

PAWEŁ TYLEK

Problemy selekcji pneumatycznej nasion drzew leśnych

Problems of pneumatic selection of forest tree seeds

Wstęp

Zespół cech aerodynamicznych jest najczęściej wykorzystywany w praktyce do selekcji pneumatycznej nasion drzew leśnych. Pneumatyczne urządzenia separacyjne umożliwiają zarówno sortowanie nasion jak i oddzielenie zanieczyszczeń lekkich, a ponadto charakteryzują się dużą wydajnością przy małych gabarytach i niskim poborze mocy [2]. Aerodynamika nasion jest charakteryzowana trzema wskaźnikami, tj.: prędkością krytyczną (unoszenia), współczynnikiem oporu oraz współczynnikiem lotności. Dobra ich znajomość rzutuje na poprawność separacji czy czyszczenia materiału siewnego, jak również jest niezbędną wytyczną do konstruowania i eksploatacji pneumatycznych urządzeń separacyjnych. Prędkość krytyczna jest to taka prędkość pionowego strumienia powietrza, która powoduje utrzymanie nasion w stanie zawieszonym. I to właśnie ona jest traktowana jako cecha najlepiej odzwierciedlająca właściwości aerodynamiczne cząstek, stanowiąc podstawową cechę rozdzielczą. Na wartość tej cechy mają wpływ drugorzędne cechy rozdzielcze nasion takie jak gęstość, kształt, powierzchnia przekroju poprzecznego oraz stan powierzchni (tekstura) [6].

Dane dotyczące cech rozdzielczych nasion drzew leśnych zawarte w literaturze są często bardzo rozbieżne, co potwierdza występowanie istotnych różnic w wartościach poszczególnych cech, w zależności od pochodzenia nasion. Dlatego też dane te powinno traktować się jako orientacyjne, a dla każdej partii nasion czy mieszaniny ziarnistej należałoby przeprowadzić dokładny pomiar danej cechy i dopiero na tej podstawie ustalić optymalne warunki selekcji [2].

Prędkość krytyczną najczęściej wyznacza się eksperymentalnie umieszczając nasiona w kanale o zmiennej powierzchni przekroju, gdzie prędkość strumienia powietrza zmniejsza się stopniowo ku górze. Nieregularny kształt oraz zmiana położenia nasion względem kierunku przepływu powietrza w kanale powoduje zmiany wysokości ich położenia w pewnym zakresie. Prędkość krytyczną oblicza się jako średnią z prędkości minimalnej i

maksymalnej zarejestrowanej podczas obserwacji [1, 2]. Budzi to jednak wątpliwość, ponieważ wizualizacja zachowania się nasion w strumieniu powietrza wykazuje tendencje niektórych nasion do zajmowania pewnych preferowanych wysokości zawieszenia w kanale, natomiast wartości ekstremalne przyjmowane są sporadycznie [5]. Jest to spowodowane nierównomiernym wykorzystaniem poszczególnych powierzchni nośnych nasion. Wynika stąd również, że średnia powierzchnia przekroju poprzecznego nasion (parametr podstawowy w rozważaniach nad aerodynamiką nasion) niekoniecznie powinna być określana jako średnia arytmetyczna z powierzchni trzech podstawowych przekrojów nasion (prostopadłych do wymiarów liniowych nasion), jak to dotychczas powszechnie czyniono [1, 2, 3].

Cel i metodyka badań

Celem pracy był pomiar prędkości krytycznej nasion wybranych gatunków drzew leśnych, porównanie dokładności pomiarów przy zastosowaniu metod tradycyjnej i zaproponowanej przez autora oraz określenie głównych powierzchni nośnych nasion. W badaniach uwzględniono podział nasion na żywotne i nieżywotne. Przedmiotem badań były nasiona: jodły pospolitej (*Abies alba*), modrzewia europejskiego (*Larix decidua*) i świerka pospolitego (*Picea abies*).

Charakterystykę nasion wymienionych gatunków zamieszczono w tabeli 1.

