

WPLYW PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH OTWORÓW NA NATĘŻENIE PRZEPIYU NASION RZEPAKU

E. Kusińska, P. Olejarczyk¹

Katedra Maszynoznawstwa i Inżynierii Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza

¹Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza

ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin

e-mail: kusinska@faunus.ar.lublin.pl

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań natężenia przepływu nasion rzepaku o zmiennej zawartości wody przez zróżnicowane otwory pod względem kształtu, rozmiaru i położenia. Doświadczenia przeprowadzono na laboratoryjnym stanowisku pomiarowym. Uzyskane wyniki badań poddano analizie regresji wielokrotnej i porównano z wartościami obliczonymi na podstawie ASAE D274.1.

Słowa kluczowe: natężenie przepływu, rzepak, średnica hydrauliczna otworu.

WSTĘP

W technice rolno-spożywczej często wykonuje się operacje napełniania i opróżniania zbiorników materiałem o różnej wielkości i konsystencji cząstek. Właściwości fizyko-mechaniczne materiałów mogą powodować zakłócenia przebiegu procesu roboczego. Ze względu na złożoność zjawisk zachodzących przy ruchu materiałów sypkich odczuwa się brak jednolitej teorii zachowania się ich w zbiornikach i wypływu przez otwory.

Badaniem natężenia przepływu materiałów ziarnistych pochodzenia roślinnego zajmowali się od roku 1901: Whited [21], Fowler i Glastonbury [7], Beverloo i in. [2], Ewalt i Buelow [6], Chang i in. [5], Gregory i Fedler [8], Moysey [12] oraz Chang i Converse [4]. Głównie na podstawie tych prac opracowano amerykańską normę ASAE D274.1 [1], określającą przepływ ziarna i nasion przez otwory. Norma zaleca następujący wzór do obliczania natężenia przepływu przez poziome i pionowe otwory:

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

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

A – powierzchnia otworu [cm^2],

D – średnica hydrauliczna otworu [cm],

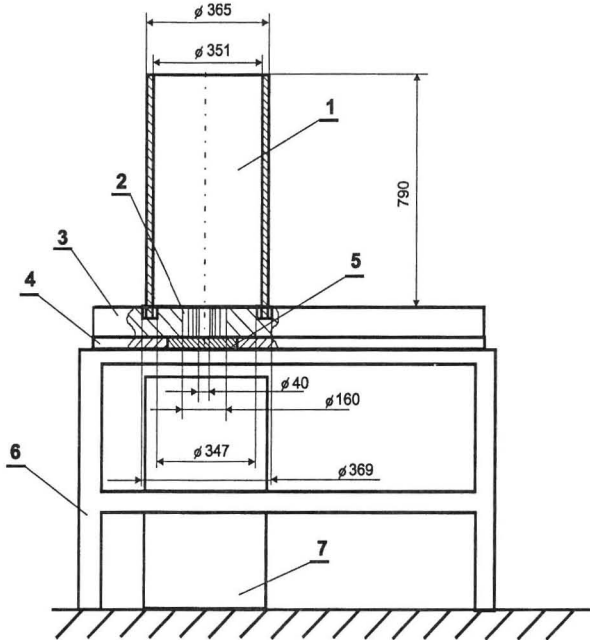
C_o – współczynnik, którego wartości dla niektórych zbóż i nasion podane są w tabelach,

n – wykładnik potęgi o wartości od 0,5 do 1,0.

W celu lepszego poznania i opisanie zjawiska wypływu nasion rzepaku przez otwory przeprowadzono badania modelowe na stanowisku pomiarowym, a wyniki porównano z obliczonymi na podstawie zaleceń normy ASAE.

MATERIAŁ I METODY

Do badań zastosowano nasiona rzepaku jarego Star. Pomiary przeprowadzono na stanowisku badawczym, którego schemat przedstawiono na Rys. 1. Podstawowym



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1-zbiornik, 2-otwór, 3- płyta, 4, 6-elementy statywu ze stali, 5-zasuwa, 7-zbiornik pomocniczy.

Fig. 1. The scheme of measurement stand: 1-bin, 2-orifice, 3-plate, 4, 6-elements of steel frame, 5-bolt, 7- extra bin.

elementem stanowiska jest zbiornik cylindryczny (1) z płaskim dnem w postaci wymiennej płyty (3) z otworami. Cała konstrukcja opierała się na stalowym statywie (6). Wysokość statywu zapewniała umieszczenie pod nim zbiornika pomocniczego (7), do którego przesypany materiał po otwarciu zasuw (5).

