

## ANALIZA CECH AERODYNAMICZNYCH NASION JODŁY POSPOLITEJ I BUKA ZWYCZAJNEGO

Paweł Tylek

*Katedra Mechanizacji Prac Leśnych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** Zespół cech aerodynamicznych obejmuje prędkość krytyczną, współczynnik oporu oraz współczynnik lotności. Celem badań było opracowanie charakterystyk aerodynamicznych nasion jodły pospolitej i buka zwyczajnego obejmujących powyższe parametry. Uwzględniono podział nasion na dwie klasy żywotności w zależności od stopnia rozwoju zarodków, określonego metodą RTG bez kontrastu.

**Słowa kluczowe:** prędkość unoszenia, separacja, cechy rozdzielcze

### Wstęp

Separacja nasion obejmuje dwa procesy – czyszczenie, tj. wydzielenie z mieszaniny wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń i sortowanie, czyli wydzielenie frakcji nasion o oczekiwanych cechach [Grochowicz 1994]. W przypadku nasion drzew leśnych czyszczenie jest zabiegiem pożądanym dla wszystkich gatunków, natomiast sortowanie ogranicza się najczęściej do gatunków o biologicznie obniżonej zdolności kiełkowania. Wymagają tego technologie produkcji sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym oraz konieczność długoterminowego przechowywania nasion w leśnych bankach genów. W pierwszym przypadku niska jakość nasion oraz brak ich ujednolicenia według masy lub wielkości prowadzi do nierównomiernych wschodów i podnosi koszt produkcji siewek, zaś w drugim znacząco ogranicza czas przechowywania nasion [Sarnowska, Więsik 1998, Toka 2000]. Najprostszym sposobem podniesienia wartości siewnej nasion jest odseparowanie frakcji średnich i większych od średnich pod względem masy i wielkości [Sabor 1984]. Należy jednak pamiętać, że drzewa w obrębie tego samego gatunku wytwarzają nasiona różnej wielkości, zaś z uwagi na zachowanie pełnej puli genetycznej jednakowo ważne są nasiona duże i ciężkie jak i drobne i lekkie [Sabor 1996]. Znacznym utrudnieniem projektowania efektywnej separacji nasion drzew leśnych są ograniczenia wieloetapowości procesów rozdzielczych. Nie można stosować skomplikowanych, a więc i drogich urządzeń ze względu na stosunkowo niewielką ilość nasion poddawanych separacji. Roczne zapotrzebowanie na nasiona buka wynosi w Polsce około 80 ton, a jodły 16 ton [Matras 1999, 2000]. Z uwagi na powyższe najbardziej rozpowszechnione są w leśnictwie proste urządzenia pneumatyczne (separatory pneumatyczne, stoły aerowibracyjne), lub nieco bardziej złożone konstrukcje, jednak z dominującą sekcją pneumatyczną [Kozakiewicz 1996, Sarzyński 1994, Walczyk, Tylek 2010]. Właściwości aerodynamiczne nasion są charakteryzowane prędkością krytyczną (unoszenia), współczynnikiem oporu oraz współczynnikiem

lotności [Grochowicz 1994]. Prędkość krytyczna jest to taka prędkość pionowego strumienia powietrza, która umożliwia utrzymanie nasiona w stanie zawieszonym. Prędkość ta najlepiej odzwierciedla różnice właściwości aerodynamicznych nasion i często jest wykorzystywana jako ich cecha rozdzielcza. Z kolei współczynnik lotności charakteryzuje zdolność do stawiania przez nasiono oporu strumieniowi powietrza o danej prędkości przepływu. Celem niniejszych badań jest opracowanie charakterystyk aerodynamicznych nasion jodły pospolitej i buka zwyczajnego, z uwzględnieniem podziału nasion na klasy żywotności.

