

Janusz Laskowski, Stanisław Skonecki
Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego
Akademia Rolnicza w Lublinie

WPLYW PARAMETRÓW KOMORY I MASY MATERIAŁU NA ZAGĘSZCZANIE NASION ŁUBINU

Streszczenie

Praca dotyczy określenia wpływu zmiennych warunków zagęszczania surowców biologicznych na parametry procesu. Określono zależności pomiędzy gęstością materiału w komorze i aglomeratu, nakładami pracy na zagęszczanie, współczynnikiem podatności materiału do zagęszczania oraz twardością aglomeratu a masą nasion łubinu dla trzech średnic komory (12, 15 i 18 mm). Stwierdzono, że parametry zagęszczania nasion łubinu w różnym stopniu zależą od masy materiału i średnicy komory matrycy, oraz że charakter zmian zbliżony jest do zależności ustalonych dla zagęszczania ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004].

Słowa kluczowe: aglomerowanie, nasiona łubinu, parametry zagęszczania materiału

Wykaz oznaczeń

- F_n – siła niszcząca aglomerat, N
 k_c – współczynnik określający wartość jednostkowej całkowitej pracy zagęszczania odniesionej do przyrostu gęstości $\{k_c=(L_c')/(\rho_c-\rho_n)\}$, (J/g)/(g/cm³)
 l – długość aglomeratu, cm
 L_c – całkowita praca zagęszczania (określona do maksymalnej siły zagęszczania - punkt C krzywej), J
 L_c' – jednostkowa całkowita praca zagęszczania ($L_c'=L_c/m$), J·g⁻¹
 m – masa zagęszczanego materiału, g
 R^2 – współczynnik determinacji
 ρ_c – gęstość materiału w komorze zagęszczania (punkt C krzywej zagęszczania), g·cm⁻³
 ρ_k – gęstość aglomeratu bezpośrednio po wyjęciu z komory zagęszczania, g·cm⁻³
 ρ_n – początkowa gęstość materiału w komorze zagęszczania (w stanie zsypanym), g·cm⁻³
 σ_n – twardość aglomeratu, N·cm⁻¹

Wprowadzenie

Przebieg procesu aglomeracji materiałów biologicznych zależy od właściwości fizyko-chemicznych surowców oraz od wielu czynników techniczno-technologicznych. Wcześniejsze badania nad tymi zagadnieniami objęły między innymi określenie wpływu wilgotności materiału, temperatury, zawartości tłuszczu oraz cech mechanicznych ziarna na parametry zagęszczania, jakość aglomeratu i na podatność materiału do aglomerowania ziarna zbóż i nasion roślin strączkowych. Dalsze prace dotyczyły oceny wpływu różnych warunków zagęszczania materiałów biologicznych na parametry procesu. Praca stanowi kontynuację tych badań. W opracowaniu [Laskowski, Skonecki 2004] podano literaturę dotyczącą omawianych zagadnień oraz zaprezentowano badania przeprowadzone dla ziarna pszenicy, a niniejsza publikacja obejmuje badania zagęszczania nasion łubinu.

Cel badań

Celem pracy jest określenie wpływu masy materiału i średnicy komory na parametry zagęszczania rozdrobnionych nasion łubinu.

