

## WPŁYW PRĘDKOŚCI PRZEMIESZCZENIA TŁOKA NA PARAMETRY ZAGĘSZCZANIA PSZENICY

*Stanisław Skonecki, Janusz Laskowski*

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: stanislaw.skonecki@ar.lublin.pl

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości przemieszczenia tłoka na parametry procesu zagęszczania ziarna pszenicy. Wilgotność materiału wynosiła 14%. Do badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową ZWICK typ ZO2O/TN25. Zagęszczanie surowca przeprowadzano w zespole prasującym z matrycą zamkniętą. Maksymalna siła zagęszczania wynosiła 20kN, a prędkość przemieszczania tłoka 5, 10, 20, 40 i 80 mm·min<sup>-1</sup>. Do analizy przyjęto następujące parametry: maksymalna gęstość materiału w komorze, całkowita praca zagęszczania, jednostkowa praca zagęszczania, współczynnik charakteryzujący podatność materiału na zagęszczanie oraz gęstość i trwałość aglomeratu. Wyniki badań wskazały, że na parametry procesu zagęszczania rozdrobionego ziarna pszenicy wpływa prędkość przemieszczenia tłoka, ale istotne różnice występują w określonych zakresach prędkości.

**Słowa kluczowe:** parametry zagęszczania, pszenica, prędkość przemieszczenia tłoka

### WSTĘP

Parametry ciśnieniowego aglomerowania biologicznych surowców paszowych i jakość aglomeratu zależą od czynników technicznych oraz wynikających z właściwości fizyko-chemicznych surowców. Badania w tym zakresie realizowane są przez wielu autorów przy stosowaniu różnych warunków zagęszczania (np. wielkość próbki). W opracowaniach [4,5] zaprezentowano badania wpływu masy materiału i średnicy komory na parametry zagęszczania surowców roślinnych. Badania zagęszczania różnorodnych materiałów realizowane są przy stosowaniu różnych prędkości przemieszczenia tłoka (większość badań przeprowadzana jest przy prędkości od 5 do 100 mm·min<sup>-1</sup> [1,2,6,7]). Dlatego też określenie wpływu prędkości przemieszczenia tłoka na parametry procesu jest ważnym zagadnieniem w aspekcie wyznaczenia ujednoczonych warunków badań zagęszczania.

Celem prezentowanych badań jest określenie wpływu prędkości przemieszczenia tłoka na parametry zagęszczania rozdrobnionego ziarna pszenicy.

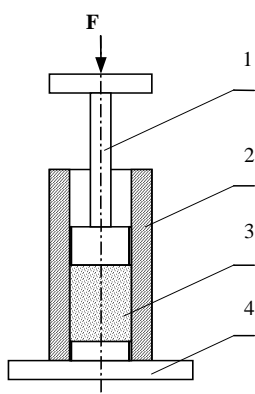
## MATERIAŁ I METODY

### Charakterystyka materiału

Do badań wybrano ziarno pszenicy odmiany Sukces. Surowiec rozdrobniono na rozdrabniaczu bijakowym z sitami o wymiarze otworów 3 mm. Średni wymiar cząstek (określony zgodnie z PN-89/R-64798) wynosił 1,07 mm. Badania prowadzono dla materiału o wilgotności  $14 \pm 0,1\%$ .

### Badania zagęszczania

Badania zagęszczania próbek materiału wykonano zgodnie z własną metodyką [3]. W badaniach tych wykorzystano maszynę wytrzymałościową ZWICK typ ZO2O/TN25 oraz zespół prasujący z matrycą zamkniętą (rys. 1) o trzech średnicach  $d$  komory 12 mm, 15 mm i 18 mm. Masa  $m$  próbek zależnie od średnicy komory wynosiła: dla  $d = 12$  mm,  $m = 3$  g; dla  $d = 15$  mm,  $m = 6$  g; dla  $d = 18$  mm,  $m = 9$  g. Naciski jednostkowe  $P$  dla maksymalnej siły zagęszczania wynosiły dla



**Rys. 1.** Schemat zespołu prasującego:  
1 – tłok, 2 – cylinder, 3 – zagęszczany materiał, 4 – podstawa

**Fig. 1.** Schematic of the compression assembly: 1 – piston, 2 – cylinder, 3 – compressed material, 4 – base plate

średnicy:  $d = 12$  mm,  $P = 177$  MPa;  $d = 15$  mm,  $P = 113$  MPa;  $d = 18$  mm,  $P = 79$  MPa.