Natężenie przepływu określano mierząc czas przepływu znanej masy rzepaku przez otwór (2) z pojemnika górnego (1) do dolnego (7). Otwory wysypowe usytuowane były centrycznie i niecentrycznie. Odległość otworu położonego niecentrycznie od ściany zewnętrznej zbiornika

nika była jednakowa i wynosiła 27 mm. Badania przeprowadzono dla nasion rzepaku o zawartości wody: 0,089, 0,120 i 0,145 kg·(kg s.m.)⁻¹. Przepływ badano stosując otwory kwadratowe o rozmiarach 4,0; 5,6; 8,0; 11,4 cm oraz otwory okrągłe o średnicy 4,0; 5,6; 8,0; 11,4 i 16,0 cm. Dokonano również oznaczeń właściwości fizycznych (gęstości utrząsionej i usypowej, kąta zsypania i usypu, masy 1000 nasion) według obowiązujących norm [14,15,16,17,18,19,20]. Określenie podstawowych właściwości fizycznych ma istotne znaczenie porównawcze dla materiału pochodzenia roślinnego, gdyż ulegają one zmianie głównie w zależności od zawartości wody [9,10,11]. Na podstawie średnich arytmetycznych wymiarów nasion obliczono średnicę równoważną, stosując wzór:

$$d_{rz} = (abc)^{-3} \quad (2)$$

i sferyczność nasion według równania Mohsenina [13]:

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

gdzie: a , b , c – odpowiednio długość, szerokość i grubość nasiona [mm].

WYNIKI I DYSKUSJA

W Tabeli 1 przedstawiono wyniki badań właściwości fizycznych nasion, średnicy równoważnej i sferyczności nasion rzepaku dla różnych zawartości wody. Średnica równoważna badanego materiału oraz współczynnik sferyczności

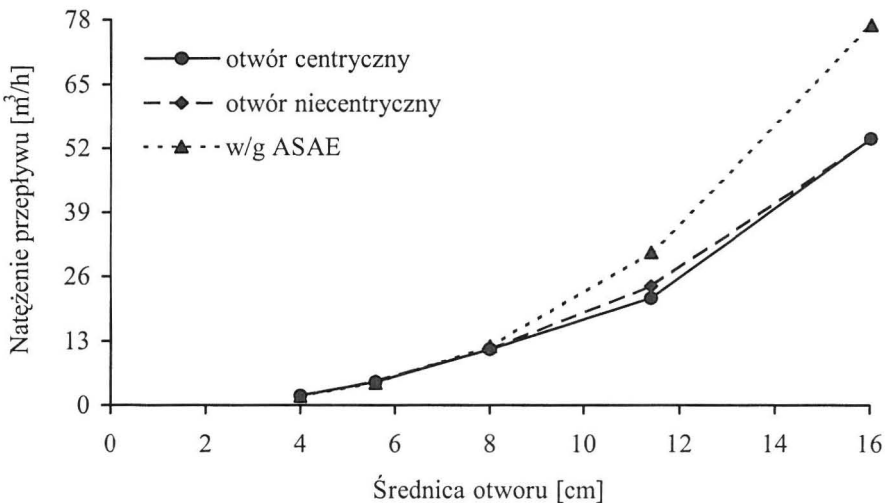
Tabela 1. Właściwości fizyczne, średnica równoważna i sferyczność nasion rzepaku dla różnych zawartości wody

Table 1. Physical properties, equivalent diameter and spherical of rapeseed in dependence from moisture content

Zawartość wody u [kg·(kg s.m.) ⁻¹]	d_{rz} [mm]	sf	Masa 1000 nasion [g]	Gęstość [g·cm ⁻³]		Kąt [°]	
				usypowa	utrząsiona	usypu	zsypania
0,089	1,62	0,96	3,505	0,632	0,655	29	26
0,120	1,64	0,97	3,702	0,623	0,648	30	28
0,145	1,66	0,98	4,085	0,619	0,635	31	32