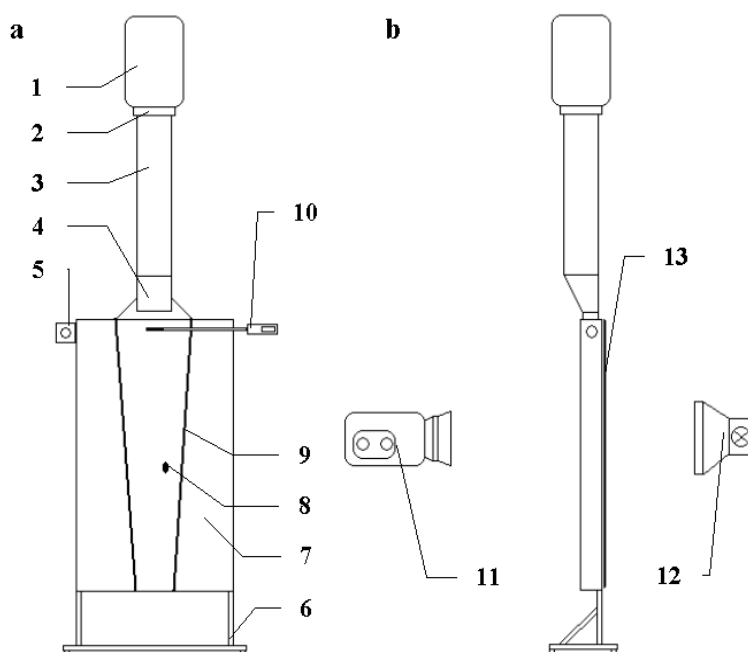
## Metody badań

Nowatorskie podejście do prowadzonych badań polega na wykonaniu pomiarów wszystkich koniecznych parametrów na pojedynczych nasionach. Każde z 300 badanych nasion poszczególnych gatunków było pobierane z szablonu i po pomiarze wracało do odpowiednio oznaczonej komórki. Żywotność nasion określono metodą RTG bez kontrastu przy użyciu aparatu rentgenowskiego FAXITRON-RAY Systems 43588A. Dokonano podziału na dwie klasy na podstawie oceny rozwoju zarodków uwidocznionych na kliszy rentgenogramu. Do pierwszej klasy zaliczono nasiona pełne, prawidłowo wykształcone, o nieuszkodzonej okrywie nasiennej. Druga klasa objęła pozostałe nasiona (puste, nieprawidłowo wykształcone, uszkodzone mechanicznie, opanowane przez owady itd.) [Załęski i in. 1991].

Jedną z klasycznych metod wyznaczania prędkości unoszenia nasion jest ich umieszczenie w pionowym, stożkowym kanale z regulowaną prędkością strumienia powietrza i pomiarze wysokości ich zawieszenia. Stosuje się kanały z wlotem powietrza od dołu, co mimo instalowania tłumików, kanałów kompensacyjnych i kierownic powoduje zaburzenia równomierności strugi powietrza. Za wysokość zawieszenia zwykle się przyjmować średnią wartość ze skrajnych położeń [Grochowicz 1994]. Jest to jednak pewne uproszczenie, gdyż jak wykazują obserwacje autora nasiona często przyjmują pewne preferowane pozycje, np. nasiona jodły wykazują tendencje do ustawiania się skrzydełkiem ku górze. Z powyższych względów w przedstawianym opracowaniu rozbudowano klasyczny sposób pomiarów. Mianowicie pomiarów dokonano w kanale aerodynamicznym, w którym przepływ strumienia powietrza wywołuje wentylator podłączony do układu króćcem ssącym. Umożliwia to wlot powietrza do części obserwacyjnej kanału z wolnej przestrzeni. Takie rozwiązanie powoduje uzyskanie stabilnego przepływu powietrza na wlocie do kanału pomiarowego. Do pomiaru prędkości przepływu powietrza z dokładnością  $0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  zastosowano termomanometr kanałowy TA-5 firmy AIRFLOW, którego sonda teleskopowa o średnicy zaledwie 8 mm została umieszczona w górnej części kanału. Poszczególne nasiona umieszczano w kanale, a ich ruch rejestrowano cyfrową kamerą wideo JVC GR 9800 (rys. 1).