Podczas pomiaru rejestrowano charakterystykę zagęszczania (zmiana siły zagęszczania od przemieszczenia tłoka), której opis zawiera praca [3]. Z krzywej wyznaczono parametry dla maksymalnego nacisku, to znaczy gęstość materiału w komorze  $\rho_c$ , całkowitą pracę zagęszczania  $L_c$ . Obliczono jednostkową pracę zagęszczania  $L_c'$  ( $L_c' = L_c \cdot m^{-1}$ ) oraz współczynnik  $k_c$  charakteryzujący podatność materiału na zagęszczanie ( $k_c = L_c' \cdot (\rho_c - \rho_n)^{-1}$ , gdzie  $\rho_n$  – gęstość materiału w stanie zsypanym).

Dla uzyskanego aglomeratu określono gęstość  $\rho_k$ . Aglomeraty poddano badaniom wytrzymałościowym na maszynie Zwick ZO 2O/TN25. Wytrzymałość (trwałość) aglomeratu  $\sigma_n$  wyznaczono w próbie osiowego ściskania między płaskimi płytami (iloraz siły niszczącej do pola przekroju poprzecznego aglomeratu).

### Ocena statystyczna wyników badań

Wyznaczono zależności (analiza regresji) pomiędzy badanymi cechami (gęstościami materiału  $\rho_c$ ,  $\rho_k$ ; parametrami zagęszczania  $L_c$ ,  $L_c'$ ; współczynnikiem  $k_c$  i trwałością aglomeratu  $\sigma_n$ ) od prędkości przemieszczenia tłoka  $v$  dla danej średnicy komory. Określono istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami parametrów w zależności od prędkości przemieszczenia tłoka dla każdej średnicy komory (test Tukeya). Do analiz przyjęto poziom istotności  $p = 0,05$ . Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu programu Statistica firmy StatSoft Inc.

### WYNIKI

Równania regresji opisujące badane parametry w zależności od prędkości przemieszczenia tłoka  $v$  dla trzech średnic komory zawarto w tabeli 1, a wybrane zależności przedstawiono na rysunkach. Porównanie średnich wartości parametrów zagęszczania przedstawiono w tabeli 2. Wartości średnie, które różnią się istotnie między sobą oznaczono w kolumnach tabeli innymi literami (grupy jednorodnie oznaczono symbolami a, b, c, d).

### Gęstość surowca w komorze i aglomeratu

Uzyskano liniowe równania regresji zależności maksymalnej gęstości materiału w komorze ( $\rho_c$ ) i gęstości aglomeratu ( $\rho_k$ ) od prędkości przemieszczenia tłoka ( $v$ ) (tab. 1). Największa wartość gęstości  $\rho_c$  wynosi  $1,562 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  a najmniejsza  $1,468 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (tab. 2, rys. 2).

Największą wartość gęstości uzyskano dla średnicy 12 mm i prędkości  $5 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , najmniejszą dla średnicy 18 mm i prędkości  $80 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Gęstość aglomeratu  $\rho_k$  dla średnicy 12 mm zawiera się w przedziale od  $1,242 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  do  $1,237 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  i nieznacznie maleje ze zwiększeniem prędkości  $v$  (podobne zmiany występują dla pozostałych średnic komory). Stwierdzono, że  $\rho_c$  i  $\rho_k$  jednoznacznie zmieniają się ze zwiększeniem prędkości dla różnych średnic komory zagęszczania. Obserwuje się, że zwiększenie prędkości powoduje zmniejszenie gęstości materiału w komorze  $\rho_c$  i aglomeratu  $\rho_k$ .

