

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

## WPLYW ŚREDNICY KOMORY I MASY PRÓBKII NA ZAGĘSZCZANIE POEKSTRAKCYJNEJ ŚRUTY RZEPAKOWEJ

### Streszczenie

W pracy zawarto wyniki badań nad określeniem wpływu średnicy komory i masy próbki na zagęszczanie poekstrakcyjnej śruty rzepakowej. Wyznaczono zależności pomiędzy gęstością materiału w komorze i aglomeratu, nakładami pracy na zagęszczanie, współczynnikiem podatności materiału na zagęszczanie oraz twardością aglomeratu a masą badanego surowca dla trzech średnic komory (12, 15 i 18 mm). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że parametry granulatu poekstrakcyjnej śruty rzepakowej istotnie zależą od masy próbki i średnicy komory matrycy, oraz że zależności te podobne są do zmian ustalonych dla zagęszczania ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004] i nasion łubinu [Laskowski, Skonecki 2005].

**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/cm<sup>3</sup>)  
 $l$  – długość aglomeratu, cm  
 $L_c$  – całkowita praca zagęszczania jednej próbki (określona do maksymalnej siły zagęszczania - punkt C krzywej), J  
 $L_c'$  – jednostkowa całkowita praca zagęszczania ( $L_c'=L_c/m$ ), J·g<sup>-1</sup>  
 $m$  – masa próbki zagęszczanego materiału, g  
 $R^2$  – współczynnik determinacji  
 $\rho_c$  – gęstość materiału w komorze zagęszczania (punkt C krzywej zagęszczania), g·cm<sup>-3</sup>

- $\rho_k$  – gęstość aglomeratu bezpośrednio po wyjęciu z komory zagęszczania,  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$   
 $\rho_n$  – początkowa gęstość materiału w komorze zagęszczania (w stanie zsypanym),  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$   
 $\sigma_n$  – twardość aglomeratu,  $\text{N}\cdot\text{cm}^{-1}$

## Wprowadzenie

Analiza zagęszczania biologicznych surowców ziarnistych (ziarna zbóż, nasion roślin strączkowych) wskazała, że parametry procesu aglomerowania, jak również podatność materiału na zagęszczanie i jakość aglomeratu zależą istotnie od wilgotności i temperatury materiału, zawartości tłuszczu oraz cech mechanicznych ziarna. Dane bibliograficzne dotyczące tych badań zawarto w publikacji [Laskowski, Skonecki 2004], a ocenę wpływu zawartości tłuszczu na parametry zagęszczania przedstawiono w pracy [Laskowski i inni 2003]. Dalsze analizy objęły określenie wpływu zmiennych warunków zagęszczania biologicznych materiałów na parametry granulatu [Laskowski, Skonecki 2004, 2005]. Niniejsze opracowanie jest kontynuacją tych badań i dotyczy badań przy wykorzystaniu poekstrakcyjnej śruty rzepakowej.

## Cel badań

Celem pracy, podobnie jak w publikacjach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005], jest określenie wpływu masy próbki materiału i średnicy komory na parametry zagęszczania surowców biologicznych (w prezentowanej pracy - poekstrakcyjnej śruty rzepakowej).

## Metodyka badań

W badaniach wykorzystano poekstrakcyjną śrutę rzepakową, surowiec stosowany w mieszankach paszowych. 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 0,86 mm. Zagęszczaniu poddano materiał o wilgotności  $14\pm 0,1\%$ . Badania analizowanego procesu prowadzono zgodnie z własną metodyką na maszynie wytrzymałościowej ZWICK typ ZO20/TN25. Szczegółowa metodyka badań została opisana w publikacjach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005]. Warunki badań były takie same jak w przypadku zagęszczania pszenicy oraz nasion łubinu i zostały przedstawione w wyżej wymienionych publikacjach. W badaniach wykorzystano 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 4,5g;  $d=15\text{mm}$ , masa 4, 5, 6, 7 i 7,5g;  $d=18\text{mm}$ , masa 5, 6, 7, 8, 9 i 10g; parametry: maksymalna siła zagęszczania  $F_{max}=20\text{kN}$ , prędkość przemieszczania tłoka  $V=10\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach.

Podobnie jak w pracach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005] analizie poddano następujące parametry zagęszczania: maksymalna gęstość materiału w komorze  $\rho_c$ , całkowita praca zagęszczania próbki  $L_c$ , jednostkowa praca zagęszczania  $L_c'$  oraz współczynnik  $k_c$  charakteryzujący podatność materiału do zagęszczania. Dla uzyskanego aglomeratu określono gęstość  $\rho_k$  oraz twardość  $\sigma_n$ . Twardość aglomeratu wyznaczono metodą rozpowszechnioną we Francji, a metodę tą opisano w publikacjach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005].

