

Elżbieta Kusińska  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych,  
Paweł Olejarczyk  
Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego,  
Akademia Rolnicza w Lublinie

## WPŁYW ŚREDNICY I POŁOŻENIA OTWORU NA NATĘŻENIE PRZEPIŁYWU ZIAREN OWSA

### Streszczenie:

Przedstawiono wyniki badań pomiaru natężenia przepływu ziaren owsa o zmiennej zawartości wody przez otwory poziome o różnej średnicy i położeniu. Zawartość wody w ziarnach owsa wynosiła 0,089; 0,124 i 0,138 kg·(kg s.m.)<sup>-1</sup>. Zastosowano otwory okrągłe o średnicy od 4,0 do 16cm, położone osiowo i niecentrycznie. Badania przeprowadzono w skali laboratoryjnej. Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej. Wykazała ona, że na objętościowe natężenie przepływu istotny wpływ wywierają średnica i położenie otworu oraz średnica równoważna ziarna owsa. Opracowano matematyczny model badanego procesu.

Słowa kluczowe: ziarno zbóż, natężenie przepływu, zawartość wody, owies.

### Wprowadzenie, cel badań

Opracowana amerykańska norma ASAE D274.1 [1993], dotycząca przepływu ziarna i nasion przez otwory, zaleca obliczanie natężenia przepływu z następującego wzoru:

$$Q = C_o AD^n \quad (1)$$

gdzie:

$Q$  – objętościowe natężenie przepływu [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ],

$A$  – powierzchnia otworu [ $cm^2$ ],

$D$  – średnica hydrauliczna otworu [ $cm$ ],

$C_o$  – współczynnik, którego wartości dla niektórych zbóż i nasion są podane w normie [ $m^3 \cdot (cm^{(n+2)} \cdot h)^{-1}$ ],

$n$  – wykładnik potęgi (przeważnie o wartości od 0,5 do 1,0).

W ASAE D274.1 podane są wartości współczynników  $C_o$  i  $n$  tylko dla kukurydzy, pszenicy, sorgo, rzepaku oraz lnu o określonej wilgotności. Wartości  $C_o$  wynoszą od 0,028  $m^3 \cdot (cm^{(n+2)} \cdot h)^{-1}$  dla lnu do 0,092  $m^3 \cdot (cm^{(n+2)} \cdot h)^{-1}$  dla sorgo. Wykładnik potęgi  $n$  mieści się w przedziale od 0,046 dla sorgo do 0,82 dla kukurydzy. Dla rzepaku o wilgotności od 6 do 12%  $C_o=0,055 m^3 \cdot (cm^{(n+2)} \cdot h)^{-1}$ , a  $n=0,70$ . Brakuje danych dotyczących owsa i wielu innych surowców ziarnistych. Podane są tylko ogólne zalecenia do ich obliczenia.

Do opracowania powyższej normy przyczyniły się badania natężenia przepływu prowadzone przez Whiteda i in. [1901], Flowlera i in. [1959], Beverloo i in. [1969], Changa i in. [1988] oraz Moyseya i in. [1985]. Do tej pory nie opracowano jednoznacznej teorii zachowania się materiału ziarnistego w zbiornikach i jego przepływu przez otwory mimo wielu badań podejmujących próbę wyjaśnienia złożoności zjawisk występujących podczas tego procesu. Wiadomo, że istotny wpływ na opróżnianie zbiorników mają właściwości fizyczne materiału. Chang i in. [1984, 1988] wykazali, że na natężenie przepływu pszenicy, sorgo i kukurydzy wpływa gatunek ziarna, odmiana, wilgotność oraz wymiar otworu.

Badania przeprowadzone przez Kusińską i in. [2003b], dotyczące natężenia przepływu nasion rzepaku, wykazały rozbieżność uzyskanych wartości współczynnika  $C_o$  z zalecanymi przez normę amerykańską. Mogło to być spowodowane innymi właściwościami fizycznymi zastosowanego surowca. Dalsze badania Kusińskiej i in. [2003a] umożliwiły dobór współczynnika  $C_o$ , przy założonej wartości  $n$  w równaniu proponowanym przez ASAE, do obliczania natężenia przepływu nasion łubinu.

---

Celem niniejszych badań jest eksperymentalne określenie objętościowego natężenia przepływu ziaren owsa o różnej zawartości wody przez okrągłe otwory umieszczone centrycznie i niecentrycznie oraz dokonanie matematycznego opisu zjawiska.

