

ZDZISŁAW CZERNIK

**Badania właściwości aerodynamicznych nasion
sosny zwyczajnej, świerka pospolitego
i modrzewia europejskiego**

Исследования аэродинамических свойств семян сосны обыкновенной, ели
обыкновенной и лиственницы европейской

Studies of aerodynamical features of seeds of Scotch pine, Norway
spruce and European larch

Jedną z podstawowych grup właściwości fizyko-mechanicznych nasion są ich cechy aerodynamiczne, charakteryzujące zachowanie się nasion w strumieniu powietrza. Ze względu na powszechność ich wykorzystywania w większości procesów rozdzielczych uważa się je za cechy podstawowe (2, 4).

W literaturze na temat właściwości aerodynamicznych nasion odczuwa się brak teoretycznego opracowania procesów podziału mieszanin ziarnistych w strumieniu powietrza. Dotyczy to zwłaszcza leśnictwa, gdzie nie ma dokładnego rozeznania cech fizycznych poszczególnych składników mieszanin ziarnistych. Wynikają z tego faktu trudności w precyzyjnym ustaleniu optymalnych prędkości strumienia powietrza dla poszczególnych partii czyszczonych i rozdzielanych nasion, a więc i zakresów regulacji prędkości strumienia w maszynach czyszczących. Przykładem może być produkowana wialnia do nasion gatunków iglastych typ NL-93.

CEL, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Celem niniejszej pracy było zbadanie zachowania się nasion w pionowym strumieniu powietrza, czyli określenie i zbadanie właściwości aerodynamicznych, na przykładzie wybranych do badań prób nasion sosny zwyczajnej, świerka pospolitego i modrzewia europejskiego. Określone zostały prędkości krytyczne oraz współczynniki aerodynamiczne oporu i opływu nasion, które charakteryzują ich zachowanie się w strumieniu powietrza i są podstawowymi danymi technicznymi do konstrukcji maszyn służących do czyszczenia, sortowania i wysiewu nasion.

W badaniach właściwości aerodynamicznych nasion stosuje się dość powszechnie metodę ich swobodnego spadku w ośrodku nieruchomym (2).

Metoda ta zasługuje na uwagę ze względu na swoją prostotę, co w powiązaniu z wysokim poziomem techniki pomiarowej decyduje o jej wyborze do badań. Nie odzwierciedla ona jednak w pełni warunków panujących w maszynach do czyszczenia i sortowania nasion. Badania teoretyczne z tego zakresu są niewystarczające (4).

Do badań, które stanowią podstawę konstrukcji maszyn do czyszczenia i rozdziału mieszanin ziarnistych oraz określenia przebiegu procesów technologicznych, bardziej przydatne są metody pogrążania pojedynczych nasion, jak też całych prób, w ruchomym pionowym strumieniu powietrza. Znajduje to odzwierciedlenie w pracach J. Grochowicza (4), Koskuby (5) i Reinsa (6) oraz w wielu konstrukcjach maszyn czyszczących i sortujących.

Niezmiernie istotnym zagadnieniem w badaniach właściwości aerodynamicznych nasion jest ich kompleksowość. Polega ona na określaniu szeregu wielkości fizycznych, takich jak wymiary nasion i ich wzajemne zależności, ciężarów jednostkowych, powierzchni przekroju nasion pojedynczych i całych prób oraz powiązaniu tych wielkości z właściwościami aerodynamicznymi: prędkością krytyczną i współczynnikami oporu i opływu nasion.

Badania nasion omawiane poniżej prowadzono w tunelu aerodynamicznym pionowym, o zbieżystej komorze roboczej o pochyleniu ścian $1,5^\circ$. Część pomiarowa tunelu miała przekrój kołowy o średnicy na poziomie zerowym 146 mm i długości całkowitej 1300 mm. Strumień powietrza wytwarzany przez dmuchawę promieniową przepływał do układu wyrównującego jego prędkość, a następnie przez cylindryczny przewód do części pomiarowej (przezroczystej) zakończonej komorą osadową z osadnikiem.