Dokonano analizy statystycznej wyników badań. Podobnie jak w pracach [Laskowski, Skonecki 2004, 2005] wyznaczono, przy wykorzystaniu programu Statistica firmy StatSoft Inc., zależności pomiędzy parametrami zagęszczania a masą próbki materiału  $m$  dla danej średnicy  $d$  komory oraz określono istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami parametrów (test Tukeya). Do analiz przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,05$ .

### Wyniki badań i ich analiza

W tabeli 1 zawarto równania regresji opisujące badane parametry od masy próbki poekstrakcyjnej śruty rzepakowej dla trzech średnic komory, a na rys. 1-3 zobrazowano wybrane zależności. W tabeli 2 zestawiono porównanie średnich wartości parametrów zagęszczania. Średnie wartości różniące się istotnie między sobą oznaczono w kolumnach innymi literami (grupy jednorodne oznaczono symbolami a, b, c, d, e, f).

Z tabeli 1 wynika, że gęstość materiału w komorze  $\rho_c$  (rys. 1) i aglomeratu  $\rho_k$  maleją ze zwiększeniem masy próbki poekstrakcyjnej śruty rzepakowej dla każdej średnicy komory. Średnia wartość gęstości w czasie zagęszczania  $\rho_c$  zawiera się w przedziale od  $1,569\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  do  $1,452\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (tabela 2). Największą wartość gęstości uzyskano dla średnicy 12 mm przy masie 2 g, najmniejszą dla średnicy 18 mm i masie próbki 10 g. Wartość gęstości aglomeratu  $\rho_k$  dla średnicy 12mm zawiera się w przedziale od  $1,205\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  do  $1,214\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  i nieznacznie zmienia się ze zwiększeniem masy próbki poekstrakcyjnej śruty rzepakowej. Zmniejszenie gęstości ze wzrostem masy próbki jest mniejsze dla aglomeratu (mniejszy współczynnik kierunkowy prostej regresji – tabela 1). Średnie wartości gęstości  $\rho_c$  (tabela 2) istotnie różnią się dla poszczególnych mas materiału dla każdej średnicy, a dla gęstości  $\rho_k$  występują grupy nie różniące się wartością gęstości. Powyższe dane

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. Uzyskane wyniki wpływu warunków zagęszczania na badane gęstości poekstrakcyjnej śrutę rzepakowej potwierdzają tendencje zmian tych gęstości w zależności od masy próbki i średnicy komory w przypadku zagęszczania ziarna pszenicy i nasion łubinu [Laskowski, Skonecki 2004, 2005].

*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 poekstrakcyjnej śrutę rzepakowej dla trzech średnic  $d$  komory*

*Table 1. Regression equations describing the dependence  $\rho_c$ ,  $\rho_k$ , of densification work: total  $L_c$  and unit  $L_c'$ , coefficient  $k_c$  and agglomerate hardness  $\sigma_n$  on the weight  $m$  of extracted rape meal sample for three chamber diameters  $d$*

Średnica komory	Równanie regresji	$R^2$
$d=12$ mm	$\rho_c = -0,0407m + 1,643$	0,958
	$\rho_k = -0,0037 m + 1,221$	0,630
	$L_c = 11,087m + 6,503$	0,997
	$L_c' = -0,699m + 15,563$	0,922
	$k_c = -0,279m + 14,653$	0,653
	$\sigma_n = -0,573 m^2 + 5,074 m + 0,979$	0,842
$d=15$ mm	$\rho_c = 0,0172m + 1,583$	0,972
	$\rho_k = -0,0044 m + 1,205$	0,734
	$L_c = 8,760m + 5,692$	0,993
	$L_c' = -0,187m + 10,882$	0,671
	$k_c = -0,118m + 11,121$	0,705
	$\sigma_n = -1,095 m^2 + 13,924 m - 32,429$	0,872
$d=18$ mm	$\rho_c = -0,0407m + 1,643$	0,955
	$\rho_k = -0,0077 m + 1,245$	0,897
	$L_c = 5,991m + 11,828$	0,983
	$L_c' = -0,232m + 9,401$	0,758
	$k_c = -0,128m + 9,040$	0,654
	$\sigma_n = -0,417 m^2 + 7,368 m - 23,251$	0,921

