

OPORY PRZEPLYWU POWIETRZA PODCZAS WIETRZENIA ŚRUTY PSZENNEJ*

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

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań jednostkowego oporu przepływu powietrza przez warstwę śruty pszennej, które są niezbędne przy doborze wentylatora lub sprężarki w układzie napowietrzającym. Na wartość oporu wpływa w sposób istotny prędkość przepływu powietrza, wilgotność, obciążenie materiału oraz czas jego trwania. Zmiany oporu hydraulicznego opisano równaniami matematycznymi.

Słowa kluczowe: opór przepływu powietrza, śruta pszena, wilgotność, obciążenie zewnętrzne

Wprowadzenie

Podstawową metodą konserwacji ziarna zbóż i śrut jest aktywne wietrzenie. Podczas tego procesu istotne znaczenie ma znajomość oporów przepływu powietrza przez warstwę materiału. Opór przepływu powietrza zależy od prędkości przepływu powietrza, grubości warstwy oraz właściwości materiału (tj. rodzaj i porowatość materiału, zawartość zanieczyszczeń, wilgotność) [Jayas i in. 1991; Siebenmorgen i in. 1987; Sokhansanj i in. 1990]. 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], czas przechowywania, kierunek przepływu powietrza, a także stopień zagęszczenia ziaren w warstwie [Chung i in. 2001; Gunasekaran i in.; 1988; Kusińska 2006; Kusińska i in. 2006; Łukaszuk i in. 2006].

Do matematycznego opisu oporu przepływu powietrza przez ziarna i nasiona najczęściej stosowane jest równanie Erguna [1952]. W silosach metalowych często wysokość napełnienia materiałem wynosi ponad kilkanaście metrów. W literaturze wyraźnie brakuje wyników badań oporów przepływu powietrza przez śrutę zbożową, która ma małą gęstość usypną, dużą porowatość i nawet pod wpływem siły własnego ciężaru ulega znacznemu zagęszczeniu. Z tego powodu śruty w silosach nie powinno się przechowywać zbyt długo, bo może dojść do zawieszenia materiału i problemów z opróżnianiem zbiornika.

Cel pracy

Celem badań było określenie oporów przepływu powietrza podczas procesu wietrzenia śruty pszennej.

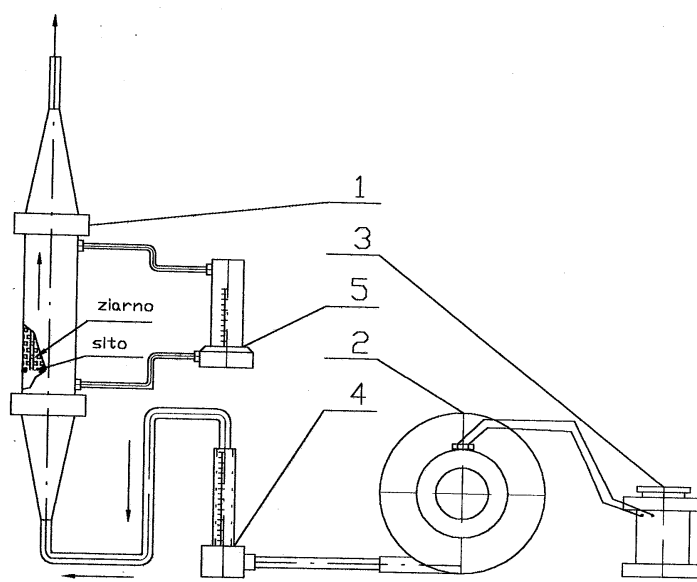
* Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego nr *N N313 013336*

Materiałem badawczym była śruta pszenna uzyskana w wyniku rozdrabniania w rozdrabniaczu bijakowym o oczkach sita 4,0 mm.

Parametrami zmiennymi procesu były: wilgotność, prędkość przepływu powietrza, obciążenie zewnętrzne materiału i czas obciążania.

Metodyka badań

Badania oporu przepływu powietrza zostały przeprowadzone na śrucie uzyskanej z ziarna pszenicy ozimej Tonacja o wilgotności 14 i 18%. Pomiar przeprowadzono na stanowisku pomiarowym (rys. 1), którego podstawowym elementem był wymienny zbiornik cylindryczny 1.



Źródło: konstrukcja autorów

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

Fig. 1. Test stand diagram: 1 – cylindrical container, 2 – suction-pressure fan, 3 – autotransformer, 4 – air rotameter, 5 – liquid-column 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 w zbiorniku po zdjęciu obciążenia, bezpośrednio nad i pod nim zainstalowano dna perforowane o dużym prześwicie, które

były połączone ze sobą śrubami. Za pomocą śrub i wykalibrowanych sprężyn regulowano obciążenie śruty. Badania przeprowadzono bez obciążenia zewnętrznego materiału i przy obciążeniu 35 kPa, co odpowiada ok. dziesięciometrowej wysokości śruty w zbiorniku. Czas obciążania wynosił od 0 do 8 dni.

