

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

## WPLYW WIELKOŚCI KOMORY I MASY MATERIAŁU NA ZAGĘSZCZANIE NASION BOBIKU

### Streszczenie

Praca jest kontynuacją badań nad określeniem wpływu parametrów komory i masy materiału na zagęszczanie surowców biologicznych. Zawarto w niej wyniki badań dotyczące wpływu warunków zagęszczania nasion bobiku na parametry procesu. Określono zależności pomiędzy gęstością materiału w komorze i aglomeratu, nakładami pracy na zagęszczanie, współczynnikiem podatności materiału na zagęszczanie oraz twardością aglomeratu a masą bobiku dla trzech średnic komory (12, 15 i 18 mm). Stwierdzono, że parametry zagęszczania w różnym stopniu zależą od masy nasion bobiku i średnicy komory matrycy, oraz że charakter zmian zbliżony jest do zależności uzyskanych dla zagęszczania ziarna pszenicy, nasion łubinu i poekstrakcyjnej śruty rzepakowej.

**Słowa kluczowe:** aglomerowanie, nasiona bobiku, 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/cm<sup>3</sup>)
- $l$  – 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]
- $m$  – masa zagęszczanego materiału, [g]
- $R^2$  – współczynnik determinacji
- $\rho_c$  – gęstość materiału w komorze zagęszczania (punkt C krzywej zagęszczania), [g/cm]
- $\rho_k$  – gęstość aglomeratu bezpośrednio po wyjęciu z komory zagęszczania, [g/cm]
- $\rho_n$  – początkowa gęstość materiału w komorze zagęszczania (w stanie zsypanym), [g/cm]
- $\sigma_n$  – twardość aglomeratu, [N/cm]

## Wprowadzenie

Parametry ciśnieniowego aglomerowania biologicznych surowców paszowych (ziarna zbóż, nasion roślin strączkowych i innych), jak również podatność materiału na zagęszczanie i jakość aglomeratu zależą istotnie od wilgotności i temperatury materiału, zawartości tłuszczu czy też cech mechanicznych ziarna. Dane literaturowe dotyczące badań nad tymi zagadnieniami przedstawiono w publikacjach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005b]. Uzyskiwane wartości parametrów ciśnieniowego aglomerowania zależne są również od warunków zagęszczania materiałów biologicznych. W opracowaniach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005a, b] zaprezentowano badania przeprowadzone dla ziarna pszenicy, nasion łubinu i poekstrakcyjnej śruty rzepakowej, a niniejsza publikacja stanowi kontynuację tych badań przy wykorzystaniu nasion bobiku.

## Cel badań

Celem pracy, podobnie jak w publikacjach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005a, b], jest określenie wpływu średnicy komory i masy materiału na parametry zagęszczania surowców biologicznych (w prezentowanej pracy – nasion bobiku).

## Metodyka badań

Do badań przyjęto nasiona bobiku (odmiana Nadwiślańska). Surowiec rozdrobniono na rozdrabniaczu bijakowym z sitami o wymiarze otworów 3mm. Średni wymiar cząstek rozdrobnionego materiału (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 0,78 mm. Zagęszczanie przeprowadzono dla materiału o wilgotności  $14 \pm 0,2$  %. Do badań zagęszczania wykorzystano maszynę wytrzymałościową ZWICK typ ZO20/TN25 z komputerową rejestracją parametrów procesu ściskania oraz zespół prasujący z matrycą zamkniętą o trzech średnicach komory: 12mm, 15mm i 18mm. Szczegółowa metodyka badań została opisana w publikacjach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005a]. Warunki badań były podobne jak dla zagęszczania pszenicy, nasion łubinu i poekstrakcyjnej śruty rzepakowej. Masa  $m$  zagęszczanych próbek wynosiła dla:  $d=12$ mm, 2, 3, 4, 5g;  $d=15$ mm, 4, 5, 6, 7, 8g;  $d=18$ mm, masa 5, 6, 7, 8, 9, 10g. Zastosowane parametry: maksymalna siła zagęszczania  $F_{max}=20$ kN, prędkość przemieszczania tłoka  $V=10$ mm·min<sup>-1</sup>. Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach. Analizie poddano następujące parametry: maksymalna gęstość materiału w komorze  $\rho_c$ , całkowita praca zagęszczania  $L_c$ , jednostkowa praca zagęszczania  $L_c'$  oraz współczynnik  $k_c$  charakteryzujący podatność materiału na zagęszczanie. Dla uzyskanego aglomeratu określono gęstość  $\rho_k$  oraz twardość  $\sigma_n$ . Twardość aglomeratu  $\sigma_n$  wyznaczono metodą opisaną w publikacjach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005a].