Metodyka badań

Do badań przyjęto nasiona łubinu odmiany Emir. Materiał badawczy rozdrobniono na rozdrabniaczu bijakowym z sitami o wymiarze otworów 3mm. Średni wymiar cząstek (określony zgodnie z PN-89/R-64798 przy wykorzystaniu sit o otworach kwadratowych o wymiarach oczek: 2,0; 1,6; 1,2; 1,0; 0,8; 0,5; 0,4; 0,315 i 0,256 mm) wynosił 0,90 mm. Badania zagęszczania prowadzono dla surowca o wilgotności $14 \pm 0,1\%$ zgodnie z własną metodyką na maszynie wytrzymałościowej ZWICK typ ZO2O/TN25. Warunki badań były takie same jak w przypadku zagęszczania pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004]. Użyto matrycę zamkniętą o trzech średnicach d komory 12, 15 i 18 mm; masa m zagęszczanych próbek wynosiła dla: $d=12\text{mm}$, masa 2, 3, 4 i 5g; $d=15\text{mm}$, masa 4, 5, 6, 7 i 8g; $d=18\text{mm}$, masa 5, 6, 7, 8, 9 i 10g; parametry: maksymalna siła zagęszczania $F_{\max}=20\text{kN}$, prędkość przemieszczania tłoka $V=10\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$; naciski jednostkowe przy maksymalnej sile zagęszczania wynosiły dla średnicy: $d=12\text{mm}$, $P=177\text{ MPa}$; $d=15\text{mm}$, $P=113\text{MPa}$; $d=18\text{mm}$, $P=79\text{ MPa}$. Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach.

Badanymi parametrami zagęszczania, podobnie jak w pracy [Laskowski, Skonecki 2004], były: maksymalna gęstość materiału w komorze ρ_c , całkowita praca zagęszczania L_c , jednostkowa praca zagęszczania L_c' (praca odniesiona do masy materiału) oraz współczynnik k_c charakteryzujący podatność materiału do zagęszczania. Dla uzyskanego aglomeratu (bezpośrednio po wyjęciu z matrycy) określono gęstość ρ_k .

Aglomeraty poddano testowi wytrzymałości na ściskanie. Aglomerat o długości l ściskano na maszynie Zwick ZO2O/TN25 poprzecznie do osi i wyznaczono maksymalną siłę niszczącą F_n . Twardość σ_n obliczano jako iloraz siły niszczącej F_n i długości aglomeratu l [Laskowski, Skonecki 2004]. Wyniki badań, podobnie jak w pracy [Laskowski, Skonecki 2004], poddano analizie statystycznej, wyznaczając zależności pomiędzy badanymi cechami a masą m materiału dla danej średnicy d komory. Określono istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami parametrów (test Tukeya). Do analiz przyjęto poziom istotności $p=0,05$. Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu programu Statistica.

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań zestawiono w tabeli 1 oraz zobrazowano na rys. 1-3. Natomiast w tabeli 2 przedstawiono porównanie średnich wartości parametrów zagęszczania. W tabeli tej średnie wartości różniące się istotnie między sobą oznaczono w kolumnach innymi literami (grupy jednorodnie oznaczono symbolami a, b, c, d, e, f).

Tabela 1. Równania regresji opisujące zależności gęstości ρ_c , ρ_k , pracy zagęszczania: całkowitej L_c i jednostkowej L_c' , współczynnika k_c i twardości aglomeratu σ_n od masy m próbki łubinu dla trzech średnic d komory

Table 1. Regressive equations describing density dependences ρ_c , ρ_k and densification labour: total - L_c and unit L_c' , k_c coefficient and agglomerate hardness σ_n on the mass m of lupine sample for three diameters d of the chamber

