WPŁYW WILGOTNOŚCI I NACISKU PIONOWEGO NA JEDNOSTKOWE OPORY PRZEPŁYWU POWIETRZA PRZEZ WARSTWĘ ZIARNA JĘCZMIENIA*

Zbigniew Kobus, Tomasz Guz, Elżbieta Kusińska, Rafał Nadulski
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące przepływu powietrza przez ziarno jęczmienia. Celem pracy było zbadanie wpływu wilgotności i nacisku pionowego na wielkość oporu przepływu powietrza przez warstwę ziarna jęczmienia. Pomiary przeprowadzono na surowcu o wilgotności od 14 do 22%, przy zmiennym obciążeniu jego warstwy od 0 do 70 kPa w okresie siedmiu dni od momentu napełnienia zbiornika. Prędkość przepływu powietrza zmieniano w zakresie od 0,1 do 1,0 $m \cdot s^{-1}$. Wykazano kluczowe znaczenie prędkości przepływu powietrza i wilgotności surowca na wartość oporu hydraulicznego.

Słowa kluczowe: opór przepływu powietrza, wilgotność, napór pionowy, jęczmień

Wykaz oznaczeń

ΔP – jednostkowy opór przepływu powietrza [$kPa \cdot m^{-1}$],
p – napór pionowy (obciążenie ziarna) [kPa],
t – czas trwania obciążenia [doba],
v – prędkość przepływu powietrza [$m \cdot s^{-1}$],
a, b – współczynniki empiryczne.

Wprowadzenie

Zmienne warunki pogodowe powodują, że zebrane ziarno cechuje się różną wilgotnością. Często zawartość wody przekracza górną granicę powyżej której zachodzą niekorzystne zjawiska w znaczący sposób wpływające na jakość ziarna. Chodzi tu głównie o rozwój mikroorganizmów i szkodników. Duża wilgotność sprzyja powstawaniu zarodników grzybów mikroskopowych i pleśni, co skutkuje obniżoną wartością siewną (zdolnością kiełkowania) oraz technologiczną ziarna (gorzka mąka). Zmiany te można powstrzymać poprzez aktywne wietrzenie silosu zbożowego, dzięki czemu uzyskujemy właściwą temperaturę i wilgotność składowanego ziarna.

Mechaniczna wentylacja ziarna wymaga znajomości oporów przepływu powietrza przez warstwę ziarna. Opór ten zależy z kolei od wielu czynników, min: właściwości materiału (rodzaj ziarna, zawartość zanieczyszczeń, wilgotność) oraz prędkości przepływu po-

* *Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego nr N N313 013336.*

wietrza. Istotny wpływ ma także gęstość ziarna, która z kolei zależy od wilgotności i sposobu napełniania zbiornika. Duże znaczenie odgrywa także grubość warstwy złoża, która wpływa zarówno na długość drogi przebywanej przez powietrze, ale również na wielkość naporów pionowych w dolnych warstwach ziarna.

W dostępnej literaturze wyraźnie brakuje wyników badań oporów przepływu powietrza uwzględniających jednoczesny wpływ wilgotności i naporu pionowego w ziarnie jęczmienia.

Cel pracy

Celem pracy było zbadanie wpływu wilgotności i nacisku pionowego na wielkość oporu przepływu powietrza przez warstwę ziarna jęczmienia.

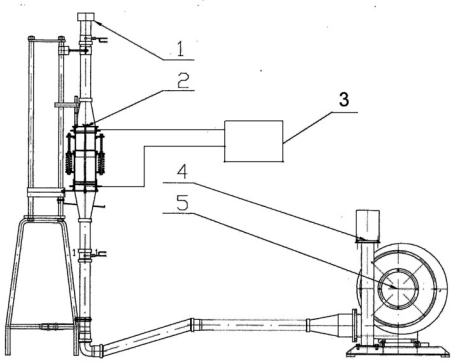
Metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone na ziarnie jęczmienia odmiany „Stratus" o wilgotności początkowej 14% oraz ziarnie dowilżonym do wilgotności 18% i 22%.