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 dodatkowo za pomocą pomiaru ciśnienia dynamicznego w określonych punktach pod i nad próbą.

Pomiary oporu przepływu przeprowadzono przy pozornych prędkościach przepływu powietrza przez ziarno: 0,021; 0,042; 0,063; 0,085; 0,106; 0,127; 0,148; 0,169; 0,190 i $0,212 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dla każdej wartości prędkości przepływu powietrza określano opór przepływu powietrza pustego układu pomiarowego i uwzględniano jego wartość przy podawaniu ostatecznych wyników.

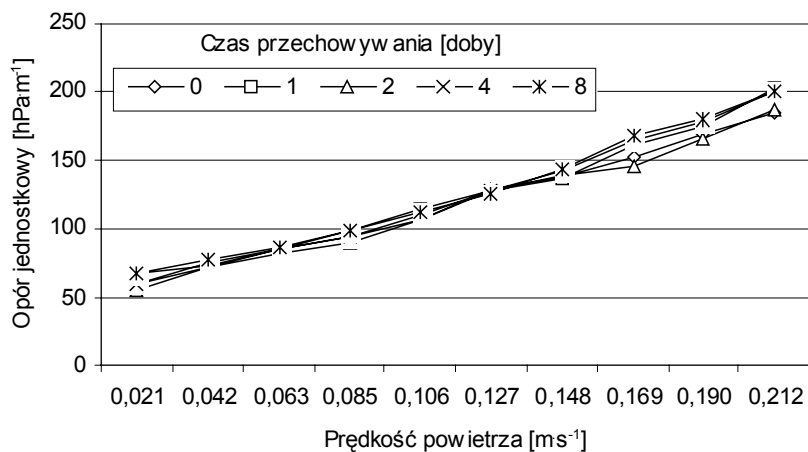
Wszystkie pomiary przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

Wyniki badań i ich analiza

Na rys. 2-5 przedstawiono wyniki pomiaru jednostkowego oporu przepływu powietrza. Najmniejsze jednostkowe opory przepływu miała śruta bez wstępnego obciążenia o wilgotności 18% (rys. 3). Jej opór po ośmiu dniach przechowywania wzrastał wraz ze zwiększeniem prędkości od $0,021$ do $0,212 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ od 33 do $113 \text{ hPa}\cdot\text{m}^{-1}$. W tych samych warunkach opór śruty o wilgotności 14% był większy i wzrósł w przedziale od 67 do $201,2 \text{ hPa}\cdot\text{m}^{-1}$ (rys. 2). Przyczyną była mniejsza porowatość materiału, która wzrastała wraz z wilgotnością.

Zdecydowanie większym oporem jednostkowego przepływu powietrza charakteryzowała się śruta po obciążeniu naporem 35 kPa. Na początku okresu przechowywania przy prędkości powietrza $0,021 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ opór śruty o wilgotności 14% (rys. 4) wynosił $63,98 \text{ hPa}\cdot\text{m}^{-1}$, a po ośmiu dniach przy prędkości przepływu powietrza $0,212 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wzrósł do $266 \text{ hPa}\cdot\text{m}^{-1}$. W takiej samej sytuacji opór śruty o wilgotności 18% na początku przechowywania przy prędkości powietrza $0,021 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ był niższy niż dla śruty o mniejszej wilgotności i wyniósł $49,61 \text{ hPa}\cdot\text{m}^{-1}$. Natomiast po zaplanowanym czasie przechowywania wzrósł przy prędkości powietrza $0,212 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ do $320 \text{ hPa}\cdot\text{m}^{-1}$ (rys. 5). Przyczyną była większa podatność do zagęszczania śruty o wyższej wilgotności pod wpływem obciążenia zewnętrznego.