Konstrukcja tunelu zapewniała turbulentny charakter przepływu strumienia powietrza. Do prowadzenia eksperymentów z nasionami wymagana jest również duża równomierność pola prędkości strumienia powietrza na przekroju poprzecznym tunelu. Dzięki zastosowaniu urządzeń wyrównawczych otrzymano współczynnik równomierności od 0,84 do 0,99. Współczynnik ten obliczano jako iloraz średniej prędkości strumienia powietrza i prędkości powietrza mierzonej w osi podłużnej tunelu w danym poziomie pomiarowym komory roboczej. Parametry ruchowe powietrza przepływającego przez tunel określono stosując zasadę ciągłości przepływu oraz prawo zachowania energii. Do pomiaru ciśnienia użyto rurki Prandtla, którą wmontowano na osi podłużnej tunelu. Rejestratorem ciśnienia był mikromanometr kompensacyjny typu MK-1 o maksymalnym uchybie pomiaru ok. $0,2 \text{ N/m}^2$. Dokładność pomiaru ciśnienia dynamicznego wynosiła $1/10 \text{ N/m}^2$. Prędkość krytyczną określono na podstawie prawa ciągłości przepływu, w myśl którego,

$$Q = \Pi \frac{V_k D_x^2}{4} = \Pi \frac{V_s D_o^2}{4} = \text{const. m}^3/\text{s}$$

gdzie:

D_x — średnica wewnętrzna tunelu w miejscu, gdzie znajduje się nasiono przy prędkości krytycznej.

V_k — prędkość powietrza w przekroju D_x ,
 D_o — średnica wewnętrzna tunelu w miejscu pomiaru,
 V_s — średnia prędkość powietrza w przekroju D_o .

Wiedząc, że średnica tunelu jest funkcją odległości od przekroju, w którym dokonuje się pomiaru ciśnienia, otrzymamy:

$$D_x = D_o + 2 X \operatorname{tg} \alpha \quad \text{stad:}$$

$$V_k = \frac{V_s}{\left[1 + \frac{2 X}{D_o} \operatorname{tg} \alpha\right]^2} \text{ m/s}$$

Obliczono również współczynniki opływu i oporu nasion:

$$K_o = \frac{g}{V_k^2} \text{ 1/m i współczynnik oporu } K = \frac{G K_o}{\Gamma_n \cdot F_n}$$

w których:

Γ_n — ciężar właściwy nasion,
 F_n — średnia powierzchnia przekroju nasion prostopadła do działającego strumienia powietrza,
 G — ciężar nasion.

Prędkość krytyczna i współczynniki aerodynamiczne były określane metodą pośrednią, po zarejestrowaniu takich wielkości jak: ciężar jednostkowy nasion, ich wymiary, średnia powierzchnia przekroju, ciśnienie przepływającego powietrza, skrajne położenia nasion w tunelu oraz warunki zewnętrzne doświadczenia.

WYNIKI BADAŃ I ICH INTERPRETACJA

W literaturze (1, 3, 6) panuje zgodność co do tego, że właściwości aerodynamiczne nasion mogą być charakteryzowane trzema wskaźnikami: prędkością krytyczną, współczynnikiem oporu i opływu.

Z przeprowadzonych badań wynika, że nasiona charakteryzują się określonym zakresem prędkości krytycznej, która wynosi: dla sosny od 3,72 do 7,44, dla świerka od 3,79 do 7,73 i modrzewia od 3,20 do 6,03 m/s.