Ocenę żywotności oraz pomiary cech fizycznych wykonano oddzielnie dla trzystu sztuk nasion. Ocenę żywotności przeprowadzono metodą rentgenograficzną aparatem firmy BCC. Nie niszczy ona nasion, co pozwoliło na przeprowadzenie dalszych analiz. Przed naświetlaniem promieniami Rentgena nasiona umieszczono w otworach szablonu z metalpleksu, co umożliwiło później ich identyfikację. Pomiar masy nasion z dokładnością do 0,1 mg wykonano przy użyciu wagi analitycznej. Do pomiaru właściwości geometrycznych nasion wykorzystano komputerową analizę obrazu wideo. Do kompleksowej oceny wielkości planimetrycznych nasion nie wystarcza analiza obrazu uzyskanego z jednego ujęcia. Konieczne staje się filmowanie nasion w trzech położeniach, prostopadłych do trzech podstawowych wymiarów liniowych nasion: grubości, szerokości i długości. Jednocześnie

TABELA 1
Charakterystyka biologiczna badanych nasion

Charakterystyka nasion	Jodła	Modrzew	Świerk
Pochodzenie	Berest – rasa beskidzka	lokalne populacje krynickie	Wisła – rasa istebniańska
Masa 1000 nasion [g]	42,0	5,2	8,0
Wilgotność [%]	9,9	8,9	6,9
Zdolność kiełkowania [%]	44,0	39,0	93,0
Żywotność RTG [%]	49,7	46,3	95,0

rejestrację wszystkich parametrów uzyskano stosując układ zwierciadeł płaskich. Dzięki temu kamera zarejestrowała na tej samej klatce filmu równocześnie bezpośredni obraz nasiona oraz jego dwa odbicia w zwierciadłach. Uzyskane obrazy poddano komputerowej obróbce [4] mającej na celu przygotowanie ich do analizy ilościowej. Zastosowane powiększenie oraz rozdzielczość obrazu umożliwiły wykonanie pomiarów liniowych z dokładnością 0,044 mm, natomiast powierzchni - 0,0019 mm². Do pomiaru prędkości krytycznej posłużył skonstruowany w Zakładzie Mechanizacji Prac Leśnych AR w Krakowie pionowy kanał aerodynamiczny o zmiennym przekroju, a więc zmiennej prędkości przepływu strumienia powietrza. Do określenia położenia poszczególnych nasion w kanale, co wiąże się z obliczeniem prędkości krytycznej powietrza, wykorzystano technikę wideo-komputerową [5].

