

DEPENDENCE BETWEEN THE CONDITIONING TREATMENT OF SOME PLANT MATERIALS AND THE DENSITY OF RESULTING PELLETS

Summary

The influence of conditioning regimes of some chosen plant materials and their mixtures upon the density of obtained pellets was presented in the paper. Hydrothermal conditioning procedures were compared to that applying addition of water only. It was confirmed that the pellets density was significantly influenced by the steam treatment conditions ($p < 0.05$), and it decreased with a rise in the temperature of steam used. At the same time, the rising steam pressure (for temperatures within 50-70°C) caused the linear increase in the analysed feature. Contrary, when water was added instead of steam treatment, for all materials used in the study, strong negative linear relations were noticed ($r > -0.93$), and the average density of pellets ranged from 438.3 to 756 kg·m⁻³.

OKREŚLENIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY PARAMETRAMI PROCESU KONDYCJONOWANIA MATERIAŁÓW ROŚLINNYCH A GĘSTOŚCIĄ GRANULATU

Streszczenie

W pracy przedstawiono wpływ warunków prowadzenia procesu kondycjonowania wybranych surowców roślinnych i ich mieszanin na gęstość granulatu. Porównano obróbkę hydrotermiczną z kondycjonowaniem z dodatkiem wody. Stwierdzono, iż warunki kondycjonowania wpływały istotnie na gęstość granulatu ($p < 0,05$), która malała wraz ze wzrostem temperatury obróbki parowej. Jednocześnie zwiększanie ciśnienia pary (w zakresie temperatur 50-70°C) powodowało liniowe przyrosty wartości tego parametru. Natomiast w przypadku kondycjonowania z dodatkiem wody dla wszystkich badanych surowców zaobserwowano istnienie silnych ujemnych zależności liniowych ($r > -0,93$), a średnie wartości parametru wahały się w przedziale od 438,3 do 756 kg·m⁻³.

Wykaz symboli i oznaczeń

Gg – gęstość granulatu w stanie zsypanym, [kg·m⁻³]
m_m – masa naczynia pomiarowego z badanym materiałem, [kg]
m_n – masa naczynia pomiarowego, [kg]
p – obliczony poziom istotności,
P_p – ciśnienie pary, kPa
r – współczynnik korelacji liniowej Pearsona
R² – współczynnik determinacji
T_k – temperatura materiału po kondycjonowaniu parowym, °C
W_s – wilgotność materiału po kondycjonowaniu z dodatkiem wody, %
V_k – pojemność naczynia pomiarowego, [m³].
Z_l – zawartość lucerny w mieszaninie, [%]
Z_r – zawartość rzepaku w mieszaninie, [%]
α_i – przyjęty poziom istotności
ρ_n – gęstość w stanie zsypanym śruty surowców, [kg·m⁻³]

1. Wprowadzenie

Stosowanie granulowania materiałów paszowych pozwala na znaczną redukcję ich objętości w stosunku do mieszanek sypkich. Wzrost gęstości materiału ułatwia jego składowanie i transport oraz ogranicza proces utleniania składników mieszanki. Z kolei wszystkie te modyfikacje przyczyniają się do wzrostu efektywności ich skarmiania, przejawiającego się zarówno większymi przyrostami masy ciała zwierząt jak też zmniejszeniem kosztów składowania i obrotu handlowego. Uzyskanie granulatu o wymaganej gęstości uzależnione jest zarówno od właściwości i udziału poszczególnych komponentów w mieszankach paszowych

[5, 8], jak też czynników techniczno-technologicznych związanych z procesem granulowania [1, 4]. Przy ustalonych parametrach matrycy granulatora, gęstość granulatu wynika przede wszystkim z cech fizykochemicznych i parametrów obróbki wstępnej materiału poddawanie granulowaniu. Szczególnego znaczenia w tym kontekście nabiera temperatura i wilgotność materiału przed prasowaniem. Przykładowo, z badań Laskowskiego i Skoneckiego [6, 7] wynika, że wzrost temperatury materiału (w zakresie od 20 do 80°C) poddawanego aglomeracji ciśnieniowej z jednej strony wpływa na spadek ciśnienia zagęszczania, a z drugiej powoduje wzrost gęstości gotowego produktu.

Z przeglądu literatury przedmiotu wynika, iż brak jest szczegółowych badań dotyczących wyżej przedstawionego zagadnienia. Stąd też celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu warunków kondycjonowania surowców paszowych i ich mieszanin na gęstość otrzymywanego granulatu.

2. Metodyka i przebieg badań

Materiał badawczy stanowiły śruty z jęczmienia, kukurydzy, pszenicy, owsa, grochu, łubinu oraz mączka z lucerny. Badaniom poddano również mieszaniny pszenicy z lucerną o zawartości lucerny od 25 do 75% (co 25%) oraz mieszaniny pszenicy z rzepakiem (odmiana *Lirajet*) o zawartości rzepaku od 10 do 50% (co 10%). Takie zestawienie mieszanin pozwoliło na dodatkową ocenę wpływu zawartości włókna oraz tłuszczu w materiale poddawany granulowaniu na gęstość uzyskiwanego granulatu. Udział włókna zawartego w mieszaninach wynosił odpowiednio: 7,93; 13,14 i 18,34%; natomiast tłuszczu: 5,48; 9,31; 13,13; 16,97 i 20,8%. Surowce rozdrabniano na rozdrabniaczu bi-

jakowym H-950 wyposażonym w sito o wymiarach otworów ϕ 3mm. Po rozdrobnieniu materiał badawczy doprowadzano do stałej wilgotności 14%. Dla tak przygotowanego materiału wyznaczono wartość gęstości w stanie zsypanym (tab. 1) oraz skład chemiczny (tab. 2).

Proces granulowania prowadzono z zastosowaniem kondycjonowania parowego i kondycjonowania z dodatkiem wody (granulowanie „na zimno”). W pierwszym przypadku badane surowce przed prasowaniem doprowadzano do pięciu poziomów temperatury: 50, 60, 70, 80 i 90°C z dokładnością do $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Wymaganą temperaturę materiału uzyskiwano poprzez obróbkę parą wodną o pięciu wartościach ciśnienia; 200, 250, 300, 350, i 400 kPa. W drugiej metodzie przed prasowaniem stosowano dowilżanie materiału zimną wodą do wilgotności 14, 16, 18, 20 i 22% z dokładnością do $\pm 0,25\%$.

Całość badań przeprowadzono na stanowisku pomiarowym wyposażonym w wytwornicę pary typ LW 69, kondycjoner łopatkowy, granulator firmy Amandus Kahl typ L-175 (matryca o średnicy otworów 4mm i grubości 20mm) oraz komputerowe układy pomiaru zużycia pary, ciepła i energii elektrycznej [2, 3].

Gęstość granulatu oraz śruty określono jako gęstość w stanie zsypanym zgodnie z PN-ISO 7971-2:1998 [9]. Dokonano pomiaru masy badanego materiału (na wadze typu WPE 2000 z dokładnością do $\pm 10^{-1}\text{g}$) zsypanyego swobodnie do cylindrycznego pojemnika o stałej objętości 1 dm³. Na podstawie tak przeprowadzonych pomiarów gęstość granulatu w stanie zsypanym obliczano z wzoru:

$$G_g = \frac{m_m - m_n}{V_k} \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}] \quad (1)$$

Analizę zależności pomiędzy parametrami procesu kondycjonowania a gęstością granulatu wykonano przy wykorzystaniu procedur statystycznych zawartych w programie STATISICA, przyjmując za każdym razem poziom istotności $\alpha_i = 0,05$. Przy wyborze postaci równań stosowano metodę regresji krokowej wstecznej. Istotność współczynników równania regresji badano testem t-Studenta. Natomiast adekwatność modelu sprawdzano stosując test Fishera. Na wybranych rysunkach przedstawiono wyniki analizy istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami badanego parametru w odniesieniu do poszczególnych surowców (test Tukeya, $\alpha_i = 0,01$). Surowce, które różnią się istotnie między sobą średnią wartością danego parametru, oznaczono różnymi literami.

3. Wyniki badań

Wpływ warunków obróbki hydrotermicznej na wartość gęstości granulatu zilustrowano na rys. 1. Średnie wartości parametru zawierają się w przedziale od 573 do 615,2 kg·m⁻³. Stwierdzono występowanie istotnego wpływu zarówno temperatury obróbki jak i ciśnienia pary na zmienność rozpatrywanego parametru ($p < 0,05$).

Jak wynika z rys. 1 wzrost temperatury obróbki powoduje zmniejszanie się wartości gęstości. Jednocześnie zwiększanie ciśnienia pary powoduje liniowe przyrosty wartości analizowanego parametru.

Tab. 1. Średnie wartości gęstości w stanie zsypanym śruty surowców (ρ_n) dla wilgotności 14%

Table 1. Mean bulk density values of raw materials (ρ_n) for a moisture content of 14%

Surowiec Odmiana	Jęczmień Edgar	Kukurydza Proсна	Pszenvica Emika	Owies Bajka	Groch Piaст	Łubin Emir	Lucerna Derby
ρ_n [kg·m ⁻³]	467,2	620,3	592,1	303,2	635,4	591,1	130,34

Tab. 2. Wyniki oznaczeń składu chemicznego badanych surowców

Table 2. The results of designations of raw materials chemical composition

SUROWIEC	ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW CHEMICZNYCH W SUCHEJ MASIE [%]				
	Białko sur.	Skrobia	Włókno sur.	Tłuszcz sur.	Popiół
Jęczmień	9,32	52,92	5,11	2,52	2,32
Kukurydza	9,41	61,31	2,43	4,13	1,41
Pszenvica	12,23	59,52	2,74	1,92	1,84
Owies	9,91	39,43	10,09	4,33	2,91
Groch	21,74	41,81	6,02	1,32	3,21
Łubin	32,46	7,84	14,51	5,75	4,72
Rzepak	22,22	-	7,32	46,46	5,05
Susz z lucerny	18,05	-	23,55	2,81	10,81

Tab. 3. Równania regresji opisujące wpływ temperatury kondycjonowania (T_k) i ciśnienia pary (P_p) na gęstość granulatu (G_g)

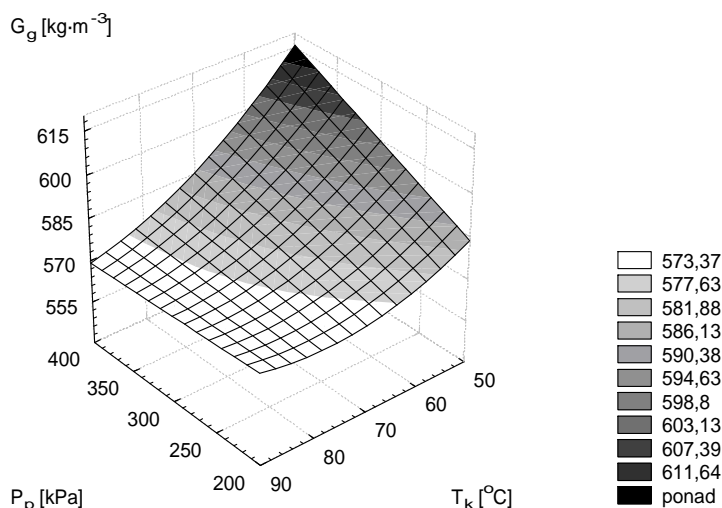
Table 3. Regression equations describing the effects of conditioning temperature (T_k) and steam pressure (P_p) on pellet density (G_g)

SUROWIEC	POSTAĆ RÓWNANIA	A	B	C	D	R ²
pszenvica	$G_g = AT_k^2 - BT_k + CP_p + D$	0,0227	4,429	0,0784	799,9	0,939
kukurydza	$G_g = -BT_k + CP_p + D$		2,851	0,0003	708,42	0,978
jęczmień	$G_g = -BT_k + CP_p + D$		0,8048	0,173	600	0,786
owies	$G_g = AT_k^2 - BT_k + CP_p + D$	0,0497	8,612	0,1006	913,67	0,772
groch	$G_g = AT_k^2 - BT_k + CP_p + D$	0,027	5,056	0,0579	789,43	0,942
łubin	$G_g = AT_k^2 - BT_k + CP_p + D$	0,093	15,17	0,15	1025,5	0,97
lucerna	$G_g = -BT_k + CP_p + D$		2,564	0,355	461,71	0,892

Takie oddziaływanie zachodzi najintensywniej w niższych temperaturach kondycjonowania. Związane jest to z nabywaniem przez materiał lepszych właściwości smarnych, ze względu na większy dodatek wilgoci wynikający ze stosowania pary o niższym ciśnieniu. Dzięki temu materiał szybciej przechodzi przez otwory matrycy i ulega mniejszemu zagęszczeniu. Natomiast wraz ze wzrostem temperatury, oddziaływanie ciśnienia pary zmniejsza się, a po przekroczeniu wartości 80°C jego wpływ praktycznie przestaje być

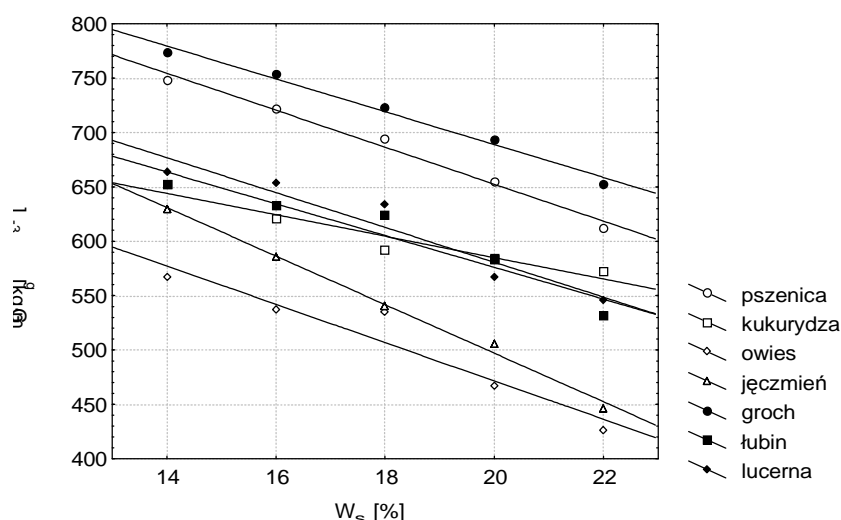
istotny. Ilościową charakterystykę stwierdzonych zależności przedstawiono w tab. 3.

W przypadku granulowania z wykorzystaniem kondycjonowania z dodatkiem wody, dla wszystkich badanych surowców zaobserwowano istnienie silnych ujemnych zależności liniowych ($r > -0,931$). W tym przypadku średnie wartości parametru wahają się w przedziale od 438,3 do 756 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (rys. 2).



Rys. 1. Zależność gęstości granulatu (G_g) od temperatury kondycjonowania (T_k) i ciśnienia pary (P_p) (średnie wartości dla 7 badanych surowców)

Fig. 1. Dependence of pellet density (G_g) on conditioning temperature (T_k) and steam pressure (P_p) (mean values obtained for 7 raw materials examined)



Rys. 2. Zależność gęstości granulatu (G_g) od wilgotności surowca (W_s)

Fig. 2. Dependence of pellet density (G_g) on moisture content of raw materials (W_s)

Równania regresji liniowej opisujące otrzymane zależności zestawiono w tab. 4.

Tab. 4. Równania regresji opisujące wpływ wilgotności surowca (W_s) na gęstość granulatu (G_g)

Table 4. Regression equations describing the effect of moisture content of raw materials (W_s) on pellet density (G_{g1})

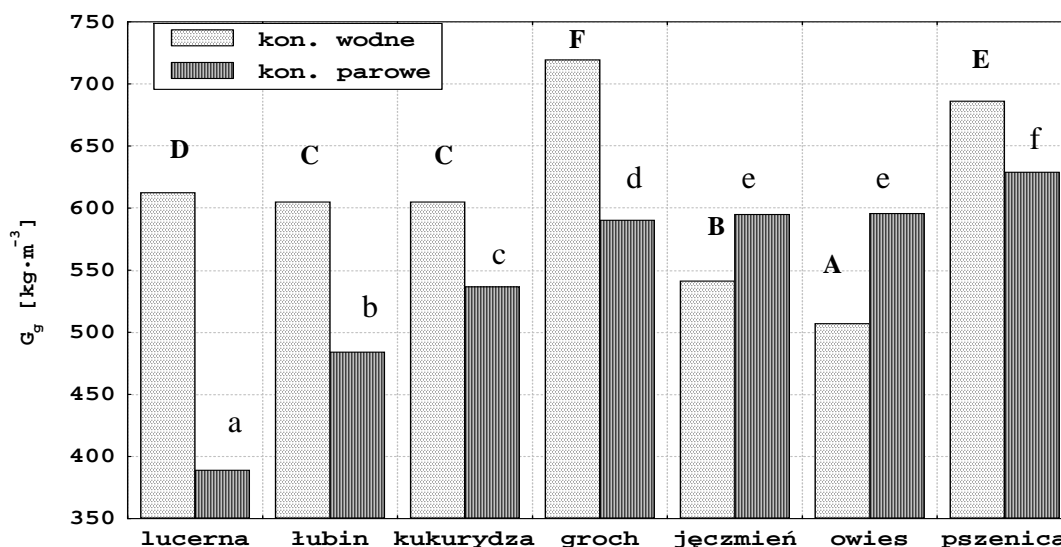
SUROWIEC	POSTAĆ RÓWNAŃ	A	B	R ²
pszenica	$G_g = -AW_s^2 + B$	17,011	992,7	0,983
kukurydza	$G_g = -AW_s^2 + B$	9,85	782,33	0,925
jęczmień	$G_g = -AW_s^2 + B$	22,33	943,67	0,99
owies	$G_g = -AW_s^2 + B$	15,103	990,99	0,986
groch	$G_g = -AW_s^2 + B$	14,61	868,22	0,918
łubin	$G_g = -AW_s^2 + B$	16,02	901,024	0,917
lucerna	$G_g = -AW_s^2 + B$	16,07	900,37	0,875

Z kolei z rys. 3 wynika, iż w przypadku granulowania „na zimno” największe średnie gęstości granulatu uzyskano z surowców o stosunkowo niskiej zawartości tłuszczu, jak groch ($734 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) i pszenica ($683,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Obok składu chemicznego drugim parametrem, który bezpośrednio wpływa na uzyskiwane rezultaty, jest gęstość sruły w stanie zsypanym (tab. 1), co potwierdza zachowanie owsa i jęczmienia (surowcom tym odpowiadają najniższe wartości tej cechy fizycznej).

Wyjątek stanowi jednak lucerna, która ze względu na dużą zawartość włókna jest mało podatna na wytłaczanie. Stąd też w czasie prasowania ulega znacznemu zagęszczeniu, a przyrost gęstości granulatu w stosunku do sruły wynosi ponad 400%. Zupełnie odmienna sytuacja zachodzi w przypadku zastosowania w procesie granulowania obróbki hy-

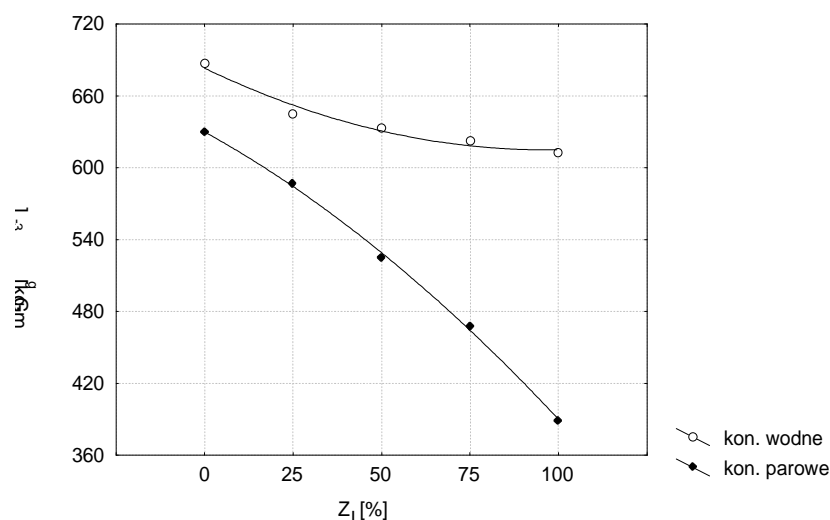
drotermicznej. Na skutek znacznej redukcji wartości współczynnika tarcia pomiędzy wytłaczanym materiałem a ściankami otworów matrycy dla większości surowców następuje spadek wartości gęstości. Dla lucerny redukcja ta jest najwyższa i wynosi ponad 48%.

W kontekście wcześniej przedstawionych analiz, ciekawe wyniki uzyskano dla mieszaniny lucerny z pszenicą (rys. 4). W tym przypadku, mimo tego, iż dodatek lucerny powoduje wzrost oporów wytłaczania, gęstość granulatu maleje wraz ze zwiększaniem się jego udziału w mieszaninie. Potwierdza to spostrzeżenia odnoszące się do pojedynczych surowców, gdyż obok warunków prowadzenia procesu, dominującą rolę w kształtowaniu wartości gęstości aglomeratu odgrywa gęstość materiału sypkiego.



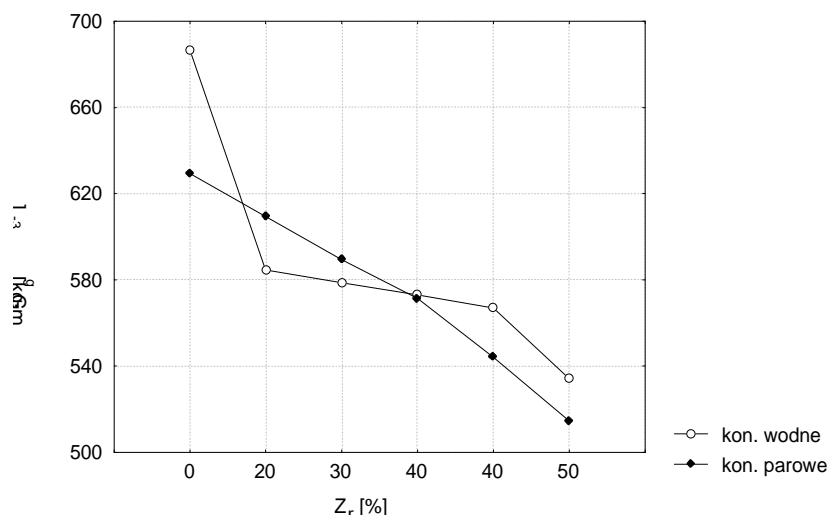
Rys. 3. Zależność gęstości granulatu (G_g) od rodzaju surowca i metody kondycjonowania (średnie wartości dla kondycjonowania parowego oraz z dodatkiem wody)

Fig. 3. Dependence of pellet density (G_g) on the type of raw material and conditioning method (mean values for steam and water conditioning)



Rys. 4. Zależność gęstości granulatu (G_g) od zawartości lucerny w mieszaninie z pszenicą (Z_l) (średnie wartości dla kondycjonowania parowego oraz wodnego)

Fig. 4. Dependence of pellet density (G_g) on the contents of lucerne in mixture with wheat (Z_l) (mean values for steam and water conditioning)



Rys. 5. Zależność gęstości granulatu (G_g) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) (średnie wartości dla kondycjonowania parowego oraz z dodatkiem wody)

Fig. 5. Dependence of pellet density (G_g) on the content of cole in mixture with wheat (Z_r) (mean values for steam and water conditioning)

Wyżej podane uwagi dotyczą również mieszaniny rzepaku z pszenicą (rys. 5). Jednak w tym przypadku właściwości smarne rzepaku powodują, iż po jego dodaniu różnice w gęstości wynikające ze sposobu kondycjonowania wyraźnie się zmniejszają.

W wyniku analizy regresji wielokrotnej otrzymano następujące postacie równań opisujących wyżej analizowane przypadki (mieszaniny pszenicy z lucerną i rzepakiem):

dla mieszaniny lucerna-pszenica

$$G_g = -0,0077Z_l^2 - 1,633Z_l + 0,0388T_k^2 - 7,75T_k + 0,2096P_p + 911,6; R^2 = 0,962 \quad (2)$$

$$G_g = 0,0074Z_l^2 - 1,4169Z_l - 0,9938W_s^2 + 18,99W_s + 671,18; R^2 = 0,975 \quad (3)$$

dla mieszaniny rzepak-pszenica

$$G_g = 0,0616Z_r^2 - 5,425Z_r - 0,332W_s^2 + 776,97; R^2 = 0,875 \quad (4)$$

$$G_g = -0,0138Z_r^2 - 1,563Z_r + 0,0088T_k^2 - 2,41T_k + 0,0386P_p + 740,6; R^2 = 0,956 \quad (5)$$

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyprowadzić następujące wnioski:

1. Gęstość granulatu zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury materiału po kondycjonowaniu parowym. Natomiast zwiększanie ciśnienia pary (w zakresie temperatur obróbki od 50 do 80°C) powoduje wprost proporcjonalne przyrosty wartości analizowanego parametru.
2. Stwierdzono, iż w przyjętym zakresie badawczym, podwyższenie wilgotności materiału podczas kondycjonowania z dodatkiem wody skutkuje zmniejszaniem się gęstości granulatu średnio o 20% dla wszystkich badanych materiałów.
3. Granulowanie z wykorzystaniem kondycjonowania z dodatkiem wody pozwala na uzyskanie granulatu o wyższej gęstości niż w przypadku stosowania kondycjonowania parowego. Natomiast wartość otrzymanych różnic, w odnie-

sieniu do poszczególnych surowców, wynika bezpośrednio z ich właściwości fizykochemicznych.

4. Wykazano, że niezależnie od metody kondycjonowania zarówno mieszanin pszenicy z lucerną, jak też z rzepakiem, wzrost udziału zawartego w nich włókna czy też tłuszczu wpływa ujemnie na wartość gęstości granulatu. Przy czym różnice w gęstości granulatu - wynikające z zastosowanej metody kondycjonowania - uwidaczniają się najbardziej w przypadku mieszanin z wzrastającym udziałem włókna, a zanikają w przypadku wzrostu udziału tłuszczu w mieszaninie.

5. Literatura

- [1] Hejft R.: Ciśnieniowa aglomeracja i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco-brykietujących. Rozprawy Naukowe Politechniki Białostockiej, nr 11/1991, Białystok 1991.
- [2] Kulig R., Laskowski J., Skonecki S: Wykorzystanie komputera w badaniach procesu granulowania na prasie firmy Kahl typ 14-175. VI Krajowa Konferencja „KOWBAN 99”, s. 397- 400, Polanica Zdrój 1999.
- [3] Kulig R., Laskowski J.: Pomiary zużycia pary wodnej w procesie kondycjonowania surowców i mieszanek paszowych. Inżynieria Rolnicza, 2002, 4 (24), s. 134-141.
- [4] Laskowski J.: Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych. Praca habilitacyjna. Wydawnictwo AR, Lublin 1989.
- [5] Wood J.F.: The functional properties of feed raw materials and their effect on the production and quality of feed pellets. Anim. Feed Sci. Tech., 1987, vol.18, s. 1-17.
- [6] Laskowski J., Skonecki S.: Wpływ temperatury na parametry zagęszczania nasion roślin strączkowych. Inżynieria Rolnicza, 2000, 5 (16), s. 133-146.
- [7] Laskowski J., Skonecki S.: Influence of material's temperature on compression parameters of ground barley grains. Int. Agrophysics, 2001, 15 (3), s. 173-179.
- [8] Thomas M., van Vliet T., van der Poel A.F.B.: Physical quality of pelleted animal feed. 3. Contribution of feedstuff components. Anim. Feed Sci. Tech., 1998, vol. 70, s. 59-78.
- [9] PN-ISO 7971-2:1998 - Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym.