

## WŁAŚCIWOŚCI AERODYNAMICZNE NASION SOI

Bronisława Barbara Kram

*Institut inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** Dla suchych i nawilżanych nasion soi wyznaczono właściwości aerodynamiczne jak prędkość krytyczną  $v_k$ , współczynnik oporu aerodynamicznego  $k_x$  i współczynnik lotności  $k_o$ , oraz parametry geometryczne (długość  $c$ , powierzchnia nośna  $S$ ). Prędkość krytyczna, powierzchnia nośna i długość ziarna suchego zależą od jego masy i rosną zgodnie z równaniami krzywych potęgowych. Przy rosnącej prędkości krytycznej ziarna, współczynnik lotności maleje również zgodnie z równaniem krzywej potęgowej. Współczynnik oporu aerodynamicznego suchych ziaren nie zależy od ich masy. Wraz ze wzrostem wilgotności badanych ziaren ich długość, grubość, szerokość i powierzchnie rzutów prostopadłych rosną zgodnie z równaniami wykładniczymi. Mimo wzrostu masy ziaren, wynikającego z ich nawilżania, prędkość krytyczna wyraźnie maleje, co opisuje równanie wykładnicze. Wpływ wilgotności na współczynnik lotności i współczynnik oporu aerodynamicznego opisują rosnące krzywe wykładnicze.

**Słowa kluczowe:** soja, ziarno, wilgotność, masa, właściwości aerodynamiczne

### Wstęp i cel pracy

Soja jest cenną rośliną strączkową, która znalazła bardzo szerokie zastosowanie w światowym przemyśle spożywczym. Jest jedną z najstarszych roślin uprawnych pochodzącą z rejonu południowo-wschodniej Azji, przystosowaną już do warunków Polski. Nasiona soi są źródłem pełnowartościowego białka, zawierają sole mineralne, witaminy A i B oraz tłuszcze. Lista produktów otrzymywanych z soi jest bardzo długa i ciągle się powiększa. Tak więc, soja pomimo swego wieloletniego pochodzenia jest ciągle rośliną przyszłościową. Przyczyną niesłabnącego od dawna zainteresowania uprawą soi w wielu krajach świata jest jej duża uniwersalność oraz możliwość szerokiego wykorzystania nasion tej rośliny zarówno w przemyśle spożywczym jak chemicznym [Konecka 1991; Karczmarski 1999; Dedio 2000].

Zastosowanie odpowiednich środków transportu w magazynowaniu, przeładunku, procesach uprawowych i technologicznych jest ważnym zagadnieniem. Szczególnie przydatne mogą być przenośniki pneumatyczne ze względu na możliwość transportu dużych ilości materiału na znaczne odległości, mały procent ubytków, elastyczność przeładunku, brak zanieczyszczeń, łatwość obsługi, niewielkie gabaryty, samooczyszczenie, możliwość rozbudowy i zdalnego sterowania. Wymienione zalety powodują, że mimo dużego zużycia energii, transport i przeładunek pneumatyczny są często optymalnym rozwiązaniem. Przy projektowaniu i eksploatacji urządzeń pneumatycznych należy znać właściwości aerodynamiczne transportowanego materiału. Wyznaczenie prędkości krytycznej  $v_k$ , współczyn-

nika oporu aerodynamicznego  $k_x$  i współczynnika lotności  $k_o$  dla nasion soi było celem przeprowadzonych badań, ponieważ w literaturze nie znaleziono informacji na ten temat.

## Metodyka

Podstawową właściwość aerodynamiczną jaką jest prędkość krytyczna  $v_k$ , wyznaczano mierząc ciśnienie dynamiczne w pionowym strumieniu powietrza gdy umieszczone tam ziarno soi znajdowało się w stanie równowagi [Kram 1990].

Z podstawowego wzoru  $p_{dyn} = \rho \cdot v_k^2 \cdot 2^{-1}$  wyznaczono prędkość krytyczną

$$v_k = \sqrt{2 \cdot p_{dyn} \cdot \rho^{-1}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

gdzie:

$p_{dyn}$  – ciśnienie dynamiczne [ $\text{kG} \cdot \text{m}^{-2}$ ],

$\rho$  – gęstość powietrza [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Znając prędkość krytyczną można obliczyć współczynnik lotności  $k_o$  z równania stanu równowagi  $G = R = m \cdot k_o \cdot v_k^2$

$$k_o = g \cdot (v_k^2)^{-1} \quad [\text{m}^{-1}]$$

gdzie:

$g$  – przyspieszenie ziemskie [ $\text{m} \cdot (\text{s}^2)^{-1}$ ]

Współczynnik oporu aerodynamicznego wyznacza się ze wzoru:

$$k_x = 2 \cdot G \cdot (S \cdot \rho \cdot v_k^2)^{-1} \quad [-]$$

gdzie:

$G$  – ciężar cząsteczki [ $\text{kG}$ ],

$S$  – powierzchnia nośna [ $\text{m}^2$ ].