Równania regresji zależności pomiędzy całkowitą  $L_c$  i jednostkową pracą zagęszczania  $L_c'$ , a masą surowca (tabela 1) wskazują, że wraz ze wzrostem masy próbki rośnie  $L_c$  i maleje  $L_c'$  (rys. 2), co stwierdzono także dla pszenicy i nasion łubinu [Laskowski, Skonecki 2004, 2005]. Wartość pracy  $L_c$  dla badanego surowca (tabela 2) zawiera się w przedziale od 28,45 J przy średnicy 12 mm ( $m=2$  g) do 71,78 J dla średnicy 18 mm ( $m=10$  g). Jednostkowa pracy zagęszczania  $L_c'$  zawiera się w przedziale od 7,18 J·g<sup>-1</sup> do 14,22 J·g<sup>-1</sup>. Minimalną wartość 7,18

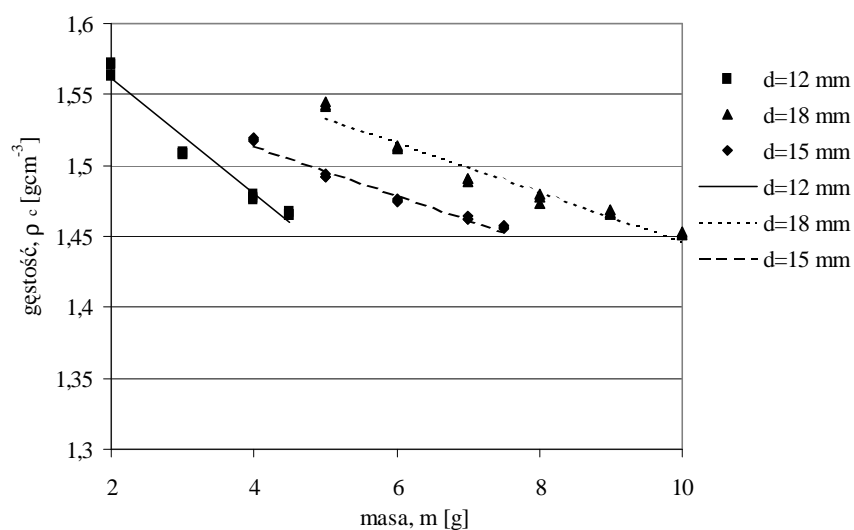
$J \cdot g^{-1}$  uzyskano dla próbki poekstrakcyjnej śruty rzepakowej o masie 10 g zagęszczanej w matrycy o średnicy komory 18 mm, maksymalną natomiast  $14,22 J \cdot g^{-1}$  (matryca o średnicy 12 mm, masa 2 g). Zmiany pracy zagęszczania poekstrakcyjnej śruty rzepakowej wynikające z dokonanej analizy regresji (tabela 1) i istotności różnic średnich wartości (tabela 2) wskazują, że zależności te są podobne do uzyskanych dla ziarna pszenicy i nasion łubinu [Laskowski, Skonecki 2004, 2005].

Współczynnik  $k_c$  (tabela 1) dla poekstrakcyjnej śruty rzepakowej maleje wraz ze zwiększeniem masy próbki. Minimalna wartość  $k_c$  dla  $d=12$  mm (tabela 2) wynosi  $13,33 (J/g)/(g/cm^3)$  a maksymalna  $14,03 (J/g)/(g/cm^3)$ . Dla próbek zagęszczanych w komorze o średnicy 15 mm współczynnik  $k_c$  maleje od  $10,64 (J/g)/(g/cm^3)$  do  $10,19 (J/g)/(g/cm^3)$ .

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

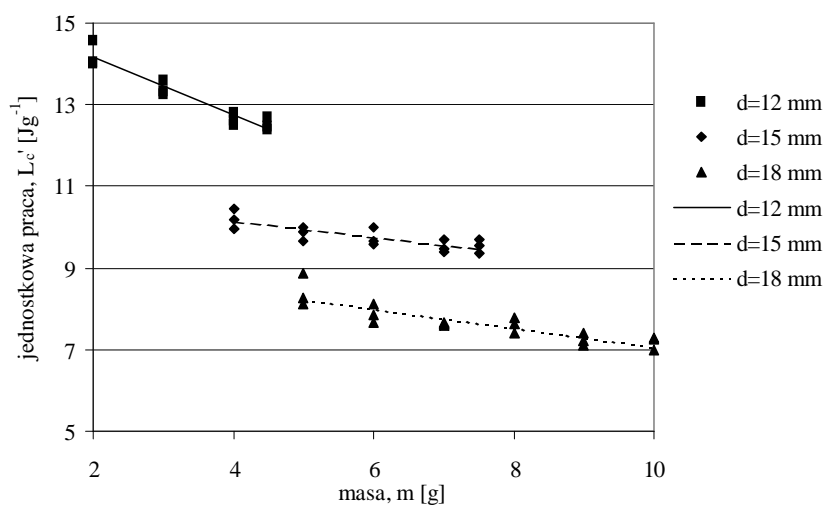
Table 2. Comparison of average values of densification parameter in relation to the weight of extracted rape meal sample for chamber diameters 12, 15 and 18mm

