

WSPÓLZALEŻNOŚCI MIĘDZY CECHAMI FIZYCZNYMI NASION JODŁY POSPOLITEJ

*Zdzisław Kaliniewicz¹, Stefan Mańkowski¹, Paweł Tylek²,
Zbigniew Krzysiak³, Waldemar Peda¹*

¹Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn

²Instytut Użytkowania Lasu i Techniki Leśnej
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

³Katedra Inżynierii Mechanicznej i Automatyki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin
e-mail: zdzislaw.kaliniewicz@uwm.edu.pl

Streszczenie. Z doniesień literaturowych wynika, że na tempo i efektywność kiełkowania nasion w dużym stopniu wpływa ich masa. Jednak ze względu na trudność przeprowadzenia na dużą skalę kalibracji nasion pod względem ich masy poszukuje się cech silnie z nią powiązanych, które w zastępstwie można wykorzystać przy separacji materiału nasiennego. W związku z tym celem pracy jest wyznaczenie zakresu zmienności podstawowych cech fizycznych nasion jodły pospolitej oraz określenie współzależności między tymi cechami w aspekcie wykorzystania uzyskanych informacji przy planowaniu i realizacji procesów sortowania nasion tego gatunku. Badaniem objęto 5 partii nasion, które pozyskano z polskich drzewostanów w regionie nasiennym Jd62. Dokonano pomiarów prędkości krytycznej unoszenia, grubości, szerokości, długości, kąta tarcia zewnętrznego i masy każdego nasiona. Na podstawie tych cech obliczono geometryczną średnicę zastępczą, wskaźnik proporcji wymiarów, wskaźnik sferyczności oraz gęstość nasion. Stwierdzono, że cechami rozdzielczymi, które można wykorzystać przy kalibracji nasion jodły pospolitej pod względem ich masy w kolejności malejącego związku korelacyjnego są: grubość, długość, prędkość krytyczna unoszenia, szerokość, gęstość oraz kąt tarcia zewnętrznego. W procesie uszlachetniania analizowanego materiału nasiennego powinno się stosować przede wszystkim separatory sitowe z sitami o otworach podłużnych, wyposażone w przynajmniej dwa sita: o wymiarze roboczym $\neq 3,5$ mm i $\neq 2,25$ mm. Dzięki takiemu zestawowi sit z materiału nasiennego będzie można wyodrębnić nasiona bezwartościowe oraz wydzielić frakcję nasion najbardziej dorodnych, którą ze względu na potencjalnie najwyższą zdolność kiełkowania można przeznaczyć do prowadzenia siewu punktowego lub obsiewania pojedynczych kaset i bloków styropianowych przy produkcji tzw. sadzonek z bryłką.

Słowa kluczowe: *Abies alba*, nasiona, wymiary, masa, cechy rozdzielcze, korelacja, sortowanie, frakcje

WSTĘP

Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) to wysokie drzewo iglaste, które w sprzyjających warunkach może osiągnąć nawet 60 m wysokości. Występuje zasadniczo w górach środkowej i południowej Europy do wysokości 1800 m n.p.m. Najbardziej optymalne warunki wzrostu znajduje w zachodniej części Alp i na przedgórzu, w Jurze, w Chorwacji i Bośni oraz na Pogórzu Karpackim (Carcaillet i Muller 2005, Muller i in. 2007, Jaworski 2011, Linares 2011, Brus i in. 2012, Ballian i Halilović 2016, Mauri i in. 2016). Jest to typowe drzewo klimatu umiarkowanie chłodnego i wilgotnego, dostosowane do znoszenia niewielkich wahań temperatury i wysokiej względnej wilgotności powietrza. Unika ono obszarów o klimacie kontynentalnym. Jodła jest dość wrażliwa na mróz i należy do drzew najbardziej cieniowyttrzymałych (Cescatti i Zorer 2003, Jaworski 2011, Ballian i Halilović 2016, Mauri i in. 2016). Jest przywiązana na ogół do gleb głębokich, ze znaczną domieszką części spławianych. Spotyka się ją przede wszystkim na bardzo żyznych siedliskach lasów łęgowych, żyznych i kwaśnych buczynach, siedliskach mezotroficznych, w borach mieszanych, sosnowych i bagiennych (Jaworski 2011). Odnowienie jodłowe jest często wyjadane przez zwierzynę płową, szczególnie zimą, w okresie braku dostępności innego pożywienia (Carcaillet i Muller 2005, Häsler i Senn 2012).

Jodła jest gatunkiem z natury wolno rosnącym. Na żyznych siedliskach kulminacja bieżącego przyrostu wysokości następuje w wieku 35-40 lat, a na ubogich – ok. 50-55 roku życia (Jaworski 2011). W zwartych drzewostanach zaczyna obierać w wieku ok. 60-70 lat, natomiast na jego skraju nieco wcześniej. Szyszki dojrzewają w drugiej połowie września, a już w październiku zaczynają stopniowo się rozpadać (Załęski 1995, Jaworski 2011, Huth i in. 2017). Uwalniane nasiona są nieforemnie trójgraniaste i wraz z skrzydełkiem osiągają długość ok. 25 mm. Skrzydełko jest kruche i łatwo się łamie. Jednocześnie mocno zrasta się z nasieniem, przez co jego fragmenty często przy nim występują. Nasiona zawierają pęcherzyki z płynną żywicą, której obecność, jak podaje m.in. Aniszewska i in. (2017) oraz Huth i in. (2017), bardzo istotnie wpływa na ich żywotność. Pozbawienie nasion pęcherzyków żywicy, np. przez zbyt intensywne oskrzydlenie, prowadzi do bardzo szybkiej utraty ich wartości siewnej.

Szyszki jodły warto zrywać jedynie w latach dużego urodzaju, gdyż te zbierane pomiędzy nimi mają lekkie i drobne nasiona, które słabiej kiełkują i w dużym stopniu są opanowane przez owady (Załęski 1995). Zbiór szyszek jest najczęściej dokonywany ręcznie przez zbieraczy ze szczytowych partii korony. Szyszki zrywa się we wrześniu, gdy zaczynają się przebarwiać, w okresie 2 tygodni przed przypuszczalnym ich rozsypaniem się. Minimalna długość szyszek dopuszczonych do zbioru wynosi 9 cm, a ich wilgotność w tym okresie często przekracza poziom 40%. Ze względu na tak wysoką wilgotność szyszek przy transporcie na duże odległości

należy przewozić je luzem, a nie w workach. W wentylowanym pomieszczeniu przewizorycznego składowania o temperaturze ok. 20°C, warstwa szyszek nie powinna mieć grubości większej niż 15 cm, przy czym codziennie należy je ostrożnie przegarniać, aby nie dopuścić do pleśnienia szyszek i nasion oraz wyrównać proces ich podsychania na różnych głębokościach warstwy. Już w trakcie podsychania szyszki stopniowo rozpadają się na nasiona, łuski i trzpień (proces ten można przyspieszyć, stosując termiczne metody wyłuszcarskie), a uzyskany w taki sposób materiał poddaje się rozdziałowi na separatorach rotacyjnych lub czyszczalniach złożonych (Załęski 1995, Aniszewska i in. 2016, 2017, Huth i in. 2017).