Podobnie jak w pracach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005 a, b] dokonano analizy statystycznej wyników badań. Wyznaczono, przy wykorzystaniu programu Statistica firmy StatSoft Inc., zależności pomiędzy badanymi cechami a masą  $m$  materiału dla danej średnicy  $d$  komory. Określono również istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami parametrów (test Tukeya). Do analiz przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,05$ .

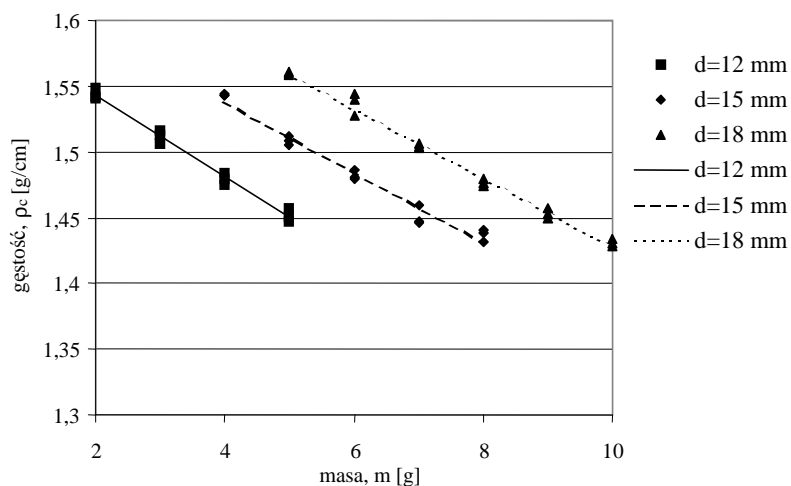
### Wyniki badań i ich analiza

Równania regresji opisujące parametry zagęszczania od masy próbki nasion bobiku dla trzech średnic komory przedstawiono w tabeli 1. Wybrane zależności zobrazowano na rysunkach 1-3. Porównanie średnich wartości parametrów zagęszczania zestawiono w tabeli 2. Średnie wartości różniące się istotnie między sobą oznaczono w kolumnach innymi literami (grupy jednorodne oznaczono symbolami a, b, c, d, e, f).

Tabela 1. Równania regresji opisujące zależności gęstości  $\rho_c$ ,  $\rho_k$ , pracy zagęszczania: całkowitej  $L_c$  i jednostkowej  $L_c'$ , współczynnika  $k_c$  i twardości aglomeratu  $\sigma_n$  od masy  $m$  próbki bobiku dla trzech średnic  $d$  komory

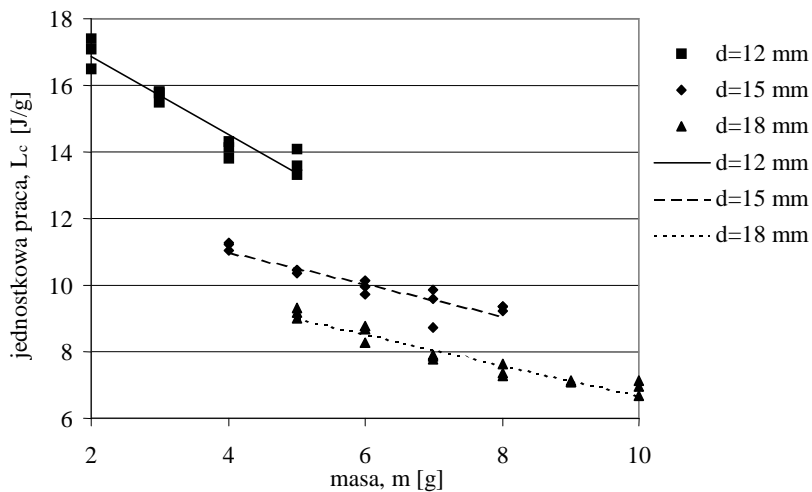
Table 1. Regression equation describing dependence of density  $\rho_c$ ,  $\rho_k$ , densification work: total  $L_c$  and unitary  $L_c'$ , coefficient  $k_c$  and agglomerate hardness  $\sigma_n$  on the mass  $m$  of the field bean sample for three chamber diameters  $d$

