

Elżbieta Kusińska
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych
Akademia Rolnicza w Lublinie

OCENA WPŁYWU PRĘDKOŚCI PRZEPEŁYWU POWIETRZA I GĘSTOŚCI UPAKOWANIA ZIARNA ŻYTA NA OPÓR HYDRAULICZNY

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań oporu przepływu powietrza przez warstwę ziarna żyta. Na wartość oporu wpływa przede wszystkim prędkość przepływu powietrza i gęstość materiału, która jest uzależniona od obciążenia zewnętrznego i czasu jego trwania. Zmiany gęstości ziarna i oporu hydraulicznego opisano równaniami matematycznymi.

Słowa kluczowe: opór przepływu powietrza, ziarno, żyto, gęstość

Wykaz oznaczeń

- ΔP – jednostkowy opór przepływu powietrza [$\text{hPa}\cdot\text{dm}^{-1}$],
 P – obciążenie ziarna [kPa],
 τ – czas trwania obciążenia [h],
 v – prędkość przepływu powietrza [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 ρ – gęstość ziarna [$\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$],
 a, b – współczynniki empiryczne.

Wprowadzenie

Podstawową metodą konserwacji ziarna zbóż jest jego aktywne wietrzenie. Podczas tego procesu istotne znaczenie ma znajomość oporów przepływu powietrza przez warstwę ziarna. Opór przepływu powietrza zależy od prędkości przepływu powietrza, grubości warstwy oraz właściwości materiału (tj. rodzaj ziarna, porowatość materiału, zawartość zanieczyszczeń, wilgotność złoża) [Siebenmorgen i in. 1987; Sokhansanj i in. 1990; Jayas i in. 1991; Giner i in. 1996]. Duży wpływ na wielkość oporu przepływu ma również gęstość ziarna, która może być

uzależniona od jego wilgotności lub od sposobu napełniania zbiornika [Molenda i in. 2005a; Molenda i in. 2005b]. Do matematycznego opisu oporu przepływu powietrza przez ziarna i nasiona najczęściej stosowane są równania Erguna [1952], Shedda [1953] oraz Hukilla i Ivesa [1955]. W literaturze wyraźnie brakuje wyników badań oporów przepływu powietrza przez ziarno zboża upakowanego pod wpływem działania wysokich ciśnień. W silosach metalowych często wysokość napełnienia ziarnem wynosi ponad kilkanaście metrów, co powoduje jego zagęszczenie i znaczne napory na dolne warstwy ziarna.

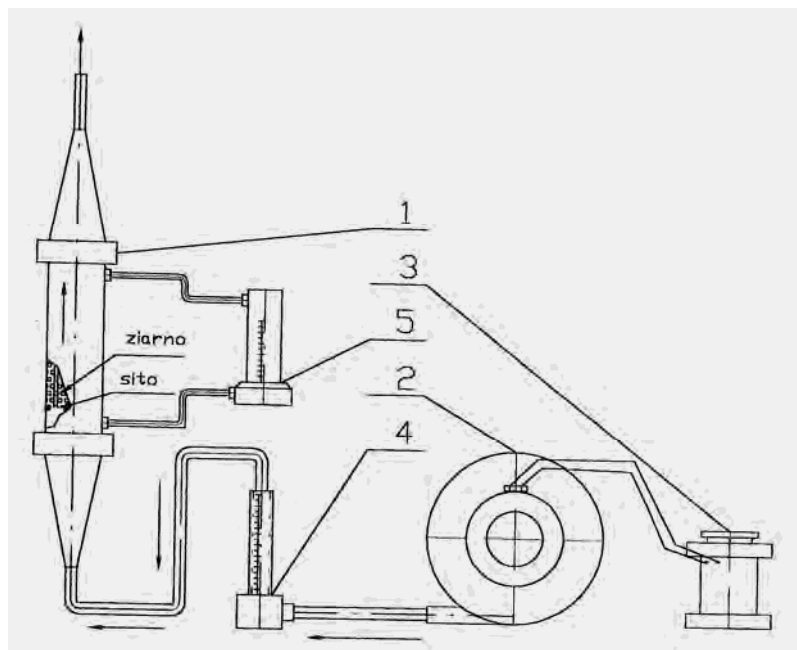
Cel pracy

Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie oporu przepływu powietrza przez warstwę żyta w zależności od prędkości przepływu powietrza i gęstości ziarna. Gęstość żyta zmieniała się w wyniku zewnętrznego obciążania o zmiennym czasie trwania.

Metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone na ziarnie żyta odmiany „Wibro” o wilgotności 15%. Pomiar oporu przepływu powietrza przez warstwę ziarna przeprowadzono na stanowisku pomiarowym (rys. 1), którego podstawowym elementem był wymienny zbiornik cylindryczny 1 o średnicy wewnętrznej 76 mm i wysokości od 280 do 560 mm (można było umieszczać w nim próbę ziarna o grubości 120-400 mm). Zbiornik napełniano ziarnem stosując maksymalną wysokość napełnienia (400 mm). Pomiar oporu przepływu przeprowadzono przy pozornych prędkościach przepływu powietrza: 0,15; 0,3; 0,4 i 0,5 m·s⁻¹. Przepływ powietrza przez próbę wywoływał promieniowy wentylator ssąco-tłoczący 2, którego wydajność była regulowana za pomocą autotransformatora 3. Natężenie przepływu powietrza mierzono za pomocą rotametry gazowego 4. Spadek ciśnienia statycznego przepływającego powietrza mierzono cieczowym mikromanometrem różnicowym 5. Kolejne próby ziarna poddano pionowemu obciążeniu zewnętrznemu o wartościach 17,5 kPa, 35 kPa, 52,5 kPa i 70 kPa. Maksymalna wartość obciążenia odpowiadała około 10-metrowej wysokości napełnienia materiałem silosu. Czas trwania obciążenia wynosił 2, 4, 12 i 24 godziny. Przed każdym pomiarem oporu przepływu próbę ważono i określano jej wysokość w celu wyznaczenia gęstości. Wszystkie pomiary przeprowadzono trzykrotnie.

Konstrukcja stanowiska badawczego wykluczała powstawanie zawirowań powietrza przed i za badaną próbą dzięki zastosowaniu stożków doprowadzających i odprowadzających powietrze o małym kącie rozwarcia (12°). Równomierność rozkładu prędkości sprawdzano za pomocą pomiaru ciśnienia dynamicznego w określonych punktach na wejściu i wyjściu z kolumny pomiarowej.

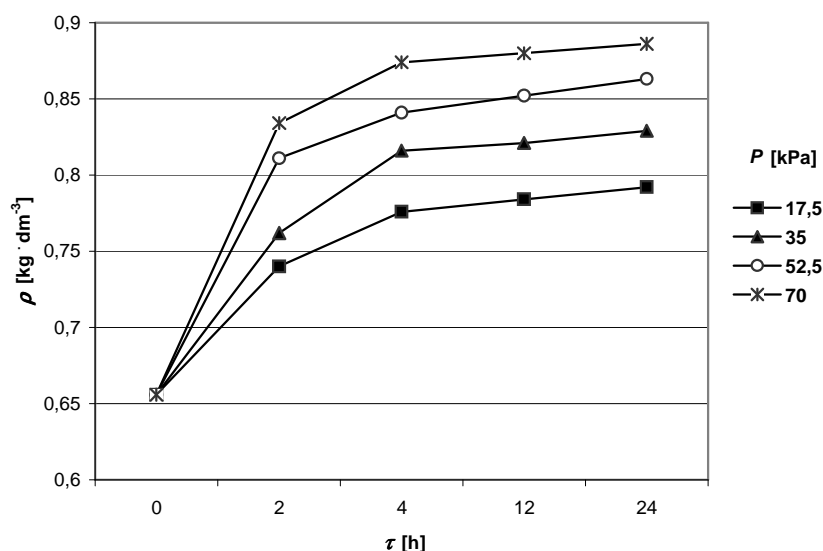


Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 - zbiornik cylindryczny, 2 - wentylator ssąco-tłoczący, 3 – autotransformator, 4 – rotametr powietrzny, 5 – mikromanometr ciekwy

Fig. 1. Scheme of exploratory stand: 1 – cylindrical container, 2 – suction-piston fan, 3 – autotransformer, 4 –air rotameter, 5 – liquid micromanometer

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki pomiaru gęstości ziarna żyta w zależności od wielkości i czasu trwania obciążenia przedstawiono na rys. 2. Najmniejszą wartość gęstości uzyskano dla ziarna nie poddanego obciążeniu zewnętrznemu ($0,656 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$). Obciążenie próby przez dwie godziny naporem zewnętrznym o wartości od 17,5 do 70 kPa powodowało wzrost gęstości ziarna odpowiednio do 0,740 i $0,834 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Największe wzrosty gęstości zaobserwowano w ciągu pierwszych czterech godzin obciążania próby. Po tym czasie obciążeniom 17,5 i 70 kPa odpowiadały gęstości 0,776 i $0,874 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Największe wartości gęstości uzyskano po 24 godzinach działania obciążenia. W tym przypadku obciążenie 70 kPa wywołało wzrost gęstości do $0,886 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Wzrost czasu działania obciążenia od 4 do 24 godzin w małym stopniu wpływał na wzrost gęstości. Analiza wariancji nie wykazała istotnych różnic między uzyskanymi wynikami.



