

## WPLYW WILGOTNOŚCI KUKURYDZY, OWSA I PSZENICY NA PARAMETRY WYTŁACZANIA

*J. Laskowski, S. Skonecki*

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego AR, ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: KEMPS@faunus.ar.lublin.pl

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki badań nad określeniem wpływu wilgotności rozdrobionych ziarn kukurydzy, owsa i pszenicy na parametry wytłaczania, podatność materiału do aglomerowania oraz na jakość uzyskanych aglomeratów. Stwierdzono, że ze zwiększeniem wilgotności maleje gęstość kukurydzy, owsa i pszenicy w komorze matrycy i gęstość aglomeratu oraz zmniejszają się naciski i prace poszczególnych faz wytłaczania. Wzrost wilgotności polepsza podatność surowców do aglomerowania oraz pogarsza jakość aglomeratów pod względem ich wytrzymałości.

**Słowa kluczowe.** parametry wytłaczania, wilgotność, kukurydza, owies, pszenica

### WSTĘP

Proces aglomerowania jest szeroko stosowany w wielu działach gospodarki, między innymi w przemysłach: rolno-spożywczym, chemicznym, farmaceutycznym, ceramicznym oraz metalurgicznym i dlatego stanowi przedmiot badań w różnych dziedzinach nauki [1-3, 12-16].

Badania własne procesu wytłaczania realizowane z wykorzystaniem surowców i mieszanek paszowych umożliwiają określenie parametrów procesu zarówno dla fazy zagęszczania jak i wypływu materiału. Poznanie przebiegu wytłaczania dla różnych surowców ma duże znaczenie poznawcze dla procesu granulowania mieszanek paszowych [3].

We wcześniejszych pracach przedstawiono wyniki badań dotyczące wpływu wilgotności materiału na parametry procesu zagęszczania i na podatność materiału do aglomerowania nasion roślin strączkowych oraz ziarna zbóż [5,6].

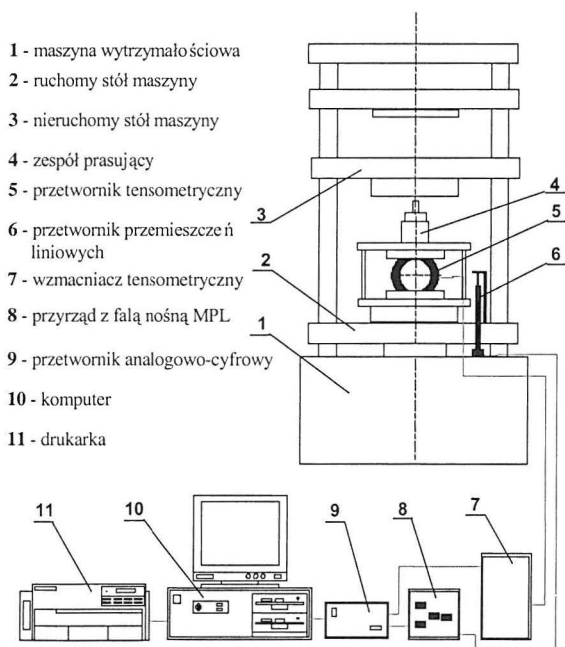
Scharakteryzowano także wpływ temperatury na parametry zagęszczania śruty jęczmiennej, żytniej i nasion roślin strączkowych [7,9,10]. Niniejsze opracowanie stanowi kontynuację badań aglomerowania i dotyczy określenia wpływu wilgotności śruty ziarna zbóż na parametry procesu wyłaczania.

## MATERIAŁ I METODY

### Charakterystyka materiału i stanowisko badawcze

Surowce – rozdrobnione ziarno kukurydzy, owsa i pszenicy. Średni wymiar cząstek surowców o wilgotności 14% (określony zgodnie z PN-89/R-64798) wynosił dla: kukurydzy 0,95 mm, owsa 1,06 mm, pszenicy 1,07 mm. Wyłaczanie przeprowadzono w temperaturze 80°C dla surowców o wilgotności 10%, 12%, 14%, 16% i 18% (+/-0,2%).

