%, jeszcze przed złożeniem ich do przechowywania, wyraźnie zmniejszyła się ich odporność na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzenia. Nie obserwowano przy tym większych różnic współczynnika wypływu elektrolitu z nasion.

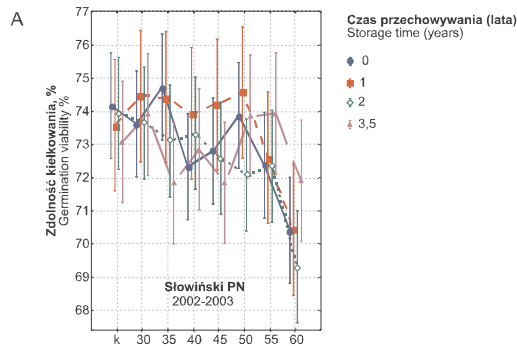


**Rycina 3. Istotność różnic w zdolności kiełkowania nasion modrzewia podsuszonych w szafie BCC przed (ABC) i po (AB) przechowywaniu. Pionowe słupki oznaczają 0,95 przedziały ufności. Zdolność kiełkowania po przekształceniu przez  $y = \arcsin \sqrt{\%}$**

**Figure 3. Significance of differences between the germination viability of European larch seeds dried in the BCC cabinet drier before (ABC) and after (AB) storage. Vertical bars designate 0.95 confidence intervals. Germination viability after transformation  $y = \arcsin \sqrt{\%}$**

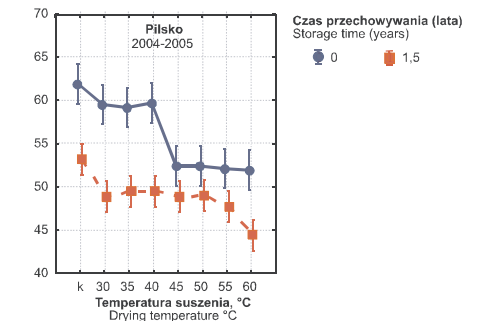
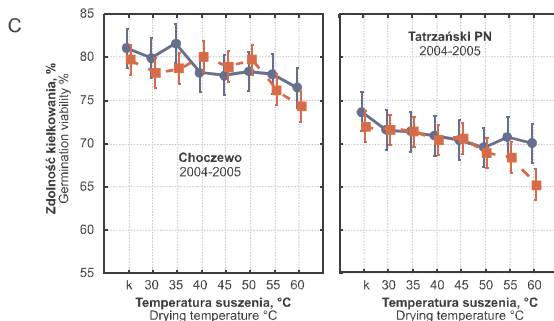
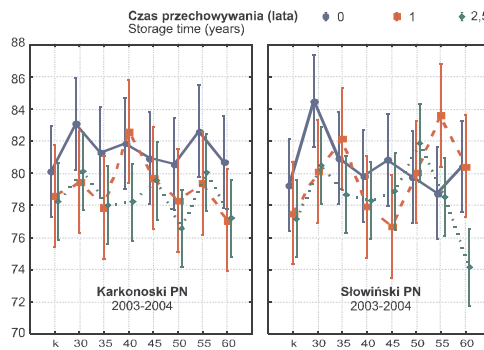
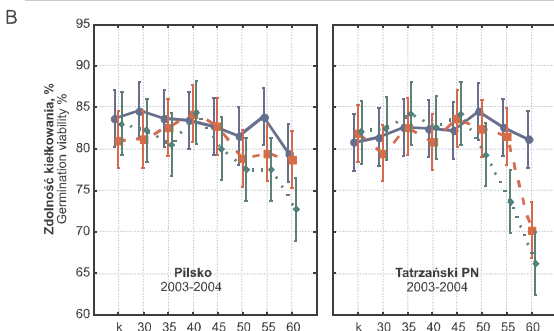
Zimą 2003/2004 suszenie nasion sosny górskiej prowadzono w dwóch terminach. W grudniu podsuszano nasiona z Karkonoskiego Parku Narodowego (K.P.N), Piłska i Tatrzańskiego Parku Narodowego (T.P.N.), natomiast w lutym – ze Słowińskiego Parku Narodowego. Nasiona z gór suszone w grudniu miały znacznie niższą wilgotność początkową (5,8–6,5%) niż

nasiona z wydmy nadmorskiej suszone w lutym (10,3%). Natomiast w lutym były lepsze warunki do suszenia – powietrze suszące w szafie BCC miało mniejszą wilgotność (tab. 9). W obu terminach udało się doprowadzić wilgotność nasiona do bardzo niskiego progu w ostatnim etapie suszenia.