Z tabeli 2 wynika, że wartości gęstości  $\rho_k$  ze względu na rozprężenie materiału po wyjęciu z komory są mniejsze o około  $0,2\text{-}0,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  od gęstości  $\rho_c$ . Średnie wartości gęstości  $\rho_c$  i  $\rho_k$  znacznie różnią się dla prędkości 5 i  $80 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Występują grupy jednorodnie nie różniące się średnią wartością gęstości  $\rho_c$  i  $\rho_k$ , co obserwuje się przy prędkościach przemieszczenia tłoka  $5\text{-}10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  oraz  $40\text{-}80 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ .

**Tabela 1.** Równania regresji opisujące zależności gęstości  $\rho_c$ ,  $\rho_k$ , pracy zagęszczania: całkowitej  $L_c$  i jednostkowej  $L_c'$ , współczynnika  $k_c$  i trwałości aglomeratu  $\sigma_n$  od prędkości przemieszczenia tłoka  $v$  dla trzech średnic  $d$  komory i wartości współczynnika determinacji  $R^2$

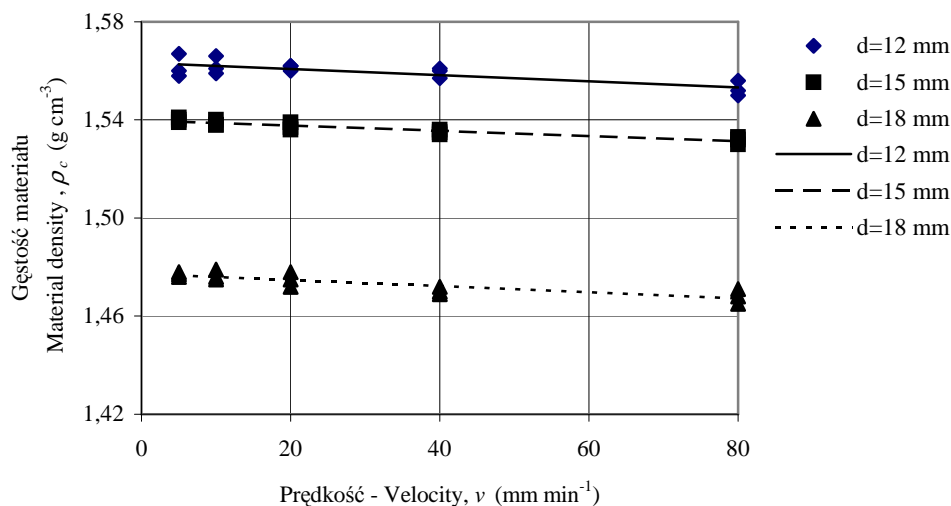
**Table 1.** Material density  $\rho_c$ ,  $\rho_k$ , compression and specific compression work  $L_c$  and  $L_c'$ , coefficient  $k_c$ , and strength of the agglomerate  $\sigma_n$  in the function of piston velocity  $v$  for different chamber diameters  $d$

Średnica komory Chamber diameter	Równanie regresji Regression equation	$R^2$
$d = 12 \text{ mm}$	$\rho_c = -0,0001v + 1,563$	0,616
	$\rho_k = -0,00007v + 1,242$	0,713
	$L_c = 0,0308v + 41,752$	0,920
	$L_c' = 0,0101v + 13,895$	0,911
	$k_c = 0,0132v + 15,13$	0,939
	$\sigma_n = -0,0058v + 1,969$	0,891
$d = 15 \text{ mm}$	$\rho_c = -0,0001v + 1,539$	0,868
	$\rho_k = -0,00007v + 1,235$	0,690
	$L_c = 0,0446v + 60,382$	0,848
	$L_c' = 0,0072v + 10,057$	0,828
	$k_c = 0,0095v + 11,239$	0,856
	$\sigma_n = -0,0038v + 1,580$	0,679
$d = 18 \text{ mm}$	$\rho_c = -0,0001v + 1,477$	0,732
	$\rho_k = -0,00007v + 1,226$	0,769
	$L_c = 0,039v + 78,501$	0,638
	$L_c' = 0,0042v + 8,722$	0,624
	$k_c = 0,0068v + 10,478$	0,703
	$\sigma_n = -0,0019v + 1,040$	0,538