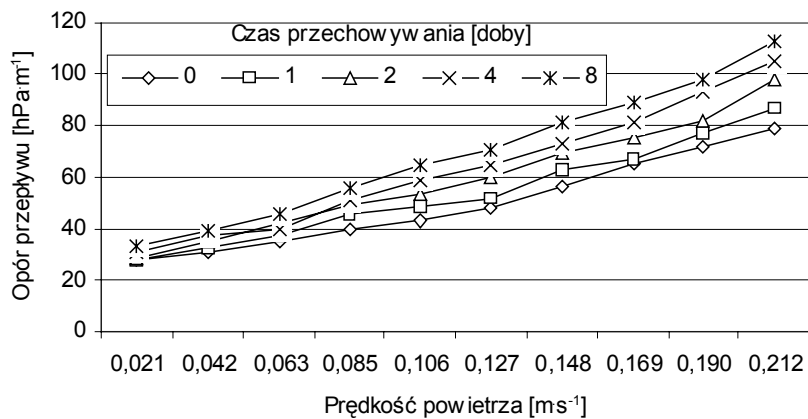
Analiza statystyczna wyników badań wykazała, że na wartości jednostkowego oporu przepływu istotny wpływ wywiera we wszystkich przypadkach prędkość powietrza i czas przechowywania. Przeprowadzona analiza wariancji udowodniła, że są istotne różnice między oporami przepływu powietrza przez śrutę o wilgotności 14 i 18% obciążoną i bez obciążenia zewnętrznego.



Źródło: badania własne autorów

Rys. 2. Opór jednostkowy przepływu powietrza przez śrutę o wilgotności 14% bez zewnętrznego obciążenia

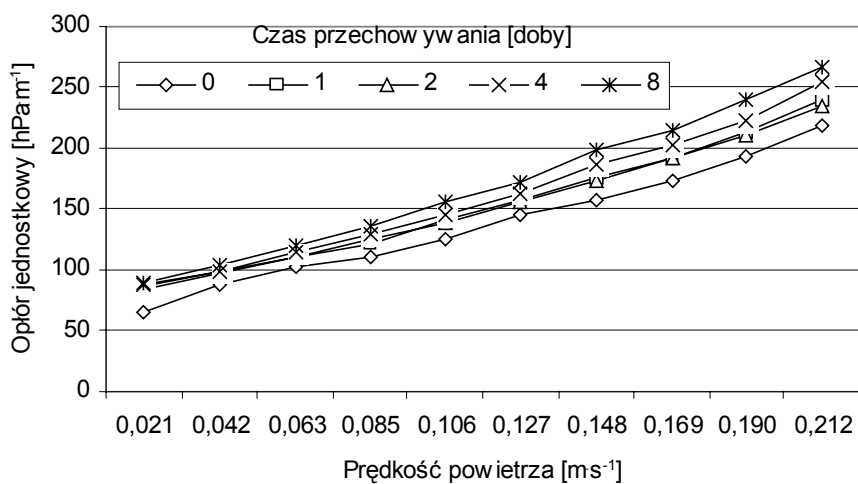
Fig. 2. Unit resistance of the air flow through ground grain, humidity 14%, without external load



Źródło: badania własne autorów

Rys. 3. Opór jednostkowy przepływu powietrza przez śrutę o wilgotności 18% bez zewnętrznego obciążenia

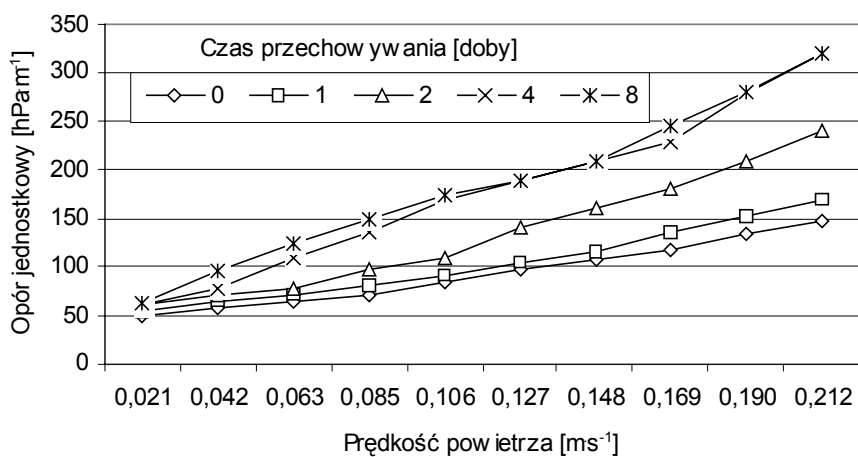
Fig. 3. Unit resistance of the air flow through ground grain, humidity 18%, without external load



Źródło: badania własne autorów

Rys. 4. Opór jednostkowy przepływu powietrza przez śrutę o wilgotności 14% poddanej obciążeniu zewnętrznemu 35 kPa

Fig. 4. Unit resistance of the air flow through ground grain, humidity 14%, subject to external load of 35 kPa



Źródło: badania własne autorów

Rys. 5. Opór jednostkowy przepływu powietrza przez śrutę o wilgotności 18% poddanej obciążeniu zewnętrznemu 35 kPa

Fig. 5. Unit resistance of the air flow through ground grain, humidity 18%, subject to external load of 35 kPa

Przedstawione na wykresach zależności opisano za pomocą równania Erguna, którego postać jest następująca:

$$\Delta P = av + bv^2 \quad (1)$$

gdzie:

- ΔP – jednostkowy opór przepływu powietrza [$\text{hPa}\cdot\text{m}^{-1}$],
- v – prędkość przepływu powietrza [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- a, b – współczynniki empiryczne.