Wyniki

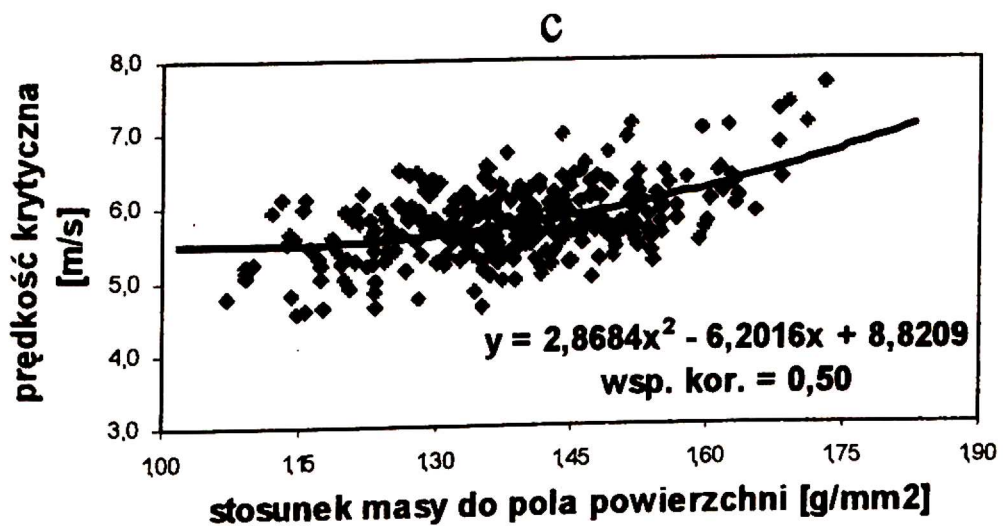
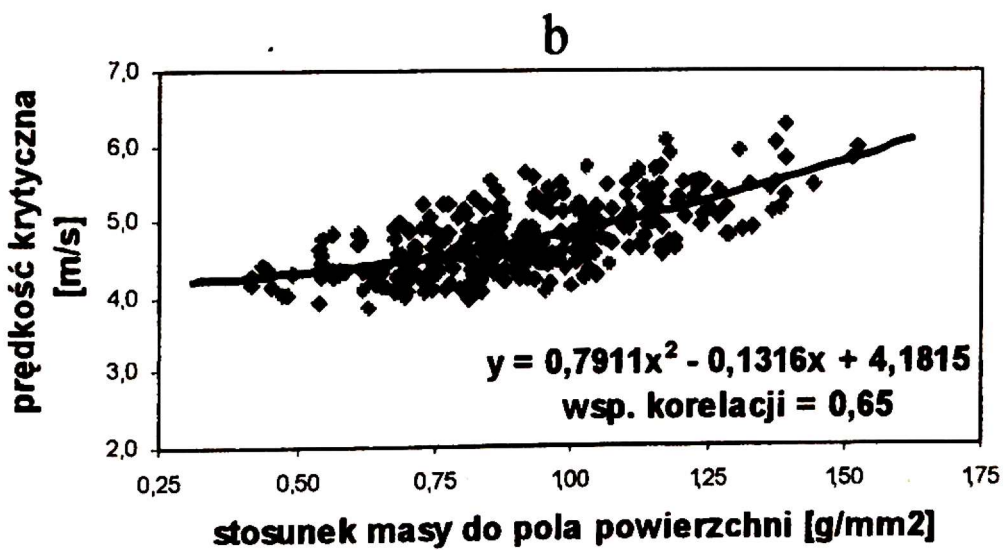
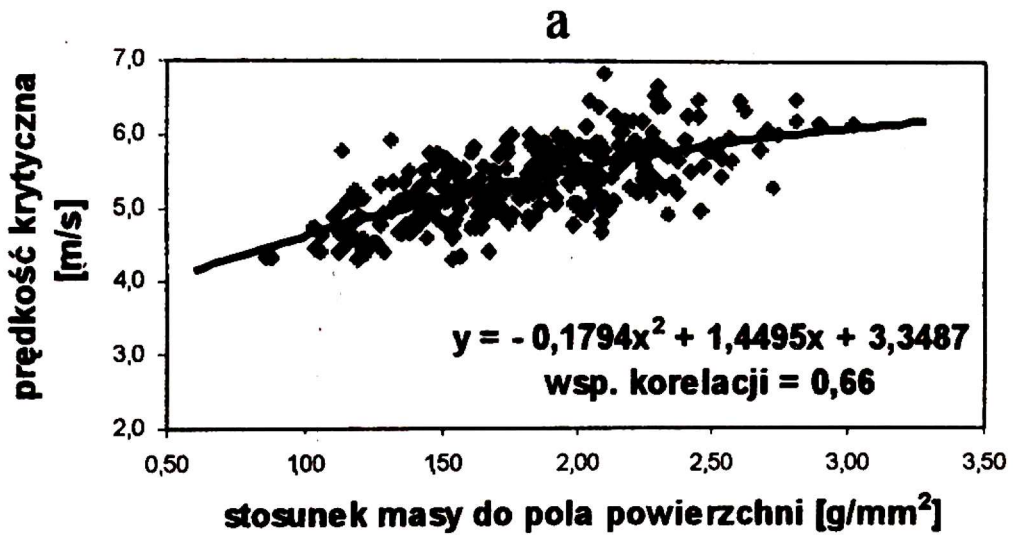
W tabeli 2 zamieszczono wyniki pomiarów prędkości krytycznej. Analizowano wartość minimalną, maksymalną oraz średnią z odchyleniem standardowym i współczynnikiem zmienności. Dokonano podziału nasion na dwie grupy. Pierwsza obejmuje nasiona żywotne o nieuszkodzonej okrywie (w uproszczeniu określane jako pełne), natomiast do drugiej zakwalifikowano nasiona puste, opanowane przez owady, uszkodzone mechanicznie oraz niedostatecznie wykształcone (w uproszczeniu określane jako puste). Dla celów porównawczych zamieszczono wartości prędkości krytycznej poszczególnych gatunków obliczone w sposób tradycyjny (średnia z wartości minimalnej i maksymalnej) oraz jako średnią z 10 pomiarów wykonywanych z próbkowaniem co jedna sekundę. Dla wszystkich gatunków prędkości uzyskane drugą metodą okazały się mniejsze o 0,2 m/s. Nasiona przyjmują bowiem pewne preferowane pozycje, co potwierdziły dalsze analizy, a wartości ekstremalne, szczególnie maksymalne przyjmowane są niezwykle rzadko. Dzięki stosunkowo niskim zmianom prędkości krytycznej dla poszczególnych gatunków w stosunku do innych cech rozdzielczych (różnice między prędkością maksymalną i minimalną wyniosły: dla jodły 58,1%, dla modrzewia 65,8%, dla świerka 67,4%), błąd ustawienia parametrów separacji pneumatycznej rzędu 0,2 m/s może spowodować odrzucenie nawet ponad 10% nasion pełnych lub pozostawić więcej nasion pustych niż wynikałoby to z możliwości optymalnej selekcji. Z tego względu do dalszych analiz wykorzystano wyniki uzyskane z obserwacji drugą metodą. Wartości średnie prędkości krytycznej całej partii nasion wyniosły: jodła – 5,4 m/s; modrzew – 4,8 m/s; świerk – 5,8 m/s, przy tym wartości średnie dla nasion pustych były mniejsze niż dla nasion pełnych odpowiednio o 11,8%, 8,9% oraz 16,0%. Współczynnik zmienności dla wszystkich gatunków jest zbliżony i nieco mniejszy od 10%, z tym, że zmienność nasion pełnych jest mniejsza niż pustych w przypadku jodły i modrzewia (tu różnica jest największa – 9,3% oraz 14,1%). Odwrotnie jest w przypadku świerka, z tym, że różnica wynosi zaledwie 0,7%.