Nasiona przeznaczone do przechowywania najczęściej pozbawia się skrzydełek, dokonując odskrzydlenia metodą przez obłamywanie. Materiał nasienny należy podsuszyć do jak najniższego poziomu wilgotności (8-12%), lecz nie przesuszyć, gdyż może to doprowadzić do obniżenia jego zdolności kiełkowania, która wg doniesień literaturowych (Załęski 1995, Carrillo-Gavilán 2012, Ballian 2013, Gradečki-Poštenjak i Čelepircović 2015) jest i tak niska, kształtując się przeciętnie na poziomie od 15 do 45%. Nasiona należy przechowywać w szczelnie zamykanych pojemnikach, w temperaturze od -3 do -10°C, co gwarantuje zachowanie ich żywotności przez okres do 4 lat. Okres magazynowania materiału nasiennego jodły może być dłuższy, o ile obniży się temperaturę jego przechowywania. Przed siewem nasiona wymagają stratyfikacji chłodnej, prowadzonej przez okres ok. 3 miesięcy w wilgotnym podłożu piaskowo-torfowym lub bez podłoża, przy wilgotności 30%. Po stratyfikacji umieszczenie nasion w temperaturze ok. 20°C powoduje bardzo szybkie inicjowanie ich kiełkowania (Załęski 1995).

Przy projektowaniu i modelowaniu wielu procesów dotyczących materiału nasiennego niezbędna jest znajomość zarówno zakresów zmienności jego cech, jak i występujących między tymi cechami interakcji (Grochowicz 1994). Z kolei wskaźnikami jakości danego materiału nasiennego są przede wszystkim jego żywotność, energia i zdolność kiełkowania (Załęski 1995). Wg wielu autorów (Załęski 1995, Khan 2004, Parker i in. 2006, Upadhaya i in. 2007, Barbour i Carvaiho 2009, Norden i in. 2009) na efektywność kiełkowania nasion w dużej mierze wpływa dorodność danego materiału nasiennego (wymiary i masa tysiąca nasion w odniesieniu do średnich ich wartości), przy czym nie zawsze te bardziej dorodne nasiona wytwarzają kiełki szybciej niż te mniej dorodne. Jednak efektem wykonania podziału materiału nasiennego na frakcje może być m.in. poprawa równomierności wschodów roślin i większe ich wyrównanie, co jest szczególnie istotne w produkcji szkółkarskiej. Należy jednak zaznaczyć, że proces sortowania z wykorzystaniem masy jest trudny do zrealizowania na masową skalę i z tego względu poszukuje się innych cech z nią powiązanych.

W związku z powyższym celem pracy jest wyznaczenie zakresu zmienności podstawowych cech fizycznych nasion jodły pospolitej oraz określenie współzależności między tymi cechami w aspekcie wykorzystania uzyskanych informacji przy planowaniu i realizacji procesów sortowania nasion tego gatunku.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym, przekazany w 2016 r. z zasobów wyłuszczeni nasion w Zwierzyńcu, było 5 jednorodnych partii nasion jodły pospolitej. Nasiona pozyskano w regionie pochodzenia o symbolu Jd62 z pojedynczych drzew matecznych (kategoria leśnego materiału rozmnożeniowego – kwalifikowany), rosnących w wydzieleniach o następującej charakterystyce:

a) nr rejestrowy – MP/3/51334/16, gmina w którym leży obiekt – Zwierzyniec, wysokość n.p.m. – 294 m, pozycja geograficzna – 23°00'E, 50°37'N, siedliskowy typ lasu – las mieszany wyżynny świeży, wiek – 106 lat (oznaczenie – Jd-1),

b) nr rejestrowy – MP/3/51335/16, gmina w którym leży obiekt – Zwierzyniec, wysokość n.p.m. – 288 m, pozycja geograficzna – 23°00'E, 50°37'N, siedliskowy typ lasu – las mieszany wyżynny świeży, wiek – 106 lat (oznaczenie – Jd-2),

c) nr rejestrowy – MP/3/51327/16, gmina w którym leży obiekt – Adamów, wysokość n.p.m. – 299 m, pozycja geograficzna – 23°09'E, 50°36'N, siedliskowy typ lasu – las wyżynny świeży, wiek – 110 lat (oznaczenie – Jd-3),

d) nr rejestrowy – MP/3/51323/16, gmina w którym leży obiekt – Krasnobród, wysokość n.p.m. – 351 m, pozycja geograficzna – 23°10'E, 50°31'N, siedliskowy typ lasu – las mieszany wyżynny świeży, wiek – 119 lat (oznaczenie – Jd-4),

e) nr rejestrowy – MP/3/51325/16, gmina w którym leży obiekt – Adamów, wysokość n.p.m. – 334 m, pozycja geograficzna – 23°06'E, 50°33'N, siedliskowy typ lasu – las wyżynny świeży, wiek – 133 lata (oznaczenie – Jd-5).

Z materiału nasiennego każdej partii nasion pobrano próbki wstępne o masie około 1 kg. Wyodrębniono z nich próbki badawcze, stosując metodę „przez przepławianie” (Załęski 1995). Polegała ona na dzieleniu próbki wstępnej na dwie części, a następnie losowym wybieraniu jednej z nich do kolejnego podziału. Czynności te prowadzono aż do momentu uzyskania w próbce około 100 nasion. Z pozostałych nasion sporządzono próbki do oceny ich wilgotności metodą suszarkowo-wagową (Załęski 1995) za pomocą wagosuszarki MAX 50/WH (RADWAG Radom, Polska).

Pomiary cech fizycznych nasion rozpoczęto od wyznaczenia ich prędkości krytycznej unoszenia (v) przy użyciu klasyfikatora pneumatycznego Petkus K-293 (PETKUS Technologie GmbH, Germany), z dokładnością do $0,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dokładność odczytu natężenia strumienia powietrza – $1 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$). Następnie za pomocą mikroskopu warsztatowego typu MWM 2325 (PZO Warszawa, Polska) określono długość (L) i szerokość (W) każdego z nasion, wykonując pomiary z dokładnością

do 0,02 mm (na pojedynczy wymiar nasiona składają się dwa odczyty ze śruby mikrometrycznej). Grubość (T) każdego nasiona wyznaczano za pomocą przyrządu zbudowanego na bazie czujnika zegarowego, z dokładnością do 0,01 mm. Pomiaru kąta tarcia statycznego (γ) nasion dokonano za pomocą równi pochyłej o regulowanym kącie ustawienia z zamocowaną stalową płytką cierną (chropowatość – $Ra = 0,48 \mu\text{m}$) z precyzją do 1° . Masę (m) nasion odczytywano na wadze laboratoryjnej WAA 100/C/2 (RADWAG Radom, Polska) z dokładnością do 0,1 mg. Pomiaru wykonywano zgodnie z metodyką opisaną w pracach Kaliniewicza i Poznańskiego (2013) oraz Kaliniewicza i in. (2016b), przy czym kąt tarcia statycznego wyznaczono jako średnią wartość kątów uzyskanych z dwóch ułożeń nasion: osiłą długą równoległe i prostopadle do kierunku nachylenia równi.