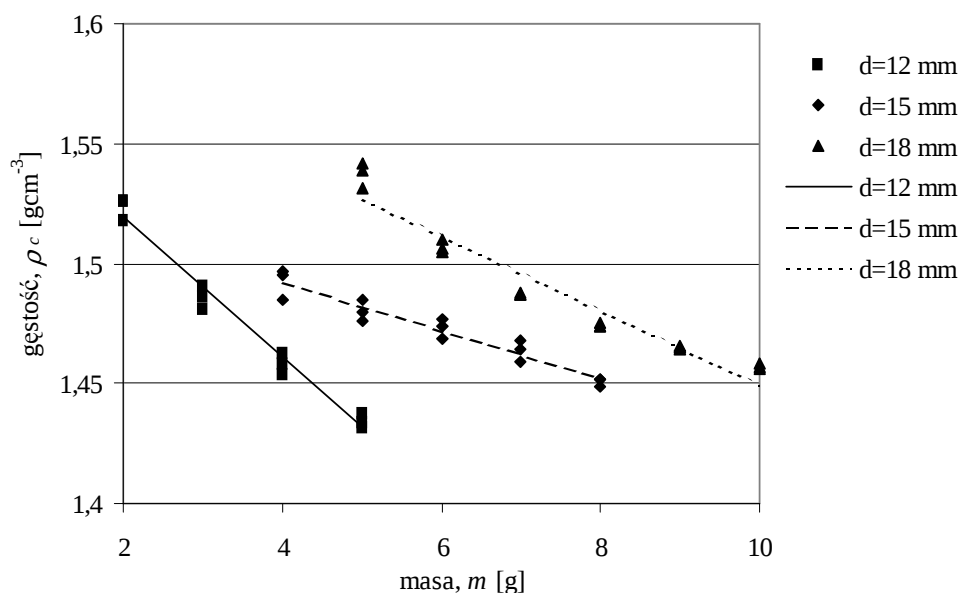
Średnica komory	Równanie regresji	R^2
$d=12$ mm	$\rho_c = -0,0294m + 1,578$	0,978
	$\rho_k = -0,0094m + 1,1459$	0,729
	$L_c = 7,984m + 8,656$	0,998
	$L_c' = -0,8484m + 13,729$	0,932
	$k_c = -0,4703m + 13,421$	0,893
	$\sigma_n = -1,3614m^2 + 10,894m - 13,84$	0,958
$d=15$ mm	$\rho_c = -0,0099m + 1,532$	0,929
	$\rho_k = -0,0138m + 1,2266$	0,923
	$L_c = 6,963m + 4,078$	0,997
	$L_c' = -0,1241m + 8,4286$	0,772
	$k_c = -0,0841m + 9,0021$	0,787
	$\sigma_n = -0,448m^2 + 5,9357m - 12,09$	0,814
$d=18$ mm	$\rho_c = -0,0154m + 1,604$	0,928
	$\rho_k = -0,0072m + 1,2056$	0,744
	$L_c = 5,1166m + 7,0835$	0,992
	$L_c' = -0,1409m + 7,1729$	0,811
	$k_c = -0,1066m + 7,4008$	0,861
	$\sigma_n = -0,327m^2 + 5,8442m - 18,329$	0,944

Z uzyskanych zależności regresyjnych (tabela 1) wynika, że gęstość materiału w komorze ρ_c (rys. 1) i aglomeratu ρ_k maleją liniowo ze zwiększeniem masy próbki łubinu dla każdej średnicy komory. Gęstość ρ_c zawierała się w przedziale od 1,542 g·cm⁻³ (uzyskana dla próbki pszenicy o masie $m=5$ g zagęszczanej w komorze o średnicy $d=18$ mm) do 1,432 g·cm⁻³ ($m=5$ g i średnica $d=12$ mm). Natomiast gęstość ρ_k nieznacznie zmienia się ze zwiększeniem masy próbki łubinu. Podobnie jak w przypadku zagęszczania ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004] zmniejszenie gęstości ze wzrostem masy próbki jest mniejsze dla aglomeratu (mniejszy współczynnik kierunkowy prostej regresji – tabela 1). Średnie wartości gęstości ρ_c (tabela 2) istotnie różnią się dla poszczególnych mas materiału dla każdej średnicy, a dla gęstości ρ_k występują grupy nie różniące się wartością gęstości. Dane te i wyniki uzyskane dla pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004] wskazują na możliwość otrzymywania aglomeratu o tej samej gęstości przy wykorzystaniu matryc o różniących się średnicach i stosowaniu różnych nacisków jednostkowych zagęszczania i mas zagęszczanego materiału.

