

## WPŁYW POROWATOŚCI ZIARNA OWSA NA OPÓR PRZEPLYWU POWIETRZA

Elżbieta Kusińska

*Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Akademia Rolnicza w Lublinie*

**Streszczenie.** W badaniach zastosowano ziarno owsa Sławko o wilgotności 15% w stanie usypanym oraz po poddaniu go obciążeniu o wartości 17,5-70 kPa w czasie 2-24 h. Uzyskano zmniejszenie porowatości w porównaniu do ziarna nie obciążonego o 21,38% i wzrost gęstości o 1,19 raza. Maksymalny opór przepływu powietrza ( $7,19 \text{ hPa}\cdot\text{dm}^{-1}$ ) otrzymano dla największej wartości prędkości, która w doświadczeniu zmieniała się w przedziale  $0,15\text{-}0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i najmniejszej porowatości. Opór wzrósł 7,91 raza w porównaniu do oporu przepływu powietrza o prędkości  $0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  przez ziarno wcześniej nie obciążone. Stosując estymację nieliniową opisano zależność porowatości ziarna od wartości obciążenia i czasu jego trwania oraz wpływ prędkości powietrza i porowatości owsa na opór jednostkowy przepływu powietrza.

**Słowa kluczowe:** opór przepływu powietrza, ziarno, owies, porowatość, gęstość

### Wykaz oznaczeń

$\Delta P$	– jednostkowy opór przepływu powietrza [ $\text{hPa}\cdot\text{dm}^{-1}$ ],
$P$	– obciążenie ziarna [kPa],
$\tau$	– czas trwania obciążenia [h],
$v$	– prędkość przepływu powietrza [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],
$\rho$	– gęstość ziarna [ $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ],
$\rho_w$	– gęstość właściwa [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ],
$\varepsilon$	– porowatość ziarna [%],
$\varepsilon_p$	– początkowa porowatość ziarna [%],
$a, b$	– współczynniki empiryczne.

### Wprowadzenie

Porowatość masy ziarna ma duże znaczenie w procesach suszenia, wietrzenia i schładzania. Jej wartość zależy od wielkości, wilgotności, kształtu i sprężystości ziaren, ich stanu powierzchni, ilości i rodzaju zanieczyszczeń znajdujących się w masie ziarna, a także od rozmieszczenia masy zbożowej w silosie.

Porowatość ziarna jest jednym z podstawowych parametrów, które decydują o wartości oporu przepływu powietrza przez warstwę ziarna. Oprócz niej wpływ na opór przepływu

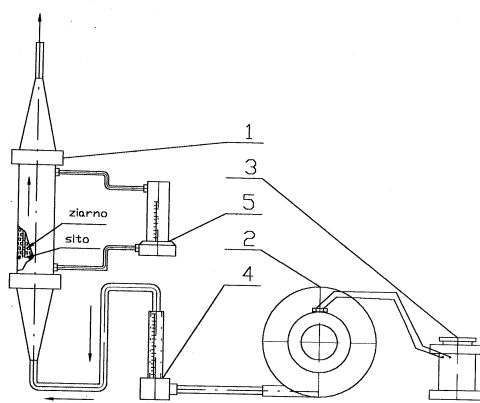
powietrza wywierają następujące czynniki: gęstość, prędkość przepływu powietrza, grubość warstwy, metoda napełniania zbiornika, czas przechowywania, kierunek przepływu powietrza, a także stopień zagęszczenia nasion w warstwie [Chung i in. 2001; Gunasekaran i in. 1988; Jayas i in. 1991]. Z analizy literatury wynika, że stosowany w badaniach materiał często cechował się niezbyt dużymi różnicami porowatości i gęstości, ale było to już wystarczającą przyczyną do wzrostu oporu przepływu. Spowodowany on był głównie cechami odmianowymi ziarna, wilgotnością, sposobem napełniania zbiornika oraz zagęszczeniem masy, np. metodą wibracyjną [Łukaszuk 2005; Łukaszuk i in. 2006; Molenda i in. 2006]. Znacznie większe zmiany porowatości i oporu przepływu powietrza w silosach o naturalnej wielkości wywołuje obciążenie ziarna siłą jego ciężkości [Kusińska 2006; Kusińska i in. 2006].