Masa [g]	Parametr					
	$\rho_c$ [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)/(g/cm <sup>3</sup> )]	$\sigma_n$ [N·cm <sup>-1</sup> ]
Średnica komory 12 mm						
2	1,569 (d)	1,214 (a)	28,45 (a)	14,22 (c)	14,03 (b)	8,93 (a)
3	1,509 (c)	1,210 (a)	40,22 (b)	13,41 (b)	13,90 (a,b)	10,71 (b)
4	1,478 (b)	1,206 (a)	50,62 (c)	12,66 (a)	13,58 (a,b)	12,61 (c)
4,5	1,466 (a)	1,205 (a)	56,39 (d)	12,53 (a)	13,33 (a)	11,9(b,c)
Średnica komory 15 mm						
4	1,518 (e)	1,185 (c)	40,83 (a)	10,21 (b)	10,64 (b)	5,82 (a)
5	1,493 (d)	1,183(b,c)	49,28 (b)	9,86 (a,b)	10,54 (b)	9,67 (b)
6	1,475 (c)	1,180(b,c)	58,48 (c)	9,75 (a,b)	10,41 (a,b)	11,60 (b)
7	1,463 (b)	1,176(a,b)	66,72 (d)	9,53 (a)	10,35 (a,b)	11,76 (b)
7,5	1,475 (a)	1,168 (a)	71,57 (e)	9,54 (a)	10,19 (a)	10,13 (b)
Średnica komory 18 mm						
5	1,543 (f)	1,208 (d)	42,12 (a)	8,42 (c)	8,43 (b)	3,44 (a)
6	1,513 (e)	1,198(c,d)	47,25 (b)	7,88 (b,c)	8,24 (a,b)	5,56 (b)
7	1,490 (d)	1,189 (c)	53,34 (c)	7,62 (a,b)	8,11 (a,b)	7,55 (c)
8	1,477 (c)	1,184(b,c)	60,85 (d)	7,61 (a,b)	8,12 (a,b)	9,40 (d)
9	1,467 (b)	1,174(a,b)	65,19 (e)	7,24 (a)	7,77 (a)	9,50 (d)
10	1,452 (a)	1,169 (a)	71,78 (f)	7,18 (a)	7,81 (a)	8,45(c,d)



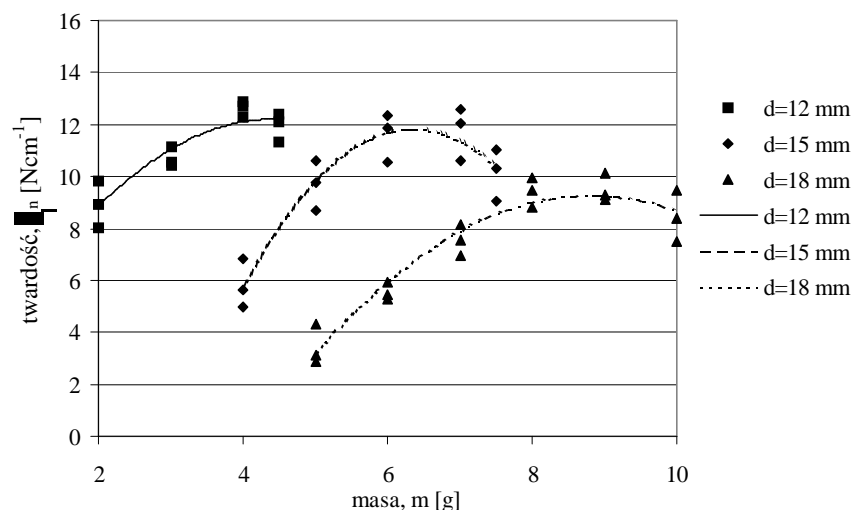
Rys. 1. Zależności gęstości  $\rho_c$  od masy  $m$  próbki poekstrakcyjnej śruty rzepakowej dla trzech średnic  $d$  komory

Fig. 1. Dependences of the density  $\rho_c$  from the weight  $m$  of extracted rape meal sample for three chamber diameters  $d$



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

Fig. 2. Dependence of the total unit densification work  $L_c'$  from the weight  $m$  of extracted rape meal sample for three chamber diameters  $d$



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

Fig. 3. Dependence of the agglomerate hardness  $\sigma_n$  from the weight  $m$  of extracted rape meal sample for three chamber diameters  $d$

Największą wartość  $k_c$  uzyskano dla surowca zagęszczanego w matrycy o średnicy komory 12mm. Najmniejszą średnią wartość współczynnika  $k_c$  wynoszącą  $7,77 \text{ (J/g)/(g/cm}^3\text{)}$  uzyskano dla surowca zagęszczanego w matrycy o średnicy 18 mm. Analiza zależności (tabela 1 i 2) wskazuje, że zmiany  $k_c$  od masy są niewielkie dla średnicy komory 15 i 18 mm. Z uzyskanych wyników współczynnika  $k_c$  (tabela 1 i 2) stwierdzono takie same tendencje zmian jak dla zagęszczania pszenicy i nasion łubinu [Laskowski, Skonecki 2004, 2005].

Na podstawie wyników stwierdzono, że twardość aglomeratu poekstrakcyjnej śrutu rzepakowej  $\sigma_n$  rośnie do pewnej wartości ze zwiększeniem masy próbki (rys. 3). Zależności  $\sigma_n$  od masy  $m$  opisano wielomianem drugiego stopnia (tabela 1). Największą twardość (tabela 2) uzyskują aglomeraty otrzymane przy zagęszczaniu w komorze o średnicy 12 mm ( $12,61 \text{ N}\cdot\text{cm}^{-1}$  – masa 4g) najmniejszą zaś o średnicy 18 mm ( $3,44 \text{ N}\cdot\text{cm}^{-1}$  – masa 5g). Wyniki badań zagęszczania poekstrakcyjnej śrutu rzepakowej potwierdzają tendencje zmian parametrów procesu w zależności od średnicy komory i masy próbki uzyskane dla ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004] i nasion łubinu [Laskowski, Skonecki 2005]. Istnieją różnice wartości parametrów dla wymienionych surowców, co można wiązać ze zróżnicowanym składem chemicznym.

## Wnioski

1. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że na przebieg procesu zagęszczania poekstrakcyjnej śruty rzepakowej istotnie wpływa masa próbki i średnica komory matrycy.
2. Uzyskane zależności regresyjne i analiza istotności różnic średnich wartości wskazały, że charakter zmian parametrów zagęszczania poekstrakcyjnej śruty rzepakowej od masy surowca i średnicy komory zbliżony jest do przebiegów tych zmian ustalonych dla zagęszczania ziarna pszenicy [Laskowski, Skonecki 2004] i nasion łubinu [Laskowski, Skonecki 2005]. Stwierdzono, że zwiększenie masy próbki wywołuje: zmniejszenie gęstości materiału w komorze  $\rho_c$  oraz gęstości aglomeratu  $\rho_k$  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  $\sigma_n$ .
3. Badania nad określeniem wpływu warunków pomiaru na zagęszczanie różnych surowców paszowych wskazują na celowość ustalenia parametrów prowadzenia badań procesu zagęszczania materiałów roślinnych w komorze zamkniętej.

## Bibliografia

Laskowski J., J.-P. Melcion, S. Skonecki. 2003. Effects of the Fat Content on Plant Material Density During Agglomeration. Technical Sciences, Publisher UWM, Olsztyn, 6: 39-47

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

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



## **IMPACT OF CHAMBER DIAMETER AND SAMPLE WEIGHT ON DENSIFICATION OF EXTRACTED RAPE MEAL**

### **Summary**

The study contains the results of research on the impact of chamber diameter and sample weight on densification of extracted rape meal. The relationships between the density of the material in the chamber and of the agglomerate, work expenditure for densification, coefficient of susceptibility of the material to densification and the agglomerate hardness, and the raw material weight for three chamber diameters (12, 15 and 18 mm) were determined. On the basis of the obtained results it was established that indeed the parameters of extracted rape meal pellets depend on the weight of the sample and the diameter of the die chamber, and that these relationships are similar to the changes determined for densification of wheat [Laskowski, Skonecki 2004] and lupine seeds [Laskowski, Skonecki 2005].

**Key words:** agglomeration, lupine seeds, material densification parameters