Stanowisko badawcze (Rys. 1) – maszyna wytrzymałościowa ZD40 (1), zespół prasujący (4) ze współśrodkowym otworem wyłaczającym o średnicy 6 mm (średnica komory zagęszczania 25 mm, prędkość przemieszczenia tłoka 0,3 mm·s<sup>-1</sup>). Wyłaczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach dla próbek surowców o masie  $m = 0,02$  kg.

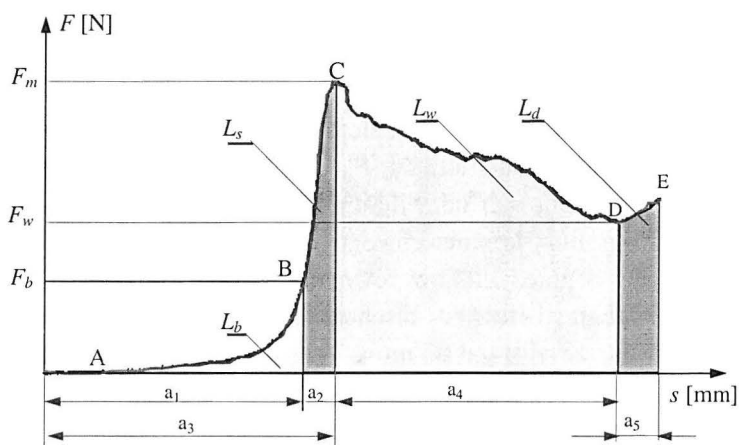


**Rys. 1.** Schemat układu pomiarowego do maszyny wytrzymałościowej typu ZD z komputerową rejestracją siły ściskania i odkształcenia materiału [4].

**Fig. 1.** Layout of the ZD-40 press and the measuring system with a computer recording of the compression force and material deformation [4].

## Parametry procesu wytłaczania

W czasie każdego pomiaru rejestrowano charakterystykę wytłaczania (Rys. 2) – zależność pomiędzy siłą ( $F$ ) a przemieszczeniem tłoka ( $s$ ). Poszczególne fazy procesu wytłaczania scharakteryzowano w pracach [3, 11]. Faza końcowa procesu (tak zwana faza dotłaczania  $a_5$ ) obejmuje wypływ „strefy martwej” materiału i od punktu D (próg wytłaczania) występuje wzrost siły ( $F$ ) z przemieszczeniem tłoka ( $s$ ). Rejestracja tej fazy niezbędna jest do wyznaczenia parametrów dla punktu progu wytłaczania.



**Rys. 2.** Charakterystyka procesu wytłaczania:  $a_1$  - faza zagęszczania,  $a_2$  - faza ściskania,  $a_3$  – prasowanie,  $a_4$  - faza wytłaczania,  $a_5$  - faza dotłaczania [8].

**Fig. 2.** Characteristics of extrusion process:  $a_1$  - phase of compaction,  $a_2$  - phase of elastic deformation,  $a_3$  - pressing,  $a_4$  - phase of extrusion,  $a_5$  - phase of ultimate extrusion [8].

Z krzywej wytłaczania (Rys. 2) wyznaczono siły: zagęszczania ( $F_b$ ), progu wypływu ( $F_m$ ), progu wytłaczania ( $F_w$ ) i obliczono naciski: zagęszczania ( $P_b$ ) dla punktu B charakterystyki, progu wypływu ( $P_m$ ), progu wytłaczania ( $P_w$ ) oraz prace: zagęszczania ( $L_b$ ), pracę ściskania ( $L_s$ ), całkowitą pracę zagęszczania ( $L_c = L_b + L_s$ ), pracę dla fazy wytłaczania ( $L_w$ ), całkowitą pracę wytłaczania ( $L_k = L_c + L_w$ ).