**Rycina 4. Istotność różnic w zdolności kiełkowania nasion sosny górskiej podsuszonych w szafie BCC przed (ABC) i po (AB) przechowywaniu. Pionowe słupki oznaczają 0,95 przedziały ufności. Zdolność kiełkowania po przekształceniu przez  $y = \arcsin \sqrt{\%}$**

Figure 4. Significance of differences between the germination viability of mountain pine seeds dried in the BCC cabinet drier before (ABC) and after (AB) storage. Vertical bars designate 0.95 confidence intervals. Germination viability after transformation  $y = \arcsin \sqrt{\%}$



**Tabela 8. Żywotność nasion sosny górskiej ze Słowińskiego Parku Narodowego (zbiór 2002/2003 r.) podsuszonych w szafie BCC przed i po przechowywaniu**

Table 8. Viability of mountain pine seeds from the Słowiński National Park (collection time 2002/2003) dried in the BCC cabinet drier before and after storage

Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kiełkowanie nasion Seed germination (%)					Obniżenie zdolności kiełkowania nasion po tęczeniu postarzenia Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wpływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)				
		po przechowywaniu przez: after storage for :			przed przechowywaniem before storage			przed przechowywaniem before storage		po przechowywaniu przez: after storage for :		
		1 rok 1 year	2 lata 2 years	3 lata 3 years	niepostarzących before ageing	postarzących after ageing		1 rok 1 year	2 lata 2 years	3 lata 3 years		
kontrola	6,8	93	92	92	92	1	7,6	7,6	7,6	7,4	7,7	
30	4,9	92	93	92	92	1	7,7	7,6	7,2	7,0	6,8	
35	3,9	93	93	92	90	3	6,6	6,3	6,6	6,5	6,4	
40	3,1	91	92	92	91	1	5,6	5,9	6,1	6,0	6,3	
45	2,7	91	93	91	90	0	8,3	7,8	7,4	7,2	7,6	
50	2,4	92	93	91	92	3	7,0	7,4	7,0	6,8	6,9	
55	2,1	91	91	91	92	15	6,8	7,6	7,3	7,2	7,1	
60	1,7	89	89	88	90	20	7,2	8,2	7,6	7,7	7,9	

**Tabela 9. Żywotność nasion sosny górskiej (zbiór 2003/2004) podsuszonych w szafie BCC przed i po przechowaniu**  
**Table 9. Viability of mountain pine seeds (collection time 2003/2004) dried in the BCC cabinet drier before and after storage**

