

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

WSTĘPNE BADANIA HYDRODYNAMIKI FONTANNUJĄCEGO ZŁOŻA ZIARNA KUKURYDZY

Streszczenie

W pracy przedstawiono wpływ prędkości przepływu powietrza przez cylindryczną komorę suszarki ze złożem ziarna kukurydzy na wielkość jego oporów hydraulicznych. Opory przepływu wyznaczono dla trzech grubości złoża. Określono krytyczną i minimalną prędkość fontannowania. Zależność minimalnej prędkości fontannowania oraz maksymalnego spadku ciśnienia od statycznej grubości warstwy opisano formułami empirycznymi.

Słowa kluczowe: opory przepływu powietrza, fontannujące złożo, ziarno kukurydzy

Wykaz oznaczeń

- H_o – początkowa wysokość warstwy ziarna w suszarce [m]
 d_z – średnia objętościowa średnica zastępcza ziarna [mm]
 Δp_{max} – maksymalny spadek ciśnienia [Pa]
 v_k – prędkość krytyczna strumienia powietrza [m/s]
 v_{mf} – minimalna prędkość fontannowania [m/s]

Wprowadzenie i cel badań

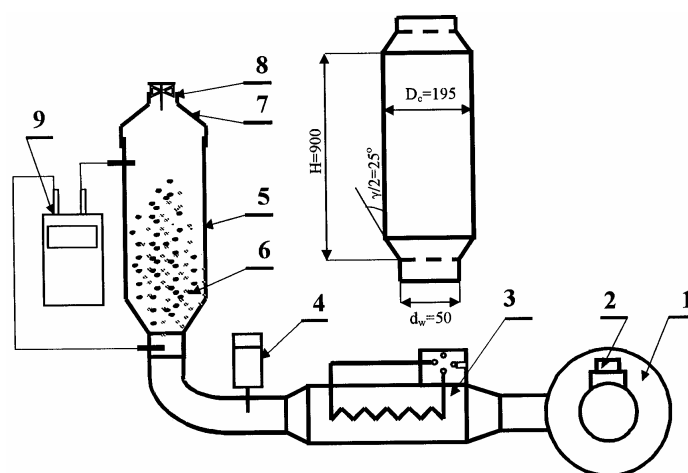
Spośród urządzeń do suszenia ziarna zbóż, rzepaku, kukurydzy itp. – liczną grupę stanowią niewielkie (o pojemności 4-7 ton ziarna) suszarki porcjowe z zabudową daszkową. W tego typu suszarkach ze statycznym złożem suszenie odbywa się nierównomiernie [Biskupski i in. 1972]. Alternatywą takiego sposobu suszenia może być suszenie w suszarkach fontannowych umożliwiających ciągłe lub cykliczne mieszanie całego złoża strumieniem powietrza.

Suszarki takie przy swojej prostocie działania dają możliwość wysokiej równomierności suszenia surowca. Stosuje się je głównie w Azji (Malezja, Indie) do suszenia ryżu. Istnieje obszerna literatura zebrana i omówiona w publikacji Arevintha i in. [1997] dotycząca hydrodynamiki warstwy fontannowej wielu surowców ziarnistych pochodzenia mineralnego (piasek, proszki, granulaty tworzyw sztucznych) oraz pochodzenia roślinnego (ryż, pszenica, rzepak, cukier). Brak natomiast dostępnych danych dotyczących fontannującej warstwy ziarna kukurydzy. Celem doświadczenia było:

- wyznaczenie krytycznej oraz minimalnej prędkości fontannowania dla złoża ziarna kukurydzy,
- określenie oporów przepływu powietrza podczas wprowadzania złoża w stan fontannowania.

Metodyka badań

Na rysunku 1 przedstawiono schemat laboratoryjnej suszarki fontannowej, na której prowadzono doświadczenie.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 - wentylator, 2 - zasuwa 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

Wentylator (1) tłoczył powietrze przez nagrzewnicę elektryczną (3) oraz stożko-cylindryczną komorę suszarki fontannowej (5) o pojemności około $0,02 \text{ m}^3$. Komorę suszenia wykonano ze szkła organicznego, co umożliwiało obserwację złoza materiału. Średnica otworu wlotu powietrza do komory d_w wynosiła $0,05 \text{ m}$. Średnica cylindryczna części cylindrycznej komory $D_c=0,195 \text{ m}$, wysokość komory $H=0,9 \text{ m}$. Kąt rozwarcia stożka wynosił 50° . Dno komory podtrzymujące warstwę surowca stanowiła siatka o oczkach $2 \times 2 \text{ mm}$. Część cylindryczna komory posiadała podziałkę milimetrową, umożliwiającą pomiar wysokości złoza. Prędkość przepływu powietrza przez komorę ze złożem ziarna regulowano przesłoną (2). Górna część komory suszenia posiadała króciec pomiarowy (7) z anemometrem skrzydełkowym AA 2113 umożliwiającym pomiar i rejestrację prędkości przepływu czynnika suszącego przez warstwę materiału z dokładnością $\pm 0,1 \text{ m/s}$.