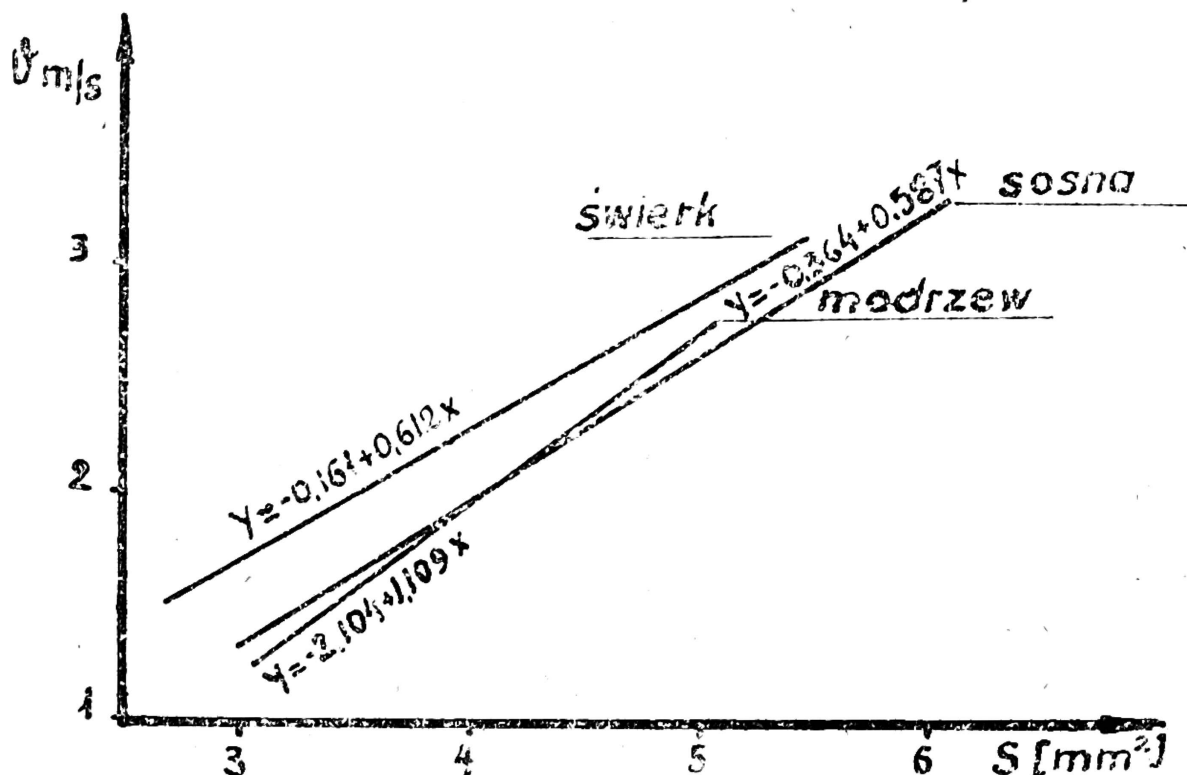
Dość szerokie przedziały wartości wynikają z nieregularnego kształtu nasion, które w strumieniu powietrza ustawiają się różnymi powierzchniami przekroju w stosunku do kierunku przepływającego powietrza.

Z teoretycznych zależności wynika, że wartość prędkości krytycznej jest zależna od wielkości powierzchni przekroju nasion, ich kształtu i ciężaru jednostkowego. Wyniki doświadczeń potwierdzają te zależności, z tym że ciężar i powierzchnię przekroju poprzecznego uznać należy za czynniki dominujące. Nasiona cięższe mają większą wartość prędkości