## Cel pracy

Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie oporu przepływu powietrza przez warstwę ziarna owsa Sławko w zależności od prędkości przepływu powietrza i porowatości ziarna. Gęstość owsa zmieniała się pod wpływem wartości obciążenia ziarna i czasu obciążania.

## Metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone na ziarnie owsa Sławko o wilgotności 15%. Pomiar oporu przepływu powietrza przeprowadzono na stanowisku pomiarowym (rys. 1), którego podstawowym elementem był wymienny zbiornik cylindryczny 1 o średnicy wewnętrznej 76 mm i wysokości 560 mm (można było umieszczać w nim próbę ziarna o wysokości do 400 mm).



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – zbiornik cylindryczny, 2 – wentylator ssący-tłoczący, 3 – autotransformator, 4 – rotometr powietrzny, 5 – mikromanometr ciekowy

Fig. 1. Testing station diagram: 1 – cylindrical container, 2 – suction and pressure fan, 3 – autotransformer, 4 – air rotameter, 5 – liquid micromanometer

Przepływ powietrza przez próbę wywoływał promieniowy wentylator ssąco-tłoczący 2, którego wydajność była regulowana za pomocą autotransformatora 3. Natężenie przepływu powietrza mierzono za pomocą rotametu gazowego 4. Spadek ciśnienia statycznego przepływającego powietrza mierzono cieczowym mikromanometrem różnicowym 5. Aby materiał nie ulegał rozprężaniu po zdjęciu obciążenia, bezpośrednio nad nim zainstalowano siatkę metalową z pierścieniem samorozporowym, który miał możliwość przesuwania się tylko ku dołowi.

Konstrukcja stanowiska badawczego wykluczała powstawanie zawirowań powietrza przed i za badaną próbą dzięki zastosowaniu stożka doprowadzającego i odprowadzającego powietrze o małym kącie rozwarcia ( $12^\circ$ ). Równomierność rozkładu prędkości sprawdzano dodatkowo za pomocą pomiaru ciśnienia dynamicznego w określonych punktach pod i nad próbą.

Pomiary oporu przepływu przeprowadzono przy pozornych prędkościach przepływu powietrza przez ziarno: 0,15; 0,30; 0,4 i 0,50  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Badania przeprowadzono dla ziarna nie obciążonego wstępnie (w stanie zsypanym) oraz po obciążeniu górnej powierzchni ziarna ciśnieniem pionowym o wartościach: 17,5; 35; 52,5; i 70 kPa. Maksymalna wartość obciążenia odpowiadała około 10-metrowej wysokości napełnienia silosu materiałem. Czas trwania obciążenia wynosił 2, 4 i 24 godziny. Dla każdej wartości prędkości przepływu powietrza określano opór przepływu powietrza pustego układu pomiarowego i uwzględniano jego wartość przy podawaniu ostatecznych wyników.

Po każdym pomiarze oporu przepływu próbę ważono, określano jej wysokość i wyznaczano porowatość ze wzoru (1):

$$\varepsilon = \frac{\rho_w - \rho}{\rho_w} \quad (1)$$

Objętość rzeczywistą ziarna do obliczenia gęstości właściwej oznaczono za pomocą piknometru powietrznego. Wszystkie pomiary przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

## Wyniki badań i ich analiza

Na rys. 2 przedstawiono wyniki pomiaru porowatości ziarna owsa w zależności od wartości obciążenia pionowego i czasu jego trwania.