Jako powierzchnię nośną przyjmuje się największą powierzchnię rzutu prostopadłego badanej cząstki. Do wyznaczenia powierzchni trzech prostopadłych do siebie rzutów  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , zastosowano czytnik optyczny, uzyskując obrysy badanych powierzchni w 14,8-krotnym powiększeniu. Wielkości powierzchni mierzone planimetrem.

Długość  $c$ , szerokość  $b$  i grubość  $a$  ziarna została zmierzona na odpowiednich powierzchniach rzutów prostopadłych, specjalnie wyskalowaną miarą.

Badania przeprowadzono dla ziaren suchych o wilgotności  $W = 8,94\%$  i nawilżanych od  $W = 8,94\%$  do  $W = 62,40\%$ .

Dla nasion suchych pomiary przeprowadzono na 70 wybranych ziarnach o masie od  $m = 82 \text{ mg}$  do  $m = 221 \text{ mg}$ .

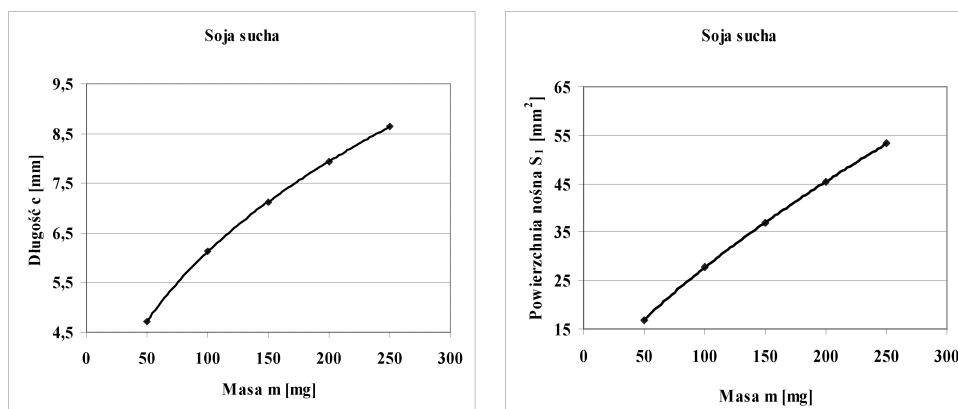
Do nawilżania przyjęto ziarna o wilgotności początkowej  $W = 8,94\%$  i masie  $m = 122 \text{ mg}$  z frakcji  $m = 120 - 130 \text{ mg}$  (frakcja o najczęściej występującej masie ziaren).

Właściwości aerodynamiczne i parametry geometryczne ziaren soi zostały przedstawione w funkcji ich masy i wilgotności.

## Wyniki

### Ziarno suche

Długość suchego ziarna  $c$  zmienia się wielkość od  $c = 5,81$  mm do  $c = 12,09$  mm i rośnie wraz z masą zgodnie z równaniem potęgowym  $c = 1,088 \cdot m^{0,375}$  przy  $R^2 = 0,91$  (rys. 1).



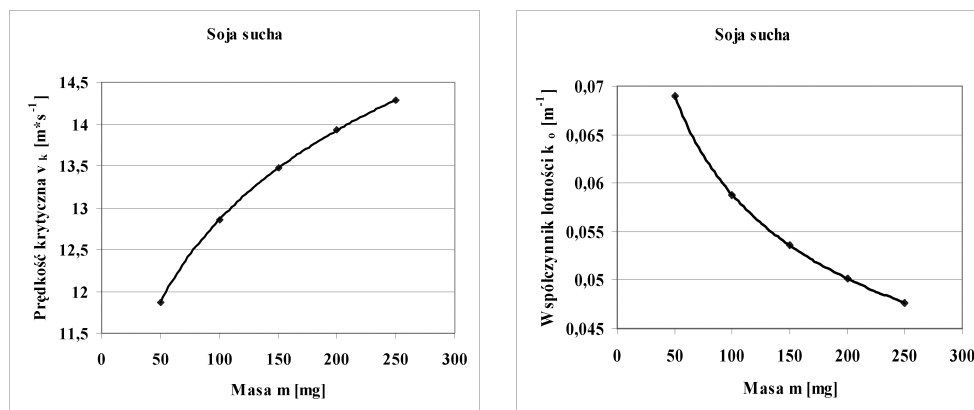
Rys. 1. Zależność długości i powierzchni nośnej ziarna soi od jego masy  
 Fig. 1. Relation of soybean grain length and supporting surface to its mass