**Tabela 2.** Porównanie średnich wartości parametrów zagęszczania pszenicy w zależności od prędkości przemieszczenia tłoka dla średnic komory 12, 15 i 18 mm**Table 2.** Average compression parameters for different piston velocities and chamber diameters of 12, 15, and 18 mm

Prędkość Velocity $v$ (mm·min <sup>-1</sup> )	Parametr – Parameter					
	$\rho_c$ (g·cm <sup>-3</sup> )	$\rho_k$ (g·cm <sup>-3</sup> )	$L_c$ (J)	$L_c'$ (J·g <sup>-1</sup> )	$k_c$ (J·g <sup>-2</sup> ·cm <sup>3</sup> )	$\sigma_n$ (MPa)
Średnica komory – Chamber diameter - 12 mm						
5	1,562 (b)	1,242 (c)	41,77 (a)	13,89 (a)	15,16 (a)	1,995 (d)
10	1,562 (b)	1,242 (bc)	42,14 (a)	14,01 (ab)	15,29 (ab)	1,893 (cd)
20	1,561 (b)	1,240 (abc)	42,50 (ab)	14,17 (bc)	15,46 (bc)	1,827 (bc)
40	1,559 (ab)	1,239 (ab)	42,90 (b)	14,28 (c)	15,62 (c)	1,703 (b)
80	1,553 (a)	1,237 (a)	44,23 (c)	14,69 (d)	16,19 (d)	1,567 (a)
Średnica komory – Chamber diameter – 15 mm						
5	1,540 (c)	1,236 (b)	60,61 (a)	10,07 (a)	11,25 (a)	1,622 (b)
10	1,539 (c)	1,235 (b)	60,54 (a)	10,09 (a)	11,29 (a)	1,525 (b)
20	1,537 (bc)	1,235 (b)	61,11 (a)	10,18 (a)	11,41 (a)	1,462 (ab)
40	1,535 (ab)	1,232 (ab)	62,92 (b)	10,48 (b)	11,78 (b)	1,424 (ab)
80	1,532 (a)	1,230 (a)	63,65 (b)	10,58 (b)	11,93 (b)	1,291 (a)
Średnica komory - Chamber diameter - 18 mm						
5	1,447 (c)	1,227 (c)	77,95 (a)	8,66 (a)	10,41 (a)	1,101 (c)
10	1,447 (c)	1,225 (bc)	78,55 (a)	8,72 (a)	10,49 (a)	0,993 (b)
20	1,475 (bc)	1,224 (b)	80,34 (b)	8,93 (b)	10,75 (b)	0,975 (b)
40	1,470 (ab)	1,223 (ab)	80,48 (b)	8,94 (b)	10,83 (b)	0,943 (ab)
80	1,468 (a)	1,221 (a)	81,24 (b)	9,02 (b)	10,96 (b)	0,901 (a)

(a), (b), (c), (d) – jednorodne grupy średnich dla  $p = 0,05$  – homogeneous groups for averages at  $p = 0.05$ .