Wpływ na prędkość krytyczną nasion ma zarówno ich masa (im większa, tym większa prędkość), jak i powierzchnia przekroju prostopadła w danym momencie do kierunku przepływu powietrza (im większa, tym prędkość mniejsza). Nie stwierdzono zależności między prędkością a jedną z wymienionych właściwości fizycznych. Nasiona cięższe są z reguły również większe, a więc ich powierzchnie nośne są także większe. Można natomiast zauważyć korelacje między prędkością krytyczną poszczególnych gatunków nasion, a

TABELA 2

Charakterystyka cech aerodynamicznych nasion

Wielkość statystyczna	Żywotność JODŁA			MODRZEW			ŚWIERK		
	nasion	prędkość krytyczna [m/s]		prędkość krytyczna [m/s]		prędkość krytyczna [m/s]		zakres zmian prędk. kryt.	zakres zmian prędk. kryt.
		min	średnia 10 sek.	min	średnia 10 sek.	min	średnia 10 sek.		
Minimum	pełne	-	4,8	-	4,1	-	4,7	-	0,3
	puste	-	4,3	-	3,8	-	4,6	-	0,3
	Σ	4,3	4,3	3,8	3,8	4,6	4,6	4,6	0,3
Maksimum	pełne	-	6,8	-	6,3	-	7,7	-	1,0
	puste	-	6,5	-	5,7	-	5,8	-	0,8
	Σ	6,9	6,8	6,3	6,3	7,3	7,7	7,7	1,0
Średnia	pełne	-	5,7	-	4,9	-	5,8	-	0,6
	puste	-	5,1	-	4,5	-	5,0	-	0,5
	Σ	5,6	5,4	5,0	4,8	6,0	5,8	6,0	0,6
Odchyl. std.	pełne	-	0,4	-	0,5	-	0,5	-	0,2
	puste	-	0,4	-	0,6	-	0,4	-	0,1
	Σ	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,2
Wsp. zmienności [%]	pełne	-	6,7	-	9,3	-	8,1	-	27,3
	puste	-	8,6	-	14,1	-	7,4	-	30,4
	Σ	11,1	9,2	10,7	9,7	9,6	8,6	9,6	27,3