W komorze zamocowano 2 króćce pomiarowe o średnicy 5 mm połączone przewodami elastycznymi z miernikiem różnicy ciśnień DMU-D 10 umożliwiającym pomiar oporów warstwy złoza z dokładnością $\pm 0,1 \text{ mm H}_2\text{O}$. Materiał stanowiło ziarno kukurydzy LGF 22.44 o wilgotności ok. $13,5\%$. Założono 3 wysokości warstwy w komorze $0,14 \text{ m}$, $0,18 \text{ m}$ i $0,20 \text{ m}$. Gęstość właściwą surowca określono metodą piknometryczną. Jako ciecz roboczą stosowano toluen. Gęstość usypową ziarna kukurydzy wyznaczono za pomocą naczynia miarowego o objętości $1,2 \text{ litra}$. Masę ziarniaków kukurydzy mierzono na wadze laboratoryjnej z dokładnością $\pm 0,0001 \text{ g}$. Średnią średnicę objętościową d_z dla ziarniaków kukurydzy obliczano z zależności:

$$d_z = \sqrt[3]{\frac{6V_{\text{sr}}}{\pi}} \quad (1)$$

gdzie: V_{sr} – oznacza średnią objętość jednego ziarna wyznaczoną na podstawie pomiaru objętości toluenu wypartego przez 50 ziaren. Do pomiarów użyto dokładnej menzurki o objętości 10 cm^3 .

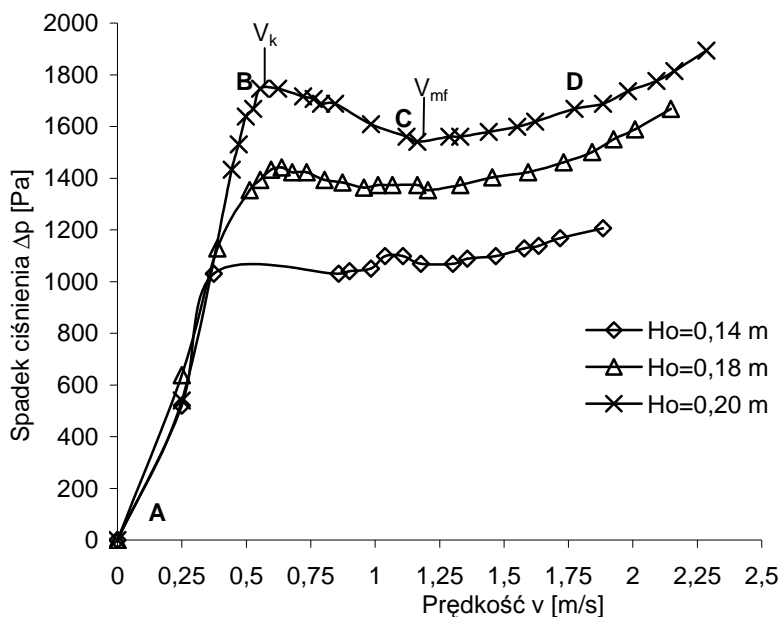
Maksymalny spadek ciśnienia na złożu Δp_{max} , krytyczna v_k oraz minimalna prędkość fontannowania v_{mf} określono następująco: Po uformowaniu warstwy materiału w komorze i włączeniu wentylatora stopniowo otwierano zasuwę zwiększając powoli natężenie przepływu powietrza przez warstwę. Dla każdego wydatku powietrza mierzono spadek ciśnienia Δp nad warstwę – miernikiem DMU-D 10 oraz prędkość jego przepływu w komorze - anemometrem.

Nanosząc wyniki pomiarów na układ współrzędnych $\Delta p-v$, uzyskano wykres funkcji $\Delta p=f(v)$ dla różnych grubości warstwy ziarna.