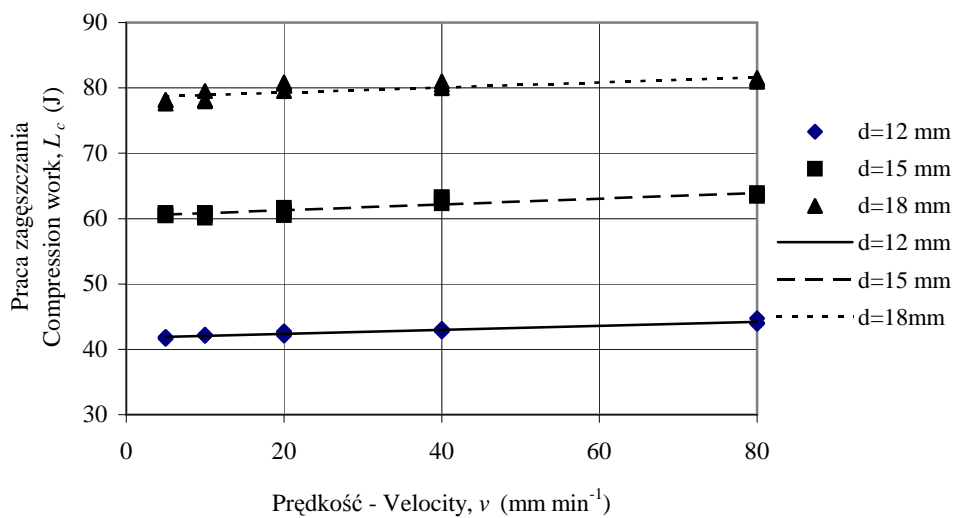
**Rys. 2.** Zależności gęstości materiału ( $\rho_c$ ) od prędkości ( $v$ ) dla trzech średnic ( $d$ ) komory  
**Fig. 2.** Material density ( $\rho_c$ ) in relation to piston velocity ( $v$ ) and chamber diameter ( $d$ )

### Praca zagęszczania

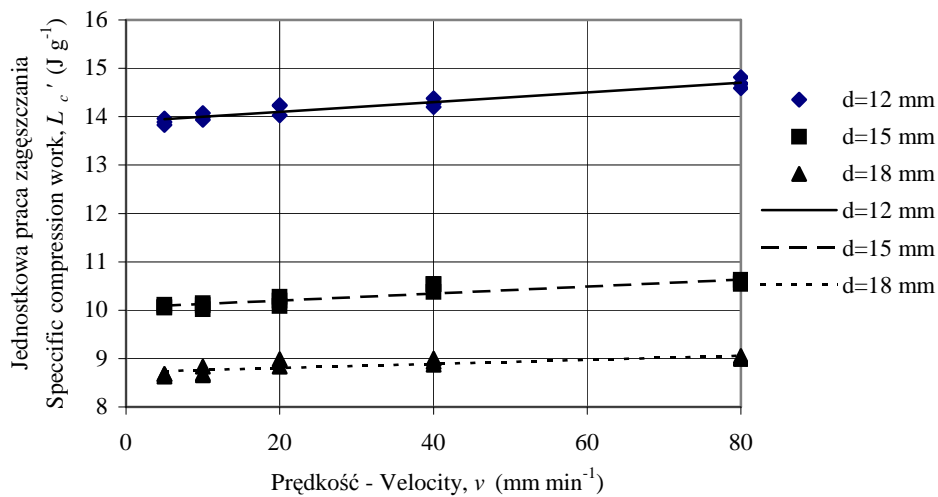
Równania regresji zależności pomiędzy pracą zagęszczania  $L_c$  i  $L_c'$ , a prędkością  $v$  przedstawiono w tabeli 1.