W następnym etapie, korzystając z bezpośrednich pomiarów cech fizycznych nasion, dla każdego z nich wyznaczono:

– geometryczną średnicę zastępczą (D), wskaźnik proporcji wymiarów (R) i wskaźnik sferyczności (Φ) (Mohsenin 1986):

$$D = (T \cdot W \cdot L)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$R = \frac{W}{L} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\Phi = \frac{(T \cdot W \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{L} \cdot 100 \quad (3)$$

– gęstość (ρ), korzystając z wyznaczonego eksperymentalnie współczynnika objętości nasion (Kaliniewicz i in. 2012):

$$\rho = \frac{m}{0,335 \cdot T \cdot W \cdot L} \quad (4)$$

Nasiona pod względem masy podzielono na trzy klasy dorodności: mało dorodne ($m < x - SD$), średnio dorodne ($x - SD \leq m \leq x + SD$) i dorodne ($m > x + SD$). Wyniki obliczeń zaokrąglono do wielokrotności liczby 5.

Wyniki pomiarów cech fizycznych nasion opracowano statystycznie przy użyciu programu Statistica (wer. 12.5). W analizie i wnioskowaniu przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$. Efekt zróżnicowania tych cech określono metodą analizy wariancji jednoczynnikowej (ANOVA). Warunek normalności każdej z grup sprawdzano za pomocą testu W Shapiro-Wilka, a jednorodności wariancji – testem Levene'a. W przypadku odrzucenia hipotezy zerowej o jednakowych średnich wartościach danej cechy rozpatrywanych gatunków nasion badano istotność różnic za pomocą testu Duncana, wyodrębniając grupy homogeniczne. Stopień współzależności między poszczególnymi cechami fizycznymi nasion oceniano na podstawie współczynników korelacji liniowej Pearsona, a funkcje opisujące współzależności między masą nasion a pozostałymi ich cechami określono metodą analizy regresji (Rabiej 2012).

Przy wyznaczaniu tych równań testowano funkcje dostępne w programie Statistica, wybierając tę jej postać, która najbardziej odpowiada chmurze punktów pomiarowych, a jednocześnie charakteryzuje się wysokim współczynnikiem determinacji.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Wilgotność nasion otrzymanych z wyłuszczeni nasion w Zwierzyńcu wynosi od 8,5 do 8,9%, co świadczy, że są one przygotowane do długiego przechowywania. Zgodnie z ustaleniami zawartymi w dostępnej literaturze (Załęski 1995, Aniszewska i in. 2017) nasiona jodły pospolitej nie powinny mieć wilgotności mniejszej niż 8%, gdyż powoduje to znaczne obniżenie ich zdolności kiełkowania. Z kolei nasiona zbyt wilgotne mogą być w czasie przechowywania narażone na uszkodzenia, powodowane przez niskie temperatury ujemne oraz mikroorganizmy.

W wyodrębnionych próbkach badawczych znajdowało się od 103 nasion (partia Jd-1) do 118 nasion (partia Jd-5). Błędy szacunku średnich wartości poszczególnych cech fizycznych nasion nie przekraczały w przypadku prędkości krytycznej unoszenia (v) – $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, grubości (T) – 0,1 mm, szerokości (W) – 0,2 mm, długości (L) – 0,3 mm, kąta tarcia zewnętrznego (γ) – 2° oraz masy (m) – 2,4 mg.

Charakterystykę cech fizycznych nasion badanych partii materiału nasiennego przedstawiono w tabeli 1. Można zauważyć, że stosunkowo dużą liczbę różnic statystycznie istotnych między cechami nasion (7 przypadków na 10 porównań) odnotowuje się u partii Jd-1 i Jd-2, czyli u materiału nasiennego zebranego z drzew o tym samym wieku, rosnących na takim samym siedlisku, zlokalizowanych obok siebie. Można zatem stwierdzić, że na cechy fizyczne nasion jodły pospolitej w znacznym stopniu wpływają uwarunkowania genetyczne drzew macierzystych, co potwierdzają też m.in. badania Mikoli (1980), Matzirisa (1998), Castro (1999), Tracza i Barzdajna (2007), Sevika i in. (2010), Sivacioğlu (2010), Sevika i Tapaçoğlu (2015), Balliana i Halilović (2016) w odniesieniu zarówno do nasion jodły, jak i pozostałych gatunków drzew iglastych. Najmniejszą liczbę różnic statystycznie istotnych (1 przypadek na 10 porównań) odnotowano między cechami nasion z partii Jd-1 i Jd-3, a największą – między cechami nasion z partii Jd-1 i Jd-5 (8 przypadków na 10 porównań).

Średnia prędkość krytyczna unoszenia nasion zawiera się w przedziale od 7,11 do $7,57 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i jest większa od uzyskanej przez Tylka (1999a, 2003, 2011) u nasion pochodzących z południowej części Polski. Pod względem powyższej cechy nasiona jodły pospolitej są podobne m.in. do nasion ketmii szczawiowej (Omobuwajo i in. 2000), krokosza brawierskiego (Kara i in. 2012) oraz orzeszków leszczyny pospolitej (Aydin 2002). Podstawowe wymiary nasion analizowanego gatunku (szczególnie grubość i szerokość) są nieco mniejsze od uzyskanych przez Czernika (1993) oraz Tylka (1998) oraz porównywalne z wynikami zaprezentowanymi w innych doniesieniach Tylka (2000, 2003). Średnia masa nasion zmienia się w przedziale od ok.

36,9 do ok. 49,7 mg, przez co partie analizowanego materiału nasiennego nie odbiegają od dopuszczalnego zakresu zmian tej cechy w Polsce (Załęski 1995), choć są nieco mniej dorodne od średniej krajowej wartości tej cechy, wynoszącej 50,3 mg. Badane partie materiału nasiennego składają się z nasion, które ustępują dorodnością materiałowi pozyskanemu w Bośni i Hercegowinie (Ballian 2013) oraz Chorwacji (Gradečki-Poštenjak i Čelepirović 2015). Pod względem masy nasiona jodły pospolitej są zbliżone do nasion wybranych odmian pszenicy (Mabille i Abecassis 2003, Markowski i in. 2013, Kim i in. 2014), a także orzeszków grabu pospolitego (Aguinagalde i in. 2005, Kaliniewicz i in. 2015) i owoców ostrokrzewu kolczastego (Aguinagalde i in. 2005). Natomiast z uwagi na wskaźnik sferyczności, którego średnia wartość zawiera się w przedziale od ok. 50,5 do ok. 52,8%, nasiona analizowanego gatunku są podobne m.in. do nasion jęczmienia (Markowski i in. 2010, Sologubik i in. 2013, Kaliniewicz i in. 2016a), babki jajowatej (Ahmadi i in. 2012), dębu perskiego (Jalilian Tabar i in. 2011) oraz daglezi zielonej (Kaliniewicz i in. 2012).