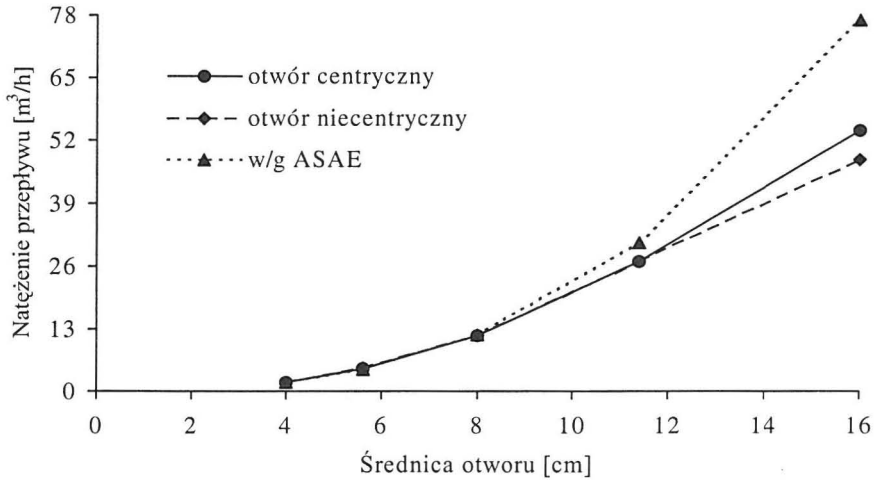
rosną w niewielkim stopniu w miarę wzrostu zawartości wody. Stwierdzono, że rzepak charakteryzuje się bardzo dużą sferycznością. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem zawartości wody w nasionach wzrasta wartość masy 1000 nasion, wzrasta również kąt usypu i zsypu, natomiast wartości gęstości usypowej i gęstości utrząsionej maleją.

Wyniki badań natężenia wypływu nasion rzepaku o odpowiedniej zawartości wody przez otwory o różnych kształtach i rozmiarach, umieszczone osiowo (centrycznie) lub nieosiowo (niecentrycznie), przedstawiono na Rys. 2-7. Aby umożliwić stosowanie wzoru (1) do obliczania objętościowego natężenia przepływu nasion rzepaku Star proponujemy przy zalecanej wartości $n = 0,7$ stosowanie współczynników C_o przedstawionych w Tabeli 2. Natomiast przy założeniu, że C_o jest stałe (zgodnie z normą) i wynosi 0,055, to należy do obliczeń przyjąć, że wykładnik potęgi n jest zmienny (obliczone wartości n przedstawiono w Tab. 3).



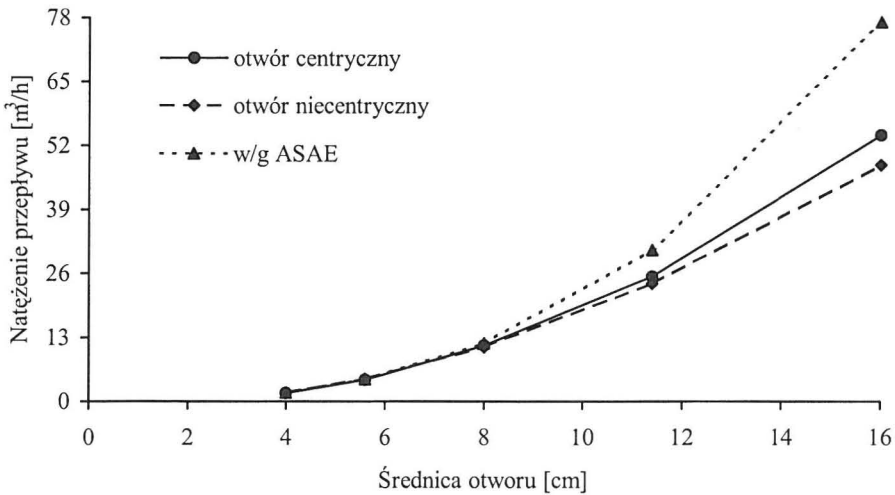
Rys. 2. Natężenie przepływu nasion rzepaku o zawartości wody $0,089 \text{ kg} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$ przez otwory okrągłe.

Fig. 2. Flow rates of rapeseed at moisture content $0.089 \text{ kg} (\text{kg d.b.})^{-1}$ through round orifices.