Następnie przy użyciu programu MultiScan nałożono na siebie 30 klatek filmu z próbkowaniem 0,5 sekundy. Po wyskalowaniu obrazu poddano go obróbce cyfrowej polegającej na normalizacji kontrastu i zastosowaniu filtra medianowego, co pozwoliło „wyciągnąć” z tła ciemniejsze obiekty (nasiona) oraz zmniejszyć szum. Kolejnym krokiem była binaryzacja, w wyniku której otrzymano obraz jednobitowy przedstawiający czarne obiekty

na białym tle. Taki obraz poddano analizie ilościowej, polegającej na wyznaczeniu geometrycznych środków ciężkości i obliczeniu ich odległości od punktu umieszczenia sondy termooanemometru. W miejscach kolejnych położeń orzeszków obliczono powierzchnie przekroju kanału i na podstawie równania ciągłości strugi wyznaczono chwilowe prędkości przepływu powietrza, a następnie prędkość średnią.



Rys. 1. Schemat ideowy kanału aerodynamicznego: a – z przodu, b – z boku: 1 – wentylator kanałowy, 2 – kierownica, 3 – kanał kompensacyjny, 4 – konfuzor, 5 – tyrystorowy regulator wydatku wentylatora, 6 – poziomowana podstawa, 7 – przednia, przezroczysta ściana kanału pomiarowego, 8 – „zawieszono” nasienie, 9 – boczne, regulowane ściany kanału, 10 – termooanemometr, 11 – cyfrowa kamera wideo, 12 – reflektor halogenowy, 13 – matówka

Fig. 1. Schematic diagram of aerodynamic channel: a – front, b – back: 1 – channel ventilator, 2 – driving wheel, 3 – compensation channel, 4 – confusor, 5 – thyristor regulator of ventilator rate, 6 – levelled base, 7 – front, transparent wall of measuring channel, 8 – "suspended" seed, 9 – side, regulated channel walls, 10 – thermoanemometr, 11 – digital video camera, 12 – halogen reflector, 13 – focusing screen

Do obliczenia współczynników aerodynamicznych konieczne było określenie dodatkowych cech fizycznych nasion – masy i powierzchni nośnych. Masę zmierzono z dokładnością 0,1 mg przy użyciu wagi analitycznej. Powierzchnię nośną określono klasycznie jako średnią z trzech podstawowych powierzchni nośnych. Wykorzystano komputerową analizę obrazu uzyskanego z detektora w postaci aparatu cyfrowego. Jednoczesną rejestrację powierzchni nasion z trzech prostopadłych kierunków uzyskano stosując układ dwóch zwier-

ciadeł płaskich. Ustawiono je pod kątem  $45^\circ$  do podłoża, na którym umieszczano nasiona i prostopadle względem siebie. Dzięki temu aparat zarejestrował na tej samej klatce równocześnie bezpośredni obraz nasienia oraz jego dwa odbicia w zwierciadłach. Aby zapewnić jednakowe natężenie światła na wszystkich trzech obrazach zastosowano jedno źródło światła, które podświetla nasiona bezpośrednio od dołu oraz z boków po odbiciu od dodatkowych zwierciadeł oświetlających. Uzyskane obrazy poddano komputerowej obróbce przy użyciu programu MultiScan, mającej na celu przygotowanie ich do analizy ilościowej [Tylek 2010].