Tabela 1. Parametry statystyczne rozkładów cech fizycznych (wartość średnia \pm odchylenie standardowe) nasion i ocena istotności różnic

Table 1. Statistical distribution of the physical properties (mean value \pm standard deviation) of seeds and significant differences between batches

Cecha fizyczna – wskaźnik Physical property – indicator	Partia nasion / Seed batch				
	Jd-1	Jd-2	Jd-3	Jd-4	Jd-5
Prędkość krytycz. unoszenia Terminal velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,55 \pm 0,76 ^b	7,34 \pm 1,06 ^{ab}	7,50 \pm 0,95 ^b	7,57 \pm 0,92 ^b	7,11 \pm 0,98 ^a
Grubość / Thickness (mm)	3,11 \pm 0,28 ^c	2,96 \pm 0,40 ^{ab}	3,04 \pm 0,34 ^{bc}	2,93 \pm 0,35 ^a	2,88 \pm 0,32 ^a
Szerokość / Width (mm)	4,81 \pm 0,66 ^b	4,55 \pm 0,65 ^a	4,79 \pm 0,72 ^b	4,58 \pm 0,67 ^a	4,47 \pm 0,61 ^a
Długość / Length (mm)	10,78 \pm 1,05 ^c	9,60 \pm 1,13 ^a	10,54 \pm 1,12 ^c	10,23 \pm 1,03 ^b	9,76 \pm 1,08 ^a
Kąt tarcia zewnętrznego Angle of external friction ($^{\circ}$)	39,18 \pm 5,68 ^c	37,99 \pm 6,11 ^{bc}	37,11 \pm 3,68 ^{ab}	37,77 \pm 3,79 ^{ab}	36,42 \pm 5,44 ^a
Masa / Mass (mg)	49,74 \pm 10,90 ^c	38,99 \pm 11,79 ^a	49,37 \pm 11,92 ^c	44,18 \pm 10,85 ^b	36,86 \pm 10,99 ^a
Geom. średnica zastępcza Geom. mean diameter (mm)	5,43 \pm 0,44 ^c	5,03 \pm 0,49 ^{ab}	5,34 \pm 0,48 ^c	5,14 \pm 0,46 ^b	5,00 \pm 0,45 ^a
Wskaźnik prop. wymiarów Aspect ratio (%)	44,92 \pm 6,54 ^a	47,83 \pm 7,48 ^b	45,87 \pm 8,10 ^{ab}	45,14 \pm 7,67 ^a	46,22 \pm 7,00 ^{ab}
Wskaźnik sferyczności Sphericity index (%)	50,60 \pm 3,63 ^a	52,75 \pm 4,38 ^b	50,88 \pm 4,26 ^a	50,45 \pm 3,99 ^a	51,44 \pm 3,86 ^a
Gęstość / Density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0,92 \pm 0,17 ^{bc}	0,90 \pm 0,18 ^{ab}	0,96 \pm 0,18 ^c	0,96 \pm 0,16 ^c	0,87 \pm 0,18 ^a

a, b, c – różne litery w wierszach oznaczają średnie różniące się statystycznie istotnie / a, b, c – different letters indicate statistically significant differences between mean values

W dalszej analizie wyniki pomiarów poszczególnych cech nasion rozpatrywanych partii materiału nasiennego jodły pospolitej zestawiono razem, tworząc z nich jedną grupę badawczą. Z analizy korelacji liniowej cech fizycznych nasion (tab. 2) wynika, że cechą najczęściej skorelowaną z pozostałymi jest geometryczna średnica zastępcza (brak istotnej korelacji jedynie z kątem tarcia zewnętrznego), a najmniej – kąt tarcia zewnętrznego. Niewielkie powiązanie kąta tarcia nasion

z innymi cechami odnotował też m.in. Tylek (2006) w odniesieniu do nasion buka oraz Kaliniewicz i in. (2017) w przypadku nasion wybranych gatunków jałowców. Można zatem przyjąć, że również i w odniesieniu do nasion jodły pospolitej ich właściwości tarciove nie powinny być głównymi cechami rozdzielczymi, a jedynie w razie konieczności wspomagać proces separacji nasion. Najwyższą wartość współczynnika korelacji odnotowano między wskaźnikiem proporcji wymiarów a wskaźnikiem sferyczności nasion (0,886). Jest to rezultat pewnego podobieństwa formuł ich obliczania, które bazują na podstawowych wymiarach nasion.

Tabela 2. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona między cechami nasion
Table 2. Coefficients of linear correlation between the properties of seeds

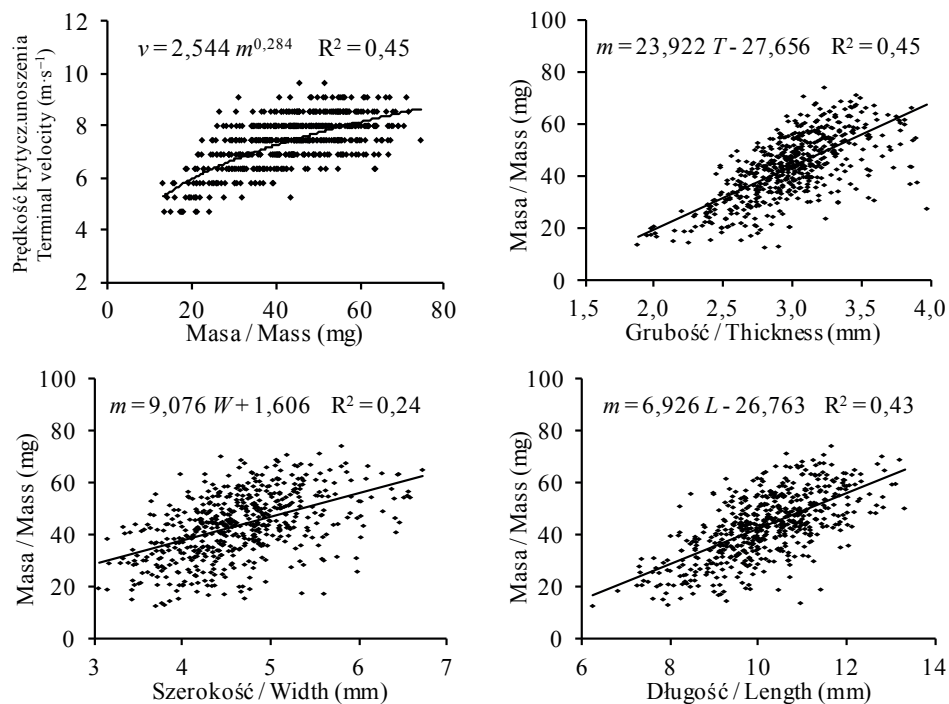
Cecha fizyczna / Physical property	v	T	W	L	γ	m	D	R	Φ
T	0,369	1							
W	0,052	0,355	1						
L	0,210	0,467	0,257	1					
γ	0,165	-0,058	-0,017	-0,022	1				
m	0,612	0,671	0,491	0,651	0,024	1			
D	0,274	0,783	0,753	0,729	-0,043	0,794	1		
R	-0,119	-0,029	0,705	-0,494	-0,001	-0,039	0,138	1	
Φ	0,009	0,250	0,512	-0,583	-0,019	-0,008	0,124	0,886	1
ρ	0,624	-0,073	-0,350	-0,042	0,097	0,396	-0,217	-0,292	-0,205

v – prędkość krytyczna unoszenia, T – grubość, W – szerokość, L – długość, γ – kąt tarcia zewnętrznego, m – masa, D – geometryczna średnica zastępcza, R – wskaźnik proporcji wymiarów, Φ – wskaźnik sferyczności, ρ – gęstość / v – terminal velocity, T – thickness, W – width, L – length, γ – angle of external friction, m – mass, D – geometric mean diameter, R – aspect ratio, Φ – sphericity index, ρ – density. Liczby z pogrubioną czcionką oznaczają, że współczynnik korelacji jest statystycznie istotny na przyjętym poziomie istotności 0,05 / Numbers in bold indicate that a correlation coefficient is statistically significant at 0.05