Tabela 2. Porównanie średnich wartości parametrów zagęszczania dla różnej masy próbki i średnicy komory 12, 15 i 18 mm

Table 2. Comparison of mean values of densification parameters for various sample mass and chamber diameter 12, 15 and 18 mm

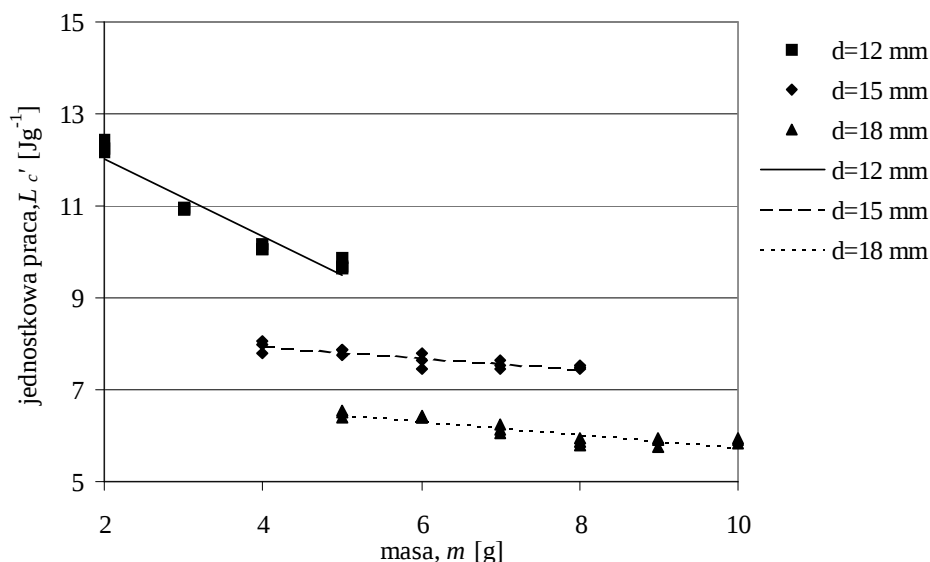
Masa [g]	Parametr					
	ρ_c [g·cm ⁻³]	ρ_k [g·cm ⁻³]	L_c [J]	L_c' [J·g ⁻¹]	k_c [(J/g)/(g/cm ³)]	σ_n [N·cm ⁻¹]
	Średnica komory $d = 12$ mm					
2	1,523 (d)	1,128 (b)	24,55 (a)	12,27 (d)	12,58 (c)	2,56 (a)
3	1,486 (c)	1,115 (ab)	32,82 (b)	10,94 (c)	11,96 (b)	6,42 (b)
4	1,458 (b)	1,111 (ab)	40,39 (c)	10,09 (b)	11,35 (a)	8,12 (c)
5	1,435 (a)	1,098 (a)	48,64 (d)	9,73 (a)	11,22 (a)	6,54 (b)
Średnica komory $d = 15$ mm						
4	1,492 (d)	1,173 (c)	31,79 (a)	7,95 (c)	8,68 (c)	4,69 (a)
5	1,480 (cd)	1,159 (c)	39,18 (b)	7,84 (bc)	8,58 (bc)	5,83 (ab)
6	1,473 (bc)	1,141 (b)	45,74 (c)	7,62 (ab)	8,47 (ab)	7,81 (c)
7	1,464 (b)	1,125 (a)	52,75 (d)	7,54 (a)	8,39 (a)	7,53 (c)
8	1,451 (a)	1,120 (a)	59,82 (e)	7,48 (a)	8,36 (a)	6,65 (bc)
Średnica komory $d = 18$ mm						
5	1,537 (f)	1,172 (b)	32,45 (a)	6,49 (c)	6,85 (c)	3,07 (a)
6	1,507 (e)	1,165 (b)	38,51 (b)	6,42 (c)	6,80 (c)	4,44 (b)
7	1,487 (d)	1,141 (ab)	43,09 (c)	6,16 (b)	6,66 (bc)	6,28 (c)
8	1,474 (c)	1,140 (a)	47,00 (d)	5,88 (a)	6,49 (ab)	7,90 (de)
9	1,465 (b)	1,142 (a)	52,76 (e)	5,86 (a)	6,44 (ab)	8,07 (e)
10	1,457 (a)	1,138 (a)	58,94 (f)	5,89 (a)	6,36 (a)	7,11 (d)