## Wyniki i dyskusja

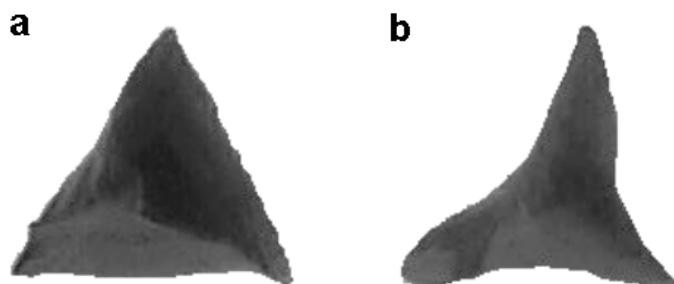
W tabeli 1. zestawiono wyniki pomiarów prędkości krytycznej, współczynnika oporu oraz współczynnika lotności zachowując wcześniej przyjęty podział na dwie frakcje żywotności, z których pierwsza została w uproszczeniu określana jako „nasiona pełne”, natomiast drugiej nadano roboczą nazwę „nasiona puste”.

Tabela 1. Cechy aerodynamiczne nasion  
Table 1. Aerodynamic properties of seeds

Fracja nasion	Prędkość krytyczna [m·s <sup>-1</sup> ]		Współczynnik oporu		Współczynnik lotności	
	Średnia	Współczynnik zmienności [%]	Średnia	Współczynnik zmienności [%]	Średnia	Współczynnik zmienności [%]
Jodła pospolita						
Pełne	6,79	6,7	0,478	19,1	0,216	13,3
Puste	6,12	8,6	0,467	24,9	0,237	16,8
Buk zwyczajny						
Pełne	9,93	7,0	0,209	13,4	0,101	14,5
Puste	8,33	13,8	0,176	18,9	0,147	25,8

*Źródło: obliczenia własne*

Wszystkie badane parametry aerodynamiczne różnicują obie frakcje dla przyjętego poziomu istotności 0,05. Wyjątkiem jest współczynnik oporu nasion jodły – niemal identyczny dla obu frakcji. Co więcej przyjmuje on niespotykane wysokie wartości, bliskie 0,5. Jest to zapewne wynikiem bardzo niskich prędkości krytycznych nasion tego gatunku, a to z kolei jest następstwem ich dużych powierzchni nośnych. Trudności z całkowitym oskrzydleniem nasion powodują zachowanie dużych powierzchni nośnych bez istotnego zwiększenia masy nasion. Zaskoczeniem jest stosunkowo małe zróżnicowanie prędkości unoszenia nasion buka pomiędzy frakcjami, pomimo znaczącego zróżnicowania masy nasion. Powodem są wartości współczynnika oporu aerodynamicznego – znacząco niższe dla nasion pustych, ze względu na ich bardziej opływowy kształt – wyraźnie wklęsłe boczne ściany okrywy nasiennej (rys. 2). Tak więc stosunkowo lekkie nasiona puste są mniej lotne, a zatem trudniej unoszone przez pionowy strumień powietrza. Takiego problemu nie stwierdzono u innych gatunków drzew leśnych.

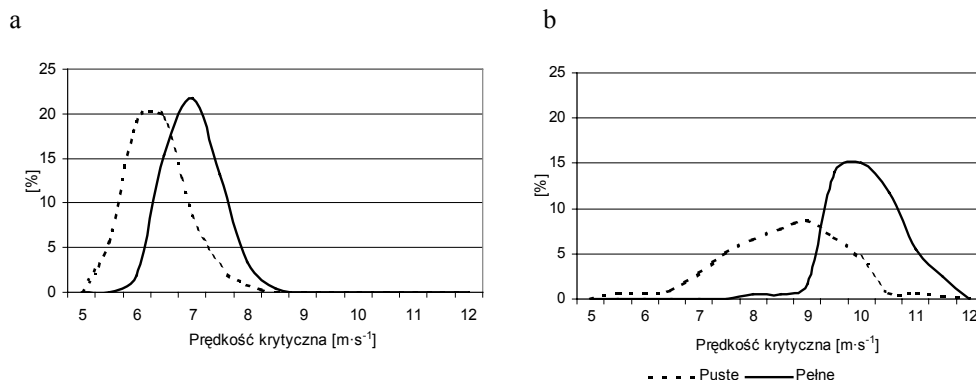


Rys. 2. Przekrój poprzeczny orzeszka buka, leżący w płaszczyźnie wymiarowania grubości i szerokości: a – orzeszek pełny, b – orzeszek pusty