Wartości oporów przepływu powietrza zostały zmierzone przy prędkości przepływu w zakresie od 0,1 do 1 $m \cdot s^{-1}$. W ocenie oporów przepływu uwzględniono opór przepływu powietrza przez pusty pojemnik. Pomiary przeprowadzono dla ziarna składowanego w temperaturze 22°C. Doświadczenie wykonywano w cyklu 7 dniowych, dokonując pomiarów bezpośrednio po napełnieniu pojemnika ziarnem, następnie po 24 godzinach od momentu napełnienia (1 doba), 48 godzinach (2 doby) i 168 godzinach (7 dób).

Przepływ powietrza wywołano za pomocą promieniowego wentylatora ssąco-tłoczącego połączonego z autotransformatorem (rys. 1). Prędkość przepływu powietrza zmierzono za pomocą aerometru cyfrowego, zaś spadek ciśnienia statycznego przepływającego powietrza za pomocą mikromanometrów różnicowego i cyfrowego.

Podczas doświadczenia zastosowano cztery poziomy obciążeń pionowych ziarna: 0 kPa (próba kontrolna) 35, 52 oraz 70 kPa. Ostatnia wartość odpowiada około 10-metrowej wysokości napełnienia materiałem silosu. Wszystkie pomiary powtórzono trzykrotnie.

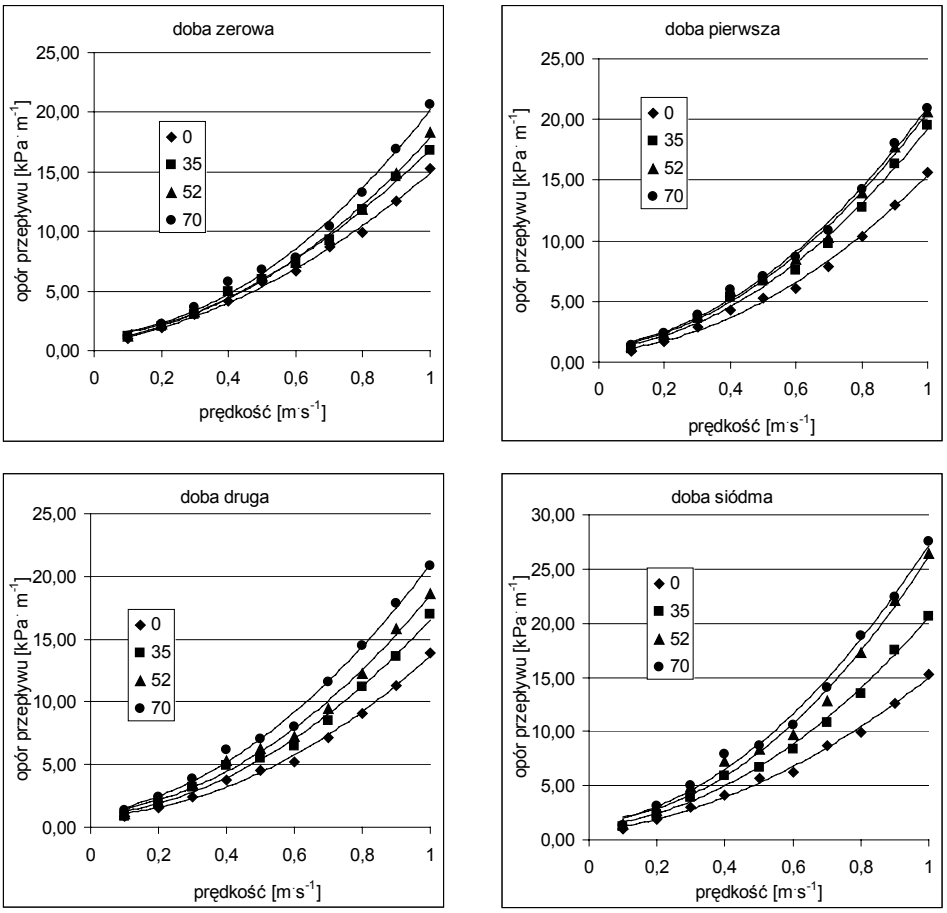


Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – aerometr, 2 – zbiornik cylindryczny, 3 – mikromanometr, 4 – falownik, 5 – wentylator ssąco-tłoczący