Pochodzenie nasion Seed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kielkowanie nasion Seed germination (%)			Obniżenie zdolności kiełkowania nasion po testie postarzania Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wypływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)			
			przed przechowaniem before storage	po przechowaniu przez: after storage for :			przed przechowywaniem before storage		po przechowywaniu przez: after storage for :	
				1 rok 1 year	2,5 roku 2.5 years		niepostarzanych before aging	postarzanych after aging	1 rok 1 year	2,5 roku 2.5 years
Karkonoski Park Narodowy	kontrola	6,5	97	96	96	1	5,2	7,7	5,4	5,4
	30	4,4	99	96	97	3	5,0	7,6	5,0	5,5
	35	3,5	98	96	96	1	4,9	7,7	4,8	4,9
	40	3,6	97	98	96	2	5,6	6,9	5,3	5,5
	45	3,1	98	97	97	5	6,7	6,5	6,2	5,9
	50	2,6	97	96	95	2	6,9	8,1	6,9	6,9
	55	1,9	98	96	97	32	6,6	9,7	6,7	6,6
	60	2,0	97	95	95	53	6,1	13,4	6,2	6,9
Pilsko	kontrola	5,8	99	98	98	1	4,6	4,5	4,6	4,5
	30	4,3	99	98	98	-	4,2	4,5	4,4	4,3
	35	3,6	99	98	97	1	4,4	4,4	4,3	4,2
	40	3,5	98	99	98	-	4,2	4,3	4,2	4,4
	45	3,1	98	98	96	1	4,7	5,9	4,3	4,4
	50	2,7	98	96	95	1	4,5	5,5	4,4	4,6
	55	1,9	99	97	91	1	4,5	5,5	4,6	4,6
	60	1,9	97	96	88	2	4,6	6,9	4,6	4,7
Słowiński Park Narodowy	kontrola	10,3	97	95	95	1	6,6	7,0	6,5	6,6
	30	4,3	99	97	97	1	5,0	5,1	5,6	5,8
	35	3,6	98	98	96	2	5,0	5,6	5,8	5,8
	40	3,1	97	96	96	3	5,6	5,7	5,7	5,8
	45	2,6	97	95	96	-	5,3	5,4	5,9	5,7
	50	2,3	97	97	98	4	4,6	10,8	5,9	5,8
	55	1,9	96	98	96	15	4,8	10,0	5,8	5,8
	60	1,7	97	97	93	35	5,2	10,0	6,0	5,9
Tatrański Park Narodowy	kontrola	6,0	97	98	98	-	3,9	5,8	4,4	4,5
	30	4,3	98	97	98	-	3,8	5,5	3,9	4,3
	35	3,6	98	98	99	-	3,3	5,4	4,2	4,4
	40	3,5	98	97	98	-	3,5	5,4	4,3	4,0
	45	3,1	98	99	99	1	3,5	5,4	3,9	4,0
	50	2,6	99	98	97	3	4,2	7,7	4,0	4,3
	55	1,9	98	97	92	2	4,4	13,1	4,8	5,4
	60	1,9	98	88	84	8	4,3	18,6	4,9	5,9

Zimą 2003/2004 nasiona wszystkich pochodzeń odznaczały się bardzo wysoką zdolnością kiełkowania (ponad 95%), która nie uległa istotnym zmianom nawet po wysuszeniu ich w temperaturze 60°C do wilgotności 1,7–2,0% (tab. 9). U nasion z Kk.P.N. i Sł.P.N. wysuszonych w temperaturze wyższej od 50°C, do wilgotności niższej od 2,3, stwierdzono tylko obniżenie odporności na test przyspieszonego postarzania. W przypadku nasion z Pilska i T.P.N. po podsuszeniu ich do wilgotności 1,9%, w temperaturze wyższej niż 50°C, po 2,5 latach stwierdzono istotny spadek zdolności kiełkowania (ryc. 4B).

W trzeciej serii badań (zbiór 2004/2005) porównano 4 partie nasion sosny górskiej o dość wyrównanej, wysokiej wilgotności początkowej (10–12%), ale istotnie zróżnicowane pod względem żywotności. Energia i zdolność kiełkowania nasion z Choczewa (z wydm nadmorskich) i z T.P.N. mieściła się w granicach 80–100%, natomiast nasiona z Pilska i Kk.P.N. charakteryzowały się obniżoną żywotnością (tab. 10). Badania wykazały, że były one również bardziej wrażliwe na podsuszanie i szybciej traciły żywotność podczas przechowywania.



**Tabela 10. Żywotność nasion sosny górskiej (zbiór 2004/2005) podsuszonych w szafie BCC przed i po przechowaniu**  
**Table 10. Viability of mountain pine seeds (collection time 2004/2005) dried in the BCC cabinet drier before and after storage**