Obliczono jednostkową całkowitą pracę zagęszczania ( $L_c' = L_c/m$ ) oraz gęstości surowców ( $\rho_b$  i  $\rho_c$ ) dla charakterystycznych punktów (B i C) krzywej. Cechy te posłużyły do wyznaczenia współczynników  $k_z$  i  $k_c$  charakteryzujących podatność materiału do aglomerowania [5,6,8]:

$k_z$  - współczynnik zdolności materiału do zagęszczania  $\{k_z=(\rho_b/\rho_n)/P_b$  [MPa<sup>-1</sup>], gdzie:  $\rho_n$  – początkowa gęstość materiału w komorze},

$k_c$  - współczynnik określający wartość jednostkowej całkowitej pracy zagęszczania (wyznaczonej do punktu C) odniesionej do przyrostu gęstości  $\{k_c=L_c'/(\rho_c-\rho_n)$  [J·m<sup>3</sup>·kg<sup>-2</sup>]}.

### Ocena produktu wytłaczania

Dla wytłoczonego produktu określono gęstość ( $\rho_g$ ) oraz wytrzymałość aglomeratu na ściskanie  $\sigma_{ng} = F_L/L$  [N·m<sup>-1</sup>] (gdzie:  $F_L$  - siła niszcząca granule o określonej długości  $L$  [m]).

### Ocena statystyczna wyników badań

Dla każdego surowca określono zależności pomiędzy badanymi cechami (gęstościami  $\rho_b$ ,  $\rho_c$ ,  $\rho_g$ ; parametrami  $P_b$ ,  $P_m$ ,  $P_w$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ ,  $L_w$  i  $L_k$ ; współczynnikami  $k_z$ ,  $k_c$  oraz wytrzymałością  $\sigma_{ng}$ ) od wilgotności ( $w$ ). Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu programu komputerowego Statistica (firmy StatSoft Inc.). Oceniono: istotność współczynników równania regresji (test t - Studenta) oraz istotność równania regresji (test F - Fischera - przyjęto poziom istotności 0,05). Analiza ta wykazała, że zależności mogą być opisane równaniami liniowymi. Uzyskane zależności regresyjne podano w tabelach bądź też przedstawiono graficznie na rysunkach.

## WYNIKI

### Gęstość surowca w komorze i aglomeratu

Gęstości badanych surowców podczas fazy zagęszczania  $\rho_b$ ,  $\rho_c$  i aglomeratu  $\rho_g$  dla poszczególnych surowców maleją ze wzrostem wilgotności (Tab. 1, Rys. 3).

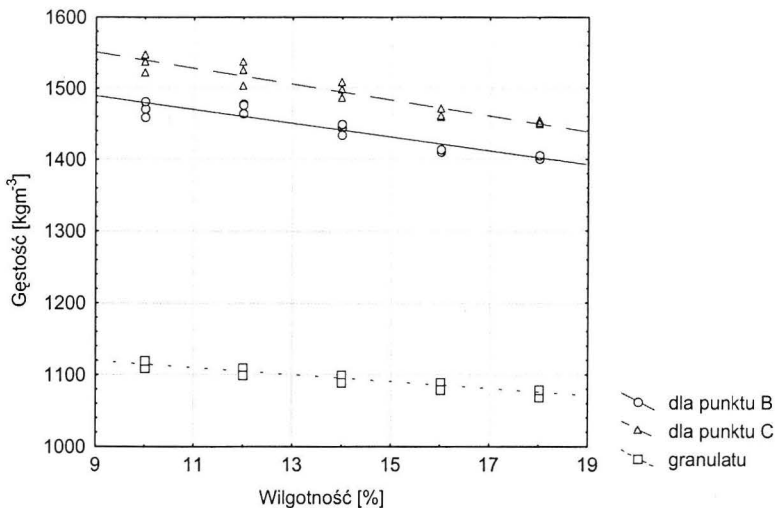
Zakres zmienności gęstości wyniósł:  $\rho_b$  od 1490 kg·m<sup>-3</sup> do 1370 kg·m<sup>-3</sup>,  $\rho_c$  od 1700 kg·m<sup>-3</sup> do 1440 kg·m<sup>-3</sup> i  $\rho_g$  od 1170 kg·m<sup>-3</sup> do 740 kg·m<sup>-3</sup>. Największą gęstość ( $\rho_b$ ,  $\rho_c$  i  $\rho_g$ ) uzyskano dla pszenicy, a najmniejszą dla owsa.