Zgodnie z doniesieniami literaturowymi, dokonanymi m.in. przez Mikołę (1980), Castro (1999), Khana (2004), Parkera i in. (2006), Upadhaya i in. (2007), Wu i Du (2007) oraz Castro i in. (2008), masa nasion bardzo istotnie wpływa na rozwój kiełków i wzrost siewek. Do podobnego wniosku doszli również Sabor (1984), Walczyk i Tylek (1999) oraz Tylek (1999b, 2003) przy porównywaniu masy żywotnych i nieżywotnych nasion jodły pospolitej. Jednak proces rozdzielczy z wykorzystywaniem masy nasion jako cechy rozdzielczej należy do trudnych do zrealizowania na dużą skalę. Jest on możliwy do przeprowadzenia przy użyciu rozdzielaczy wibracyjnych lub wibracyjno-pneumatycznych (Grochowicz 1994), ale tylko pod warunkiem, że cząstki materiału nasiennego różnią się masą przy zachowaniu podobnych wymiarów lub też wymiarami przy występowaniu jednakowej ich masy. Przy jednoczesnym zróżnicowaniu masy i wymiarów nasion jodły pospolitej proces rozdzielczy z wykorzystaniem wyżej wspomnianych rozdzielaczy może nie przynieść oczekiwanych efektów. Dlatego też poszukuje się istotnych współzależności masy nasion z innymi ich cechami, które można efektywnie wykorzystać do kalibrowania nasion (Czernik

1993, Tylek 1999a, 2003, 2011, Walczyk i Tylek 1999). Wśród potencjalnych cech rozdzielczych z masą nasion jodły pospolitej najsilniej jest skorelowana ich grubość (0,671), a nieco słabiej długość (0,651) oraz prędkość krytyczna unoszenia (0,612). Uzyskane wartości współczynników korelacji są zdecydowanie mniejsze (szczególnie w odniesieniu do masy i szerokości nasion) od prezentowanych przez Czernika (1993) przy badaniu materiału nasiennego pozyskanego z drzewostanów o wieku od 60 do 85 lat, w karpackiej krainie przyrodniczo-leśnej. Wynikać to może z innej liczebności porównywanych grup badawczych.

Przy testowaniu funkcji regresyjnych podczas określania typu współzależności między cechami stwierdzono, że najlepsze dopasowanie do danych empirycznych (równania z najwyższym współczynnikiem determinacji) mają funkcje: potęgowa lub liniowa (rys. 1).



Rys. 1. Współzależności między cechami fizycznymi nasion

Fig. 1. Relationship between the properties of seeds

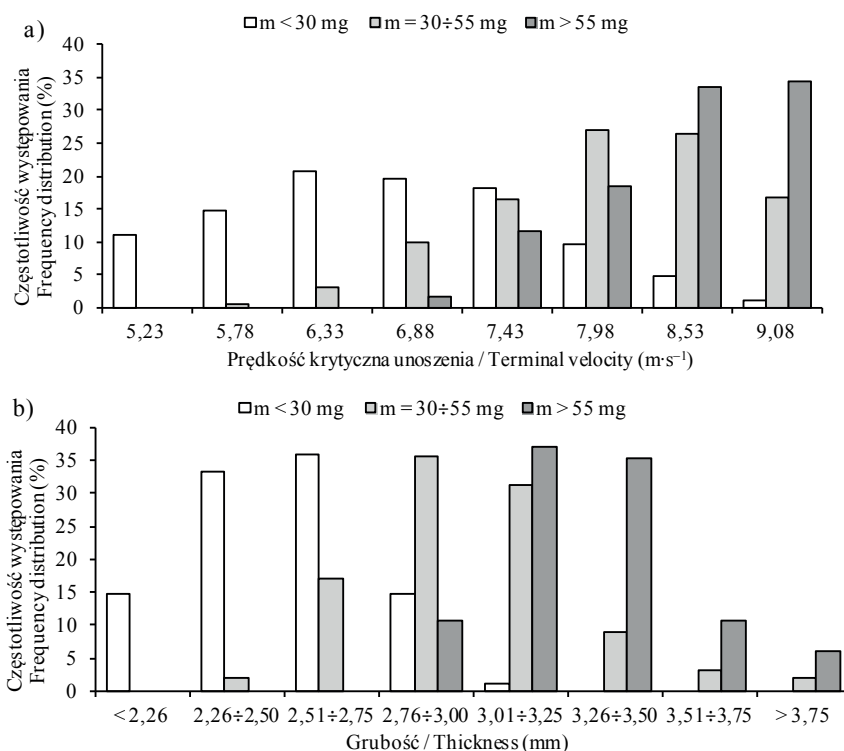
Równania z najwyższym procentem wyjaśnionej zmienności (0,45) uzyskano dla zależności masy nasion i ich prędkości krytycznej unoszenia oraz grubości. Wynika z tego, że powyższe cechy należy wykorzystywać pierwszoplanowo przy separacji materiału nasiennego jodły pospolitej. W związku z tym, że rozkłady masy nasion pełnych i pustych zachodzą na siebie (Tylek 1999b, Walczyk i Tylek

1999), co jest związane m.in. ze stosunkowo grubą okrywą nasion oraz występowaniem pęcherzyków żywicy nawet w pustych nasionach, precyzyjne oddzielenie tych nasion od pełnych jest praktycznie niemożliwe. Z racji odnotowania stosunkowo wysokiego współczynnika korelacji między gęstością nasion a ich prędkością krytyczną unoszenia (tab. 2) można stwierdzić, że w pierwszym rzędzie dobrze jest stosować do sortowania materiału nasiennego jodły pospolitej separatory pneumatyczne. Potwierdzają to też doniesienia m.in. Tylka (2003, 2011), Walczyka i Tylka (1999), a przede wszystkim Tylka i in. (2001), w których stwierdzono, że prowadzenie osobnego wysiewania poszczególnych frakcji materiału nasiennego prowadzi do zróżnicowania poziomu wschodów, a sadzonki wyrosłe z tych bardziej dorodnych nasion charakteryzują się odpowiednio lepszym wzrostem. Przy braku rozdzielacza pneumatycznego do kalibracji nasion jodły pospolitej pod względem masy nasion można też użyć przesiewacza sitowego z sitami o otworach podłużnych lub też tryjera. Stosowanie tego drugiego urządzenia, zdaniem autorów, nie jest jednak wskazane ze względu na to, że kształt wgłębień znajdujących na powierzchni jego cylindra jest dostosowany przede wszystkim do rozdzielania nasion elipsoidalnych (Grochowicz 1994), a nie nieregularnie trójgraniastych, przez co jakość procesu rozdzielczego może być niezadowolająca.