Powierzchnia nośna  $S$  również zmienia się wielkość wraz z masą, co opisuje krzywa rosnąca równania potęgowego  $S = 1,04 \cdot m^{0,713}$  przy  $R^2 = 0,96$  (rys. 1).

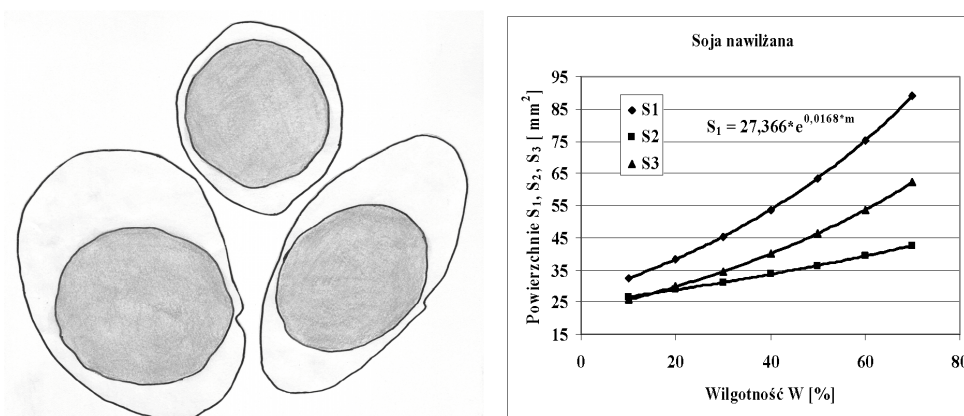
W zależności od masy ziarna ( $m = 82 - 221$  mg), prędkość krytyczna waha się od  $v_k = 12,09$  m·s<sup>-1</sup> do  $v_k = 14,27$  m·s<sup>-1</sup>. Ze wzrostem masy, prędkość krytyczna rośnie i można opisać tę zależność równaniem potęgowym  $v_k = 7,57 \cdot m^{0,115}$ , przy niższym współczynniku korelacji  $R^2 = 0,65$  (rys. 2).

Gdy prędkość krytyczna rośnie to współczynnik lotności  $k_o$  maleje zgodnie z równaniem potęgowym  $k_o = 0,169 \cdot m^{-0,2296}$  przy  $R^2 = 0,64$  (rys. 2).

Współczynnik oporu aerodynamicznego  $k_x$  nie zależy od masy ziarna. Należy przyjąć, że jest to wartość stała, charakterystyczna dla danej odmiany. Średnia wartość współczynnika oporu aerodynamicznego dla suchego ziarna soi wynosi  $k_x = 0,354$ .



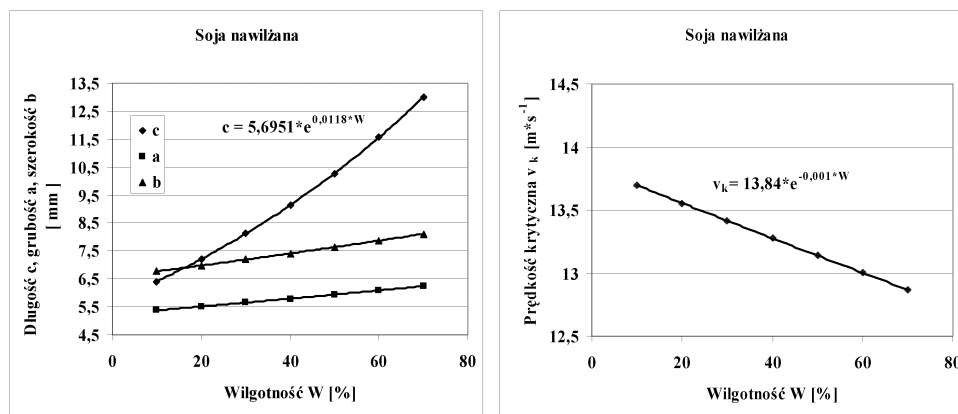
Rys. 2. Zależność prędkości krytycznej i współczynnika lotności ziarna soi od jego masy  
 Fig. 2. Relation of soybean grain critical velocity and volatility coefficient to its mass