Fig. 1. Test stand diagram: 1 – aerometer, 2 – cylindrical container, 3 – micromanometer, 4 – inverter, 5 – suction-pressure fan

Wyniki badań i ich analiza

Zależność oporu przepływu powietrza przez ziarno jęczmienia o wilgotności 14% poddanego zewnętrznemu obciążeniu od 0 do 70 kPa, trwającemu od 0 do 168 godzin (7 dni) przedstawiono na rys. 2. Wzrost oporu przepływu powietrza był spowodowany wzrostem prędkości powietrza oraz zwiększeniem wartości obciążenia ziarna. Czas trwania obciążenia miał zmienny wpływ na wielkość oporu przepływu powietrza, ale zmiany te nie były istotne statystycznie. Ziarno nie obciążone zewnętrznie w zakresie badanych prędkości przepływu od 0,1 do 1,0 $m \cdot s^{-1}$ cechowało się oporem przepływu od 1,01 do 15,24 $kPa \cdot m^{-1}$.

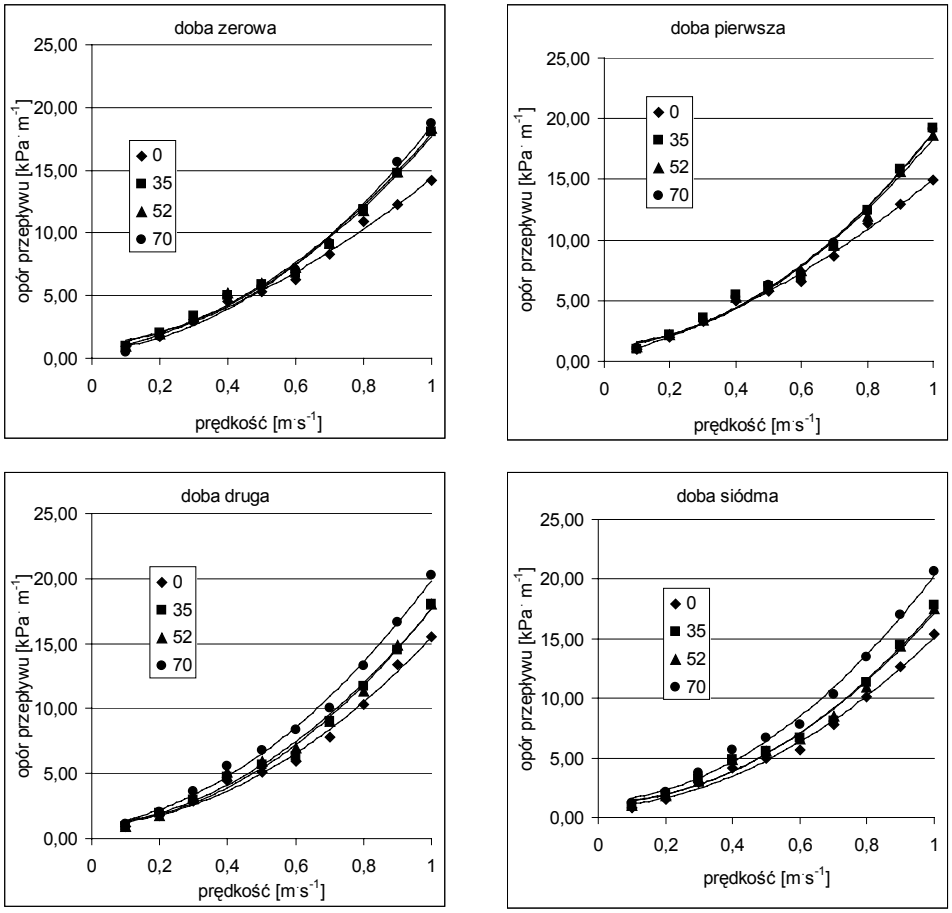


Źródło: badania własne

Rys. 2. Wpływ prędkości przepływu powietrza i naporów pionowych na wielkość jednostkowego oporu hydraulicznego warstwy jęczmienia o wilgotności 14%