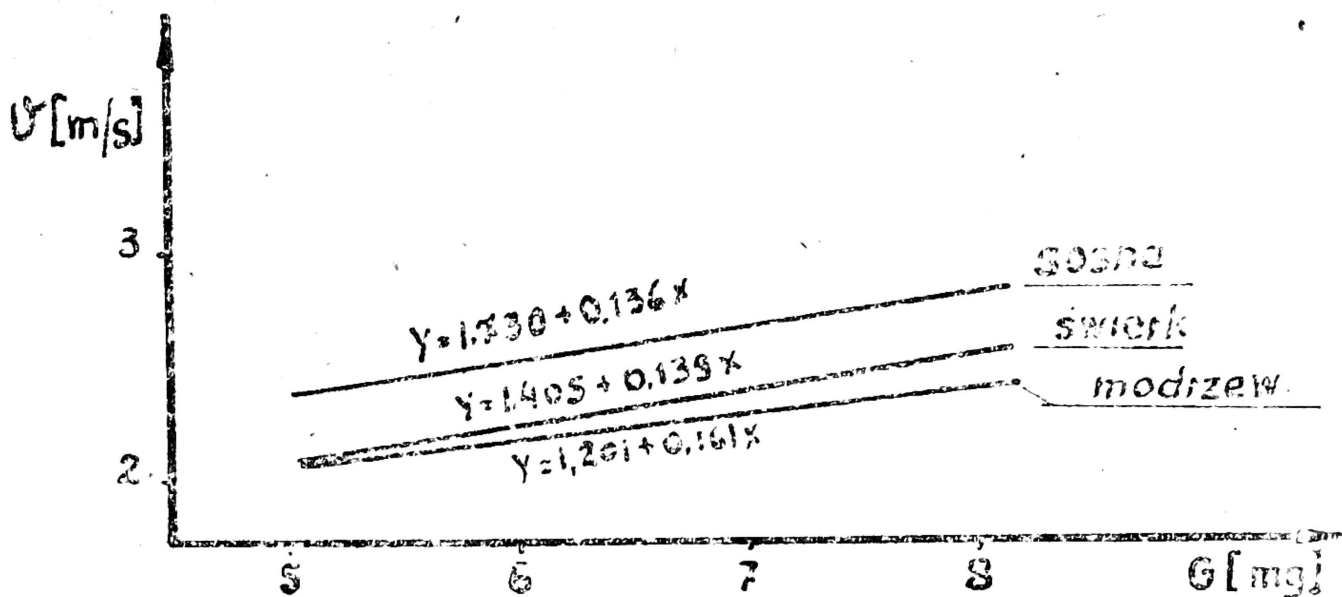
krytycznej, jednocześnie są one z reguły większe, mają więc większą powierzchnię przekroju poprzecznego. Zwiększenie powierzchni przekroju obniża wartość prędkości krytycznej. O jej minimalnej wartości decyduje największa powierzchnia przekroju nasion.

Zależność prędkości krytycznej od powierzchni przekroju przedstawia ryc. 1. Wynika z niej, że są to zależności liniowe. Obliczone wartości współczynników korelacji wynoszą: 0,970 dla sosny, 0,940 — dla świerka i 0,783 dla nasion modrzewia. Istotny jest również fakt, że wspomniane wielkości mają rozkłady normalne, o czym przekonano się porównując je z rozkładem teoretycznym. Zastosowano przy tym uproszczoną metodę tzw. papieru prawdopodobieństwa. Podobnie badano zależności prędkości krytycznej od ciężaru jednostkowego nasion. Stwierdzono, że są to zależności o charakterze liniowym (ryc. 2), uzyskane zaś wartości współczynników korelacji: dla sosny 0,930, świerka 0,970 i modrzewia 0,881, po badaniach statystycznych wskazują, że są to zależności istotne.

W trakcie doświadczeń stwierdzono, że nasiona umieszczone w turbulentnym pionowym strumieniu powietrza poruszają się po torach przestrzennych, ruchem złożonym postępowo-obrotowym, w którym kierują się ku ścianom tunelu. Ruch postępowy nasion należy tłumaczyć dynamicznym oddziaływaniem strumienia powietrza, obrotowy zaś wywołany jest powstaniem momentów sił aerodynamicznych na skutek nieregularnych kształtów nasion oraz rozmieszczeniem środków ciężkości nasion. Istotny wpływ na takie zachowanie się nasion ma także rodzaj ich powierzchni, mikronierówności itp. W wyniku działania tych czynników w strumieniu powietrza pojawiają się siły poprzeczne, które przemiesz-



Ryc. 1. Zależność prędkości krytycznej od powierzchni przekroju nasion



Ryc. 2. Zależność prędkości krytycznej od ciężaru jednostkowego nasion

czają nasiona w kierunku ścian tunelu. Powstaje tzw. efekt Magnusa, zjawisko obserwowane i badane przez Bezručina (2).