Rys. 3. Dynamika przyrostów powierzchni rzutów prostopadłych ziarna soi w funkcji jego wilgotności  
 Fig. 3. Dynamics of soybean grain orthogonal projection area increment in function of its humidity

### Ziarno nawilżane

Przy wzroście wilgotności ziarna najbardziej zmienia się jego długość  $c$ . Przykładowo dla ziarna o wilgotności  $W = 8,94\%$ , długość wynosiła  $c = 6,62$  mm i przy zwiększeniu wilgotności do  $W = 61,27\%$  osiągnęła wielkość  $c = 12,11$  mm. Jak widać przyrost długości jest bardzo duży i wynosi 83,69%. Ogólnie zmianę długości ziarna można opisać bardzo dobrze dopasowaną krzywą ( $R^2 = 0,97$ ) o równaniu  $c = 5,70 * e^{0,0118 * W}$  (rys. 4).



Rys. 4. Zmiana długości, szerokości, grubości i prędkości krytycznej ziarna soi w funkcji jego wilgotności

Fig. 4. Change in length, width, thickness and critical velocity of soybean grain in function of its humidity

Zmiany grubości  $a$  i szerokości  $b$  ziarna nie są tak wielkie. Zmiany tych parametrów w funkcji wilgotności można opisać krzywymi wykładniczymi o następujących równaniach:

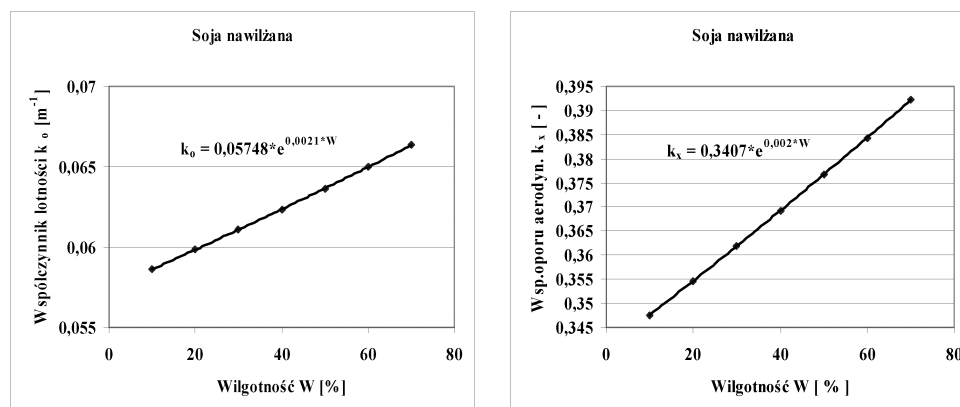
$$a = 5,24 \cdot e^{0,0025 \cdot W}, R^2 = 0,46 \text{ i } b = 6,57 \cdot e^{0,003 \cdot W}, R^2 = 0,46 \text{ (rys. 4)}$$

Konsekwentnie, z największymi przyrostami długości ziarna, powierzchnia  $S_1$  wraz ze wzrostem wilgotności (od  $W = 8,94\%$  do  $W = 61,27\%$ ) zwiększa się od  $S_1 = 32,32 \text{ mm}^2$  do  $S_1 = 78,52 \text{ mm}^2$ , czyli aż o 142,95%. Zmianę wielkości tej powierzchni bardzo dokładnie opisuje krzywa wykładnicza  $S_1 = 27,37 \cdot e^{0,01684 \cdot W}$  przy  $R^2 = 0,99$  (rys. 3).

Przyrosty powierzchni  $S_2$  i  $S_3$  również bardzo dokładnie opisują krzywe wykładnicze  $S_2 = 24,63 \cdot e^{0,0078 \cdot W}, R^2 = 0,88$  oraz  $S_3 = 22,21 \cdot e^{0,0147 \cdot W}, R^2 = 0,98$  (rys. 3).