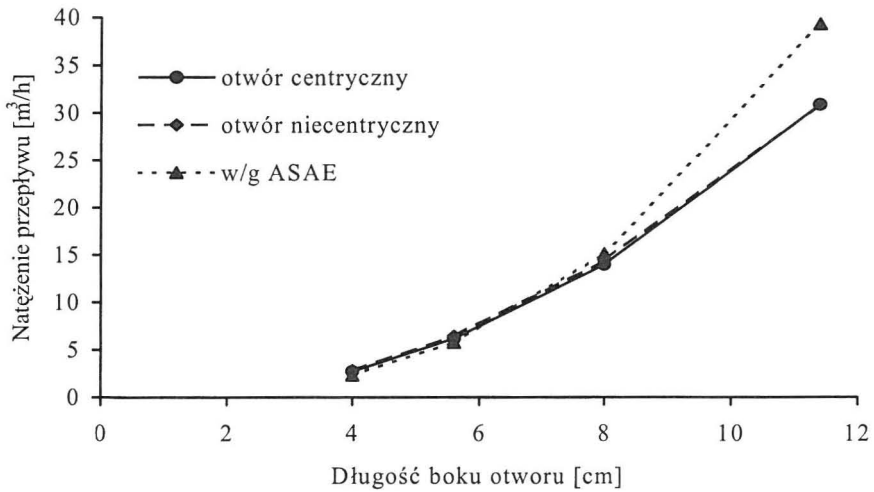
Rys. 3. Natężenie przepływu nasion rzepaku o zawartości wody 0,120 kg·(kg s.m.)⁻¹ przez otwory okrągłe.

Fig. 3. Flow rates of rapeseed at moisture content 0.120 kg (kg d.b.)⁻¹ through round orifices.



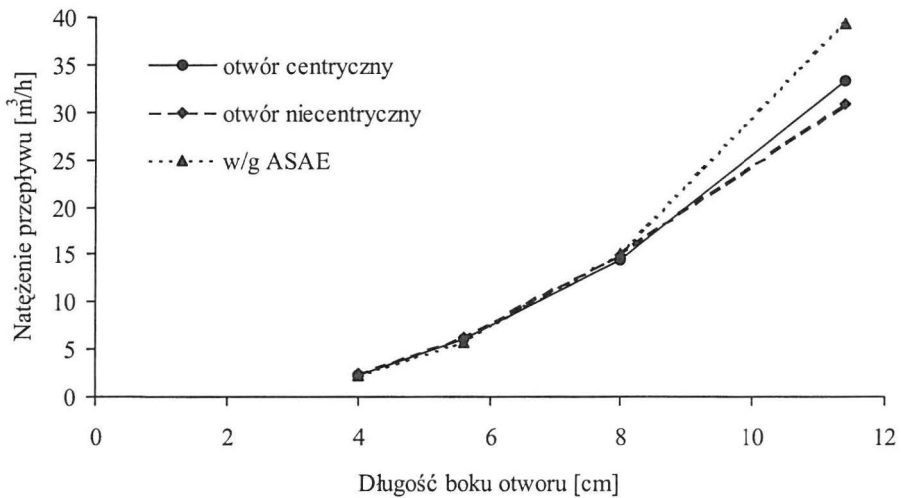
Rys. 4. Natężenie przepływu nasion rzepaku o zawartości wody 0,145 kg·(kg s.m.)⁻¹ przez otwory okrągłe.

Fig. 4. Flow rates of rapeseed at moisture content 0.145 kg (kg d.b.)⁻¹ through round orifices.



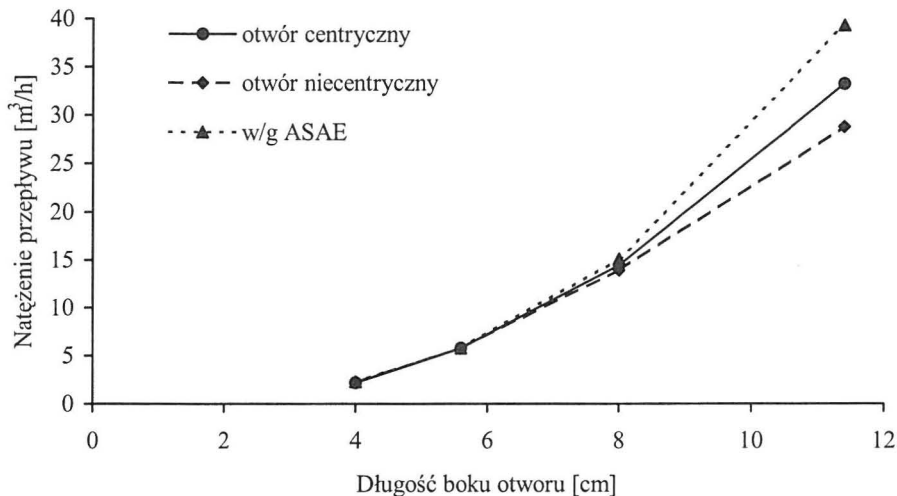
Rys. 5. Natężenie przepływu nasion rzepaku o zawartości wody $0,089 \text{ kg} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$ przez otwory kwadratowe.