RYC. Zależność między stosunkiem masy nasion do ich średniej powierzchni przekroju, a prędkością krytyczną: a – dla nasion jodły, b – modrzewia, c – świerka

stosunkiem masy do średniej powierzchni przekroju (ryc.). Współczynniki korelacji wynoszą: dla jodły – 0,66; dla modrzewia – 0,65; dla świerka – 0,50. Obliczono również współczynniki korelacji przyjmując poszczególne, główne powierzchnie przekroju w miejsce powierzchni średniej. Dla powierzchni największej (prostopadłej do długości i szerokości), wyniosły one: nasiona jodły – 0,76; dla modrzewia – 0,66; dla świerka – 0,52. Dla powierzchni pośredniej (prostopadłej do długości i grubości) odpowiednio: 0,57; 0,55; 0,45. Z kolei uwzględniając powierzchnię najmniejszą (prostopadłą do grubości i szerokości), wyniosły: 0,56; 0,48; 0,33. Największe więc wartości stwierdzono dla powierzchni największych. Można zatem przypuszczać, że największe powierzchnie przekroju poprzecznego nasion są również ich głównymi powierzchniami nośnymi. Potwierdza to wizualizacja zachowania się nasion w pionowym strumieniu powietrza. Nasiona poruszają się ruchami postępowymi i obrotowymi, mając tendencję do płaskiego ustawiania się w stosunku do przepływającego powietrza, z odchyleniem pozostałości skrzydełka ku górze.

Prędkość krytyczną nasiona można opisać równaniem:

$$v_k = \sqrt{\frac{gG}{kF\gamma}} \quad (1)$$

gdzie:

- v_k – prędkość krytyczna [m/s],
- g – przyciąganie ziemskie [m/s^2],
- G – masa nasiona [kg],
- k – bezwymiarowy współczynnik oporu aerodynamicznego,
- F – powierzchnia nośna nasiona [m^2],
- γ – gęstość powietrza [kg/m^3].

W trakcie pomiaru prędkości krytycznej, zmianie ulega jedynie powierzchnia nośna nasiona. Teoretycznie więc, zakres jej zmian powinien odpowiadać kwadratowi zmian prędkości krytycznej. Celem weryfikacji przytoczonego stwierdzenia obliczono zakresy zmian prędkości krytycznych i powierzchni przekrojów dla poszczególnych nasion według poniższych zależności:

$$v = \left(\frac{v_{\max}}{v_{\min}} \right)^2 \quad (2)$$

oraz

$$f = \frac{F_{\max}}{F_{\min}} \quad (3)$$

Następnie obliczono stosunek v/f , który teoretycznie powinien być równy jeden. W praktyce przyjmuje on wartości znacznie mniejsze (tab. 2). Dla nasion jodły jest to wartość 0,8; dla modrzewia – 0,5; dla świerka – 0,6. Potwierdza to przypuszczenie, że nasiona nie wykorzystują teoretycznej wysokości kanału, a jedynie jego część. Aż 99,7% nasion świerka charakteryzowało się stosunkiem v/f mniejszym od 1. Nieco mniejszą wartość, bo 96,7% zarejestrowano dla nasion modrzewia. Najmniejszą wartość – 82,7% – stwierdzono u jodły.

U wszystkich gatunków ilość nasion o wartości v/f poniżej 1, jest większa dla nasion pustych (dla nasion świerka osiąga 100%). Wartość v/f większa od 1 osiągnięta jest wówczas, gdy nasiono (najczęściej pełne, a więc ciężkie) ustawi się równoległe do strugi powietrza, po czym zacznie opadać w kanale. Jeżeli w czasie opadania nie zmieni swojego położenia, to może zdarzyć się, że siłą bezwładności zostanie wyrzucone poza teoretyczny, maksymalny zakres prędkości krytycznej. Podobnie może się zdarzyć, kiedy nasiono zostaje wyniesione poza teoretyczny, minimalny zakres prędkości, co jest wynikiem jego poziomego ułożenia się w dolnej części kanału i wyrzucenia ku górze.