Średnica komory	Równanie regresji	$R^2$
$d=12$ mm	$\rho_c = -0,031 m + 1,605$	0,986
	$\rho_k = -0,011 m + 1,358$	0,928
	$L_c = 11,224 m + 12,163$	0,991
	$L_c' = -1,161 m + 19,178$	0,918
	$k_c = -0,469 m + 19,411$	0,821
	$\sigma_n = -3,626 m^2 + 35,187 m - 12,64$	0,962
$d=15$ mm	$\rho_c = -0,027 m + 1,646$	0,974
	$\rho_k = -0,018 m + 1,4001$	0,957
	$L_c = 7,336 m + 15,360$	0,975
	$L_c' = -0,475 m + 12,902$	0,846
	$k_c = -0,257 m + 15,080$	0,862
	$\sigma_n = -1,687 m^2 + 24,582 m - 13,01$	0,861
$d=18$ mm	$\rho_c = -0,026 m + 1,692$	0,989
	$\rho_k = -0,020 m + 1,421$	0,984
	$L_c = 4,538 m + 23,418$	0,979
	$L_c' = -0,459 m + 11,281$	0,927
	$k_c = -0,302 m + 12,571$	0,824
	$\sigma_n = -1,820 m^2 + 26,688 m - 31,467$	0,801



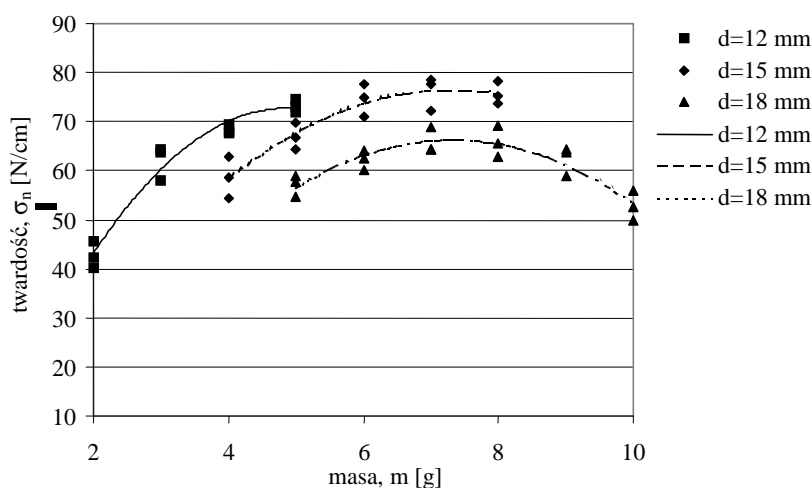
Rys. 1. Zależności gęstości  $\rho_c$  od masy  $m$  próbki bobiku dla trzech średnic  $d$  komory

Fig. 1. Dependence of density  $\rho_c$  from the field bean sample mass for three chamber diameters  $d$



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

Fig. 2. Dependence of the total unitary densification work  $L_c'$  from the field bean sample mass for three chamber diameters  $d$



Rys. 3. Zależność twardości aglomeratu  $\sigma_n$  od masy  $m$  próbki bobiku dla trzech średnic  $d$  komory

Fig. 3. Dependence of the agglomerate hardness  $\sigma_n$  from the field bean sample mass for three chamber diameters  $d$

Jak wynika z tabeli 1 i rysunku 1 uzyskane liniowe równania regresji dobrze opisują zależność maksymalnej gęstości materiału w komorze ( $\rho_c$ ) od masy zagęszczanego materiału. Dla gęstości aglomeratów  $\rho_k$  występuje większy rozrzut wyników. Średnia gęstość  $\rho_c$  zawiera się w przedziale od 1,560 g/cm do 1,431 g/cm (tabela 2). Największą wartość gęstości uzyskano dla średnicy komory 18 mm przy masie 5 g, najmniejszą dla tej samej średnicy i masy próbki 10 g. Wartość gęstości aglomeratu  $\rho_k$  dla średnicy 12 mm zawiera się w przedziale od 1,336 g/cm do 1,303 g/cm i nieznacznie zmienia się ze zwiększeniem masy próbki rozdrobnionych nasion bobiku. Stwierdzono, że  $\rho_c$  (rys. 1) i  $\rho_k$  maleją ze zwiększeniem masy surowca, przy czym zmniejszenie gęstości ze wzrostem masy próbki jest mniejsze dla aglomeratu (mniejszy współczynnik kierunkowy prostej regresji – tabela 1). Średnia gęstość  $\rho_c$  (tabela 2) dla poszczególnych średnic komory istotnie różni się dla każdej masy materiału. W przypadku gęstości  $\rho_k$  występują grupy jednorodne. Wyniki te wskazują na możliwość uzyskania aglomeratu o tej samej gęstości przy wykorzystaniu różnych matryc i stosowaniu różnych nacisków jednostkowych zagęszczania oraz mas zagęszczanego materiału. Wyniki potwierdzają tendencje zmian gęstości  $\rho_c$  i  $\rho_k$  wraz ze zmianą masy próbki i średnicy komory uzyskane dla zagęszczania ziarna pszenicy, nasion łubinu i poekstrakcyjnej śruty rzepakowej [Laskowski, Skonecki 2004, 2005a, b].