Zgodnie z przyjętą w metodyce badań zasadą doboru nasion do danej klasy dorodności przyjęto w dalszych rozważaniach, że nasiona lekkie mają masę $m < 30$ mg, średnie – $m = 30 \div 55$ mg, a ciężkie – $m > 55$ mg. A zatem w badanym materiale nasiennym występuje 14,6% nasion lekkich, 65,2% nasion średnich i 20,2% nasion ciężkich. Histogramy rozkładu tych frakcji materiału nasiennego przy prowadzeniu potencjalnego sortowania pod względem prędkości krytycznej unoszenia oraz grubości nasion przedstawiono na rysunku 2.

Można zauważyć, że sortowanie materiału nasiennego jodły pospolitej pozwala zróżnicować poszczególne frakcje pod względem udziału w każdej z nich nasion o określonej dorodności. Wg Sabora (1984) odrzucenie 10% nasion frakcji najlżejszych zmniejsza liczbę kiełkujących nasion tylko o 1%. Zważywszy na to, że grupę badawczą stanowi materiał nasienny, którego poszczególne partie różnią się istotnie średnią masą nasion, można przyjąć, że bezpieczną granicą podziałową prędkości strumienia powietrza pod kątem odrzucania nasion pustych jest prędkość na poziomie ok. $5,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Do odpadu kierowane będzie wówczas średnio ok. 11% nasion najlżejszych, co stanowi ok. 2% całej badanej populacji nasion. Pozostały materiał nasienny można podzielić jeszcze np. na dwie lub trzy frakcje tak, aby nie utracić zdolnych do skielkowania nasion. Oczywiście we frakcji najlżejszej będą znajdować się nasiona o najniższym wskaźniku kiełkowania, a we frakcji najcięższej – o największym. Frakcję o najmniejszej prędkości krytycznej unoszenia a jednocześnie o najmniejszej zdolności kiełkowania, oraz frakcję o średniej prędkości krytycznej unoszenia będzie można wykorzystać np. do wykonywania siewu rzędowego lub

rzutowego na grzędach w szkółkach tradycyjnych, a frakcję o największej prędkości krytycznej unoszenia – do siewu punktowego na grzędach lub do obsiewu pojedynczych kaset lub bloków styropianowych w szkółkach kontenerowych.



Rys. 2. Masowe rozkłady prędkości krytycznej unoszenia (a) oraz grubości (b) nasion jodły pospolitej
Fig. 2. Mass distribution of terminal velocity (a) and thickness (b) of silver fir seeds

Jeszcze korzystniej dla prowadzenia procesów rozdzielczych przedstawia się rozkład masowy nasion jodły pod względem ich grubości. Można zauważyć, że w trzech pierwszych przedziałach (najmniej dorodnych pod względem analizowanej cechy) nie odnotowuje się nasion ciężkich, a w trzech ostatnich (najbardziej dorodnych) – nasion lekkich. W wyniku zastosowania sita z otworami podłużnymi o wymiarze roboczym $\neq 2,25$ mm będzie można usunąć z materiału nasiennego ok. 15% nasion najlżejszych, co stanowi 2,1% wszystkich nasion. Pozostałe nasiona można również podzielić na dwie lub trzy frakcje, a uzyskany materiał wykorzystać podobnie, jak miało to miejsce w poprzednim przykładzie. W przypadku zastosowania sita z otworami podłużnymi o wymiarze roboczym $\neq 3,5$ mm, w wydzielonej na nim frakcji będzie występować ok. 20% całej puli nasion, w której będzie znajdowało się ok. 14% ogółu nasion średnich i aż ok. 52% wszystkich nasion ciężkich. Frakcję tę (o potencjalnie najwyższej

zdolności kiełkowania) można będzie z powodzeniem używać do siewu punktowego lub też w szkółkarstwie kontenerowym, gdzie bardzo istotne jest jak najlepsze wykorzystanie przestrzeni przydzielonej poszczególnym nasionom.

WNIOSKI

1. W badanych partiach materiału nasiennego jodły pospolitej średnie wartości analizowanych cech nasion przyjmują następujące wartości: prędkość krytyczna unoszenia – od 7,11 do 7,57 m·s⁻¹, grubość – od 2,88 do 3,11 mm, szerokość – od 4,47 do 4,81 mm, długość – od 9,60 do 10,78 mm, kąt tarcia statycznego – od 36,42 do 39,18°, masa – od 36,86 do 49,74 mg, geometryczna średnica zastępcza – od 5,00 do 5,43 mm, wskaźnik proporcji wymiarów – od 44,92 do 47,83%, wskaźnik sferyczności – od 50,45 do 52,72% oraz gęstość – od 0,87 do 0,96 g·cm⁻³.

2. Cechą nasion najbardziej powiązaną z pozostałymi jest geometryczna średnica zastępcza, a najmniej – kąt tarcia zewnętrznego. W odniesieniu do wskaźnika proporcji wymiarów odnotowano najwyższą i najniższą wartość współczynnika korelacji – odpowiednio w porównywaniu ze wskaźnikiem sferyczności (0,886) i kątem tarcia zewnętrznego (-0,001). Cechami rozdzielczymi, które można wykorzystać do kalibracji nasion jodły pospolitej pod względem ich masy, w kolejności malejącego związku korelacyjnego są: grubość, długość, prędkość krytyczna unoszenia, szerokość, gęstość oraz kąt tarcia zewnętrznego.

3. W procesie uszlachetniania materiału nasiennego jodły pospolitej należy stosować przede wszystkim separatory sitowe z sitami o otworach podłużnych, przy czym proponuje się wykorzystać przynajmniej dwa sita: o wymiarze roboczym $\neq 3,5$ mm i $\neq 2,25$ mm. Na pierwszym z nich nastąpi odseparowanie frakcji najbardziej dorodnej, w której będą występować jedynie najbardziej wartościowe nasiona średnie i ciężkie, a przez drugie sito będą przesiewane tylko nasiona lekkie, o bardzo niewielkim, praktycznie zerowym potencjale kiełkowania, które można odrzucić. Przez dodanie kolejnego sita o pośrednim wymiarze otworów uzyska się trzy frakcje materiału nasiennego, każda o potencjalnie innej zdolności kiełkowania.