Analiza ilorazu gęstości aglomeratu  $\rho_g$  do gęstości materiału w komorze  $\rho_c$  ( $\rho_g/\rho_c$ ) dla poszczególnych surowców wskazała, że ze zwiększeniem wilgotności aglomerat bardziej rozpręża się. Największe zmiany gęstości uzyskano dla owsa (iloraz gęstości od 0,7 do 0,52). Dla kukurydzy i pszenicy iloraz gęstości zawiera się w przedziale od 0,74 do 0,68.

**Tabela 1.** Równania regresji opisujące zależności gęstości  $\rho_b$ ,  $\rho_c$  i  $\rho_g$  od wilgotności  $w$  i wartości współczynnika korelacji  $r$

**Table 1.** Regression equations describing relations between densities  $\rho_b$ ,  $\rho_c$  and  $\rho_g$  and material moisture  $w$ , and the values of correlation coefficient  $r$

Gęstość	Surowiec	r	Równanie regresji
Dla punktu B	Kukurydza	0,942	$\rho_b = -9,717 w + 1576,9$
	Owies	0,931	$\rho_b = -10,12 w + 1563,2$
	Pszenica	0,965	$\rho_b = -10,55 w + 1593,4$
Dla punktu C	Kukurydza	0,951	$\rho_c = -11,25 w + 1652,0$
	Owies	0,943	$\rho_c = -13,68 w + 1697,7$
	Pszenica	0,948	$\rho_c = -19,38 w + 1857,2$
Aglomeratu	Kukurydza	0,940	$\rho_g = -4,83 w + 1163$
	Owies	0,987	$\rho_g = -41,5 w + 1518$
	Pszenica	0,977	$\rho_g = -16,0 w + 1314$



**Rys. 3.** Zależność gęstości dla punktu B ( $\rho_b$ ) i punktu C ( $\rho_c$ ) oraz gęstości aglomeratu ( $\rho_g$ ) od wilgotności  $w$  (kukurydza).

**Fig. 3.** Relationship between density of points B ( $\rho_b$ ) and C ( $\rho_c$ ) and that of the agglomerate ( $\rho_g$ ) and material moisture  $w$  (maize).

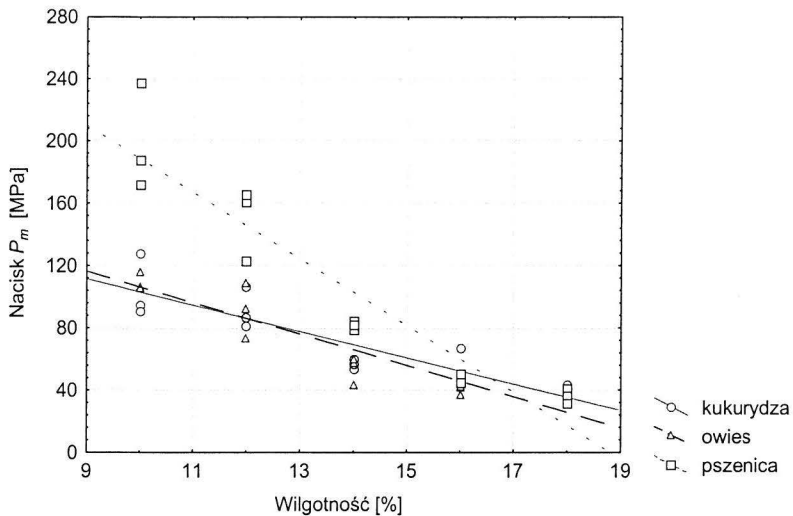
## Parametry wylączania

Jak wynika z Tabeli 2 parametry  $P_b$ ,  $P_m$ ,  $P_w$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ ,  $L_w$  i  $L_k$  maleją liniowo wraz ze wzrostem wilgotności dla badanych surowców. Przykładowe zależności przedstawiono na Rys. 4 i 5.