Fig. 2. The impact of the air flow velocity and vertical pressure values on unit hydraulic resistance value for the barley layer with humidity of 14%

Opór przepływu powietrza po pierwszej dobie pomiarowej nieznacznie wzrósł do wartości 1,03–15,67 kPa·m^{-1}, by następnie zmaleć do wartości 0,91–14,93 kPa·m^{-1} po drugiej dobie pomiarowej. Po siedmiu dobach opór przepływu powietrza ponownie wzrósł do wartości 1,10-16,65 kPa·m^{-1}. Wzrost obciążenia zewnętrznego spowodował wzrost oporów przepływu powietrza przez ziarno jęczmienia. Obciążenie warstwy ziarna naporem 35 kPa spowodowało wzrost oporów przepływu powietrza bezpośrednio po napełnieniu zbiornika do wartości w zakresie 1,18-16,76 kPa·m^{-1}, naporem 52,5 kPa w zakresie 1,2-18,28 kPa·m^{-1}, zaś naporem 70 kPa w zakresie 1,23-20,60 kPa·m^{-1}. Wpływ czasu trwania obciążenia na wielkość oporu przepływu powietrza wykazywał podobną tendencję jak w przypadku złoża nieobciążonego.

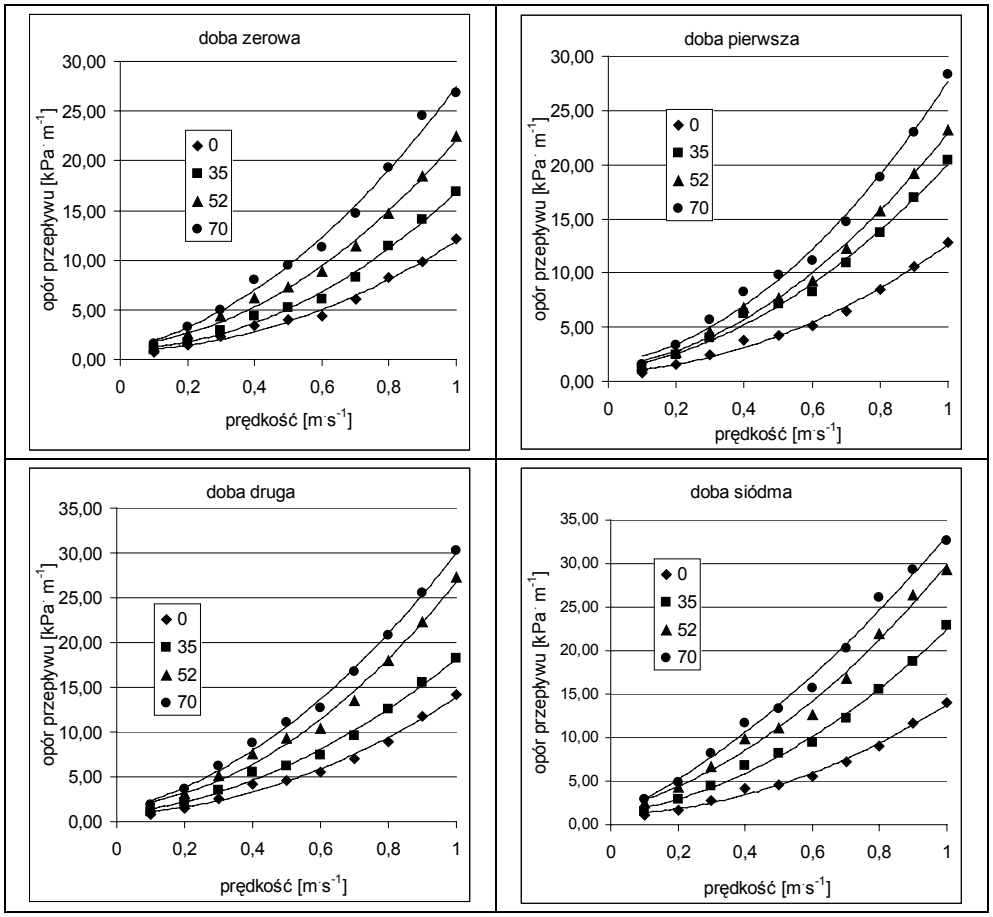


Źródło: badania własne

Rys. 3. Wpływ prędkości przepływu powietrza i naporów pionowych na wielkość jednostkowego oporu hydraulicznego warstwy jęczmienia o wilgotności 18%

Fig. 3. The impact of the air flow velocity and vertical pressure values on unit hydraulic resistance value for the barley layer with humidity of 18%

Na rysunku 3 pokazano zależność oporu przepływu powietrza przez ziarno jęczmienia o wilgotności 18% poddanego zewnętrznemu obciążeniu od 0 do 70 kPa, trwającemu od 0 do 168 godzin. Wzrost wilgotności surowca spowodował nieznaczny spadek oporów



Źródło: badania własne

Rys. 4. Wpływ prędkości przepływu powietrza i naporów pionowych na wielkość jednostkowego oporu hydraulicznego warstwy jęczmienia o wilgotności 22%

Fig. 4. The impact of the air flow velocity and vertical pressure values on unit hydraulic resistance value for the barley layer with humidity of 22%