Pochodzenie nasion Seed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kielkowanie nasion Seed germination (%)		Obniżenie zdolności kielkowania nasion po teście postarzenia Reduced germination via- bility after ageing test %	Współczynnik wypływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)		
			przed przechowywaniem before storage	po przechowywaniu przez 1,5 roku after storage for 1.5 years		przed przechowywaniem before storage		po przechowywaniu przez 1,5 roku after storage for 1.5 years
						niepostarzonych before ageing	postarzonych after ageing	
Choczewo	kontrola	10,4	97	97	3	5,7	5,8	6,0
	30	4,2	97	96	2	4,5	5,4	5,4
	35	3,2	98	96	4	5,3	5,6	5,4
	40	2,8	96	97	3	5,1	5,5	5,3
	45	2,0	96	96	3	5,2	5,5	5,4
	50	1,7	96	97	1	5,3	7,4	6,7
	55	1,6	96	94	2	5,7	7,6	6,7
60	1,6	94	93	8	6,2	8,4	7,4	
Karkonoski Park Narodowy	kontrola	10,2	88	83	8	7,9	9,2	8,5
	40	3,1	78	67	8	8,1	9,8	8,9
	50	1,8	77	61	9	8,3	10,7	9,1
Pilsko	kontrola	11,8	78	64	8	12,6	16,1	15,9
	30	3,8	74	57	6	9,6	13,1	11,4
	35	3,1	74	58	10	10,0	14,7	12,9
	40	3,0	75	58	20	11,1	18,4	17,9
	45	1,9	63	57	53	11,4	43,3	12,8
	50	1,8	63	57	60	12,9	46,7	16,1
	55	1,7	63	55	61	12,4	47,5	23,9
60	1,6	62	49	62	12,8	48,1	28,3	
Tatrzański Park Narodowy	kontrola	12,0	92	90	4	7,1	10,3	10,0
	30	3,7	90	90	0	6,6	10,2	8,0
	35	3,0	90	90	1	7,7	8,2	8,0
	40	2,8	89	89	2	8,1	13,2	8,0
	45	1,9	89	89	2	9,8	15,9	9,6
	50	1,6	88	87	38	11,2	19,7	12,9
	55	1,6	89	87	56	10,6	25,3	13,2
60	1,5	88	83	60	12,1	28,4	19,6	

Nasiona wszystkich pochodzeń były suszone w tym samym terminie, strumieniem powietrza o małej wilgotności względnej (7% w temp. 30°C). Analizy statystyczne udowodniły, że istotny spadek zdolności kiełkowania nasion z Kk.P.N. nastąpił już po ich wysuszeniu w temp. 40°C do wilgotności 3,1%, a nasion z Pilska – po wysuszeniu w temp. 45°C do wilgotności 1,9% (tab. 10). Zdolność kiełkowania nasion z Pilska, o wilgotności 1,1–2,5%, po teście przyspieszonego postarzenia zmalała kilkakrotnie. Większość różnic w żywotności pomiędzy nasionami podsuszonymi a kontrolnymi, stwierdzona tuż po zabiegu suszenia, utrzymała się, a nawet zwiększyła w trakcie przechowywania przez 1,5 roku. W dodatku w próbkach przechowywanych nasion z Pilska, wysuszonych powietrzem o temperaturze wyższej od 50°C zwiększył się wyraźnie współczynnik wypływu elektrolitu z komórek.

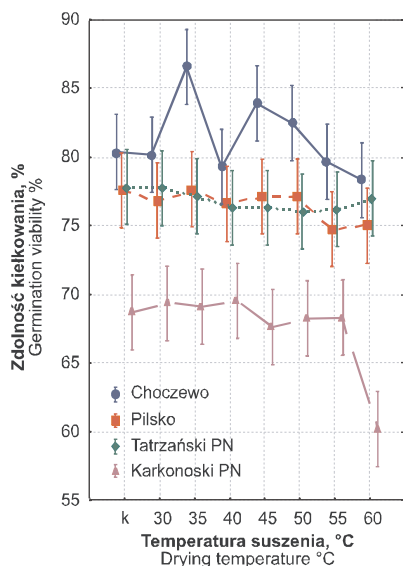
Nie stwierdzono istotnego spadku zdolności kiełkowania nasion z T.P.N. i Choczewa po suszeniu ich nawet do wilgotności 1,5–1,6% (rys. 4C). U pochodzenia z T.P.N. obserwowano jedynie zmniejszenie zdolności kiełkowania nasion po teście przyspieszonego postarzenia na skutek podsuszenia w 50°C w szafie BCC (tab. 10). Istotny spadek zdolności kiełkowania nasion obu pochodzeń, wysuszonych do wilgotności 1,5–1,6% powietrzem o temp. 55–60°C, stwierdzono dopiero po 1,5 roku ich przechowywania. W przypadku przechowywanych nasion z Pilska, dla próbek wysuszonych w temperaturach wyższych od 50°C obserwowano również zwiększony współczynnik wypływu elektrolitu, świadczący o zwiększonej destrukcji struktur komórkowych i szybszym starzeniu się materiału siewnego.