PIŚMIENNICTWO

- Aguinagalde I., Hampe A., Mohanty A., Martin J.P., Duminil J., Petit R.J., 2005. Effects of life-history traits and species distribution on genetic structure at maternally inherited markers in European trees and shrubs. *J. Biogeog.*, 32, 329-339, doi:10.1111/j.1365-2699.2004.01178.x
- Ahmadi R., Kalbasi-Ashtari A., Gharibzahedi S.M.T., 2012. Physical properties of psyllium seed. *Int. Agrophys.*, 26, 91-93, doi:10.2478/v10247-012-0013-y
- Aniszewska M., Bluszkowska U., 2016. Variability of silver fir (*Abies alba* Mill.) cones – variability of cone parameters. *Leśne Prace Badawcze*, 77(3), 221-229, doi:10.1515/frp-2016-0024
- Aniszewska M., Gendek A., Śliwińska J., 2017. Variability of silver fir (*Abies alba* Mill.) cones – variability structure of scale surface area. *Leśne Prace Badawcze*, 78(1), 5-13, doi:10.1515/frp-2017-0001

- Aydin C., 2002. Physical properties of hazel nuts. *Biosyst. Eng.*, 82(3), 297-303, doi:10.1006/bioe.2002.0065
- Ballian D., 2013. Genetic overload of silver fir (*Abies alba* Mill.) from five populations from central Bosnia and Herzegovina. *Folia Forestalia Polonica, series A*, 55(2), 49-57, doi:10.2478/ffp-2013-0006
- Ballian D., Halilović V., 2016. Variability of the silver fir (*Abies alba* Mill.) in Bosnia and Herzegovina. *Wyd. Silva Slovenica, Sarajewo*.
- Barbour J.R., Carvaiho J.P.F., 2009. Response of Rocky Mountain juniper (*Juniperus scopulorum*) seeds to seed conditioning and germination treatments. *Seed Tech.*, 31(1), 43-54.
- Brus D.J., Hengeveld G.M., Walvoort D.J.J., Goedhart P.W., Heidema A.H., Nabuurs G.J., Gunia K., 2011. Statistical mapping of tree species over Europe. *E. J. For. Res.*, 131, 145-157, doi:10.1007/s10342-011-0513-5
- Carcaillet C., Muller S.D., 2005. Holocene tree-limit and distribution of *Abies alba* in the inner French Alps: anthropogenic or climatic changes? *Boreas*, 34, 468-476, doi:10.1080/03009480500231377
- Carrillo-Gavilán A., Espelta J.M., Vilà M., 2012. Establishment constraints of an alien and a native conifer in different habitats. *Biol. Invasions*, 14(6), 1279-1289, doi:10.1007/s10530-011-0155-z
- Castro J., 1999. Seed mass versus seedling performance in Scots pine: a maternally dependent trait. *New Phytol.*, 144, 153-161, doi:10.1046/j.1469-8137.1999.00495.x
- Castro J., Reich P.B., Sánchez-Miranda Á., Guerrero J.D., 2008. Evidence that the negative relationship between seed mass and relative growth rate is not physiological but linked to species identity: a within-family analysis of Scots pine. *Tree Physiol.*, 28, 1077-1082, doi:10.1093/treephys/28.7.1077
- Cescatti A., Zorer R. 2003. Structural acclimation and radiation regime of silver fir (*Abies alba* Mill.) shoots along a light gradient. *Plant Cell Environ.*, 26, 429-442, doi:10.1046/j.1365-3040.2003.00974.x
- Czernik Z., 1993. Badania właściwości geometrycznych nasion jodły. *Sylwan*, 8, 57-64.
- Gradečki-Poštenjak M., Čelepirović N., 2015. The influence of crown defoliation on the variability of some physiological and morphological properties of silver fir (*Abies alba*) seeds in the seed zone of Dinaric beech-fir forests in Croatia. *Period. Biol.*, 117(4), 479-492, doi:10.18054/pb.2015.117.4.3428
- Grochowicz J., 1994. *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin.
- Häsler H., Senn J., 2012. Ungulate browsing on European silver fir *Abies alba*: the role of occasions, food shortage and diet preferences. *Wildlife Biol.*, 18, 67-74, doi:10.2981/09-013
- Huth F., Wehnert A., Tiebel K., Wagner S., 2017. Direct seeding of silver fir (*Abies alba* Mill.) to convert Norway spruce (*Picea Abies* L.) forests in Europe: A review. *Forest Ecol. Manag.*, 403, 61-78, doi:10.1016/j.foreco.2017.08.017
- Jalilian Tabar F., Lorestani A.N., Gholami R., Behzadi A., Fereidoni M., 2011. Physical and mechanical properties of Oak (*Quercus Persica*) fruits. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13(4), 1-4.
- Jaworski A., 2011. *Hodowla lasu. Tom III. Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych*. Wyd. PWRiL, Warszawa.
- Kaliniewicz Z., Anders A., Markowski P., Jadwisieńczyk K., Krzysiak Z., 2017. Analiza cech fizycznych nasion wybranych gatunków jałowców. *Acta Agroph.*, 24(3), 443-454.
- Kaliniewicz Z., Anders A., Markowski P., Jadwisieńczyk K., Rawa T., 2016a. Influence of cereal seed orientation on external friction coefficients. *T. ASABE*, 59(3), 1073-1081, doi:10.13031/trans.59.11628
- Kaliniewicz Z., Markowski P., Anders A., Jadwisieńczyk B., Rawa T., Szczechowicz D., 2016b. Basic physical properties of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seed. *Technical Sciences*, 19(2), 103-115.

- Kaliniewicz Z., Poznański A., 2013. Zmienności i wzajemna korelacja wybranych cech fizycznych nasion lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.). *Sylwan*, 157(1), 39-46.
- Kaliniewicz Z., Tylek P., Markowski P., Anders A., Rawa T., Liedtke M., 2015. Selected physical parameters of common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) nuts. *Technical Sciences*, 18(4), 247-259.
- Kaliniewicz Z., Tylek P., Markowski P., Anders A., Rawa T., Zadrożny M., 2012. Determination of shape factors and volume coefficients of seeds from selected coniferous trees. *Technical Sciences*, 15(2), 217-228.
- Kara M., Bastaban S., Öztürl I., Kalkan F., Yildiz C., 2012. Moisture-dependent frictional and aerodynamic properties of safflower seeds. *Int. Agrophys.*, 26, 203-205, doi:10.2478/v10247-012-0029-3
- Khan M.L., 2004. Effects of seed mass on seedling success in *Artocarpus heterophyllus* L., a tropical tree species of north-east India. *Acta Oecol.*, 25, 103-110, doi:10.1016/j.actao.2003.11.007
- Kim K.H., Shin S.H., Park S., Park J.C., Kang C.S., Park C.S., 2014. Relationship between pre-harvest sprouting and functional markers associated with grain weight, TaSUS2-2B, TaGW2-6A, and TaCWI-A1, in Korean wheat cultivars. *SABRAO J. Breed. Genet.*, 46(2), 319-328.
- Linares J.C., 2011. Biogeography and evolution of *Abies* (*Pinaceae*) in the Mediterranean Basin: the roles of long-term climatic change and glacial refugia. *J. Biogeog.*, 38, 619-630, doi:10.1111/j.1365-2699.2010.02458.x
- Mabille F., Abecassis J., 2003. Parametric modelling of wheat grain morphology: a new perspective. *J. Cereal Sci.*, 37, 43-53, doi:10.1006/jcrs.2002.0474
- Markowski M., Majewska K., Kwiatkowski D., Malkowski M., Burdyło G., 2010. Selected geometric and mechanical properties of barley (*Hordeum vulgare* L.) grain. *Int. J. Food Prop.*, 13, 890-903, doi:10.1080/10942910902908888
- Markowski M., Żuk-Gołaszewska K., Kwiatkowski D., 2013. Influence of variety on selected physical and mechanical properties of wheat. *Ind. Crop. Prod.*, 47, 113-117, doi:10.1016/j.indcrop.2013.02.024
- Matziris D., 1998. Genetic variation in cone and seed characteristics in a clonal seed orchard of Aleppo pine grown in Greece. *Silvae Genetica*, 47(1), 37-41.
- Mauri A., de Rigo D., Caudullo G., 2016. *Abies alba* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: *European Atlas of Forest Tree Species* (Eds J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri). Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e01493b+.
- Mikola J., 1980. The effect of seed size and duration of growth on the height of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenances and progenies at the nursery stage. *Silva Fenn.*, 14(1), 84-94, doi:10.14214/sf.a15010
- Mohsenin N.N., 1986. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Public, New York.
- Muller S., Nakagawa T., de Beaulieu J.-L., Court-Picon M., Carcaillet Ch., Miramont C., Roiron P., Boutterin C., Ali A.A., Bruneton H., 2007. Post-glacial migration of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the south-western Alps. *J. Biogeog.*, 34, 876-899, doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01665.x
- Norden N., Daws M.I., Antoine C., Gonzalez M.A., Garwood N.C., Chave J., 2009. The relationship between seed mass and mean time to germination for 1037 tree species across five tropical forests. *Func. Ecol.*, 23(1), 203-210, doi:10.1111/j.1365-2435.2008.01477.x
- Omobuwajo T.O., Sanni L.A., Balami Y.A., 2000. Physical properties of sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) seeds. *J. Food Eng.*, 45, 37-41, doi:10.1016/S0260-8774(00)00039-X
- Parker W.C., Noland T.L., Morneault A.E., 2006. The effects of seed mass on germination, seedling emergence, and early seedling growth of eastern white pine (*Pinus strobus* L.). *New Forests*, 32, 33-49, doi:10.1007/s11056-005-3391-1
- Rabiej M., 2012. *Statystyka z programem Statistica*. Wyd. Helion, Gliwice.