Rys. 1. Zależności gęstości ρ_c od masy m próbki łubinu dla trzech średnic d komory
 Fig. 1. Density dependences ρ_c on the mass m of lupine sample in three chamber diameters d

Wyniki badań dotyczące nakładów pracy (tabela 1 i 2) wskazują, że wraz ze wzrostem masy próbki rośnie L_c i maleje L_c' , co stwierdzono także dla pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004]. Występują jedynie różnice w wartościach tych prac (mniejsze uzyskano dla nasion łubinu). Przykładowo praca zagęszczania nasion łubinu L_c (tabela 2) zawiera się w przedziale od 24,55 J (średnica 12 mm, masa 2 g) do 59,82 J (średnica 15 mm, masa 8 g) a L_c' (tabela 2, rys. 2) od 12,27 J·g $^{-1}$ (średnica 12 mm, masa 2 g) do 5,86 J·g $^{-1}$ (średnica 18 mm, masa 9 g). Analiza istotności różnic średnich wykazała, że zmiany pracy zagęszczania łubinu są podobne do uzyskanych dla pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004], na przykład dla jednostkowej pracy L_c' istotne różnice występują dla zagęszczania w komorze o średnicy 12 mm. Stwierdzono niewielkie zmiany L_c' w zależności od masy nasion łubinu, co potwierdza tendencje zmian uzyskane dla pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004].

Podobnie jak jednostkowa praca zagęszczania nasion łubinu zmienia się współczynnik k_c - maleje ze zwiększeniem masy dla każdej średnicy komory (tabela 1 i 2). Również w przypadku tej badanej cechy uzyskano takie same tendencje zmian jak dla zagęszczania pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004].



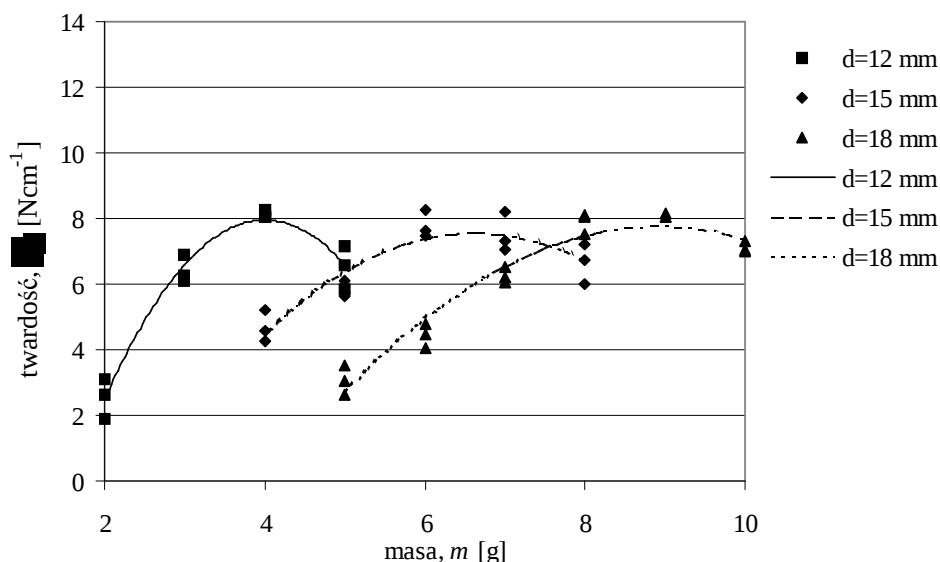
Rys. 2. Zależność jednostkowej całkowitej pracy zagęszczania L_c' od masy m próbki łubinu dla trzech średnic d komory

Fig. 2. Dependence of unit densification labour L_c' on the mass m of lupine sample in three chamber diameters d

Potwierdza to analiza zależności (tabela 1 i 2), która wskazuje, że zmiany k_c są niewielkie dla średnicy komory 15 i 18 mm. Natomiast występują istotne różnice wartości k_c pomiędzy poszczególnymi średnicami komory. Minimalna wartość współczynnika k_c wynosi $6,36 \text{ (J/g)/(g/cm}^3\text{)}$ (średnica 18 mm, masa 10 g), a maksymalna $12,58 \text{ (J/g)/(g/cm}^3\text{)}$ - (średnica 12 mm, masa 2 g).