Warunki pracy tunelu aerodynamicznego w czasie badań całych prób nasion zasadniczo różnią się od warunków pracy podczas badań nasion pojedynczych. Nasiona, dla których aktualnie nastawiona prędkość powietrza na całej długości rury pomiarowej stanowi prędkość krytyczną, unoszą się w niej i poruszają po torach przestrzennych. W przewężeniach pomiędzy poszczególnymi nasionami prędkość powietrza wzrasta, tworząc miejscowe spadki ciśnień, co powoduje wzrost turbulencji strumienia, a jednocześnie spadek równomierności prędkości powietrza w przekroju poprzecznym tunelu. Jest to w dużej mierze uzależnione od obciążenia jednostki powierzchni przekroju poprzecznego tunelu nasionami. Nasiona poruszają się na całej wysokości rury pomiarowej, przy czym im wyżej — tym jest ich mniej. W ten sposób w zbieżnym tunelu dochodzi do wyrównania współczynnika równomierności strumienia.

Powyższe obserwacje zachowania się nasion w strumieniu powietrza mogą być wykorzystane przy projektowaniu pneumatycznych elementów rozdzielczych maszyn czyszczących i sortujących nasiona.

Z prędkością krytyczną nasion wiążą się współczynniki aerodynamiczne oporu i opływu. Terminu „opływu” używa J. Grochowicz, natomiast Bezručin, Soboleva i Wachacki używają terminu „współczynnik żaglowatości”. W niniejszej pracy posługiwano się terminem współczynnik opływu, przyjętym wcześniej w polskiej literaturze, który bardziej odpowiada istocie badanego zjawiska. Termin „współczynnik żaglowatości” byłby odpowiedniejszy dla nasion mających aparat lotny (skrzydełko). Pozwoliłoby to odróżnić zjawisko pogrążania nasion w strumieniu turbulentnym sztucznie wytworzonym, co występuje w procesach czyszczenia i sortowania, od zjawiska naturalnego ruchu nasion uskrzydłych w przyrodzie.

W tabeli podano wartości średnie współczynników oporu i opływu nasion wraz z charakterystykami statystycznymi. Współczynniki te przybierają wartości rozległe, np. dla sosny K_0 — od 0,225 do 0,465 i K —

Współczynniki aerodynamiczne badanych nasion

Charakterystyki statystyczne	Współczynniki oporu			Współczynniki opływu		
	sosna	świerk	mod- rzew	sosna	świerk	mod- rzew
Srednia arytmetyczna \bar{x}	0,527	0,590	0,674	0,318	0,293	0,471
Odchylenie standardowe S	0,087	0,129	0,117	0,039	0,060	0,110
Współczynnik zmienności V %	16,47	21,17	17,41	12,41	20,43	23,33
Sredni błąd m	0,087	0,014	0,012	0,004	0,006	0,011
Wskaźnik dokładności P ⁰ %	1,64	2,36	1,72	1,24	2,15	2,33

od 0,285 do 0,885. Podobnie duże różnice wartości otrzymano dla nasion świerka i modrzewia. Współczynniki zmienności wyniosły dla sosny odpowiednio: dla K_0 — od 12,09% do 13,30% i dla K — od 13,84% do 21,15%. Dość duże rozpiętości wartości współczynników aerodynamicznych wynikają ze złożonego kształtu nasion. Można powiedzieć, że zdolność do stawiania oporu strumieniowi powietrza przez nasiona jest dość zróżnicowana i charakteryzuje się pewnym zakresem wartości współczynnika odpływu, któremu odpowiada określony zakres prędkości krytycznych.