Rys. 2. Zależność gęstości ziarna żyta od obciążenia zewnętrznego i czasu jego trwania

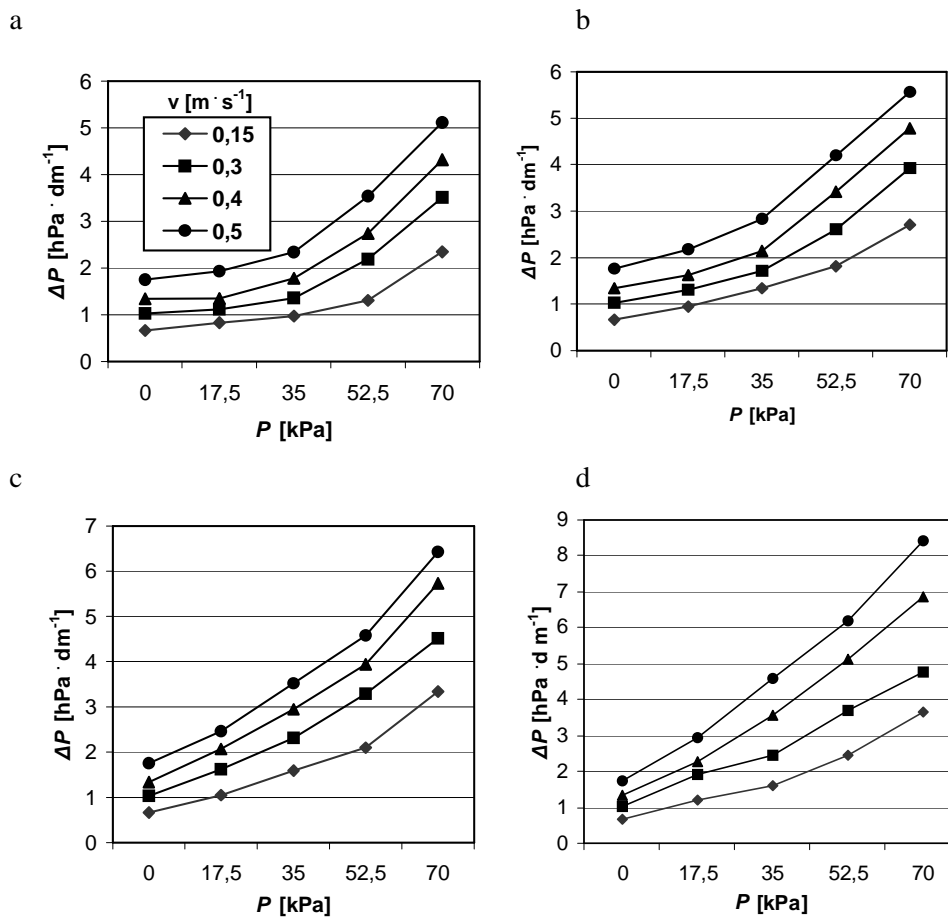
Fig. 2. Dependence of rye grain density on external load and time of its duration

Zależność gęstości żyta od wartości i czasu trwania obciążenia można opisać za pomocą następującego równania regresji wielokrotnej ($R^2=0,928$ i $\alpha \leq 0,01$):

$$\rho = 0,704 + 0,00184P + 0,0199 \ln \tau \quad (1)$$

Między zmienną zależną ρ oraz zmiennymi niezależnymi zachodzi korelacja na wysokim poziomie. Współczynnik korelacji między gęstością i obciążeniem P ma wartość 0,96, a między gęstością i $\ln \tau$ wynosi 0,88.

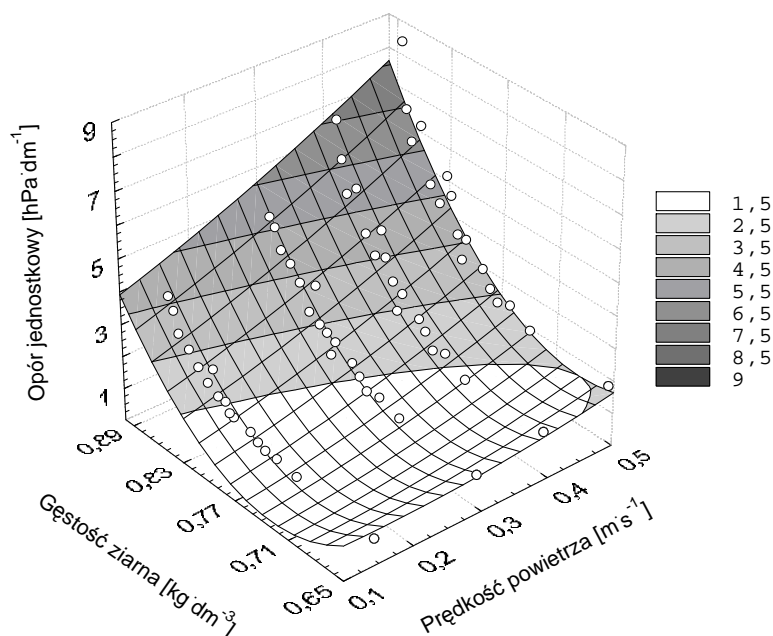
Zależności jednostkowego oporu przepływu powietrza przez żyto, które poddano zewnętrznym obciążeniom od 0 do 70 kPa, trwającym 2, 4, 12 i 24 godziny przedstawiono na rys. 3. Wzrost oporu przepływu powietrza był spowodowany zwiększeniem prędkości przepływającego powietrza, wartości obciążenia ziarna oraz wydłużeniem czasu jego trwania. Ziarno nie obciążone zewnętrznymi przy wzroście prędkości od 0,15 do 0,5 m·s⁻¹ cechowało się jednostkowym oporem przepływu od 0,662 do 1,754 hPa·dm⁻¹. Opór ziarna obciążonego przez 2 godziny ciśnieniem 70 kPa przy wzroście prędkości od 0,15 do 0,5 m·s⁻¹ zwiększał się już od 2,35 do 5,12 hPa·dm⁻¹ (rys. 3a). Czterogodzinne obciążenie w tych samych warunkach powodowało wzrost oporu jednostkowego od 2,71 do 5,56 hPa·dm⁻¹ (rys. 3b), dwunastogodzinne – od 3,34 do 6,43 hPa·dm⁻¹ (rys. 3c), a dobowe – od 3,67 do 8,4 hPa·dm⁻¹ (rys. 3d).



Rys. 3. Jednostkowy opór przepływu powietrza przez ziarno żyta w funkcji obciążenia ziarna i prędkości przepływu powietrza. Czas trwania obciążenia: a) 2 h, b) 4 h, c) 12 h, d) 14 h

Fig. 3. Unitary resistance of airflow through a rye grain layer as a function of external load and airflow rate. Time of load duration: a) 2 hours, b) 4 hours, c) 12 hours, d) 14 hours

Rysunek 4 ilustruje zależność jednostkowego oporu przepływu powietrza przez ziarno od gęstości żyta i prędkości przepływu powietrza. Obie zmienne niezależne powodują wzrost oporu przepływu powietrza.



Rys. 4. Zależność jednostkowego oporu przepływu powietrza od gęstości żyta i prędkości przepływu powietrza

Fig. 4. Dependence of unitary resistance of airflow on rye grain density and airflow rate

Do opisu jednostkowego oporu przepływu zastosowano równanie Erguna [1952]:

$$\Delta P = av + bv^2 \quad (2)$$

Po uwzględnieniu w nim zmian gęstości ziarna uzyskano następującą zależność:

$$\Delta P = 2,7v + 5,12v^2 + 11,32 \ln(1,4\rho) \quad (3)$$

Udział wariancji wyjaśnionej wynosi 0,84 przy $\alpha \leq 0,01$.

Opór przepływu powietrza przez ziarno żyta nie obciążonego ciśnieniem zewnętrznym przy zastosowanych prędkościach jest porównywalny z wynikami otrzymanymi przez innych autorów dla różnorodnych materiałów ziarnistych tj. pszenica, kukurydza, ryż, soja, soczewica [Molenda i in. 2005b; Yayas i in. 1989]. Wartość oporu przepływu uzależniona jest od właściwości fizycznych i aerodynamicznych ziarna i nasion. Żyto wykazuje nieznacznie większe opory przepływu od pszenicy i znacznie mniejsze od rzepaku.

Wzrost gęstości od 0,656 do 0,834 kg·dm⁻³ po dwugodzinnym obciążaniu naporem 0-70 kPa skutkowało przy prędkości przepływu powietrza 0,15 m·s⁻¹ wzrostem oporu przepływu powietrza od 0,662 do 2,35 hPa·dm⁻¹, a przy zastosowaniu prędkości 0,5 m·s⁻¹ i dobowego obciążenia uzyskano wzrost oporu przepływu od 1,794 do 8,4 hPa·dm⁻¹. Opory te były większe od oporów surowców zagęszczanych różnymi metodami napełniania zbiornika [Molenda i in. 2005a, Molenda i in. 2005b, Sokhansanj i in. 1990] oraz od oporu materiału zanieczyszczonego [Siebenmorgen i in. 1987]. Duże wartości jednostkowego oporu przepływu były spowodowane odkształceniem ziaren wskutek wysokich naporów i zmniejszeniem porowatości masy ziarnowej (nawet o 20%). W przeprowadzanych badaniach przez innych autorów porowatość ulegała zmianie z reguły o 2–3%, co było spowodowane głównie zastosowaniem materiału o różnej wilgotności, a nie wzrostem upakowania materiału.

Wnioski

1. Wywierane na próbę ziarna żyta obciążenie zewnętrzne od 0 do 70 kPa w czasie od 0 do 24h powoduje wzrost jego gęstości od 0,656 do 0,886 kg·dm⁻³.
2. Największy wzrost gęstości występuje podczas obciążania żyta do czterech godzin dla wszystkich stosowanych wartości obciążeń. Zmiany gęstości są statystycznie istotne. Dalszy wzrost czasu obciążania nie wywołuje istotnych zmian badanego parametru.
3. Wzrost gęstości ziarna żyta od 0,656 do 0,886 kg·dm⁻³ oraz wzrost prędkości przepływu powietrza od 0,15 do 0,5 m·s⁻¹ powodują zwiększenie oporu przepływu od 0,662 do 8,4 hPa·dm⁻¹.
4. Duży wzrost wartości oporu jednostkowego jest spowodowany odkształceniem ziarna pod wpływem wywieranego ciśnienia i znacznego zmniejszenia porowatości żyta (do 20%).
5. Wpływ gęstości ziarna żyta i prędkości powietrza na hydrauliczny opór jednostkowy przepływu można opisać z dużą dokładnością stosując zmodyfikowaną postać równania Erguna.

Bibliografia

- Ergun S. 1952. Fluid flow through packed columns. Chem. Eng. Progress, 48, 89-94.
- Giner S.A., Denisienia E. 1996. Pressure drop through wheat as affected by air velocity, moisture content and fines. J. Agric. Eng. Res., 63, 73-86.

Hukill W.V., Ives N.C. 1955. Radial air flow resistance of grain. *Agricultural Eng.*, 36(5), 222-225.

Jayas D.S., Muir W.E. 1991. Airflow-pressure drop data for modeling fluid flow in anisotropic bulks. *ASAE*, 34(1), 251-254.

Molenda M., Montross M.D., McNeill S.G., Horabik J. 2005a. Airflow resistance of seeds at different bulk densities using Ergun's equation. *Trans. ASAE*, 48(3), 1137-1145.

Molenda M., Łukaszuk J., Horabik J. 2005b. Airflow resistance of wheat as affected by grain density and moisture content. *EJPAU, Agricultural Eng.*, 8(4).

Shedd C.K. 1953. Resistance of grain and seeds to airflow. *Agricultural Eng.*, 34(9), 616-619.

Siebenmorgen T.J., Jindal V.K. 1987. Airflow resistance of rough as affected by moisture content, fines concentration and bulk density. *Trans. ASAE*, 30(4), 1138-1143.

Sokhansanj S., Falacinski A.A., Sosulski F.W., Jayas D.S., Tang J. 1990. Resistance of bulk lentils to airflow. *Trans. ASAE*, 33(4), 1281-1285.

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF AIR FLOW RATE AND DENSITY OF RYE GRAIN PACKING ON HYDRAULIC RESISTANCE

Summary

The article presents test results for resistance of airflow through a rye grain layer. The resistance value is affected first of all by airflow rate and material density, depending on external load and time of its duration. Changes in grain density and hydraulic resistance were described by mathematical equations.

Key words: airflow resistance, grain, rye, density