Fig. 5. Flow rates of rapeseed at moisture content $0.089 \text{ kg (kg d.b.)}^{-1}$ through square orifices.



Rys. 6. Natężenie przepływu nasion rzepaku o zawartości wody $0,120 \text{ kg} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$ przez otwory kwadratowe.

Fig. 6. Flow rates of rapeseed at moisture content $0.120 \text{ kg (kg d.b.)}^{-1}$ through square orifices.



Rys. 7. Natężenie przepływu nasion rzepaku o zawartości wody $0,145 \text{ kg} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$ przez otwory kwadratowe.
 Fig. 7. Flow rates of rapeseed at moisture content $0.145 \text{ kg} (\text{kg d.b.})^{-1}$ through square orifices.

Tabela 2. Współczynniki C_o przy wartości $n = 0,7$
 Table 2. Coefficients C_o from value $n = 0.7$

Zawartość wody [$\text{kg} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$]	Średnica hydrauliczna otworu [cm]	Otwory okrągłe		Otwory kwadratowe	
		centryczne	niecentryczne	centryczne	niecentryczne
0,089	4	0,059	0,060	0,064	0,067
	5,6	0,058	0,059	0,059	0,062
	8	0,053	0,053	0,051	0,052
	11,4	0,039	0,043	0,043	0,043
	16	0,039	0,039	-	-
0,120	4	0,055	0,058	0,051	0,053
	5,6	0,058	0,059	0,055	0,055
	8	0,054	0,054	0,052	0,051
	11,4	0,048	0,048	0,047	0,040
	16	0,039	0,034	-	-
0,145	4	0,052	0,054	0,054	0,056
	5,6	0,054	0,056	0,058	0,059
	8	0,053	0,051	0,052	0,054
	11,4	0,045	0,043	0,047	0,043
	16	0,039	0,034	-	-

Tabela 3. Wykładniki n przy wartości $C_o = 0,055$ **Table 3.** Exponents n from value $C_o = 0.055$

Zawartość wody [kg (kg s.m.) ⁻¹]	Średnica hydrauliczna otworu [cm]	Otwory okrągłe		Otwory kwadratowe	
		centryczne	niecentryczne	centryczne	niecentryczne
0,089	4	0,75	0,76	0,81	0,84
	5,6	0,73	0,74	0,74	0,77
	8	0,68	0,68	0,66	0,68
	11,4	0,55	0,60	0,60	0,60
	16	0,57	0,57	-	-
0,120	4	0,70	0,73	0,65	0,67
	5,6	0,73	0,74	0,70	0,70
	8	0,69	0,69	0,68	0,66
	11,4	0,65	0,65	0,63	0,57
	16	0,57	0,53	-	-
0,145	4	0,66	0,69	0,69	0,72
	5,6	0,69	0,72	0,73	0,74
	8	0,68	0,67	0,68	0,69
	11,4	0,62	0,60	0,63	0,60
	16	0,57	0,53	-	-