Uważna obserwacja złoża podczas zmiany prędkości powietrza w komorze oraz analiza krzywych $\Delta p=f(v)$ pozwalała na określenie prędkości krytycznej v_k i odpowiadającego jej maksymalnego spadku ciśnienia Δp_{\max} oraz minimalnej prędkości fontannowania v_{mf} (gdy fontanna „wychodzi” na powierzchnię złoża por. punkt C na rys 2) Każdy pomiar powtarzano 5-krotnie. Każdy z punktów przedstawionych na wykresie stanowi średnią z pięciu pomiarów.

Wyniki badań

Zależność oporu hydraulicznego Δp od prędkości przepływu powietrza w części walcowej suszarki dla trzech wysokości złoża ziarna kukurydzy odmiany LG 22.44 przedstawiono na rysunku 2. Wilgotność ziarna wynosiła 13,5%. Gęstość właściwa $\rho_w=1193\text{kg/m}^3$, gęstość usypowa $\rho_u=758\text{kg/m}^3$, średnia objętościowa średnica zastępcza ziarna $d_z=6,96\text{mm}$, masa tysiąca ziaren $\text{MTZ}=290\text{g}$.



Rys. 2. Zależność spadku ciśnienia Δp w złożu ziarna kukurydzy o różnej wysokości od prędkości gazu.

Fig. 2. Pressure drop Δp in corn grain bed of different depth as affected by gas velocity

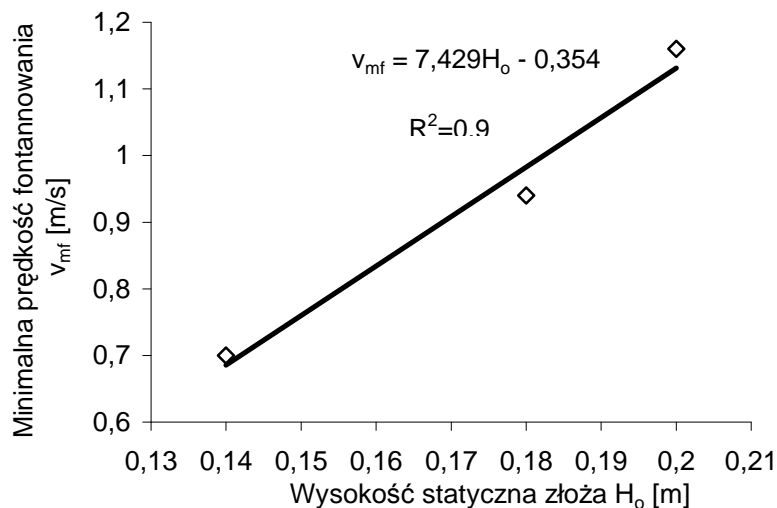
Analiza zależności spadku ciśnienia na złożu od średniej prędkości liniowej odniesionej do pola przekroju części walcowej komory pozwoliła na określenie charakterystycznych punktów pracy złoża zaznaczonych na rys. 2 dla warstwy o grubości 0,2m. Można było tu wyróżnić następujące zakresy:

I. Odcinek AB – ze wzrostem prędkości gazu rósł liniowo spadek ciśnienia oraz występowało powiększenie objętości zajmowanej przez tzw. strefę rozrzedzoną formującą się u podstawy złoża. W punkcie B spadek ciśnienia osiągał wartość maksymalną a prędkość powietrza odpowiadała wówczas wartości krytycznej v_k .

II. Odcinek BC – występowało zauważalne rozluźnienie. Odcinkowi temu odpowiadał zakres niestabilnej pracy złoża (przepływ pęcherzykowy). W punkcie C występował początek fontannowania a prędkość powietrza określono jako tzw. minimalna prędkość fontannowania v_{mf} .

III. Odcinek CD odpowiadał procesowi ostatecznego przebicia gęstej fazy złoża przez strumień powietrza. Wówczas można było obserwować formowanie się charakterystycznej stabilnej fontanny surowca w komorze – przy nieznacznym wzroście ciśnienia.

Podobne charakterystyczne odcinki (choć mniej wyraźne) można wydzielić dla innych grubości warstw ziarna. Zależność minimalnej prędkości fontannowania v_{mf} od wysokości statycznej złoża H_o ziarna kukurydzy przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Zależność minimalnej prędkości fontannowania v_{mf} od wysokości statycznej złoża H_o kukurydzy

Fig. 3. Dependence of minimum spouting velocity v_{mf} on the highs of static bed H_o for the corn grain

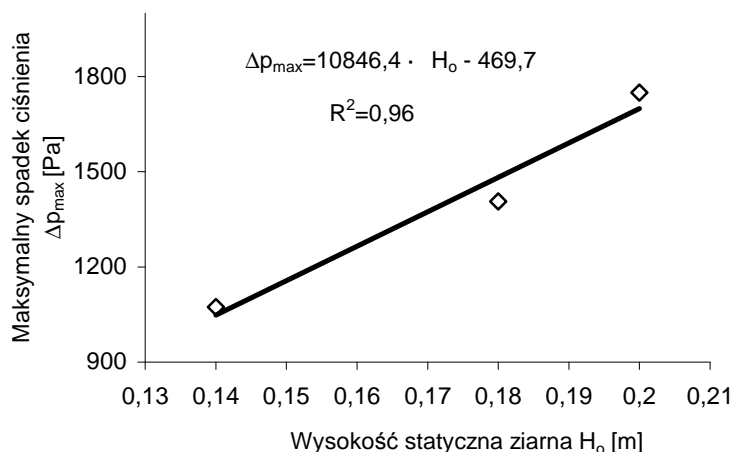
Jak wynika z rysunku w miarę wzrostu wysokości warstwy w komorze, rosła liniowo minimalna prędkość fontannowania.

Na przykład warstwie ziarna $H_o=0,20\text{m}$ odpowiadała wartości $v_{mf}=1,16\text{m/s}$. Przy zmniejszeniu grubości warstwy $H_o=0,14\text{m}$ – zmalała wielkość v_{mf} do $0,7\text{m/s}$. Zależność $v_{mf}=f(H_o)$ można przybliżyć równaniem:

$$v_{mf} = 7,429 \cdot H_o - 0,354 \quad (2)$$

przy współczynniku determinacji $R^2=0,94$.

Wyniki pomiarów spadków ciśnienia dla złoza ziarna pokazano wcześniej na rys. 2. Na podstawie rysunku można stwierdzić, że różnica między maksymalnymi spadkami ciśnienia Δp_{max} powodowana przez warstwę a jego spadkami przy rozpoczęciu fontannowania zależy od statycznej wysokości warstwy H_o . Np. dla warstwy $H_o=0,20\text{m}$ różnica ta wyniosła 17%, a dla $H_o=0,14\text{m}$ – ok. 7%. Zależność maksymalnego spadku ciśnienia Δp_{max} od wysokości statycznej złoza H_o przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Zależność maksymalnego spadku ciśnienia Δp_{max} od wysokości statycznej złoza H_o

Fig. 4. Dependence of maximum drop pressure Δp_{max} on the highs of static bed H_o

Jak wynika z wykresu zależność $\Delta p_{max}=f(H_o)$ przebiegała liniowo i może być przybliżona równaniem prostej:

$$\Delta p_{max} = 10816 \cdot H_o - 469,7 \quad (3)$$

przy współczynniku determinacji $R^2=0,96$.

Warstwa ziarna kukurydzy o grubości $H_0=0,20\text{m}$ powodowała (przy prędkości krytycznej $v_{kr}\approx 0,6\text{m/s}$) maksymalny spadek ciśnienia Δp_{\max} wynoszący 1750N/m^2 . Obniżenie wysokości statycznej złoża do $H_0=0,14\text{m}$ spowodował spadek Δp_{\max} do ok. 1070N/m^2 .

Wnioski

1. Na krzywych zależności spadku ciśnienia - od prędkości powietrza w komorze suszarki można wyróżnić trzy charakterystyczne zakresy pracy złoża.
2. Zależność oporu hydraulicznego oraz minimalnej prędkości fontannowania od statycznej wysokości warstwy ziarna kukurydzy można przybliżyć formułami liniowymi przy wysokich współczynnikach determinacji $R^2=0,94\div 0,96$.

Bibliografia

Arevinth S. Murugesan T. 1997. A general correlation for the minimum spouting velocity, *Bioprocess Engineering* 16, 289-293, Springer-Verlag 1997

Biskupski M. i in. 1972. *Suszarnie zbożowe i urządzenia do aktywnego wietrzenia*, WNT Warszawa

PRELIMINARY STUDY ON THE HYDRODYNAMISC OF SPOUTED BED OF CORN GRAIN

Summary

Paper analyzed the effect of air flow velocity through the cylindrical drying chamber with the bed of corn grain – on their hydraulic resistance. Resistance of flow was determined for three depths of stationary and spouting beds. Both the critical and minimum spouting velocity were determined. The minimum spouting velocity and maximum hydraulic resistance as affected by the static bed depth were described by empirical formulas.

Key words: air flow resistance, spouted bed, corn grain