Nasiona sosny górskiej z zimy 2005/2006 badane w 4. serii doświadczenia były bardziej odporne na wysuszenie niż nasiona z poprzedniego sezonu. Wszystkie 4

**Tabela 11. Żywotność nasion sosny górskiej (zbiór 2005/2006) podsuszonych w szafie BCC**

Table 11. Viability of mountain pine seeds (collection time 2005/2006) dried in the BCC cabinet drier before and after storage

Pochodzenie nasion Seed origin	Temperatura suszenia Drying temperature °C	Wilgotność nasion Seed moisture content %	Kielkowanie nasion Seed germination (%)	Obniżenie zdolności kielkowania nasion po teście postarzenia Reduced germination viability after ageing test %	Współczynnik wypływu elektrolitu Coefficient of electrolyte leakage (%)	
					niepostarzonych before aging	postarzonych after aging
Choczewo	kontrola	7,0	97	0	6,4	7,2
	30	4,5	97	1	5,6	6,3
	35	3,7	99	3	5,5	6,2
	40	3,3	97	3	5,9	6,2
	45	2,2	99	5	5,9	6,3
	50	1,8	98	3	6,0	6,7
	55	1,6	97	4	6,3	6,6
	60	1,6	96	5	6,2	7,3
Karkonoski Park Narodowy	kontrola	6,4	87	3	10,6	11,5
	30	4,1	88	1	8,7	9,2
	35	3,1	87	2	9,0	11,4
	40	2,9	88	2	8,4	10,6
	45	2,0	86	10	9,7	13,9
	50	1,6	86	24	9,9	19,9
	55	1,5	86	42	10,3	26,9
	60	1,5	75	43	11,7	33,1
Pilsko	kontrola	6,5	95	2	6,7	7,3
	30	4,0	95	1	6,5	5,8
	35	3,4	95	2	6,7	6,3
	40	3,0	94	1	5,7	5,9
	45	2,1	95	2	6,5	6,2
	50	1,6	95	4	5,9	7,6
	55	1,6	93	5	7,1	9,3
	60	1,6	93	13	7,2	13,2
Tatrzański Park Narodowy	kontrola	6,5	95	0	5,0	6,6
	30	4,1	95	0	4,1	4,7
	35	3,3	95	0	4,5	5,0
	40	3,0	95	0	4,7	5,2
	45	2,2	94	5	4,3	7,5
	50	1,8	94	22	5,0	10,1
	55	1,3	94	52	4,8	19,9
	60	1,4	95	62	5,2	23,8



**Rycina 5. Istotność różnic w zdolności kielkowania nasion sosny górskiej ze zbioru 2005-2006 podsuszonych w szafie BCC przed przechowywaniem. Pionowe słupki oznaczają 0,95 przedziały ufności. Zdolność kielkowania po przekształceniu przez  $y = \arcsin \sqrt{\%}$**

Figure 5. Significance of differences between the germination viability of mountain pine seeds, collection time 2005-2006, dried in the BCC cabinet drier before (ABC) and after (AB) storage. Vertical bars designate 0.95 confidence intervals. Germination viability after transformation  $y = \arcsin \sqrt{\%}$

pochodzenia charakteryzowały się dość wyrównaną, wysoką energią i zdolnością kiełkowania, odpowiadającą I klasie żywotności. Nasiona o dość niskiej początkowej zawartości wody (ok. 6,5%) suszone były w szafie BCC strumieniem powietrza o małej wilgotności względnej (9,1–9,2% w 30°C) i dlatego w ostatnim etapie suszenia udało się obniżyć w nich zawartość wody do 1,4–1,6% (tab. 11). Analiza statystyczna wykazała, że istotne obniżenie zdolności kiełkowania nasion miało miejsce tylko w przypadku pochodzenia z Kk.P.N. po wysuszeniu nasion w temp. 60°C do 1,5% zawartości wody (ryc. 5). Jednak u pochodzeń z Kk.P.N. i T.P.N. obserwowano znaczne (o 24–45%) obniżenie odporności nasion na test przyspieszonego postarzenia już po suszeniu ich w temperaturze wyższej od 45°C do wilgotności niższej od 2,0% (tab. 11).