Badania twardości aglomeratu σ_n (rys. 3) wykazały, że cecha ta podobnie jak dla aglomeratu pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004] rośnie do pewnej wartości ze zwiększeniem masy surowca (zależności opisano wielomianem drugiego stopnia – tabela 1). Zakres zmienności wartości twardości σ_n (tabela 2) zawiera się w przedziale od $8,12 \text{ N}\cdot\text{cm}^{-1}$ (aglomerat zagęszczony w komorze o średnicy 12 mm, masa 4 g) do $2,56 \text{ N}\cdot\text{cm}^{-1}$ (średnica komory 12 mm, masa 2 g). Z tabeli 2 wynika, że nie występują istotne różnice twardości w przypadku zagęszczania większych mas surowca, na przykład 6, 7 i 8 g (średnica komory 15 mm).

Wyniki badań zagęszczania nasion łubinu wskazują, że zmiany parametrów procesu w zależności od średnicy komory i masy materiału są podobne do uzyskanych dla ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004].



Rys. 3. Zależność twardości aglomeratu σ_n od masy m próbki łubinu dla trzech średnic d komory

Fig. 3. Dependence of agglomerate mass σ_n on the mass m of lupine sample in three chamber diameters d

Wnioski

1. Wyniki badań wykazały, że proces zagęszczania nasion łubinu zależy istotnie od masy surowca i średnicy komory matrycy.
2. Parametry zagęszczania uzyskane dla rozdrobnionych nasion łubinu wskazują, że charakter zmian zbliżony jest do zależności ustalonych dla zagęszczania ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004], tj. zwiększenie masy materiału wywołuje: zmniejszenie gęstości materiału w komorze ρ_c oraz gęstości aglomeratu ρ_k dla poszczególnych średnic matrycy, wzrost całkowitej L_c oraz zmniejszenie jednostkowej L_c' pracy zagęszczania, nieznaczne zmniejszenie współczynnika zdolności materiału do aglomerowania k_c i wzrost (do pewnej wartości) twardości aglomeratu σ_n .
3. Ocena statystyczna wykazała, że występują istotne różnice pomiędzy analizowanymi parametrami procesu dla różnych wartości mas materiału i średnicy komory, oraz że istnieją grupy jednorodne średnich wartości parametrów zagęszczania.

4. Stwierdzone zróżnicowanie parametrów procesu zagęszczania nasion łubinu oraz ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004] wskazuje na celowość ustalenia warunków badań zagęszczania materiałów roślinnych w komorze zamkniętej.

Bibliografia

Laskowski J., Skonecki S. 2004. Wpływ masy materiału i średnicy komory na parametry zagęszczania ziarna pszenicy. *Inżynieria Rolnicza*, 5 (60): 195-204.

EFFECT OF CHAMBER PARAMETERS AND MATERIAL WEIGHT ON DENSIFICATION OF LUPINE SEEDS

Summary

The paper is aimed at determining the effect of variable conditions of densification of biological materials on process parameters. The dependences have been established, between material density in the chamber and agglomerate, labour demand for densification, material compatibility coefficient and the agglomerate hardness and the mass of lupine seeds, in three diameters of the chamber (12, 15 and 18 mm). It has been found that the densification parameters of lupine seeds depend on the material mass and chamber diameter, and that the nature of such changes is close to the dependences established for densification of wheat grain [Laskowski, Skonecki 2004].

Key words: agglomeration, lupine seeds, material densification parameters