### Metodyka badań

Pomiary przepływu ziaren owsa przez otwory przeprowadzono wykorzystując laboratoryjne stanowisko badawcze. Głównym elementem był cylindryczny zbiornik płaskodenny o średnicy 36,5 cm i wysokości 79 cm. Zbiornik miał wymienne dna z otworami rozmieszczonymi centrycznie i niecentrycznie. Odległość brzegu otworu położonego niecentrycznie od ściany zewnętrznej zbiornika była stała i wynosiła 27 mm. Średnice otworów wynosiły 4,0; 5,6; 8,8; 11,4 i 16 cm. Pod zbiornikiem głównym znajdował się zbiornik pomocniczy, służący do odbierania wysypujących się ziaren owsa. Zbiornik pomiarowy napełniano ziarnem owsa do objętości 70 dm<sup>3</sup>. Czas przepływu mierzono z dokładnością 0,01 s. W badaniach zastosowano owies Dragon o zawartościach wody 0,089, 0,124 i 0,138 kg·(kg s.m)<sup>-1</sup>. Pomiary przeprowadzono w pięciu powtórzeniach. Objętościowe natężenie przepływu obliczano ze wzoru:

$$Q = 3600 \frac{V}{t} \quad (2)$$

gdzie:

$Q$  – objętościowe natężenie przepływu [m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>],

$V$  – objętość przesypanego materiału [m<sup>3</sup>],

$t$  – czas przesypywania [s].

Ponadto wyznaczono właściwości fizyczne owsa, takie jak: gęstość utrząsiona i usypowa, kąt zsypu po powierzchni ze stali nierdzewnej i kąt usypu, masa 1000 ziaren. Oznaczenia przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi normami dla ziaren o przyjętych w badaniach zawartościach wody. Zmierzono również wymiary geometryczne ziarna o wszystkich poziomach nawilżenia, obliczono średnicę równoważną ziarna i sferyczność według równania Mohsenina:

$$sf = \frac{\sqrt[3]{abc}}{a} \quad (3)$$

gdzie:

$sf$  – współczynnik sferyczności,

$a, b, c$  – odpowiednio długość, szerokość i grubość ziarna [mm].

### Wyniki badań i ich analiza

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań właściwości fizycznych materiału o przyjętych zawartościach wody.

Wraz ze wzrostem zawartości wody w ziarnach wzrasta wartość kąta usypu i zsypu. Następuje również wzrost średnicy równoważnej ziarna  $d$  i współczynnika sferyczności. Natomiast maleje wartość gęstości usypowej i gęstości utrząsionej.

Tabela 1. Właściwości fizyczne ziaren owsa

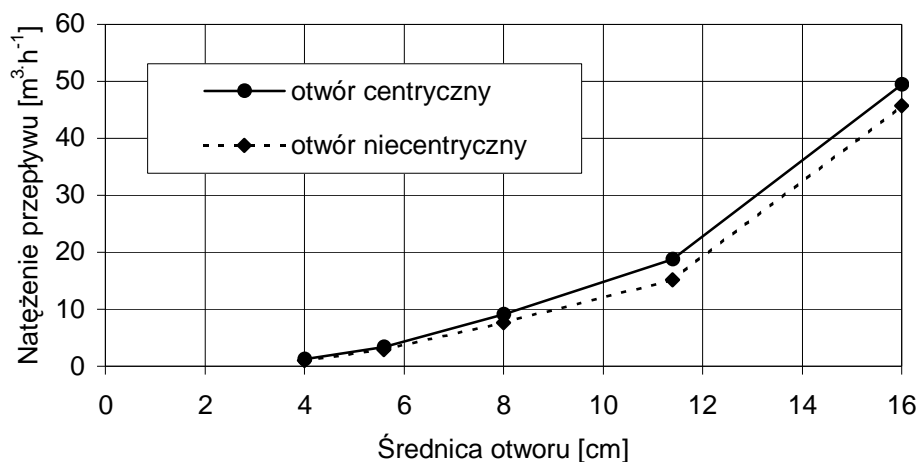
Table 1. Geometrical and physical properties of oat grains

Zawartość wody [kg·(kg s.m.) <sup>-1</sup> ]	<i>d</i> [mm]	<i>sf</i>	Masa 1000 ziaren [g]	Gęstość [kg·m <sup>-3</sup> ]		Kąt [deg]	
				Usypowa	Utrzęsiona	Usypu	Zsypu
0,089	4,10	0,36	31,527	529	538	25	18
0,124	4,80	0,37	32,832	494	531	26	22
0,138	5,09	0,39	33,329	477	500	27	26

Wyniki pomiaru natężenia przepływu ziaren owsa o zawartościach wody 0,089, 0,124 i 0,138 kg·(kg s.m.)<sup>-1</sup> przez otwory o różnym rozmiarze, rozmieszczone centrycznie lub niecentrycznie, przedstawiono na rys. 1 ÷ 3.