#### 4. Dyskusja

W badaniach nad ustaleniem wartości granicznych minimalnej wilgotności nasion modrzewia, jedlicy i sosny górskiej przeznaczonych do przechowywania, podobnie jak w poprzednim doświadczeniu przeprowadzonym dla innych gatunków w latach 1999–2001 (Aniśko et al. 2001, 2006), stwierdzono dużą zmienność wyników i różną reakcję nasion tego samego gatunku, zbieranych w różnych latach i różnych miejscach na ich odwodnienie. Jako przejaw zmniejszonej żywotności nadmiernie odwodnionych nasion przyjmowano następujące wskaźniki: istotne obniżenie zdolności kiełkowania zaraz po podsuszaniu, istotne obniżenie zdolności kiełkowania po przechowaniu materiału siewnego przez 1–3 lata, bądź też zmniejszenie odporności na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzenia lub zwiększenie współczynnika wpływu elektrolitu, świadczące o destrukcji błon komórkowych. Do tej pory nie zostało jednoznacznie rozstrzygnięte, czy brak odporności nasion gatunków iglastych na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzenia jest jednoznaczny z szybszą utratą przez nie żywotności w trakcie długoterminowego przechowywania, co stwierdził w swych badaniach Machaniček (1981). Kierując się jednak ostrożnością, również taką ewentualność należy brać pod uwagę podczas suszenia nasion. Po to podsusza się nasiona do najniższej wilgotności, aby zwiększyć możliwość jak najdłuższego ich przechowania, a nie po to, aby przyspieszyć proces ich starzenia.

Wszystkie wymienione powyżej wskaźniki zmniejszenia żywotności nasion wykazały, że odporność nasion poszczególnych gatunków na odwodnienie waha się w dużym zakresie, i w zależności od partii materiału siewnego bezpieczny minimalny poziom wilgotności

zawartości wody wynosił: dla daglezi – 2,7–4,0%, modrzewia – 1,7–4,4%, sosny górskiej – 1,6–4,0%.

Na żywotność podsuszonych nasion ma wpływ nie tylko stopień ich odwodnienia, ale również oddziaływanie podwyższonej temperatury. W przypadku termicznej metody suszenia podgrzewanym powietrzem, znajdującej powszechne zastosowanie w gospodarce, oddzielenie wpływu tych dwóch czynników jest niemożliwe. Na podstawie przeprowadzonych badań można tylko stwierdzić, że maksymalna temperatura, przy której nasiona z różnych zbiorów zachowały jeszcze pełną żywotność, również wahała się w pewnych granicach: dla jedlicy – 45–50°C, modrzewia – 40–60°C, sosny górskiej – 35–60°C.

Różna reakcja nasion tego samego gatunku drzewa na odwodnienie i wytrzymałość na podwyższoną temperaturę związana jest niewątpliwie z ich składem biochemicznym i stanem fizjologicznym. Te z kolei zależą od stadium rozwojowego nasion i zmiennych warunków atmosferycznych panujących w czasie ich zawiązywania i dojrzewania, warunków klimatycznych i siedliskowych, w których rosną drzewa mateczne, oraz wielu innych. Wobec tak dużej zmienności wyników należałoby potwierdzić wnioski wypływające z poprzednich badań, że precyzyjne określenie wilgotności, do jakiej można wysuszyć nasiona różnych gatunków bez obniżania ich żywotności, nie jest możliwe. Wyniki uzyskane w tym doświadczeniu pozwalają jednak na orientacyjne określenie warunków suszenia nasion przebadanych gatunków drzew, tak aby nawet wrażliwe partie materiału siewnego zachowały swoją żywotność.

W przypadku wielu gatunków drzew poziom dopuszczalnego odwodnienia nasion określony w prezentowanym doświadczeniu nie pokrywa się z wartościami podanymi w literaturze. Należy tu jednak zaznaczyć, że również w literaturze napotykaemy na dużą rozbieżność pomiędzy opiniami różnych autorów: według badań Schönborna (1964) nasiona można suszyć odwodnionym powietrzem o temperaturze 20°C bez widocznego obniżenia ich żywotności do bardzo niskiego poziomu wilgotności, na przykład: daglezi – 0%, modrzew – ok. 2% wilgotności. Z kolei Suszka (1990, 1994) zaleca podsuszanie nasion przeznaczonych do przechowania do znacznie wyższego poziomu zawartości wody. Jedni autorzy uważają, że nasiona z grupy orthodox są generalnie odporne na podsuszanie aż do zawartości wody 7% (Dichie et al. 1991), a pozostali, że tylko do 10% (Hong et Ellis 1990). Tak duża rozbieżność opinii wynika prawdopodobnie z różnej reakcji na odwodnienie nasion tego samego gatunku, pozyskiwanych w różnych latach i miejscach.