Całkowita praca zagęszczania  $L_c$  (tab. 2, rys. 3) zawiera się w przedziale od 41,77 J (przy  $d = 12$  mm i prędkości  $5 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ) do 81,24 J (dla średnicy 18 mm i prędkości  $80 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Wartości jednostkowej pracy zagęszczania  $L_c'$  (rys. 4) zawierają się w przedziale  $8,66\text{-}14,69 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ . Minimalną  $8,66 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$  uzyskano dla próbki zagęszczanej w matrycy o średnicy 18 mm (prędkość  $v = 5 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ), maksymalną natomiast  $14,69 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$  (matryca 12 mm, prędkość  $v = 80 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Wraz ze wzrostem prędkości  $v$  nieznacznie rośnie zarówno praca  $L_c$  jak i jednostkowa praca zagęszczania  $L_c'$  (rys. 3 i 4). Średnie wartości pracy  $L_c$  i  $L_c'$  nie różnią się istotnie w przypadku zagęszczania w matrycy o średnicy komory 15 i 18 mm przy prędkościach przemieszczenia tłoka  $5\text{-}10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  oraz  $40\text{-}80 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  (tab. 2). Również dla zagęszczania w matrycy o  $d = 12$  mm występują grupy jednorodnej średniej wartości pracy  $L_c$  i  $L_c'$ . Należy także stwierdzić, że największe wartości pracy  $L_c$  uzyskano zagęszczając materiał w komorze o średnicy 18 mm, a najmniejsze w komorze o średnicy 12 mm. Natomiast wartości jednostkowej pracy  $L_c'$  są największe dla  $d = 12$  mm, a najmniejsze dla  $d = 18$  mm.



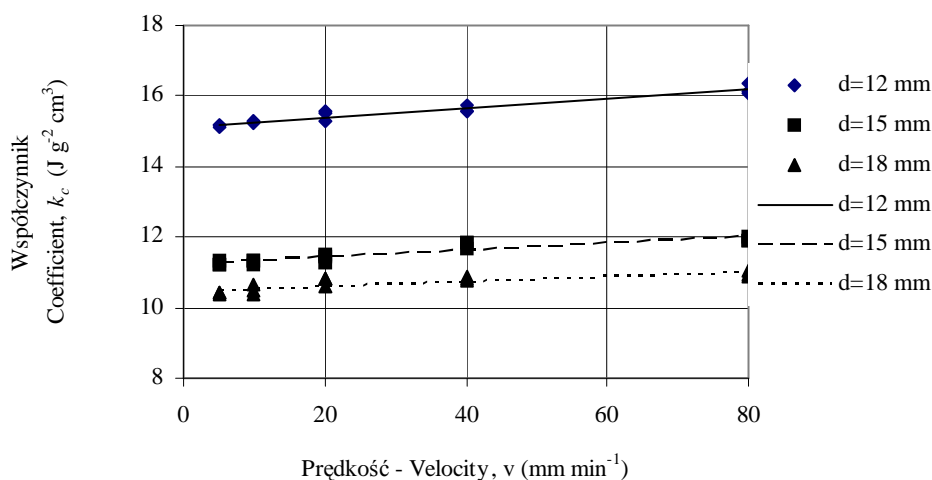
**Rys. 3.** Zależność pracy zagęszczania ( $L_c$ ) od prędkości ( $v$ ) dla trzech średnic ( $d$ ) komory  
**Fig. 3.** Compression work ( $L_c$ ) in relation to piston velocity ( $v$ ) and chamber diameter ( $d$ )



**Rys. 4.** Zależność jednostkowej pracy zagęszczania ( $L_c'$ ) od prędkości ( $v$ ) dla trzech średnic ( $d$ ) komory  
**Fig. 4.** Specific compression work ( $L_c'$ ) in relation to piston velocity ( $v$ ) and chamber diameter ( $d$ )

### Badania podatności materiału na zagęszczanie

Współczynnik podatności materiału na zagęszczanie  $k_c$  (tab. 1, rys. 5) dla rozdrobnionej pszenicy zagęszczanej w każdej komorze, podobnie jak prace  $L_c$  i  $L_c'$ , nieznacznie rośnie wraz ze zwiększeniem prędkości tłoka  $v$ .