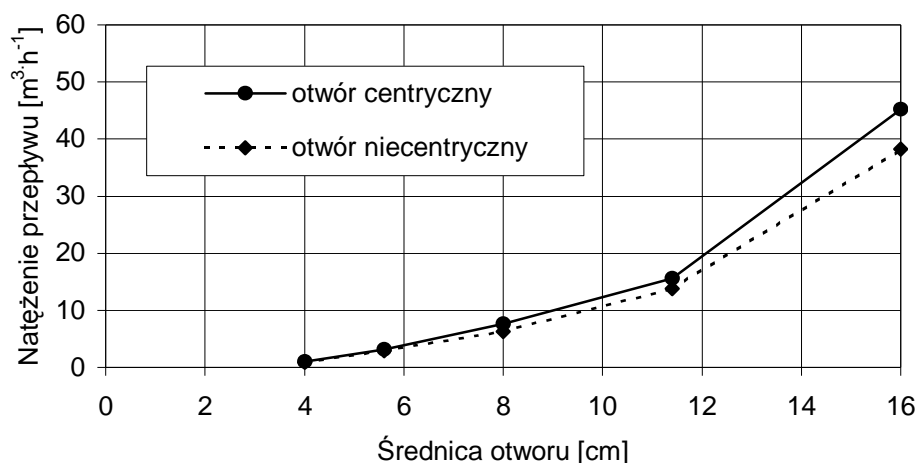
Zaobserwowano, że wzrost zawartości wody powoduje spadek wielkości natężenia przepływu. Wpływ wzrostu wilgotności na spadek natężenia przepływu ziarna kukurydzy oraz na wzrost natężenia przepływu nasion sorgo stwierdzili Chang i in. [1984, 1988].

Z przeprowadzonych badań wynika, że natężenie przepływu ziaren owsa przez otwory centryczne we wszystkich przypadkach jest większe niż przez otwory niecentryczne (szczególnie jest to widoczne dla otworów o średnicy przekraczającej 5,6 cm). Objętościowe natężenie przepływu podczas wypływu ziaren owsa o zawartości wody 0,089 kg·(kg s.m.)<sup>-1</sup> przez otwór centryczny o średnicy 16 cm wynosi 49,48 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, natomiast w tych samych warunkach przez otwór niecentryczny jest mniejsze (45,72 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>). Największe natężenie przepływu ziaren o zawartości wody 0,138 kg·(kg s.m.)<sup>-1</sup> przez otwór centryczny wynosi 38,0 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, a przez otwór niecentryczny 33,2 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>.



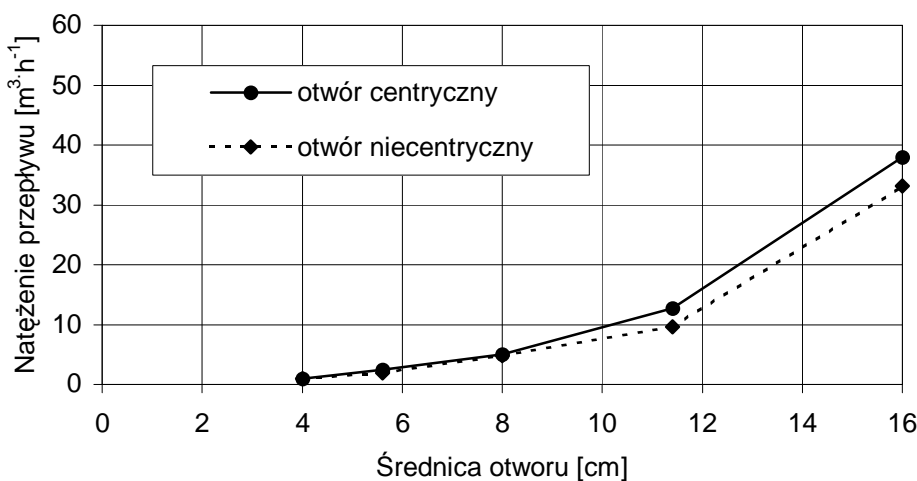
Rys. 1. Natężenie przepływu ziaren owsa o zawartości wody 0,089 kg·(kg s.m.)<sup>-1</sup>

Fig. 1. Flow intensity of the oats grains of the moisture content (dry basis) 0.089 kg/kg d.m.



Rys. 2. Natężenie przepływu ziaren owsa o zawartości wody 0,124 kg·(kg s.m)<sup>-1</sup>

Fig. 2. Flow intensity of the oats grains of the moisture content (dry basis) 0.124 kg/kg d.m.



Rys. 3. Natężenie przepływu ziaren owsa o zawartości wody 0,138 kg·(kg s.m)<sup>-1</sup>

Fig. 3. Flow intensity of the oats grains of the moisture content (dry basis) 0.138 kg/kg d.m.

Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej stosując program Statistica 5.1. Analiza wariancji wykazała, że na natężenie przepływu ziaren owsa istotnie wpływają: średnica otworu, jego położenie oraz średnica równoważna ziarna, która jest uzależniona od zawartości wody (jest z nią bardzo mocno skorelowana;  $r = 0,99$ ). Pozostałe właściwości fizyczne owsa nie wywierają istotnego wpływu na badaną wielkość. Objętościowe natężenia przepływu w zależności od średnicy otworu można wyrazić za pomocą funkcji potęgowej:

$$Q = k \cdot D^n \quad (4)$$

gdzie:

$k$  – współczynnik [ $m^3 \cdot (cm^n \cdot h)^{-1}$ ],

$n$  – wykładnik potęgi.

Zastosowanie estymacji nieliniowej pozwoliło na wyznaczenie wartości współczynnika  $k$  oraz wykładnika potęgi  $n$ . Wartości tych parametrów przedstawiono w równaniach (5) i (6), które opisują natężenie przepływu ziaren owsa przez otwory centryczne i niecentryczne:

$$Q_c = 0,0173 \cdot D^{2,829} \quad (R^2 = 0,973) \quad (5)$$

$$Q_n = 0,0104 \cdot D^{2,968} \quad (R^2 = 0,962) \quad (6)$$

gdzie:

$Q_c$  - natężenie przepływu przez otwór centryczny [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ],

$Q_n$  - natężenie przepływu przez otwór niecentryczny [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ],

$R^2$  - współczynnik determinacji.

Zależności (5) i (6) można stosować do określania natężenia przepływu ziaren owsa o zawartości wody od 0,089 do 0,138  $kg \cdot (kg \text{ s.m})^{-1}$  przez otwory o średnicy od 4 do 16 cm.

### Wnioski

1. Na objętościowe natężenie przepływu ziaren owsa istotnie wpływają: średnica otworu, jego położenie oraz średnica równoważna ziarna.
2. Natężenie przepływu ziaren owsa przez otwory centryczne jest większe niż przez otwory niecentryczne.
3. Wzrost średnicy równoważnej ziarna powoduje spadek wartości natężenia przepływu.
4. Opracowane modele matematyczne mogą być stosowane do określania natężenia przepływu ziaren owsa o zawartości wody od 0,089 do 0,138  $kg \cdot (kg \text{ s.m})^{-1}$  przez otwory o średnicy od 4 do 16 cm.

### Bibliografia

- ASAE Data: ASAE D274.1. 1993. Flow of grain and seeds trough orifices. ASAE Standards.
- Beverloo W.A., Leniger H.A., Van de Velde J. 1961. The flow of granular solids through orifices. Chem. Eng. Sci., 15, 260-269.
- Brown R.L., Richards J.C. 1960. Profile of flow of granules through apertures. Trans. Inst. Chem. Eng., 38, 243-256.
- Chang S.C., Converse H.H., Lai F.S. 1984. Flow rate of corn trough orifices as affected by moisture content. Transaction of the ASAE, 27(5), 1586-1589.
- Chang S.C., Converse H.H. 1988. Flow rates of wheat and sorghum through horizontal orifices. Transaction of the ASAE, 31(1), 300-304.
- Fowler R.T., Glastonbury J.R. 1959. The flow of granular solids through orifices. Chem. Eng. Sci., 10, 150-156.
- Kusińska E., Olejarczyk P. 2003a. Natężenie przepływu nasion łubinu przez otwory. Inżynieria Rolnicza, 7 (49), 77-84.
- Kusińska E., Olejarczyk P. 2003b. Wpływ parametrów geometrycznych otworów na natężenie przepływu nasion rzepaku. Acta Agrophysica, 83, 119-129.

---

Moysey E.B., Lambert E.W., Wang J. 1985. Flow rates of grain and oilseeds through orifices. ASAE Paper No. 85-3530, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

Whited W. 1901. The flow of semi-fluids through orifices. Proc. Eng. Soc. Western Penna, 17, 113-129.

## **EFFECT OF SELECTED GEOMETRICAL HOLE PARAMETERS ON THE FLOW INTENSITY OF OATS GRAINS**

### **Summary**

The results of study on flow intensity of the oat grains of variable moisture content through the horizontal holes of different diameter and position were presented in the paper. The moisture contents (dry basis) of oat grains were 0.089; 0.124 and 0.138 kg/kg d.m. Round holes of the diameters ranging from 4 to 16 cm, in axial and concentric position were applied. The tests were carried out on laboratory scale and obtained results were statistically analyzed. It was found that the values of measured flow intensity (by volume) were significantly affected by size and position of the holes, moisture content and equivalent diameter of the oat grains. Obtained results were compared to the values calculated on the basis of ASAE D274,1.

**Key words:** cereal grains, flow intensity, moisture content, oats.

Recenzent – Józef Horabik