Tabela 2. Porównanie średnich wartości parametrów zagęszczania w zależności od masy próbki bobiku dla średnic komory 12, 15 i 18 mm

Table 2. Comparison of the average values of densification parameters in relation to the mass of field bean sample for the chamber diameters of 12, 15 and 18 mm

Masa [g]	Parametr					
	$\rho_c$ [g/cm]	$\rho_k$ [g/cm]	$L_c$ [J]	$L_c'$ [J/g]	$k_c$ [(J/g)/(g/cm <sup>3</sup> )]	$\sigma_n$ [N/cm]
	Średnica komory 12 mm					
2	1,544 (d)	1,336 (c)	34,00 (a)	17,00 (c)	18,58 (c)	42,66 (a)
3	1,512 (c)	1,323 (b)	47,09 (b)	15,70 (b)	17,85 (b)	61,99 (b)
4	1,480 (b)	1,312 (a)	56,38 (c)	14,10 (a)	17,51 (a,b)	68,37 (c)
5	1,452 (a)	1,303 (a)	68,32 (d)	13,66 (a)	17,13 (a)	75,21 (c)
	Średnica komory 15 mm					
4	1,543 (e)	1,327 (d)	44,72 (a)	11,18 (c)	14,12 (c)	58,59 (a)
5	1,508 (d)	1,313 (c)	52,17 (b)	10,43 (b,c)	13,70 (b,c)	66,95 (a,b)
6	1,482 (c)	1,300 (b)	59,60 (c)	9,93 (a,b)	13,51 (b)	74,47 (b,c)
7	1,451 (b)	1,272 (a)	65,86 (d)	9,41 (a)	13,34 (a,b)	76,19 (c)
8	1,437 (a)	1,259 (a)	74,55 (e)	9,32 (a)	13,02 (a)	75,65 (b,c)
	Średnica komory 18 mm					
5	1,560 (f)	1,321 (f)	45,86 (a)	9,17 (e)	11,24 (c)	57,10 (a,b)
6	1,537 (e)	1,293 (e)	51,41 (b)	8,57 (d)	10,72 (b,c)	62,21 (b,c)
7	1,504 (d)	1,284 (d)	54,89 (b)	7,84 (c)	10,29 (a,b)	65,77 (c)
8	1,476 (c)	1,255 (c)	59,34 (c)	7,42 (b,c)	9,99 (a)	65,86 (c)
9	1,453 (b)	1,237 (b)	64,08 (d)	7,12 (a,b)	9,92 (a)	62,31 (b,c)
10	1,431 (a)	1,218 (a)	69,13 (e)	6,91 (a)	9,66 (a)	52,72 (a)

Zależności regresyjne pomiędzy pracą całkowitą  $L_c$  i jednostkową  $L_c'$  a masą surowca zawartow tabeli 1. Całkowita praca zagęszczania  $L_c$  (tabela 2) zawiera się w przedziale od 34 J przy średnicy 12 mm ( $m=2$  g) do 74,55 J dla średnicy 15 mm ( $m=8$  g). Praca ta rośnie wraz ze zwiększeniem masy próbki. Wartość średniej jednostkowej całkowitej pracy zagęszczania (tabela 2) dla badanego surowca zawiera się w przedziale od 6,91 J/g do 17 J/g. Ze wzrostem masy maleją nakłady pracy  $L_c'$  (rys. 2). Minimalną wartość 6,91 J/g uzyskano dla próbki o masie 10 g zagęszczanej w matrycy o średnicy komory 18 mm, maksymalną natomiast 17 J/g (matryca o średnicy 12 mm, masa 2 g). Zmiany prac zagęszczania nasion bobiku (równania regresji - tabela 1 i istotność różnic średnich wartości - tabela 2) wskazują, że są one podobne do uzyskanych dla ziarna pszenicy, nasion łubinu i poekstrakcyjnej śrutu rzepakowej [Laskowski, Skonecki 2004, 2005a, b].

Z równań regresji opisujących zależność współczynnika  $k_c$  od masy próbki nasion bobiku (tabela 1) wynika, że współczynnik  $k_c$  dla rozdrobnionych nasion bobiku maleje wraz ze zwiększeniem masy dla każdej średnicy komory. Minimalna wartość dla  $d=12$  mm wynosi  $17,13 \text{ (J/g)/(g/cm}^3\text{)}$  a maksymalna  $18,58 \text{ (J/g)/(g/cm}^3\text{)}$ , natomiast dla  $d=15$  mm maleje od  $14,12 \text{ (J/g)/(g/cm}^3\text{)}$  do  $13,02 \text{ (J/g)/(g/cm}^3\text{)}$ . Największą wartość  $k_c$  uzyskano dla surowca zagęszczanego w matrycy o średnicy 12 mm i wynosi ona  $18,58 \text{ (J/g)/(g/cm}^3\text{)}$ , a najmniejszą wynoszącą  $9,66 \text{ (J/g)/(g/cm}^3\text{)}$  uzyskano dla surowca zagęszczanego w matrycy o średnicy 18 mm (tabela 2). Otrzymane wyniki współczynnika  $k_c$  (tabela 1 i 2) potwierdzają tendencje zmian jak dla zagęszczania pszenicy, nasion łubinu i poekstrakcyjnej śruty rzepakowej [Laskowski, Skonecki 2004, 2005a, b].

Wyniki badań twardości aglomeratu  $\sigma_n$  wykazały, że cecha ta rośnie ze zwiększeniem masy surowca (rys. 3). Największą twardość uzyskują aglomeraty bobiku otrzymane przy zagęszczaniu w komorze o średnicy 15 mm ( $76,19 \text{ N}\cdot\text{cm}^{-1}$  – masa 7g), najmniejszą zaś w komorze o średnicy 12 mm ( $42,66 \text{ N}\cdot\text{cm}^{-1}$  – masa 2g). Ogólnie można powiedzieć, że twardość aglomeratu rośnie do pewnej wartości ze zwiększeniem masy próbki surowca (tabela 2).

Wyniki badań zagęszczania nasion bobiku potwierdzają zmiany parametrów procesu od średnicy komory i masy materiału uzyskane dla ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004], nasion łubinu [Laskowski, Skonecki 2005a] i poekstrakcyjnej śruty rzepakowej [Laskowski, Skonecki 2005b].

## Wnioski

1. Na przebieg procesu zagęszczania rozdrobnionych nasion bobiku wpływa istotnie masa surowca oraz średnica komory matrycy.
2. Zwiększenie masy materiału wywołuje: zmniejszenie gęstości aglomeratu dla poszczególnych średnic matrycy, wzrost całkowitej oraz zmniejszenie jednostkowej pracy zagęszczania, zmniejszenie współczynnika zdolności materiału do aglomerowania  $k_c$  i wzrost twardości aglomeratu  $\sigma_n$ . Dokonane analizy wskazały, że charakter zmian parametrów zagęszczania nasion bobiku od masy surowca i średnicy komory zbliżony jest do zmian uzyskanych dla zagęszczania ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004], nasion łubinu [Laskowski, Skonecki 2005a] i poekstrakcyjnej śruty rzepakowej [Laskowski, Skonecki 2005b].
3. Dalsze badania nad określeniem wpływu warunków pomiaru na zagęszczanie materiałów biologicznych powinny dotyczyć ustalenia parametrów prowadzenia badań zagęszczania surowców paszowych w komorze zamkniętej.

*Janusz Laskowski, Stanisław Skonecki*

## **Bibliografia**

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

Laskowski J., Skonecki S. 2005 a. Wpływ parametrów komory i masy materiału na zagęszczanie nasion łubinu. *Inżynieria Rolnicza*, (w druku).

Laskowski J., Skonecki S. 2005 b. Wpływ średnicy komory i masy próbki na zagęszczanie poekstrakcyjnej śruty rzepakowej. *Inżynieria Rolnicza*, (w druku).

## **IMPACT OF CHAMBER SIZE AND MASS OF MATERIAL ON FIELD BEAN (*VICIA FABA SSP. MINOR*) GRAINS DENSIFICATION**

### **Summary**

The study is the continuation of research on defining the impact of the chamber parameters and mass of material on densification of biological raw materials. Included are results of research on the impact of field bean seed densification conditions on process parameters. The study has defined the relation between the material density in the chamber and the agglomerate, manpower expense on densification, coefficient of susceptibility of the material to densification and the agglomerate hardness, and the field bean mass for three diameters of the chamber (12, 15 and 18 mm). It has been established that the densification parameters depend in varying degree on the bean seeds and the matrix chamber diameter, and that the character of the changes is similar to the relationship found for densification of wheat grains, lupine seeds and extracted rape meal.

**Key words:** agglomeration, field bean seeds, material densification parameters