Spostrzeżenia te powinny być brane pod uwagę na etapie projektowania urządzeń do selekcji nasion w strumieniu powietrza. Sugerują również konieczność modyfikacji metod pomiarowych.

Wnioski

- Prędkość krytyczna nasion jodły, modrzewia i świerka jest cechą rozdzielczą między nasionami żywotnymi (pełnymi) i nieżywotnymi (pustymi). Może więc być podstawą projektowania i eksploatacji maszyn i urządzeń do sortowania nasion.
- Określanie prędkości krytycznej w sposób tradycyjny – jako średniej z wartości minimalnej i maksymalnej – dla nasion jodły, modrzewia i świerka obarczone jest błędem 0,2 m/s, co w praktyce oznacza obniżenie efektywności selekcji o około 10%.
- Zakres zmian prędkości krytycznych analizowanych nasion jest od 20% (dla nasion jodły) do 50% (dla nasion modrzewia) mniejszy niż wynikałoby to z różnic wielkości najmniejszych i największych powierzchni poszczególnych nasion. Nasiona nie wykorzystują bowiem równomiernie wszystkich podstawowych powierzchni nośnych.
- Dla wszystkich badanych gatunków powierzchnie leżące w płaszczyźnie szerokości i długości nasion są dominującymi powierzchniami nośnymi w pionowym strumieniu powietrza.

*Z Zakładu Mechanizacji Prac Leśnych
Akademii Rolniczej w Krakowie*

Literatura:

1. **Czernik Z.:** Badania właściwości aerodynamicznych nasion sosny zwyczajnej, świerka pospolitego i modrzewia europejskiego. Sylwan 1983, nr 9.
2. **Grochowicz J.:** Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. Lublin, Wydawnictwo Akademii Rolniczej 1994.
3. **Kram B.:** Badania cech aerodynamicznych granul superfosfatu potrójnego. Roczniki Nauk Rolniczych 1990, t. 79-C-1.

4. **Tylek P.:** Analiza obrazu komputerowego w określeniu podstawowych wielkości planimetrycznych nasion. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 1996, nr 426.
5. **Tylek P.:** Właściwości aerodynamiczne nasion drzew leśnych. Prace Komisji Nauk Rolniczych PAU 1998, nr 1, cz. II.
6. **Yang X., Bern C. J., Hurburgh C. R.:** Airflow resistance of cleanings removed from corn. Trans ASAE 1990, nr 33 (4).

Summary

Problems of pneumatic selection of forest tree seeds

A set of aerodynamic features is used most often in practice for mechanical selection of forest tree seeds. Pneumatic separation devices make possible not only seed sorting but also separation of light admixtures, and they are specific for considerable efficiency at small dimensions and a low intake of power. Seed aerodynamics is specific mainly for critical speed (seed taking up) i.e. such velocity of vertical stream of air that makes the seed suspended. The critical velocity is most often calculated experimentally when placing the seeds in a channel with varying crosscut area where the air stream velocity decreases gradually in upside direction. Irregular shape and the change of seed position in relation to the air throughflow direction causes changes in the height of their position in a certain range.

The critical velocity is calculated as an average from both minimum and maximum velocity recorded during observations. This arises however doubts, because visualisation of the behaviour of seeds in the air stream shows their tendency to taking certain preferred heights of suspension in the channel, while extreme values are adopted only sporadically. This is caused by uneven use of individual carrying surfaces of seeds. This results also from the fact that the average area of the transversal crosscut of seeds (the basic parameter in considerations on aerodynamics of seeds) should not be necessarily defined as the average of the area of three basic crosscuts of seeds (perpendicular to linear dimensions of seeds) as it was made commonly up to now.

The measurement of critical velocity of the silver fir (*Abies alba*), European larch (*Larix decidua*), and Norway spruce (*Picea abies*) seed, comparison of precision of measurements with the use of two methods: traditional one and that proposed by the author and defining main carrying surfaces of seed were the aims of the work. Distribution of seeds to vital and non-vital ones was taken into account in the research. Original measuring posts using the video-computer technique and digital picture analysis were used to the research.