przepływu powietrza (do zakresu 0,79-14,22 kPa·m^{-1}) dla ziarna niepodanego obciążeniu zewnętrznemu. Z kolei zewnętrzne obciążenie ziarna spowodowało znacznie mniejszy procentowy przyrost oporów przepływu powietrza niż w przypadku w surowca o wilgotności 14%. Zjawisko to można wytłumaczyć działaniem dwu przeciwstawnych czynników na

wielkość oporu przepływu powietrza. Z jednej strony wzrost wilgotności powoduje pęcznienie ziaren i wzrost porowatości złoża, z drugiej zaś materiał staje się bardziej poddatny na działanie obciążenia zewnętrznego. W konsekwencji prowadzi to do zmniejszenia różnic pomiędzy w oporze hydraulicznym pomiędzy ziarnem obciążonym i nie obciążonym (krzywe na rysunku 3 zacieśniają się).

Na rys. 4 pokazano opory przepływu powietrza przez ziarno jęczmienia o wilgotności 22%. Dalszy wzrost wilgotności ziarna nieobciążonego powoduje spadek oporów przepływu powietrza do wartości 0,68-12,12 kPa·m^{-1}. Obciążenie zewnętrzne ziarna powoduje z kolei bardzo szybki wzrost oporu przepływu powietrza. Wzrost obciążenia do 70 kPa skutkuje ponad dwukrotnym wzrostem oporów przepływu (wartości z zakresie 1,58–26,8 kPa·m^{-1}). Następuje znaczne rozwarcie pomiędzy krzywymi opisującymi wartość oporu hydraulicznego. Zjawisko to można wyjaśnić w następujący sposób. Wzrost wilgotności do 22% powoduje wzrost porowatości złoża, a tym samym i spadek oporów. Z drugiej strony duża wilgotność zwiększa podatność ziarna na zagęszczanie w znacznie większym stopniu niż w przypadku wilgotności 14% i 18%. Proces zmniejszania porowatości na skutek zwiększonej podatności ziarna na zagęszczanie znacząco przeważa nad zmianą porowatości osiągniętą w wyniku zwiększenia wymiarów liniowych materiału. W konsekwencji prowadzi to do znacznego wzrostu oporu hydraulicznego złoża.