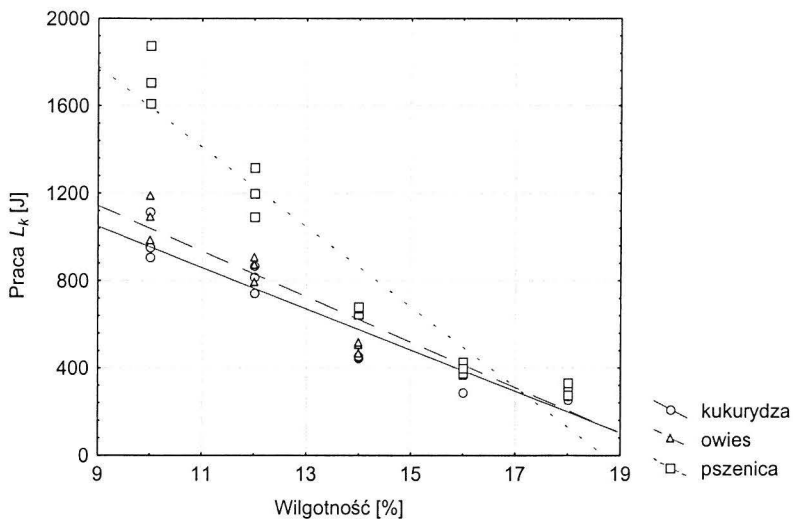
**Tabela 2.** Równania regresji opisujące zależność parametrów  $P_b$ ,  $P_m$ ,  $P_w$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ ,  $L_w$  i  $L_k$  od wilgotności  $w$  i wartości współczynnika korelacji  $r$

**Table 2.** Regression equations describing relations between parameters  $P_b$ ,  $P_m$ ,  $P_w$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ ,  $L_w$  and  $L_k$ , and material moisture  $w$ , and the values of correlation coefficient  $r$

Parametr	Surowiec	$r$	Równanie regresji
Nacisk zagęszczania	Kukurydza	0,927	$P_b = -3,546 w + 75,547$
	Owies	0,956	$P_b = -4,387 w + 88,017$
	Pszenica	0,966	$P_b = -6,095 w + 115,31$
Nacisk progu wypływu	Kukurydza	0,898	$P_m = -8,452 w + 187,53$
	Owies	0,935	$P_m = -10,07 w + 206,97$
	Pszenica	0,943	$P_m = -21,398 w + 402,44$
Nacisk progu wylączania	Kukurydza	0,909	$P_w = -8,008 w + 157,46$
	Owies	0,934	$P_w = -7,681 w + 152,07$
	Pszenica	0,928	$P_w = -16,36 w + 299,24$
Praca zagęszczania	Kukurydza	0,927	$L_b = -7,167 w + 140,7$
	Owies	0,937	$L_b = -8,268 w + 152,5$
	Pszenica	0,947	$L_b = -11,70 w + 210,0$
Całkowita praca zagęszczania	Kukurydza	0,913	$L_c = -13,80 w + 265,87$
	Owies	0,967	$L_c = -17,38 w + 328,23$
	Pszenica	0,927	$L_c = -36,27 w + 647,13$
Praca fazy wylączania	Kukurydza	0,939	$L_w = -80,63 w + 1632,7$
	Owies	0,952	$L_w = -86,82 w + 1753,1$
	Pszenica	0,964	$L_w = -146,9 w + 2779,7$
Całkowita praca wylączania	Kukurydza	0,949	$L_k = -94,43 w + 1898,5$
	Owies	0,961	$L_k = -104,2 w + 2081,3$
	Pszenica	0,959	$L_k = -183,2 w + 3426,9$



Rys. 4. Zależność nacisku  $P_m$  od wilgotności  $w$  dla poszczególnych surowców.  
 Fig. 4. Relationship between pressure  $P_m$  and material moisture  $w$  for investigated materials.



Rys. 5. Zależność pracy  $L_k$  od wilgotności  $w$  dla poszczególnych surowców.  
 Fig. 5. Relationship between work  $L_k$  and material moisture  $w$  for investigated materials.

Naciski zmieniają się w zakresie:  $P_b$  od 60 MPa do 10 MPa,  $P_m$  od 240 MPa do 35 MPa i  $P_w$  od 160 MPa do 20 MPa, a prace:  $L_b$  od 120 J do 16 J,  $L_c$  od 400 J do 40 J,  $L_w$  od 1500 J do 250 J i  $L_k$  od 1900 J do 370 J.

Największe wartości parametrów uzyskano dla pszenicy o wilgotności 10%. Kukurydza i owies mają zbliżone wartości parametrów.

### Badania podatności materiału do aglomerowania

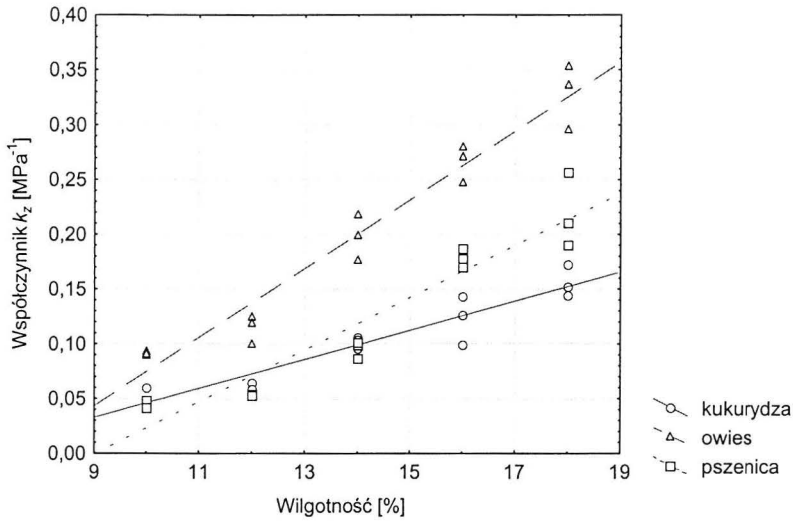
Z Tabeli 3 oraz z Rys. 6 i 7 wynika, że ze zwiększeniem wilgotności ( $w$ ) rośnie współczynnik zdolności materiału do zagęszczania  $k_z$ , natomiast maleje współczynnik  $k_c$  dla wszystkich badanych surowców. Największe wartości współczynnika  $k_z$  uzyskano dla owsa. Wartości współczynnika  $k_c$  (Rys. 7) zawierają się w przedziale 18,05 - 0,94 J m<sup>3</sup> kg<sup>-2</sup>. Wraz ze wzrostem wilgotności współczynnik  $k_c$  maleje dla badanych surowców (polepsza się podatność materiału do aglomerowania). Najwyższe wartości współczynnika uzyskano dla pszenicy o wilgotności 10%, a najniższe dla owsa o wilgotności 18% (owies cechuje się najlepszą podatnością do aglomerowania).

**Tabela 3.** Równania regresji opisujące zależności współczynników  $k_z$ ,  $k_c$  i wytrzymałości  $\sigma_{ng}$  od wilgotności  $w$  i wartości współczynnika korelacji  $r$

**Table 3.** Regression equations describing relations of coefficients  $k_z$ ,  $k_c$  and strength  $\sigma_{ng}$  to material moisture  $w$ , and the values of correlation coefficient  $r$

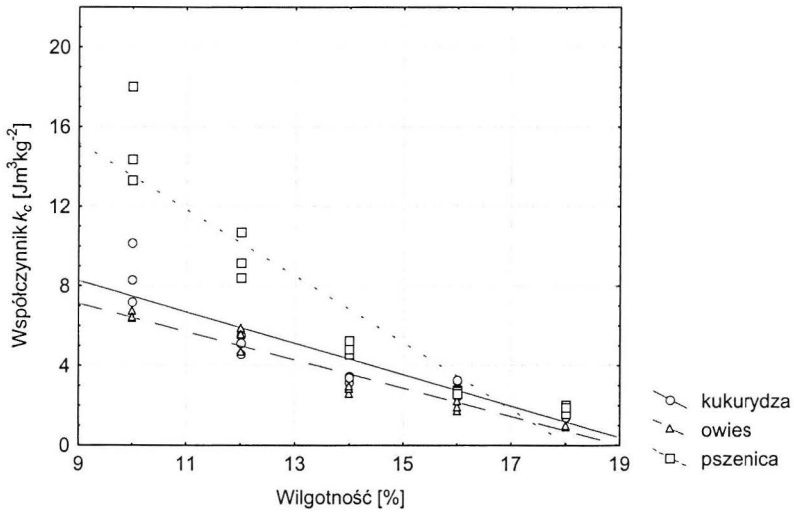
Parametr	Surowiec	r	Równanie regresji
Współczynnik zdolności materiału do zagęszczania	Kukurydza	0,944	$k_z = 0,0133 w - 0,0866$
	Owies	0,975	$k_z = 0,0314 w - 0,2391$
	Pszenica	0,953	$k_z = 0,0238 w - 0,2148$
Współczynnik $k_c$	Kukurydza	0,912	$k_c = -0,7859 w + 15,336$
	Owies	0,967	$k_c = -0,7077 w + 13,486$
	Pszenica	0,936	$k_c = -1,6717 w + 30,233$
Wytrzymałość aglomeratu	Kukurydza	0,963	$\sigma_{ng} = -490,1 w + 8978,1$
	Owies	0,954	$\sigma_{ng} = -256,84 w + 4922$
	Pszenica	0,964	$\sigma_{ng} = -1240,3 w + 27320$





**Rys. 6.** Zależność współczynnika zdolności materiału do zagęszczania  $k_z$  od wilgotności  $w$  dla poszczególnych surowców.

**Fig. 6.** Relationship between coefficient of material ability to densify  $k_z$  and material moisture  $w$  for investigated materials.



**Rys. 7.** Zależność współczynnika  $k_c$  od wilgotności  $w$  dla poszczególnych surowców.

**Fig. 7.** Relationship between coefficient  $k_c$  and material moisture  $w$  for investigated materials.

## Ocena jakości uzyskanych aglomeratów

Równania regresji opisujące zależności wytrzymałości granulatu na ściskanie  $\sigma_{ng}$  podano w Tabeli 3. Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że wytrzymałość ta maleje wraz ze wzrostem wilgotności.

Wytrzymałość zawiera się w przedziale od  $15600 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$  do  $410 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ . Największe wartości uzyskano dla pszenicy o wilgotności 10%, a najniższe dla owsa o wilgotności 18%.

Badania wyłaczania ziarn kukurydzy, owsa i pszenicy potwierdziły tendencje zmiany parametrów procesu zagęszczania w zależności od wilgotności, które autorzy przedstawili we wcześniejszych pracach dotyczących badań zbóż oraz nasion roślin strączkowych [5, 6].

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wilgotność materiału wpływa na gęstości surowca w komorze i granulatu, na parametry procesu wyłaczania oraz na podatność do aglomerowania i wytrzymałość granulatu.
2. Wraz ze wzrostem wilgotności maleje gęstość  $\rho_b$ ,  $\rho_c$  kukurydzy, owsa i pszenicy w komorze wyłaczającej, a także gęstość  $\rho_g$  aglomeratu.
3. Zwiększenie wilgotności materiału powoduje zmniejszenie nacisku zagęszczania, progu wypływu i wyłaczania oraz prac faz wyłaczania. Największe wartości parametrów wyłaczania uzyskano dla pszenicy.
4. Wzrost wilgotności polepsza podatność surowców do aglomerowania oraz pogarsza jakość aglomeratów pod względem ich wytrzymałości. Najlepszą podatnością cechuje się owies, a największą wytrzymałością pszenica.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Ferrero A., Molenda M.:** Device for Continuous Measurement of Straw Briquette Expansion. *Int. Agrophysics*, 13, 87-92, 1999.
2. **Hejft R.:** Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Wyd. i Zakład Poligrafii Inst. Techn. Ekspl., Radom, 2002.
3. **Laskowski J.:** Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Seria Wyd. Rozp. Nauk., 113, Lublin, 1989.
4. **Laskowski J., Skonecki S., Gowin J.:** Układ pomiarowy do maszyn wytrzymałościowych typu ZD z komputerową rejestracją i analizą parametrów procesów ściskania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 424, 279-284, 1995.

5. **Laskowski J., Skonecki S.:** Influence of moisture on the physical properties and parameters of the compression process of legumes' seeds. *Int. Agrophysics*, 11, 245-256, 1997.
6. **Laskowski J., Skonecki S.:** Influence of moisture on the physical properties and parameters of the compression process of cereal grains. *Int. Agrophysics*, 13, 477-486, 1999.
7. **Laskowski J., Skonecki S.:** Wpływ temperatury na parametry zagęszczania nasion roślin strączkowych. *Inżynieria Rolnicza*, 5 (16), 133-146, 2000.
8. **Laskowski J., Skonecki S.:** Badania procesów aglomerowania surowców paszowych-aspekt metodyczny. *Inżynieria Rolnicza*, 2, 187-193, 2001.
9. **Laskowski J., Skonecki S.:** Influence of material's temperature on compression parameters of ground barley grains. *Int. Agrophysics*, 15 (3), 173-179, 2001.
10. **Laskowski J., Skonecki S.:** Wpływ temperatury materiału na parametry zagęszczania rozdrobnionych ziarn żyta. *Inżynieria Rolnicza*, 4 (37), 177-182, 2002.
11. **Melcion J.-P.:** Testing procedures for pelleting research. *Feed Mix. The International Journal on Feed, Nutrition and Technology*, 3 (5), 33-37, 1995.
12. **Lordi N. G., Cuitino A.M.:** Compaction of Pharmaceuticals. *MRS Bulletin*, 22(12), 34-37, 1997.
13. **Sun X.K., Chen S.J., Xu J.Z., Zhen L.D., Kim K.-T.:** Analysis of cold compaction densification behaviour of metal powders. *Materials Science and Engineering, A* 267, 43-49, 1999.
14. **Thomas M., van der Poel A. F. B.:** Physical quality of pelleted animal feed. 1. Criteria for pellet quality. *Animal Feed Science Technology*, 61, 89-112, 1996.
15. **Thomas M., van Vliet T., van der Poel A. F. B.:** Physical quality of pelleted animal feed. 3. Contribution of feedstuff components. *Animal Feed Science Technology*, 70, 59-78, 1998.
16. **Thomas M., van Zuilichem D. J., van der Poel A. F. B.:** Physical quality of pelleted animal feed. 2. Contribution of processes and its conditions. *Animal Feed Science Technology*, 64, 173-192, 1997.

## INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT OF MAIZE, OATS AND WHEAT ON THE EXTRUSION PARAMETERS

*J. Laskowski, S. Skonecki*

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

**Abstract.** Paper presents results of the influence of moisture of ground maize, oats and wheat grains on extrusion parameters, agglomeration ability and agglomerates quality. An decrease of density of maize, oats and wheat in the die and density of agglomerate and decrease of pressure and work of individual extrusion phases for higher values of moisture were observed. Higher level of grain moisture has positive effect on agglomeration ability and contrary negative one on strength and agglomerate quality.

**Keywords:** parameters of extrusion, moisture, maize, oats, wheat.