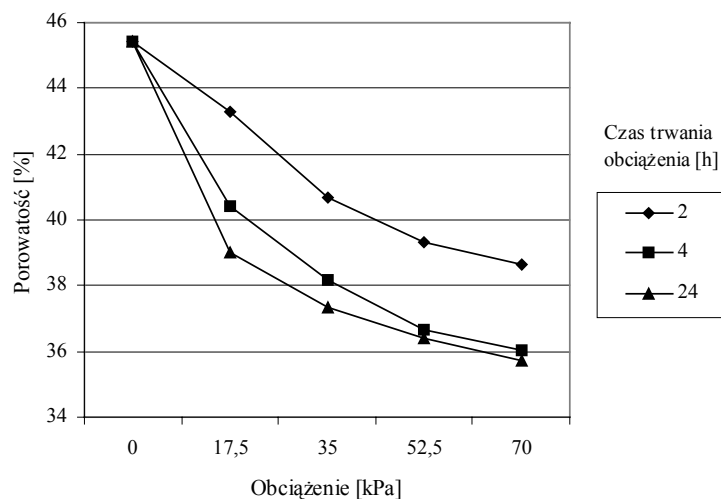
Ziarno, które nie było obciążane, cechowało się porowatością 45,1% (nazwano ją porowatością początkową  $\varepsilon_p$ ). Obciążanie górnej powierzchni ziarna i wydłużanie czasu jego trwania powodowało spadek porowatości. Najmniejszą porowatość (35,7%) uzyskano dla ziarna owsa obciążanego ciśnieniem 70 kPa w czasie 24 h. Odnotowano spadek porowatości o 21,38% (0,79 raza). Wpływ wartości obciążenia i czasu jego trwania opisano stosując metodę estymacji nieliniowej:

$$\varepsilon = 0,06 \cdot \varepsilon_p \cdot P^{0,35} \cdot \ln \tau \quad (2)$$

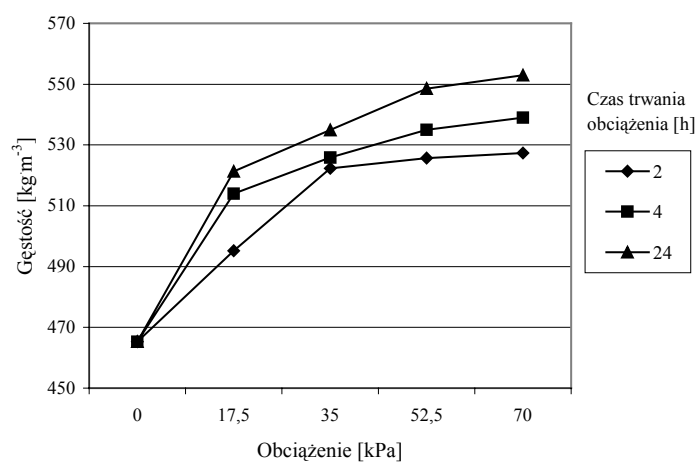
Wariancja wyjaśniona w 100%.

Równanie (2) można stosować przy  $\varepsilon_p = 45,1\%$ ,  $P = 0 \div 70$  kPa oraz  $\tau = 0 \div 24$  h. Wraz ze zmniejszeniem porowatości rosła gęstość owsa. Wpływ zastosowanych zmiennych na

gęstość ziarna przedstawiono na rys. 3. Gęstość ziarna nie obciążonego miała wartość  $465,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Obciążanie próby w czasie od 2 do 24 h ciśnieniem  $17,5 \text{ kPa}$  powodowało wzrost gęstości od  $495,2$  do  $521,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast ciśnienie  $70 \text{ kPa}$  w tym samym czasie trwania skutkowało wzrostem gęstości od  $527,4$  do  $553 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Uzyskano maksymalny wzrost gęstości wynoszący 1,19 raza (o 18,84%).

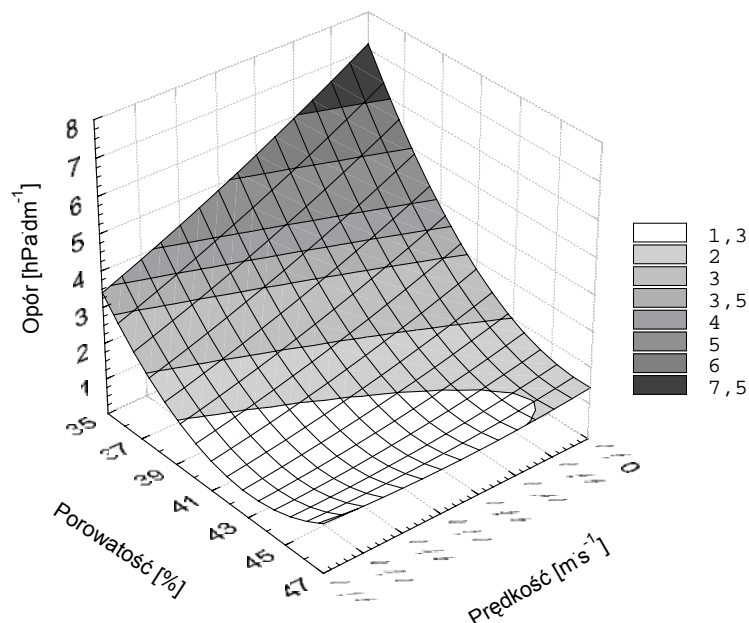


Rys. 2. Wpływ obciążenia pionowego i czasu jego trwania na porowatość ziarna owsa  
Fig. 2. The impact of vertical load and its duration on oats grain porosity



Rys. 3. Zależność gęstości ziarna owsa od obciążenia pionowego i czasu jego trwania  
Fig. 3. Relation between oats grain density and vertical load and its duration

Rys. 4 ilustruje zależność jednostkowego oporu przepływu powietrza od prędkości powietrza i porowatości ziarna. Opór przepływu został odniesiony do warstwy o wysokości 1 dm, ponieważ wysokość ulegała zmianie wskutek różnych warunków obciążania.



Rys. 4. Zależność jednostkowego oporu przepływu powietrza przez ziarno owsa od porowatości i prędkości przepływu powietrza

Fig. 4. Relation between unit resistance of air flow through oats grain, and porosity and air flow velocity

Wzrost prędkości od 0,15 do 0,50 m·s<sup>-1</sup> oraz spadek porowatości w omówionym zakresie spowodowały zwiększenie oporu przepływu od 0,91 do 7,19 hPa·dm<sup>-1</sup>, czyli 7,91 raza. Jest to stosunkowo duży wzrost oporu. Zjawisko to można wytłumaczyć dużym spadkiem porowatości i wzrostem gęstości. Łukaszuk i in. [2006] stosując odpowiedni sposób napełniania zbiornika połączony z zagęszczaniem pszenicy za pomocą 10-krotnych uderzeń obciążnika o masie 4 kg uzyskali przy prędkości przepływu powietrza wzrost oporu o 93%. Natomiast Stephens [1976] stwierdził, że mechaniczne opróżnianie zbiornika z kukurydzą może spowodować 300% wzrost oporu przepływu powietrza w wyniku zagęszczenia ziarna. W omawianym przypadku zagęszczenie ziarna było znacznie wyższe niż u innych autorów. Do opisu jednostkowego oporu przepływu powietrza zastosowano równanie Erguna [1952]:

$$\Delta P = av + bv^2 \quad (3)$$

Zmodyfikowano je uzależniając współczynniki  $a$  i  $b$  od porowatości ziarna:

$$\Delta P = 4,56 \cdot \varepsilon^{0,34} \cdot v - 6,4 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon^{3,41} \cdot v^2 \quad (4)$$

Wariancja wyjaśniona w 79%.

Powyższe równanie jest ważne dla następujących wartości zmiennych:  $\varepsilon = 35,7 \div 45,1\%$  oraz  $v = 0,15 \div 0,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Analiza wariancji wykazała, że na wartość porowatości i gęstości owsa Sławko statystycznie istotnie wpływa wartość i czas trwania obciążenia, a na opór przepływu istotny wpływ wywiera porowatość ziarna i prędkość przepływu powietrza.

## Wnioski

1. Na wartość porowatości i gęstości owsa Sławko statystycznie istotnie wpływa wartość i czas trwania obciążenia.
2. Obciążenie ciśnieniem pionowym ziarna w przyjętym przedziale wartości od 0 do 70 kPa w czasie 0-24 h powoduje znaczący spadek porowatości od 45,1 do 35,7% (0,79 raza).
3. W tych samych warunkach gęstość owsa wzrasta od 465,3 do 553  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (o 18,84%).
4. Spadek porowatości ziarna owsa od 45,1 do 35,7% oraz wzrost prędkości przepływu powietrza od 0,15 do 0,50  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  powodują zwiększenie oporu przepływu od 0,91 do 7,19  $\text{hPa}\cdot\text{dm}^{-1}$ , czyli 7,91 raza. Oba te czynniki wykazują istotny wpływ na wartość jednostkowego oporu przepływu.

## Bibliografia

- Chung D.S., Maghirang R.G., Kim Y.S., Kim M.S.** 2001. Effects of moisture and fine material on static pressure drops in a bed of grain sorghum and rough rice. *Trans. ASAE*, 44(2), s. 331-336.
- Gunasekaran S., Jackson C.Y.** 1988. Resistance to airflow of grain sorghum. *Trans. ASAE*, 31(4), s. 1237-1240.
- Jayas D.S., Sokhansanj S., Sosulski F.W.** 1991. Resistance of bulk canola seed to airflow in the presence of foreign material. *Canadian Agricultural Engineering* 33(1), s. 47-54.
- Kusińska E. 2006. Ocena wpływu prędkości przepływu powietrza i gęstości upakowania ziarna żyta na opór hydrauliczny. *Inżynieria Rolnicza* 11(86), s. 277-284.
- Kusińska E., Kizun V.** 2006. Wpływ zagęszczenia ziarna owsa i prędkości przepływu powietrza na opór hydrauliczny. *Inżynieria Rolnicza* 5(80), s. 403-410.
- Łukaszuk J.** 2005. Wstępna ocena wpływu sposobu formowania złoża ziarna pszenicy na opór przepływu powietrza. *Acta Agrophysica* 6(3), s. 709-714.
- Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J.** 2006. Wpływ sposobu formowania złoża pszenicy na opór przepływu powietrza. *Acta Agrophysica* 8(4), s. 881-891.
- Molenda M., Łukaszuk J., Horabik J.** 2005. Airflow resistance of wheat as affected by grain density and moisture content. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 8 (4).

## THE EFFECT OF OATS GRAIN POROSITY ON AIR FLOW RESISTANCE

**Summary.** The researchers used grains of the Sławko variety oats with 15% moisture content, in loose form, after having put it to the load of 17.5-70 kPa over 2-24 h. They obtained porosity reduction of 21.38% and density increase by 1.19 times, as compared to unloaded grain. Maximum air flow resistance ( $7.19 \text{ hPa}\cdot\text{dm}^{-1}$ ) was reached for the largest velocity value, which ranged from  $0.15$  to  $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  in the experiment, and for lowest porosity. The resistance grew 7.91 times, as compared to the resistance of air flow at the velocity of  $0.15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  through previously unloaded grain. Non-linear estimation was applied to characterise the relation between grain porosity and load value and its duration, and the impact of air velocity and oats porosity on air flow unit resistance.

**Key words:** air flow resistance, grain, oats, porosity, density

**Adres do korespondencji:**

Elżbieta Kusińska; e-mail: [elzbieta.kusinska@ar.lublin.pl](mailto:elzbieta.kusinska@ar.lublin.pl)  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych  
Akademia Rolnicza w Lublinie  
ul. Doświadczalna 44  
20-236 Lublin