Fig. 2. Cross-section of beechnut situated in the plane of measuring thickness and width: a – full nut, b – empty nut

Wpływ na prędkość unoszenia pojedynczego nasiona, o określonym współczynniku oporu aerodynamicznego ma zarówno jego masa, jak i chwilowa powierzchnia nośna. Nie stwierdzono silnych zależności między prędkością, a jedną z ww. właściwości fizycznych, ponieważ nasiona cięższe są jednocześnie większe, a więc mają także większe powierzchnie nośne. Wszystkie cechy aerodynamiczne wykazują większą zmienność w odniesieniu do frakcji „nasion pustych”. Frakcja ta obejmuje bowiem oprócz nasion płonych nasiona prawidłowo wykształcone, ale uszkodzone w trakcie zbioru czy obróbki pozbiorowej oraz opanowane przez owady. Relatywnie najmniejszą zmiennością charakteryzuje się prędkość krytyczna. Jest to pozytywna cecha zważywszy, że to właśnie prędkość krytyczna może być bezpośrednio uznana za cechę rozdzielczą i wykorzystana w procesie mechanicznej separacji nasion. Największą różnicą między średnimi wartościami prędkości krytycznych w zdefiniowanych frakcjach charakteryzują się nasiona buka – różnica wynosi 19,2%. Analogiczna wartość dla nasion jodły jest znacznie mniejsza – zaledwie 10,9%.

Na rys. 3. przedstawiono analizę podzielności nasion, pełniącą funkcję nomogramu do szacowania żywotności celowej i odrzuconej frakcji nasion w zależności od granicy podziału – prędkości powietrza w kanale separacyjnym sortownika pneumatycznego. Efektywna separacja nasion wymaga odpowiedniego ustalenia granicy podziału na frakcje. Należy tu wziąć pod uwagę zarówno względy hodowlane (przeznaczenie nasion), jak i ekonomiczne (koszt nasion, koszt separacji). Jednak ścisłe wyznaczenie granic jakościowych jest trudne, gdyż rozpatrywane cechy mają charakter ciągły. Wydaje się, że zawsze należałoby wykluczyć te klasy nasion, w których dominują nasiona niezdolne do kiełkowania i prawidłowego rozwoju, pod warunkiem, że we frakcji odrzuconej nie znajdzie się zbyt wiele celnych nasion.



Rys. 3. Graficzna analiza rozkładu krytycznej prędkości unoszenia nasion z podziałem na frakcje pomiarowe: a – jodła pospolita, b – buk zwyczajny

Fig. 3. Graphic analysis of distribution of critical velocity of transporting seeds with measurement fractions divisions: a – common fir, b – common beech

## Wnioski

1. Krytyczna prędkość unoszenia nasion jodły pospolitej i buka zwyczajnego zależy od żywotności nasion, charakteryzowanej stopniem rozwoju zarodka. Może być zatem uznana za cechę rozdzielczą, wykorzystywaną przy konstruowaniu i eksploatacji maszyn i urządzeń do sortowania nasion oraz stanowić podstawę w projektowaniu kolejności i przebiegu procesów rozdzielczych. Minimalny zakres regulacji prędkości pionowego strumienia powietrza, celem efektywnej separacji pneumatycznej nasion buka zwyczajnego powinien wynosić  $7-10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
2. Określanie prędkości krytycznej w sposób tradycyjny – jako średniej z wartości minimalnej i maksymalnej – dla nasion jodły jest niedoszacowane ok.  $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . W przypadku nasion buka zwyczajnego różnice średnich wartości są pomijalnie małe ( $0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) w odniesieniu dla całej partii nasion, jednak w przypadku pojedynczych nasion prędkość może być niedoszacowana o  $1,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  lub przeszacowana o  $1,32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , co w praktyce oznacza obniżenie efektywności separacji o ponad 10%.
3. Relatywnie mało zadowalająca efektywność sortowania nasion buka zwyczajnego w strumieniu powietrza, pomimo znacznych różnic w masie i gęstości nasion wynika z odmiennego (w stosunku do nasion jodły pospolitej) kształtowania się współczynnika oporu aerodynamicznego. Dla nasion pustych przyjmuje istotnie niższe wartości, stąd są one mniej lotne, a zatem trudniej porywane przez przepływające powietrze.