**Rys. 5.** Zależność współczynnika ( $k_c$ ) od prędkości ( $v$ ) dla trzech średnic ( $d$ ) komory  
**Fig. 5.** Coefficient ( $k_c$ ) in relation to piston velocity ( $v$ ) and chamber diameter ( $d$ )

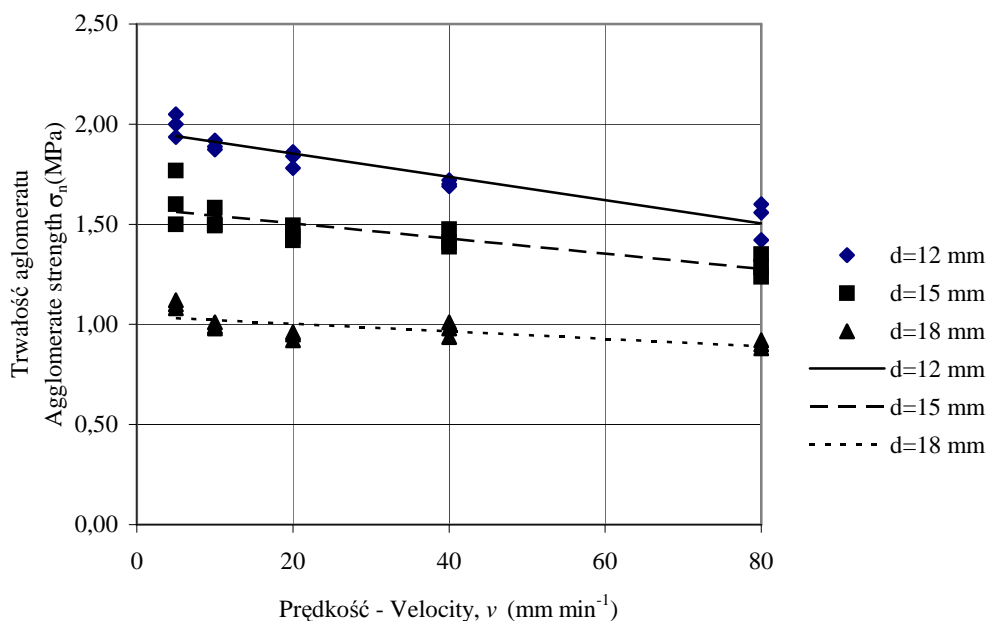
Minimalna wartość wynosi 10,41 (J·g<sup>-2</sup>·cm<sup>3</sup>), a maksymalna 16,19 (J·g<sup>-2</sup>·cm<sup>3</sup>) (tabela 2). Dla próbek zagęszczanych w komorze o średnicy 15 mm wzrasta od 11,25 (J·g<sup>-2</sup>·cm<sup>3</sup>) do 11,93 (J·g<sup>-2</sup>·cm<sup>3</sup>). Największą wartość  $k_c$  uzyskano dla surowca zagęszczanego w matrycy o średnicy 12 mm (prędkość  $v = 80$  mm·min<sup>-1</sup>) i wynosi 16,19 (J·g<sup>-2</sup>·cm<sup>3</sup>). Najmniejszą wartość współczynnika  $k_c$  wynoszącą 10,41 (J·g<sup>-2</sup>·cm<sup>3</sup>) uzyskano dla surowca zagęszczanego w matrycy o średnicy 18 mm (prędkość  $v = 5$  mm·min<sup>-1</sup>). Analiza istotności różnic średnich wartości współczynnika  $k_c$  (tab. 2) wykazała, że występują takie same grupy jednorodne jak dla jednostkowej pracy zagęszczania  $L_c'$ .

### Trwałość aglomeratu

Na podstawie wyników stwierdzono, że trwałość – wytrzymałość aglomeratu  $\sigma_n$  maleje ze zwiększeniem prędkości przemieszczenia tłoka  $v$  (tab. 1, rys. 6). Największą wytrzymałość uzyskują aglomeraty otrzymane przy zagęszczaniu w komorze o średnicy 12 mm (1,995 MPa – prędkość 5 mm·min<sup>-1</sup>) najmniejszą



zaś o średnicy 18 mm (0,901 MPa – prędkość 80 mm·min<sup>-1</sup>). Można stwierdzić, że niezależnie od stosowanej matrycy, wytrzymałość aglomeratu maleje ze zwiększeniem prędkości przemieszczenia tłoka  $v$ .