Przeprowadzone badania właściwości aerodynamicznych nasion sosny, świerka i modrzewia europejskiego są badaniami kompleksowymi. Zastosowana metodyka, jednolita dla nasion pojedynczych i całych prób, pozwoliła na wyjaśnienie szeregu zagadnień dotyczących zarówno zachowania się nasion w strumieniu powietrza, jak też przebiegu procesów technologicznych przy podziale mieszanin ziarnistych.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysnuć następujące wnioski:

1. Prędkość krytyczna oraz współczynniki oporu i opływu nasion stanowią podstawowe wielkości, które mogą być wykorzystywane do projektowania elementów roboczych maszyn do czyszczenia i sortowania nasion.

2. Prędkość krytyczna nasion badanych populacji okazała się cechą złożoną, uzależnioną m. in. od ciężaru nasion i ich średniej powierzchni przekroju. Zależności te mają charakter zależności liniowych. Należy sądzić, że są to zależności zbliżone do funkcyjnych.

3. Współczynniki zmienności badanych właściwości nasion są wielkościami charakterystycznymi dla badanych populacji, co ma znaczenie praktyczne przy projektowaniu elementów maszyn czyszczących.

4. Właściwości aerodynamiczne nasion sosny, świerka i modrzewia europejskiego stanowią zmienne losowe ciągłe, które mogą być charakteryzowane rozkładem normalnym prawdopodobieństwa.

LITERATURA

1. Andrenko G.: Puti ulutšeniya kačestva roboty aspiracionnyh kanalov zernočistitelnyh mašin. *Mechaniz. Elektr. Sel. Choz.* 1960 nr 6.
2. Bezručkin I.: Isledovanie aerodinamičeskich svojstv zeren v vertikalnom vozdušnom potoke. *Selkochozjajstvennaja mašina* 1936 nr 1.
3. Gribovskij K., K., Jermolin M.: Koeficjenty formy zerna dla opredelenija skorosti jego vitania. *Mechaniz. Elektr. Sel. Choz.* 1968 nr 6.
4. Grochowicz J.: *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion.* Warszawa: PWRiL 1971.
5. Koskuba K.: Prispêvek k prakticke aerodynamice obliniho zrna. *Zemedelska tehnika* 1962 nr 1.
6. Reints R.: Trajektories of seeds and granular fertilizer. *Trans of Asae* 1967 nr 2.
7. Zaks N.: *Podstawy aerodynamiki doświadczałnej.* Warszawa: MON 1957.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 15 listopada 1981 r.

Краткое содержание

В работе исследовались аэродинамические свойства семян сосны, ели и европейской лиственницы в турбулентной струе воздуха. Определены величины критических скоростей и аэродинамических коэффициентов сопротивления и обтекаемости, а также основные зависимости наблюдаемые между ними. Констатировано, что критическая скорость является сложной особенностью, зависящей главным образом от площади сечения семян и их удельного веса, при чем эти зависимости являются существенными при линейном развитии.

Примененная методика исследований единая для отдельных семян и целых опытов, дала возможность выяснить поведение семян в движущейся струе воздуха. Величины критических скоростей и аэродинамических коэффициентов сопротивления и обтекаемости могут быть использованы для проектирования рабочих элементов машин для чистки и сортировки семян.

Summary

The paper contains results of studies of the aerodynamical features of seeds of Scotch pine, Norway spruce and European larch carried out in a turbulent air stream. The values of critical speeds and aerodynamical indices of the resistance and relative wind as well as basic relations existing between them were determined. It was stated that the critical speed was a complex feature depending mainly on the area of seed section and of individual weights of the seeds. And these are significant linear dependences.

The applied method of studies, uniform for individual seeds and whole samples, allowed to explain the bearing of the seeds in moving air stream. The values of critical speeds and aerodynamical coefficients of the resistance and relative wind can be used for designing working elements of machines for clearing and sorting seeds.