W równaniu Erguna uwzględniono czas przechowywania t i otrzymano zależności przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Zależności matematyczne opisujące wpływ prędkości przepływu powietrza przez śrutę pszenną i czasu przechowywania na jednostkowy opór przepływu powietrza

Table 1. Mathematical relations describing the impact of the velocity of the air flow through ground wheat grain and storage time on a unit air flow resistance

Parametr śruty		Równanie jednostkowego oporu przepływu powietrza [$\text{hPa}\cdot\text{m}^{-1}$]	Wyjaśnienie wariacji [%]
Wilgotność [%]	Obciążenie [kPa]		
14	0	$\Delta P = (1338,438v - 2324,48v^2) \cdot 1,007^t$	87,50
18	0	$\Delta P = (575,420v - 951,784v^2) \cdot 1,039^t$	88,17
14	35	$\Delta P = (1685,392v - 3277,08v^2) \cdot 1,028^t$	84,46
18	35	$\Delta P = (1082,512v - 1172,79v^2) \cdot 1,079^t$	86,90

gdzie: t – czas przechowywania

Wnioski

1. Na opór jednostkowy przepływu powietrza przez śrutę pszenną we wszystkich przypadkach istotny wpływ wywiera prędkość powietrza i czas przechowywania.
2. Między oporami przepływu powietrza przez śrutę o wilgotności 14 i 18% nie poddaną obciążeniu i obciążoną naporem zewnętrznym są istotne różnice.
3. Najmniejsze jednostkowe opory przepływu miała śruta bez wstępnego obciążenia o wilgotności 18%. Jej maksymalny opór wyniósł $113 \text{ hPa}\cdot\text{m}^{-1}$ przy prędkości $0,212 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
4. Największym oporem jednostkowego przepływu powietrza charakteryzowała się śruta po obciążeniu naporem 35 kPa (do $320 \text{ hPa}\cdot\text{m}^{-1}$).

Bibliografia

- Ergun S.** 1952. Fluid flow trough packed columns. Chem. Eng. Progress. Nr 48. s. 89-94.
- 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. Nr 44(2). s. 331-336.
- Gunasekaran S., Jackson C.Y.** 1988. Resistance to airflow of grain sorghum. Trans. ASAE. Nr 31(4). s. 1237-1240.
- Jayas D.S., Muir W.E.** 1991. Airflow-pressure drop data for modeling fluid flow in anisotropic bulks. ASAE. Nr 34(1). s. 251-254.
- Kusińska E.** 2006. Ocena wpływu prędkości przepływu powietrza i gęstości upakowania ziarna żyta na opór hydrauliczny. Inżynieria Rolnicza. Nr 11(86). s. 277-284.
- Kusińska E., Kizun V.** 2006. Wpływ zagęszczenia ziarna owsa i prędkości przepływu powietrza na opór hydrauliczny. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(80). s. 403-410.
- Lukaszuk J., Molenda M., Horabik J.** 2006. Wpływ sposobu formowania złoża pszenicy na opór przepływu powietrza. Acta Agrophysica. Nr 8(4). s. 881-891.
- 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. Nr 48(3). s. 1137-1145.
- Molenda M., Lukaszuk J., Horabik J.** 2005b. Airflow resistance of wheat as affected by grain density and moisture content. EJPAU, Agricultural Eng. Nr 8(4).
- Siebenmorgen T.J., Jindal V.K.** 1987. Airflow resistance of rough as affected by moisture content, fines concentration and bulk density. Trans. ASAE. Nr 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. Nr 33(4). s. 1281-1285.

THE AIR FLOW RESISTANCE DURING GROUND WHEAT GRAIN AERATION

Abstract. The article presents the results of the research on a unit resistance of the air flow through ground wheat grain layer, which are necessary when selecting a fan or compressor in the aeration system. The following elements have considerable impact on resistance value: air flow velocity, humidity, material load and loading duration. Changes in hydraulic resistance are described with mathematical equations.

Key words: air flow resistance, ground wheat grain, humidity, external load

Adres do korespondencji:

Elżbieta Kusińska; e-mail: elzbieta.kusinska@up.lublin.pl
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 44
20-280 Lublin