**Rys. 6.** Zależność trwałości aglomeratu ( $\sigma_n$ ) od prędkości ( $v$ ) dla trzech średnic ( $d$ ) komory  
**Fig. 6.** Agglomerate strength ( $\sigma_n$ ) in relation to piston velocity ( $v$ ) and chamber diameter ( $d$ )

## WNIOSKI

1. Zwiększenie prędkości przemieszczenia tłoka  $v$  powoduje zmniejszenie gęstości  $\rho_c, \rho_b$  wzrost pracy zagęszczania  $L_c$ , jednostkowej pracy zagęszczania  $L_c'$  i współczynnika  $k_c$  oraz zmniejszenie trwałości aglomeratu  $\sigma_n$ . Zmiany te są niewielkie dla zagęszczania rozdrobnionej pszenicy w matrycy o określonej średnicy komory.

2. Analiza istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami parametrów (uzyskanych dla poszczególnych prędkości przemieszczenia tłoka i średnic komory) wskazała, że można wyodrębnić zakresy prędkości  $v$  dla których parametry zagęszczania nie różnią się istotnie. W przypadku zagęszczania rozdrobnionej pszenicy obserwuje się to przy prędkości przemieszczenia tłoka w zakresie 5-20 mm·min<sup>-1</sup> oraz 40-80 mm·min<sup>-1</sup>.

3. Badania nad określeniem wpływu warunków pomiaru na zagęszczanie materiałów paszowych w komorze zamkniętej mogą być wskazówką do ustalenia parametrów prowadzenia analizy tego procesu.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Aydin I., Briscoe B. J., Ozkan N.:** Modelling of Powder Compaction: A Review. *MRS Bulletin*, 22 (12), 45-51, 1997.
2. **Georget D.M.R., Parker R., Smith A.C.:** A study of the effects of water content on the compaction behaviour of breakfast cereal flakes. *Powder Technology*, 81, 189-195, 1994.
3. **Laskowski J., Skonecki S.:** Badania procesów aglomerowania surowców paszowych-aspekt metodyczny. *Inżynieria Rolnicza*, 2, 187-193, 2001.
4. **Laskowski J., Skonecki S.:** Wpływ masy materiału i średnicy komory na parametry zagęszczania ziarna pszenicy. *Inżynieria Rolnicza*, 5 (60), 195-204, 2004.
5. **Laskowski J., Skonecki S.:** Wpływ parametrów komory i masy materiału na zagęszczanie nasion łubinu. *Inżynieria Rolnicza*, 7 (67), 101-108, 2005.
6. **O'Dogherty M. J.:** A review of the mechanical behaviour of straw when compressed to high densities. *J. Agric. Engng Res.*, 44, 241-265, 1989.
7. **Rouéche E., Serris E., Thomas G., Périer-Camby L.:** Influence of temperature on the compaction of an organic powder and the mechanical strength of tablets. *Powder Technology*, 162, 138-144, 2006.

#### INFLUENCE OF LOADING VELOCITY ON THE PARAMETERS OF THE CONFINED COMPRESSION PROCESS OF WHEAT

*Stanisław Skonecki, Janusz Laskowski*

Department of Machine Operation in Food Industry, Agricultural University  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: stanislaw.skonecki@ar.lublin.pl

**Abstract.** The paper presents results of studies on the influence of loading velocity on the parameters of the confined compression process of wheat. Material moisture was established at 14%. The experiments were done with the help of a universal Zwick Z020/TN25 test machine. The material was compressed in a closed compression assembly (die). The maximum load was established at 25 kN, and the piston velocity at 5, 10, 20, 40, and 80 mm min<sup>-1</sup>. The following parameters were analysed – material density in the die, compression and specific compression works, coefficient describing the compressive ability of the material, and strength of agglomerates. The results showed the compression parameters of ground wheat to be dependent on the loading velocity, but significantly only in some its ranges.

**Keywords:** compression parameters, wheat, piston velocity