We wszystkich przypadkach zaobserwowano, że natężenie przepływu uzależnione jest głównie od wymiaru i kształtu otworu oraz jego położenia. Z reguły większe wartości otrzymano podczas przepływu nasion przez otwory centryczne niż przez niecentryczne. Większe wartości natężenia przepływu wystąpiły również przez otwory kwadratowe. Jest to zgodne z wynikami badań Changa i in. [5]. Wynika to z większej powierzchni otworów kwadratowych niż okrągłych o takiej średnicy hydraulicznej. Wzrost wielkości otworów powodował zwiększenie natężenia przepływu. Na wykresach przedstawiono również wartości obliczone na podstawie wzoru (1) zgodnie z ASAE [1], która zaleca przyjmowanie do obliczania natężenia przepływu nasion rzepaku przez otwory poziome (niezależnie od ich kształtu i położenia) wartości współczynnika $C_o = 0,055$ oraz wykładnika potęgi $n = 0,7$. Wartości obliczone według ASAE znacznie przewyższają dane eksperymentalne (w przypadku otworów okrągłych nawet do 38%, a dla otworów kwadratowych różnice dochodzą do 27%). Różnice między wartościami obliczonymi i eksperymentalnymi powiększają się wraz ze wzrostem wielkości otworu i są najbardziej widoczne dla otworów o średnicy hydraulicznej większej od 8,0 cm. Norma zakłada pewien procent błędu. Według niej dla otworów dużych wynosi on $\pm 6\%$, a dla otworów małych $\pm 12\%$.

W przedstawionych przypadkach rozmiar otworu należy przyjąć za duży, gdyż piętnastokrotnie przekracza średnicę równoważną nasion [1].

Aby umożliwić stosowanie wzoru (1) do obliczania objętościowego natężenia przepływu nasion rzepaku Star proponujemy przy zalecanej wartości $n = 0,7$ stosowanie współczynników C_o przedstawionych w Tabeli 2. Natomiast przy założeniu, że C_o jest stałe (zgodnie z normą) i wynosi 0,055, to należy do obliczeń przyjąć, że wykładnik potęgi n jest zmienny (obliczone wartości n przedstawiono w Tab. 3).

Otrzymane wyniki badań poddano analizie wariancji, która wykazała, że na wyniki pomiaru natężenia przepływu przez otwory poziome istotny wpływ wywierała tylko średnica hydrauliczna otworu. Nie stwierdzono istotnego wpływu poszczególnych właściwości fizycznych i geometrycznych nasion rzepaku Star. Istotnego wpływu nie wywierała nawet przyjęta zawartość wody w przeciwieństwie do rezultatów badań Chang'a i in. dla ziarna kukurydzy o zawartości wody 12,3-22,3 [5] i sorgo o zawartości wody 11,2-17,7 [4], które wykazały, że wzrost zawartości wody powodował spadek natężenia przepływu. Wpływ na to miał prawdopodobnie skład chemiczny nasion rzepaku, zawierających znacznie mniej węglowodanów, które pochłaniają wodę i powodują pęcznienie. Stosując analizę regresji wielokrotnej wyprowadzono następujące równania, opisujące natężenie przepływu w zależności od średnicy hydraulicznej otworu przez:

- otwory kwadratowe centryczne Q_{kc} oraz niecentryczne Q_{kn} :

$$Q_{kc} = - 4,448 + 1,141 d_h \quad (R^2 = 0,97, \alpha < 0,01) \quad (4)$$

$$Q_{kn} = - 3,947 + 1,054 d_h \quad (R^2 = 0,98, \alpha < 0,01) \quad (5)$$

- otwory okrągłe centryczne Q_{oc} oraz niecentryczne Q_{on} :

$$Q_{oc} = - 5,483 + 1,206 d_h \quad (R^2 = 0,95, \alpha < 0,01) \quad (6)$$

$$Q_{on} = - 4,927 + 1,121 d_h \quad (R^2 = 0,96, \alpha < 0,01) \quad (7)$$

gdzie: d_h – średnica hydrauliczna otworu,

R^2 – współczynnik determinacji,

α - poziom istotności statystycznej.

Jak widać objętościowe natężenie przepływu nasion rzepaku Star przez otwory można z dużą precyzją opisać za pomocą funkcji liniowej tylko w zależności od średnicy hydraulicznej otworu.