## 5. Wnioski

1. Bezpieczną wilgotnością minimalną, do jakiej można wysuszyć nasiona jest: 4% dla daglezi i sosny górskiej i 4,5% dla modrzewia europejskiego.

2. Maksymalna temperatura suszenia nasion badanych gatunków, niepowodująca obniżenia ich żywotności, nie powinna przekraczać 35°C dla sosny górskiej, 40°C dla modrzewia europejskiego i 45°C dla daglezi zielonej.

## Literatura

- Alpert P., Oliver M.J. 2002. Drying without dying. [w:] Desiccation and Survival in Plants. CABI Publishing, 3–43.
- Aniśko E., Witowska O., Załęski A. 2001. Ustalenie wilgotności nasion przeznaczonych do przechowywania (wartości graniczne), szczególnie jodły, jawora, brzozy, olszy czarnej, lipy, jesionu i innych. Sprawozdanie Instytutu Badawczego Leśnictwa, Warszawa.
- Aniśko E., Witowska O., Załęski A. 2006. Wpływ warunków suszenia nasion brzozy brodawkowatej, olszy czarnej, sosny zwyczajnej i świerka pospolitego na ich żywotność. *Leśne Prace Badawcze*, 2: 91–113.
- Bewley J.D. 1979. Physiological aspects of desiccation-tolerance. *Annual Review of Plant Physiology*, 30: 195–238.
- Bewley J.D., Oliver M.J. 1992. Desiccation-tolerance in vegetative plant tissues and seeds: protein synthesis in relation to desiccation and a potential role for protection and repair mechanisms. [w:] Water and life: a comparative analysis of water relationships at the organismic, cellular and molecular levels. Springer-Verlag, 141–160.
- Dickie J.B., May K., Morris S.V.A., Tittle S.E. 1991. The effect of desiccation on seed survival in *Acer platanoides* L. and *Acer pseudoplatanus* L. *Seed Science Research*, 1: 149–162.
- Finch-Savage W.E., Pramanik S.K., Bewley J.D. 1994. The expression of dehydrin proteins in desiccation-sensitive (recalcitrant) seeds of temperate trees. *Planta*, 193: 478–485.
- Hong T.D., Ellis R.H. 1990. A comparison of maturation drying, germination, and desiccation tolerance between developing seeds of *Acer pseudoplatanus* L. and *Acer platanoides* L. *New-Phytologist*, 116(4): 589–596.
- Kermode A.R., Finch-Savage B.E. 2002. Desiccation sensitivity in orthodox and recalcitrant seeds in relation to development. [w:] Desiccation and Survival in Plants. CABI Publishing, 149–184.
- Leinonen K. 1998. Effects of storage conditions on dormancy and vigor of *Picea abies* seeds. *New Forests*, 16: 231–249.
- Machaniček J. 1981. Výzkum kritérií určujících vhodnost lesního osiva pro dlouhodobé skladování. *Prace VÚLHM*, 59: 49–64.
- Salmen Espindola L., Noin M., Corbineau F., Côme D. 1994. Cellular and metabolic damage induced by desiccation in recalcitrant *Araucaria angustifolia* embryos. *Seed Science Research*, 4: 193–201.
- Schönborn A. 1964. Die Aufbewahrung des Saatgutes der Waldbäume. München, Basel, Wien, BLV Verlagsgesellschaft, 22–49.
- Suszka B. 1990. Rozmnażanie generatywne. [w:] Buk zwyczajny. PWN, Warszawa-Poznań, 406–412.
- Suszka B., Muller C., Bonnet-Masimbert M. 1994. Nasiona leśnych drzew liściastych. PWN, Warszawa-Poznań, 36–40.
- Tomassi F., Paciolla C., Arrigoni O. 1999. The ascorbate system in recalcitrant and orthodox seeds. *Physiologia Plantarum*, 105, 193–198.

Badania zrealizowano w ramach tematu BLP-249 zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych