

Stanisław Peroń, Mariusz Surma, Zbigniew Zdrojewski  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

## WPLYW KĄTA ROZWARCIA STOŻKA U PODSTAWY KOMORY SUSZARKI FONTANNOWEJ NA AERODYNAMIKĘ ZŁOŻA ZIARNA RZEPAKU

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wpływ kąta rozwarcia stożka u podstawy komory suszenia laboratoryjnej suszarki fontannowej na minimalną prędkość fontannowania oraz maksymalny spadek ciśnienia w złożu ziarna rzepaku. Kąt rozwarcia stożka podstawy suszarki wynosił 30, 50, 60, 70°C. Materiał stanowiło ziarno rzepaku ozimego „Kaszub”, o średniej średnicy  $d_z = 2,15\text{mm}$ . Wysokości warstwy ziarna w komorze wynosiła  $H_o = 0,18\text{m}$ . Zależność minimalnej prędkości fontannowania nasion rzepaku oraz spadek ciśnienia w złożu - od kąta rozwarcia stożka przedstawiono w formie wykresów oraz równań regresji.

**Słowa kluczowe:** ziarno rzepaku, aerodynamika, suszarka fontannowa

### Wykaz oznaczeń

- $H_o$  – wysokość statycznej warstwy rzepaku w komorze [m],  
 $v_{mf}$  – minimalna prędkość fontannowania [m/s],  
 $\Delta p_{max}$  – maksymalny spadek ciśnienia w złożu [Pa],  
 $g$  – przyspieszenie ziemskie [ $\text{m/s}^2$ ],  
 $\rho_g$  – gęstość powietrza [ $\text{kg/m}^3$ ],  
 $\nu$  – lepkość kinetyczna [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],  
 $\gamma$  – kąt rozwarcia stożka [ $^\circ$ ].

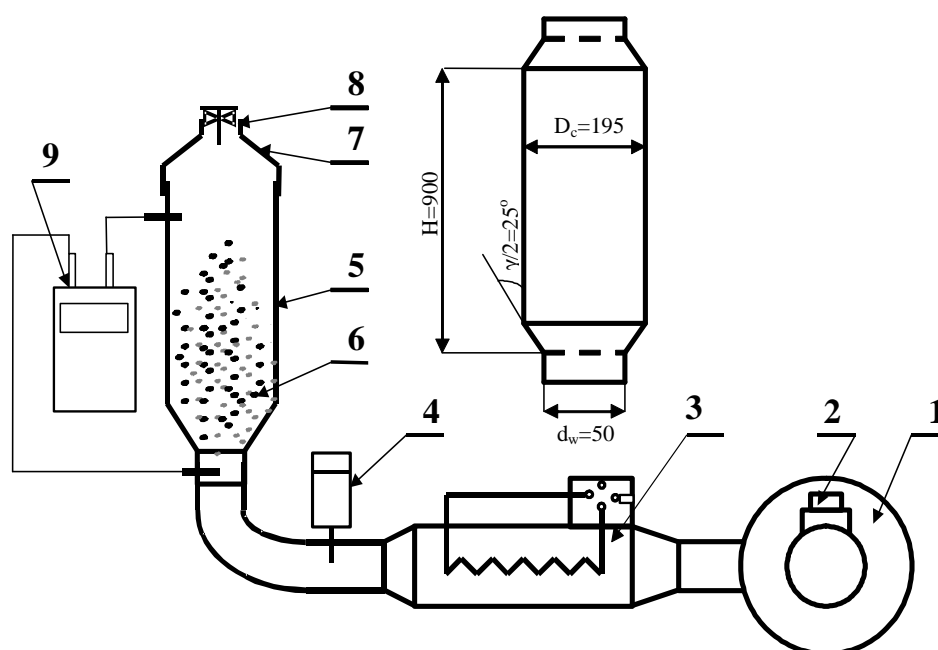
### Wprowadzenie i cel badań

Dla charakterystyki pracy suszarki fontannowej ze złożem materiału ziarnistego – konieczne jest poznanie jego aerodynamiki. Ważną cechą konstrukcyjną, wpływającą na aerodynamikę złoża ziarna jest m.in. kąt rozwarcia stożka  $\gamma$  dolnej części suszarki [Kmieć, Kucharski 1982].

Istnieją rozbieżne informacje (przedstawione w dalszej części pracy) co do wpływu kąta  $\gamma$  na aerodynamikę złoża, stąd celem pracy było określenie jego wpływu na minimalną prędkość fontannowania oraz maksymalny spadek ciśnienia.

### Stanowisko pomiarowe i metodyka badań

Na rys. 1 pokazano schemat stanowiska pomiarowego. Komora suszenia o pojemności około  $0,02 \text{ m}^3$  wykonana ze szkła organicznego umożliwia obserwację złoża materiału. Średnica otworu wlotu powietrza do komory  $d_w = 0,05 \text{ m}$ , średnica części cylindrycznej komory  $D_c = 0,195 \text{ m}$ . Dolną część komory stanowiły wymienne stożki o kątach rozwarcia:  $30^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$  oraz  $70^\circ$  pokazane na rys. 2.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 - wentylator, 2 - zasuwka regulacyjna, 3 - nagrzewnica z regulatorem temperatury, 4 - termopara, 5 - komora suszenia, 6 - fontannujące złożo, 7 - króciec pomiarowy, 8 - anemometr, 9 - miernik różnicy ciśnień DMU-D 10

Fig. 1. Scheme of the experimental stand: 1 – fan, 2 – control damper, 3 – heater with a temperature controller, 4 – thermoelement, 5 – drying chamber, 6 – fountain bed, 7 – measuring pipe, 8 – anemometer, 9 – difference pressure meter DMU-D 10



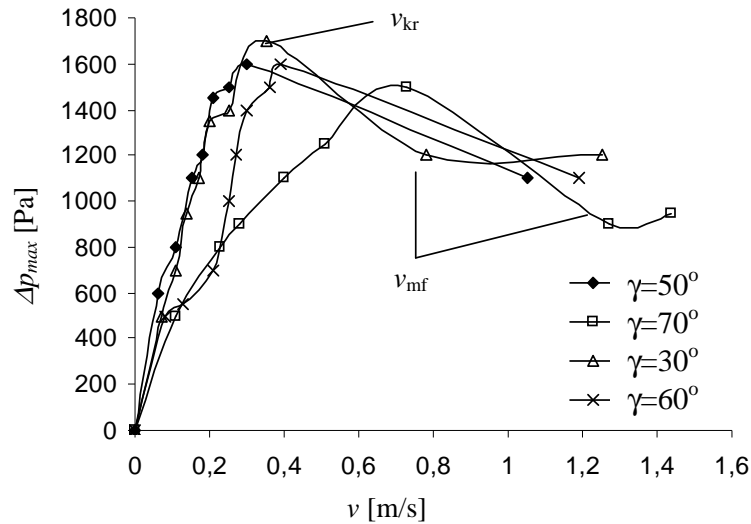
Rys. 2. Stożki dolnej części suszarki o różnych kątach rozwarcia:  $70^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $30^\circ$   
 Fig. 2. The bases of spouted drier from different coned angle:  $70^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $30^\circ$

Materiał stanowiło ziarna rzepaku ozimego „Kaszub”. Średnia objętościowa średnica ziarna wynosiła  $d_z = 2,15$  mm, gęstość usypowa  $\rho_u = 746$  kg/m<sup>3</sup>, gęstość właściwa  $\rho_w = 1086$  kg/m<sup>3</sup>, masa tysiąca ziaren MTZ = 4,97 g. Zawartość wody wynosiła  $\approx u = 0,066$  kg H<sub>2</sub>O/kg s.s.. Doświadczenie prowadzono przy grubości warstwy ziarna w komorze:  $H_0 = 0,18$  m. Prędkość powietrza fontannującego złoże zmieniano przesłoną w zakresie 0÷2,4 m/s. Prędkość ta odnosiła się do przekroju poprzecznego części cylindrycznej komory suszarki.

### Wyniki badań

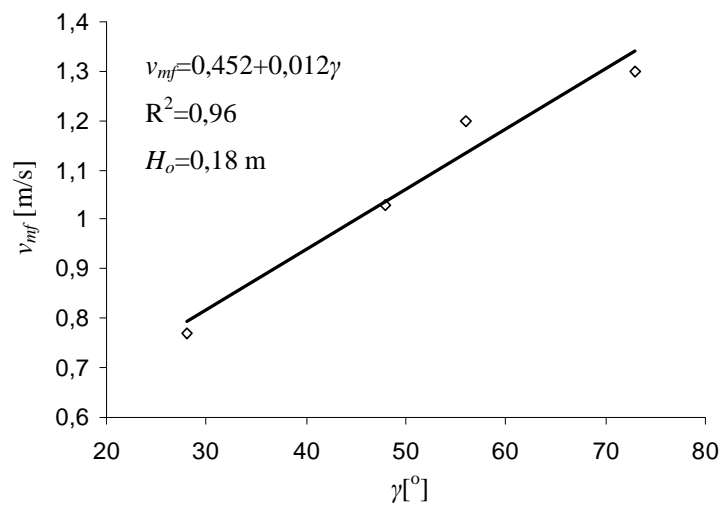
Zależność spadku ciśnienia  $\Delta p$  w złożu nasion rzepaku od prędkości powietrza dla różnych kątów rozwarcia stożka  $\gamma$  pokazano na rys. 3. Podczas doświadczenia przy zmniejszaniu prędkości powietrza  $v$  w komorze suszarki można było zaobserwować (począwszy od jej pewnej wartości) zanik fontanny i zamykanie się złoża rzepaku.

Obrazem zmiany  $\Delta p$  w zależności od  $v$  dla poszczególnych kątów  $\gamma$  są tzw. krzywe fontannowania. Na każdej z tych krzywych przedstawionych na rys. 3 można znaleźć charakterystyczny punkt odpowiadający zanikowi fontanny i zamykaniu się złoża. Te punkty (niektóre z nich zaznaczono pionową linią i symbolem  $v_{mf}$ ) przyjęto jako podstawę do określania minimalnej prędkości fontannowania. Każdy z punktów przedstawionych na wykresie stanowi średnią z 4 pomiarów. Zależność minimalnej prędkości fontannowania  $v_{mf}$  od kąta rozchylenia stożka  $\gamma$  dolnej części komory suszenia przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 3. Zależność spadku ciśnienia  $\Delta p$  w złożu od prędkości powietrza dla różnych kątów rozwarcia stożka,  $H_o = 0,18$  m

Fig. 3. Pressure drop  $\Delta p$  in grain rope bed of different conical angle as affected by gas velocity,  $H_o = 0,18$  m



Rys. 4. Zależność minimalnej prędkości fontannowania złoża rzepaku  $v_{mf}$  od wielkości kąta rozwarcia stożka  $\gamma$  dolnej części komory suszenia

Fig. 4. Minimum spouting velocity  $v_{mf}$  versus angle of conical base

Jak wynika z rys. 4 w miarę wzrostu kąta  $\gamma$  rosła również minimalna prędkość fontannowania złoża  $v_{mf}$ . Zależność  $v_{mf} = f(\gamma)$  dla przyjętych wielkości kąta  $\gamma$  przebiegała liniowo i można ją było przybliżyć równaniem:

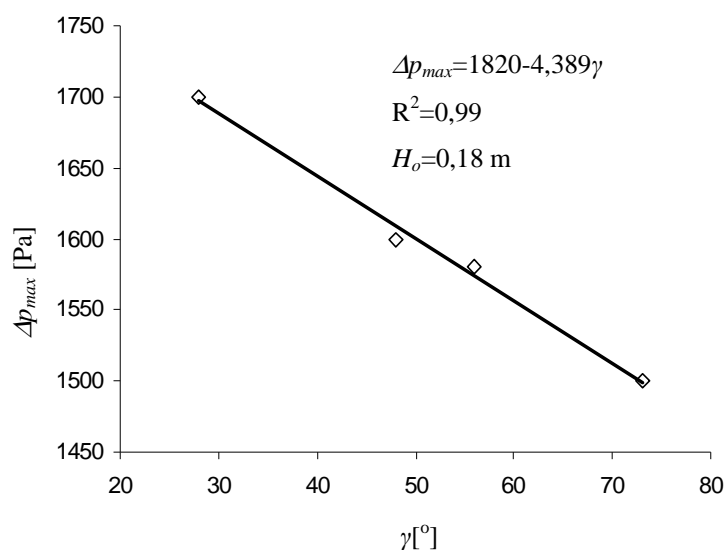
$$v_{mf} = 0,452 + 0,012\gamma \quad (1)$$

przy współczynniku determinacji  $R^2 = 0,96$ . Odchyłki pomiędzy wynikami obliczeń wg równania (1) a pomiarów nie przekraczają  $\pm 10\%$ .

Jak wynika z doniesień Basu, Sen Gupta oraz Muchlenowa [cytowanie za Strumiłłą 1983] zwiększenie kąta  $\gamma$  w granicach 0,78-1,48 rad powodowało w ich doświadczeniach również wzrost minimalnej prędkości fontannowania, jednak próba zastosowania równań tych autorów do obliczeń  $v_{mf}$  rzepaku dawała wyniki odbiegające od pomiarów o ponad 50%. Zależność maksymalnego spadku ciśnienia  $\Delta p_{max}$  w złożu rzepaku od kąta rozwarcia stożka  $\gamma$  pokazano na rys. 5. Z wykresu wynika, że zależność  $\Delta p_{max} = f(\gamma)$  może być opisana równaniem liniowym:

$$\Delta p_{max} = 1820 - 4,389\gamma \quad (2)$$

przy współczynniku determinacji  $R^2 = 0,99$ .



Rys. 5. Zależność maksymalnego spadku ciśnienia  $\Delta p_{max}$  w złożu rzepaku od kąta rozwarcia stożka  $\gamma$  dolnej części komory suszenia

Fig. 5. Maximum pressure drop  $\Delta p_{max}$  versus angle of conical base

Gelperin i Timochowa [cytowanie za Strumiłą, 1983] potwierdzają dodatni wpływ wielkości  $\gamma$  na spadek  $\Delta p_{max}$  warstwy szeregu surowców ziarnistych, jednak próba zastosowania sformułowanych przez nich zależności do obliczeń  $\Delta p_{max}$  w przypadku rzepaku dawała wyniki znacznie zawyżone w stosunku do uzyskanych na drodze eksperymentu.

Warstwa o grubości  $H_o = 0,18$  m przy  $\gamma = 30^\circ$  ( $v_{kr} = 0,35$  m/s) powodowała maksymalny spadek ciśnienia  $\Delta p_{max} = 1700$  Pa. Zwiększenie kąta  $\gamma$  do  $70^\circ$  (przy podobnej  $H_o$ ) powodowało spadek  $\Delta p_{max}$  do ok. 1500 Pa.

Według zależności (3) prezentowanej przez Gelperina, Ajnsztajna i Timochową [cytowanie za Strumiłą, 1983]:

$$\frac{\Delta p_{max}}{H_o \cdot \rho_u \cdot g} = 0,062 \left( \frac{D_c}{d_w} \right)^{2,51} \left( \frac{D_c}{d_w} - 1 \right) \left( \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \right)^{-0,18} + 1 \quad (3)$$

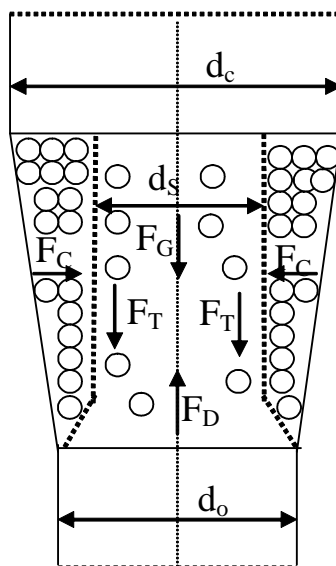
zwiększenie kąta rozwarcia granicach  $10^\circ$ - $60^\circ$  powoduje zmniejszanie wartości  $\Delta p_{max}$ . Z kolei zależność Muchlenowa i Gorsztajna (4) [cytowanie za Strumiłą 1983]:

$$\frac{\Delta p_{max}}{H_o \cdot \rho_u \cdot g} = 6,65 \cdot Ar^{-2} \cdot \left( \frac{H_o}{D_c} \right)^{1,2} \left( \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \right)^{0,5} + 1 \quad (4)$$

wskazuje, że zwiększanie kąta rozwarcia  $\gamma$  w granicach  $12^\circ$ - $60^\circ$  powoduje wzrost wartości  $\Delta p_{max}$ . Zastosowanie zależności (3) do obliczeń  $\Delta p_{max}$  dawało wyniki zaniżone o ok. 50% w porównaniu z eksperymentem. Wykorzystanie zależności (4) do obliczeń  $\Delta p_{max}$  dawało wyniki wyższe od mierzonych o ok. 70%

Jak wynika z załączonych rysunków wzrost wielkości kąta rozwarcia stożka  $\gamma$  dolnej części komory suszenia w granicach  $29^\circ$ - $73^\circ$  spowodował wzrost minimalnej prędkości fontannowania  $v_{mf}$  ziarna rzepaku o wysokości złoża  $H_o = 0,18$  m, od ok. 0,75 do ok. 1,3 m/s, oraz zmniejszenie maksymalnego spadku ciśnienia  $\Delta p_{max}$  od ok. 1700 do ok. 1500 Pa.

Wpływ wielkości  $\gamma$  na wartość  $\Delta p_{max}$  może wynikać z rozkładu sił działających w złożu w komorze suszarki przedstawionego na rys. 6.



Rys. 6. Opis sił działających na cząstki ziarna rzepaku w kanale centralnym złoża fontannowego

Fig. 6. Describing of forces in spouted bed of sedes of ropes

Jak wynika z rysunku można tutaj wyróżnić siły ciężkości  $F_G$  i siły unoszenia  $F_D$  występujące w kanale centralnym złoża, oraz siły tarcia  $F_T$  na granicy kanału centralnego i strefy pierścieniowej. Ponadto występują tutaj siły naporu  $F_C$  od strony strefy pierścieniowej na strefę centralną o średnicy  $d_s$ . Zmniejszanie kąta  $\gamma$  może wywoływać wzrost sił tarcia między unoszonymi ziarnami rzepaku w strefie centralnej, a opadającymi w strefie pierścieniowej – co prawdopodobnie skutkuje wzrostem  $\Delta p_{max}$ . Dodatniego wpływu wzrostu wielkości kąta  $\gamma$  na minimalną prędkość fontannowania  $v_{mf}$  autorzy nie potrafili na razie logicznie uzasadnić.

## Wnioski

1. Zwiększenie kąta rozwarcia podstawy suszarki fontannowej w granicach  $30^\circ$ – $70^\circ$  powodowało liniowy wzrost minimalnej prędkości fontannowania oraz liniowy spadek wartości maksymalnego ciśnienia w złożu rzepaku.
2. Próby zastosowania cytowanych w literaturze wybranych równań do obliczeń minimalnej prędkości fontannowania oraz maksymalnego spadku ciśnienia dawały wyniki odbiegające od pomiarów o ok. 50% do 70%.

## **Bibliografia**

Strumiłło Cz. 1983. Podstawy teorii i techniki suszenia, WNT, Warszawa.

Kmieć A., Kucharski J. 1982. Hydrodynamics and heat transfer during of tablets in a spouted bed drier. Inżynieria Chemiczna i Procesowa, PAN Warszawa, s. 573.

## **EFFECT OF CONE FLARE ANGLE AT THE BASE OF SPOUTED DRYER CHAMBER ON RAPE SEED BED AERODYNAMICS**

### **Summary**

The paper presents the impact of cone flare angle at the base of drying chamber in laboratory spouted dryer on minimum spouting velocity and maximum pressure drop in rape seed bed. Dryer base cone flare angle was: 30, 50, 60, 70°. The material was seed of "Kaszub" winter rape, with average diameter  $d_z = 2.15\text{mm}$ . Seed layer height in the chamber was  $H_o = 0.18\text{m}$ . Relation between minimum spouting velocity of rape seeds / pressure drop in the bed and cone flare angle is shown in form of diagrams and regression equations.

**Key words:** seeds of rope, aerodynamics, spouted drier