WNIOSKI

1. Właściwości fizyczne i geometryczne nasion nie wywierają istotnego wpływu na wartości wyników pomiaru natężenia przepływu przez otwory nasion rzepaku Star o zawartości wody od 0,089 do 0,145 kg·(kg s.m.)⁻¹.
2. Stwierdzono istotność wpływu na wyniki pomiaru natężenia przepływu średnicy hydraulicznej otworu, jego kształtu i położenia. Największe wartości natężenia przepływu wystąpiły dla otworów kwadratowych, położonych centrycznie.
3. Wartości pomiaru natężenia przepływu nasion rzepaku przez otwory są znacznie mniejsze od obliczonych według normy ASAE D274.1 (nawet o 38%).
4. Istnieje możliwość adaptacji ASAE D274.1 do obliczania natężenia przepływu badanego surowca po uwzględnieniu przedstawionych w pracy innych wartości współczynników niż to sugeruje norma.
5. Stosując równania regresji wielokrotnej z dużą dokładnością można obliczyć natężenie przepływu nasion rzepaku.

PIŚMIENNICTWO

1. ASAE Data: ASAE D274.1.: Flow of grain and seeds trough orifices. ASAE Standards, 1993.
2. **Beverloo W.A., Leniger H.A., Van de Velde J.:** The flow of granular solids through orifices. Chem. Eng. Sci., 15, 260-269, 1961.
3. **Brown R.L., Richards J.C.:** Profile of flow of granules through apertures. Trans. Inst. Chem. Eng., 38, 243-256, 1960.
4. **Chang S.C., Converse H.H.:** Flow rates of wheat and sorghum through horizontal orifices. Trans. of ASAE, 31(1), 300-304, 1988.
5. **Chang C.S., Converse H.H., Lai F.S.:** Flow rate of corn through orifices as affected by moisture content. Trans. of ASAE, 27(5), 1586-1589, 1984.
6. **Ewalt D.J., Buelow F.H.:** Flow of shelled corn through orifices in bin wall. Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Bul., 46, 92-102, 1963.
7. **Fowler R.T., Glastonbury J.R.:** The flow of granular solids through orifices. Chem. Eng. Sci., 10, 150-156, 1959.
8. **Gregory J.M., Fedler C.B.:** Equation describing granular flow through circular orifices. Trans. of ASAE, 30(2), 529-532, 1987.
9. **Horabik J.:** Wpływ właściwości mechanicznych ziarna pszenicy na rozkład obciążenia w zbiorniku. Acta Agrophysica, 1, 1994.
10. **Horabik J.:** Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesach składowania. Acta Agrophysica, 54, 2001.
11. **Łukaszuk J., Horabik J.:** Wyznaczanie kąta tarcia wewnętrznego roślinnych materiałów sypkich. Acta Agrophysica, 64, 2002.

12. **Moysey E.B., Lambert E.W., Wang J.:** Flow rates of grains and oilseeds through sharp-edged orifices. *Trans. of ASAE*, 31(1), 226-231, 1988.
13. **Mohsenin N.N.:** Physical properties of plant and animal materials. Characteristics and mechanical properties. Gordon and Breach Science Publishers, New York. 1986.
14. Polska Norma PN-65/Z-04004: Oznaczanie kąta zsyphu.
15. Polska Norma PN-65/Z-04121: Oznaczanie kąta usyphu.
16. Polska Norma PN-68/R-74017: Oznaczanie masy tysiąca nasion.
17. Polska Norma PN-ISO 7971-2: Ziarno zbóż. Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym, zwanej „masą hektolitra”.
18. Polska Norma PN-80/C-04532: Oznaczanie gęstości nasypowej.
19. Polska Norma PN-86/A-74011: Ziarno zbóż, nasiona roślin strączkowych i przetwory zbożowe. Oznaczanie wilgotności.
20. Polska Norma PN-ISO 13690: Ziarno zbóż, roślin strączkowych i przetwory zbożowe. Pobieranie próbek z partii statycznych.
21. **Whited W.:** The flow of semi-fluids through orifices. *Proc. Eng. Soc. Western Penna*, 17, 113-129, 1901.

INFLUENCE CAUSED BY ORIFICES OF GEOMETRICAL PARAMETERS ON FLOW RATE OF RAPESEED

E. Kusińska, P. Olejarczyk¹

Department of Food Engineering and Machinery, University of Agriculture

¹Department of Machine Operation in Food Industry, University of Agriculture

ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin

e-mail: kusinska@faunus.ar.lublin.pl

Abstract. Paper presents results flow rates of loose materials descent vegetable at various moisture content through diverse orifices in relation to shape, size and position. Tests carried out in construct position measure. Obtain results put on the test analysis regression multiple and compare with standards published by ASAE. D274.1.

Key words: flow rate, rapeseed, hydraulic diameter of orifice.