Dla wszystkich badanych wilgotności wyznaczono równania opisujące jednostkowe opory przepływu powietrza.

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

$$\Delta P = av + bv^2 \tag{1}$$

Po uwzględnieniu w nim wpływu okresu składowania i nacisku pionowego uzyskano dla poszczególnych wilgotności następujące równania (tabela 1).

Tabela 1. Równania opisujące wpływ prędkości przepływu powietrza, nacisku pionowego i czasu składowania na wielkość oporu hydraulicznego w warstwie jęczmienia

Table 1. Equations describing the impact of the air flow velocity, vertical pressure and storage time on the value of hydraulic resistance in barley layer

Wilgotność [%]	Równanie	R^2
14	$\Delta P = 2{,}87v + 15{,}11v^2 + 0{,}087vp$	0,95
18	$\Delta P = 2{,}86v + 13{,}2v^2 + 0{,}03\,vp + 0{,}08t$	0,98
22	$\Delta P = 2{,}26v + 14{,}2v^2 + 0{,}23vp + 0{,}044t$	0,97

Źródło: obliczenia własne autorów

Wnioski

1. Wpływ wilgotności na wielkość oporów przepływu powietrza przez ziarno jęczmienia należy rozpatrywać w zależności od wielkości nacisku pionowego. Przy braku obciążenia warstwy ziarna (0 kPa) wzrost wilgotności powoduje spadek wielkości oporów przepływu powietrza z zakresu 1,01-15,24 kPa·m^{-1} do wartości 0,68-12,12 kPa·m^{-1} w zależności od prędkości przepływu powietrza. Z kolei przy obciążeni zewnętrznym wzrost wilgotności powoduje wzrost oporów przepływu powietrza. Przy wilgotności

22% i obciążeniu zewnętrznym 70 kPa wzrost oporów przepływu powietrza był ponad dwukrotnie większy w porównaniu z warstwą nieobciążoną.

2. Wielkość oporów przepływu powietrza przez ziarno jęczmienia zmienia się wraz z czasem jego składowania i także jest zależne od wilgotności surowca. Dla wilgotności ziarna 14% czas składowania ziarna nie miał istotnego wpływu na wartość oporu hydraulicznego. Dla wilgotności 18 i 22% opór hydrauliczny rośnie wraz ze wzrostem okresu składowania

Bibliografia

Ergun S. 1952. Fluid flow trough packed columns. Chemical Engineering Progress. 48. s. 89-94.

Giner S.A., Denisienia E. 1996. Pressure drop through wheat as affected by air velocity, moisture content and fines. Journal of Agricultural Engineering Research. 63. s. 73-86.

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

Kusińska E. 2006. Ocena wpływu prędkości przepływu powietrza i gęstości upakowania ziarna jęczmienia na opór hydrauliczny. Inżynieria Rolnicza. Nr 11. (86). s. 277-284.

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). s. 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). s. 1281-1285.

THE IMPACT OF HUMIDITY AND VERTICAL PRESSURE ON UNIT FLOW RESISTANCE VALUES FOR AIR FLOWING THROUGH THE BARLEY GRAIN LAYER

Abstract. The article presents the results of the research on air flow through the barley grain. The purpose of the work was to examine the impact of humidity and vertical pressure on flow resistance value for air flowing through the barley grain layer. The measurements were carried out for material with humidity ranging from 14 to 22%, for its layer loading changing from 0 to 70 kPa within seven days after filling the container. The air flow velocity was changing from 0.1 to 1.0 $m \cdot s^{-1}$. The research has proven key impact of the air flow velocity and material humidity on hydraulic resistance value.

Key words: air flow resistance, humidity, vertical pressure, barley

Adres do korespondencji:
Zbigniew Kobus; e-mail: zbigniew.kobus@up.lublin.pl
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 44
20-280 Lublin