## Bibliografia

- Grochowicz J.** 1994. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. Wydawnictwo Akademii Rolniczej. Lublin. ISBN 83-901612-9-X.
- Kozakiewicz A.** 1996. Oczyszczarka nasion dębu i buka. Przegł. Tech. Roln. i Leśnej. Nr 7. s. 24-25.
- Matras J.** 1999. Selekcyjna i gospodarcza baza nasienna jodły pospolitej w Lasach Państwowych oraz jej wykorzystanie. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, ser. Sesja Naukowa. Nr 61. s. 13-27.
- Matras J.** 2000. Selekcyjna i gospodarcza baza nasienna buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w Polsce. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie. Ser. Sesja Naukowa. Nr 69. s. 103–120.
- Sabor J.** 1984. Zależność między ciężarem a zdolnością kiełkowania nasion jodły pospolitej. Sylwan. Nr 4. s. 59-69.
- Sabor J.** 1996. Rola doświadczeń proveniencyjnych w poznawaniu zmienności wewnątrzgatunkowej drzew leśnych oraz ocenie hodowlanej ich pochodzeń. Komunikaty Leśnego Banku Genów Kostrzyca. Nr 21, s. 136 - 144.
- Sarnowska G., Więsik J.** 1998. Wyluszcarnia w Czarnej Białostockiej. Część III. Czyszczenie i separacja nasion. Przegł. Tech. Roln. i Leśnej. Nr 1. s. 19-21.
- Sarzyński W.** 1994. Ocena urządzeń firmy Damas do czyszczenia nasion drzew iglastych. Głos Lasu. Nr 12. s. 10-13.
- Toka K.** 2000. Ochrona zasobów genowych buka w Leśnym Banku Genów w Kostrzycy. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, ser. Sesja Naukowa. Nr 69. s. 213-227.
- Tylek P.** 2010. Fizyczne i biologiczne aspekty mechanicznej separacji nasion buka zwyczajnego *Fagus sylvatica* L. Zeszyty Naukowe UR w Krakowie. Ser. Rozprawy. Nr 344. ISSN 1899-3486.
- Walczyk J., Tylek P.** 2010. Technologia siewu punktowego w szkółkach leśnych. Biblioteczka leśniczego. Zeszyt 302.
- Załęski A., Gładysz A., Kowalska I.** 1991. Ocena nasion przy użyciu promieni X. Prace IBL. Nr 729. s. 69-93.

## ANALYSIS OF AERODYNAMIC PROPERTIES OF COMMON FIR AND COMMON BEECH

**Abstract.** A set of aerodynamic properties includes critical speed, coefficient of resistance, as well as coefficient of volatility. The purpose of the research was to evaluate aerodynamic characteristics of common fir seeds and common beech including the parameters above-mentioned. Division of seeds into two classes of vitality were considered in relation to the level of germs development, selected method of X-ray without a contrast agent.

**Key words:** transport velocity, separation, separation properties

### Adres do korespondencji

Paweł Tylek; e-mail: rltylek@cyf-kr.edu.pl  
Katedra Mechanizacji Prac Leśnych  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Al. 29-Listopada 46  
31-425 Kraków