- Sabor J., 1984. Zależność między ciężarem a zdolnością kiełkowania nasion jodły pospolitej, Sylwan, 4, 59-69.
- Sevik H., Ayan S., Turna I., Yahyaoglu Z., 2010. Genetic diversity among populations in Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) seed stand of Western Black Sea Region in Turkey. Afr. J. Biotechnol., 9(43), 7266-7272.
- Sevik H., Tapaçoğlu O., 2015. Variation and inheritance pattern in cone and seed characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for evaluation of genetic diversity. J. Environ. Biol., 36, 1125-1130.
- Sivacioğlu A., 2010. Genetic variation in seed cone characteristics in a clonal seed orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown in Kastamonu-Turkey. Rom. Biotechnol. Letters, 15(6), 5695-5701.
- Sologubik C.A., Campañone L.A., Pagano A.M., Gely M.C., 2013. Effect of moisture content on some physical properties of barley. Ind. Crop. Prod., 43, 762-767, doi:10.1016/j.indcrop.2012.08.019
- Tracz M., Barzdajn W., 2007. The morphological traits of cones and seeds of *Abies alba* in the Middle Sudeten. Dendrobiology, 58, 59-65.
- Tylek P., 1998. Cechy planimetryczne nasion drzew liściastych. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 1, 22-24.
- Tylek P., 1999a. Problemy selekcji pneumatycznej nasion drzew leśnych, Sylwan, 12, 65-72.
- Tylek P., 1999b. Selekcja wagowa nasion jodły, modrzewia i świerka. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 3, 17-19.
- Tylek P., 2000. Układ optyczny do wspomagania pomiarów planimetrycznych nasion metodą analizy obrazu. Inżynieria Rolnicza, 7, 175-181.
- Tylek P., 2003. Efektywność podstawowych kryteriów sortowania nasion jodły pospolitej. Acta Agroph., 2(4), 857-866.
- Tylek P., 2006. Tarcie i sprężystość jako cechy rozdzielcze bukwi, Sylwan, 5, 51-58.
- Tylek P., 2011. Analiza cech aerodynamicznych nasion jodły pospolitej i buka zwyczajnego. Inżynieria Rolnicza, 6(131), 247-253.
- Tylek P., Walczyk J., Sabor J., 2001. Czyszczenie i sortowanie nasion jodły pospolitej w pionowym strumieniu powietrza. Prace Komisji Nauk Rolniczych, 3, 153-160.
- Upadhaya K., Pandey H.N., Law P.S., 2007. The effect of seed mass on germination, seedling survival and growth in *Prunus jenkinsii* Hook.f. & Thoms. Turk. J. Bot., 31, 31-36.
- Walczyk J., Tylek P., 1999. Analiza kryteriów sortowania i siew punktowy nasion jodły pospolitej. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie, 339(61), 209-220.
- Wu G., Du G., 2007. Germination is related to seed mass in grasses (*Poaceae*) of the eastern Qinghai-Tibetan Plateau, China. Nord. J. Bot., 25(5-6), 361-365, doi:10.1111/j.0107-055X.2007.00179.x
- Załęski A. (red.), 1995. Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych. Wyd. Oficyna Edytorska "Wydawnictwo Świat", Warszawa.

CORRELATIONS BETWEEN THE PHYSICAL PROPERTIES OF SILVER FIR SEEDS

*Zdzisław Kaliniewicz¹, Stefan Mańkowski¹, Paweł Tylek²,
Zbigniew Krzysiak³, Waldemar Peda¹*

¹Department of Heavy Duty Machines and Research Methodology
University of Warmia and Mazury in Olsztyn, ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn, Poland

²Institute of Forest Utilization and Forest Technology, University of Agriculture in Cracow
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, Poland

³Department of Mechanical Engineering and Automatic Control Engineering
University of Life Sciences in Lublin, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Poland
e-mail: zdzislaw.kaliniewicz@uwm.edu.pl

Abstract. According to published research findings, germination rate and efficiency are largely determined by seed mass. However, it is difficult to calibrate seeds based on their mass on a large scale. Therefore, other traits strongly correlated with mass should be identified and used in the seed separation process. The aim of this study was to determine the range of variation in the basic physical properties of silver fir seeds, and the presence of correlations between these properties for the needs of the seed sorting process. The experiment was performed on 5 batches of seeds harvested from Polish tree stands in seed zone Jd62. The terminal velocity, thickness, width, length, angle of external friction and mass of every seed were measured. The values of these parameters were used to calculate the geometric mean diameter, aspect ratio, sphericity index and the density of seeds. Silver fir seeds can be divided into mass fractions based on the following parameters correlated with mass, arranged in decreasing order: thickness, length, terminal velocity, width, density and angle of external friction. To improve their quality, the analysed seeds should be sorted with the use of sieve separators with longitudinal openings, equipped with at least two sieves with working mesh dimensions of $\neq 3.5$ mm and $\neq 2.25$ mm. Such a set of sieves can support the separation of worthless seeds from the plumpest seeds characterised by potentially the highest germination capacity, which could be used for single-seed sowing or sown in single boxes and Styrofoam blocks in the production of seedlings with root balls.

Keywords: *Abies alba*, seeds, dimensions, mass, separating parameters, correlation, sorting, fractions