Nawilżane ziarno soi zachowuje się nietypowo. Mimo wzrostu masy ziaren, wynikającego z nawilżania, prędkość krytyczna w funkcji wilgotności wyraźnie maleje. Zależność tę opisuje malejąca krzywa wykładnicza  $v_k = 13,84 \cdot e^{-0,00104 \cdot W}, R^2 = 0,57$  (rys. 3). Jest to jedyny przypadek wśród bardzo wielu przebadanych nasion różnych roślin, że prędkość krytyczna w funkcji wilgotności maleje. Taką zależność można najprawdopodobniej wytłumaczyć tym, że ziarno soi w miarę nawilżania bardzo zmienia swój kształt, od prawie regularnej kuli, gdy ziarno jest suche, do kształtu płaskiej fasoli. Ponieważ współczynnik oporu aerodynamicznego  $k_x$  i współczynnik lotności  $k_o$  zależą od prędkości krytycznej, to w przypadku, gdy prędkość krytyczna w funkcji wilgotności maleje, współczynniki te

w funkcji wilgotności rosną. Opisują to równania wykładnicze:  $k_x = 0,341 \cdot e^{0,002010 \cdot W}$ ,  $R^2 = 0,65$  i  $k_o = 0,057 \cdot e^{0,002062 \cdot W}$ ,  $R^2 = 0,67$  (rys. 5).



Rys. 5. Zależność współczynnika lotności i współczynnika oporu aerodynamicznego ziarna soi od jego wilgotności

Fig. 5. Relation between soybean grain volatility coefficient and aerodynamic resistance coefficient, and its humidity

## Wnioski

1. Prędkość krytyczna suchego ziarna soi rośnie wraz z jego masą zgodnie z równaniem potęgowym  $v_k = 7,57 \cdot m^{0,1151}$  a co za tym idzie współczynnik lotności maleje wg równania  $k_o = 0,169 \cdot m^{-0,2296}$ .
2. Współczynnik oporu aerodynamicznego nie zależy od żadnego parametru suchego ziarna soi, można przyjąć, że jest cechą charakterystyczną (stałą materiałową) i dla suchego ziarna soi odmiany Polan wynosi  $k_x = 0,354$ .
3. Nawilżane ziarno soi radykalnie zmienia swój kształt, co ma duży wpływ na jego właściwości aerodynamiczne.
4. Przyrosty długości, szerokości, grubości i powierzchni rzutów prostopadłych ziarna w funkcji wilgotności opisane są rosnącymi krzywymi wykładniczymi.
5. Zmiana kształtu nawilżanego ziarna powoduje, że prędkość krytyczna maleje ze wzrostem wilgotności zgodnie z równaniem wykładniczym  $v_k = 13,84 \cdot e^{-0,00104 \cdot W}$ , i już zgodnie z tym, współczynnik lotności rośnie wg równania wykładniczego  $k_o = 0,057 \cdot e^{0,002062 \cdot W}$ .
6. Zawartość wody w ziarnie ma wpływ na wielkość współczynnika oporu aerodynamicznego. Ze wzrostem wilgotności ziarna jego wielkość rośnie zgodnie z równaniem wykładniczym  $k_x = 0,3407 \cdot e^{0,002010 \cdot W}$ .

## Bibliografia

- Dedio I.** 2000. Rośliny zielarskie w apteczce domowej i w kuchni.[Cz.16: Soja owłosiona]. Wiadomości Zielarskie. R. 42 nr 10 s. 20.
- Karczmarczuk R.** 1999. Soja – roślina ze wszech miar użyteczna. Wiad. Zielar. 1999 R. 41. Nr 11 s. 6-7.
- Kram B. B.** 1990 Badania cech aerodynamicznych granул superfosfatu potrójnego. Roczniki Nauk Rolniczych, t. 79-C-1. s. 35-45.
- Konecka K.** 1991 Soja dawniej i dziś. Postępy Nauk Rolniczych. Nr 415/6.

## AERODYNAMIC PROPERTIES OF SOYBEAN SEEDS

Abstract. The following aerodynamic properties were determined for dry and moistened soybean seeds: critical velocity  $v_k$ , aerodynamic resistance coefficient  $k_x$  and volatility coefficient  $k_o$ , and geometric parameters (length  $c$ , supporting surface  $S$ ). Critical velocity, supporting surface and length of dry seed depend on its mass and increase according to power curve equations. For growing critical velocity of grain, volatility coefficient drops according to power curve equation as well. Aerodynamic resistance coefficient for dry grains is not dependent on their mass. With the increasing humidity of examined grains, their length, thickness, width, and orthogonal projection area rise according to exponential equations. In spite of the increase in grain mass resulting from its moistening, critical velocity visibly drops, which is described by exponential equation. The impact of humidity on volatility coefficient and aerodynamic resistance coefficient is described by raising exponential curves.

**Key words:** soybean, grain, humidity, mass, aerodynamic properties

### Adres do korespondencji:

Bronisława Barbara Kram; e-mail: Bronisława.Kram@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chełmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław