

INFLUENCE OF GRINDING RATE OF CHOSEN PLANT MATERIALS ON PHYSICAL PROPERTIES OF MATERIAL UNDER PELLETING PROCESS

Summary

Paper presents results of the studies upon influence of grinding rate of barley and lupine (particle size in the range 0.25 to 2.5 mm) on the moisture content resulting from hydrothermal treatment, and physical properties of pellet. It was noticed that the mean values of moisture increase after conditioning for lupine ranged from 2.62 to 5.79%, and from 4.06 to 4.90% for barley. Lupine pellet quality was not statistically influenced by the particle size ($p > 0.01$). For barley the best results were obtained for material constituted of the finest particles. It was additionally noticed that the grinding ratio influenced mostly amount of fines in resulting pellet (change from 7.43 to 14.41%), and its durability (change from 97.12 to 91.72%).

WPLYW STOPNIA ROZDROBNIEŃ WYBRANYCH SUROWCÓW ROŚLINNYCH NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE MATERIAŁU PRZETWORZONEGO W PROCESIE GRANULOWANIA

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań oddziaływania stopnia rozdrobnienia śruty z jęczmienia i łubinu (zakres od 0,25 do 2,5 mm) na wilgotność materiału sypkiego po obróbce hydrotermicznej oraz właściwości fizyczne granulatu. Stwierdzono, że średnie wartości przyrostu wilgotności śruty po kondycjonowaniu w odniesieniu do łubinu wahają się w przedziale od 2,62 do 5,79%, a w przypadku jęczmienia przybierają wartości w zakresie od 4,06 do 4,90%. Wykazano, iż stopień rozdrobnienia surowca nie wpływa istotnie statystycznie na jakość granulatu wytworzonego z łubinu ($p > 0,01$). Natomiast w przypadku jęczmienia najlepsze efekty uzyskano dla surowca o najmniejszym średnim wymiarze cząstki. Przy czym zaobserwowano, że wpływ stopnia rozdrobnienia najbardziej uwidacznia się w odniesieniu do zawartości cząstek rozkruszonych w granulacie (zmiana wartości w zakresie od 7,43 do 14,41%) oraz wytrzymałości kinetycznej granulatu (zmiana wartości w przedziale od 97,12 do 91,72%).

1. Wprowadzenie

Konieczność rozdrabniania surowców paszowych wynika zarówno z wymagań żywieniowych poszczególnych gatunków i grup wiekowych zwierząt [2, 8], jak też czynników technologicznych oddziałujących na przebieg procesu granulowania [5, 6, 7]. Powszechnie wiadomo, że rozdrobnienie wpływa na wartość współczynnika strawności paszy [10], co jest szczególnie istotne przy mieszankach przeznaczonych dla trzody chlewnej [13, 14].

Wzrost powierzchni właściwej materiału wskutek rozdrabniania, powoduje szybszą absorpcję ciepła i wilgoci podczas obróbki hydrotermicznej. W konsekwencji rośnie ilość punktów styczności, co przyczynia się do łatwiejszego powstawania wiązań między cząsteczkami oraz redukcji oporów przetłaczania materiału przez matrycę. Angulo i in. [1] stwierdzili wzrost wytrzymałości kinetycznej granulatu otrzymanego z komponentów paszowych rozdrabnianych na sicie o średnicy otworów 3 mm w stosunku do rozdrabnianych na sicie o średnicy otworów 6 mm (mieszanka dla trzody chlewnej); odpowiednio od wartości 81,53 do 88,44%. Podobne zależności dla tego samego typu mieszanki otrzymali Wondra i in. [13], zmniejszając średni wymiar cząstki z 1 do 0,4 mm.

Struktura rozdrobnienia materiału powinna zapewniać ograniczoną ilość zarówno części pylistych, jak też nadmiernie dużych. Według Payne'a [11] najkorzystniejszy skład granulometryczny mieszanki przed prasowaniem powinien wyglądać następująco: pozostałość na sicie o średnicy oczek 3,35 mm – do 1%; 2 mm – do 5%; 1 mm – oko-

ło 20%; 0,5 mm – około 30%; 0,25 mm – około 24% i poniżej 0,25 mm – nie mniej niż 20%. Thomas i inni [12] podkreślają, iż niezachowanie tego warunku prowadzi do wzrostu energochłonności procesu i pogorszenia jakości granulatu. Zdaniem MacBain'a [9], znaczne zróżnicowanie wielkości cząstek tworzących mieszankę może być powodem ich segregacji podczas kondycjonowania, uniemożliwiając tym samym prawidłowe jego przeprowadzenie.

Ziarno jęczmienia jest powszechnie wykorzystywane w żywieniu trzody chlewnej, stanowiąc większościowy udział w pełnoporcjowych mieszankach paszowych. Natomiast nasiona łubinu żółtego mogą być źródłem białka w tych paszach. W przypadku niektórych grup wiekowych zwierząt, dopuszczalna ich zawartość może dochodzić do 15% wagowych, stanowiąc tym samym cenny zamiennik śruty sojowej [3, 15].

Mając na uwadze powyższe, celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu rozdrobnienia śruty z jęczmienia i łubinu oraz warunków obróbki hydrotermicznej na wartość parametrów fizycznych, charakteryzujących materiał przetwarzany w procesie granulowania.

2. Metodyka i przebieg badań

Do badań wykorzystano jęczmień odmiany Edgar oraz łubin odmiany Piast. Surowce śrutowano w rozdrabniaczu bijakowym typu H-950 wyposażonym w sita o średnicy oczek w przedziale od 3 do 9 mm. Następnie, z tak przygotowanego surowca, wydzielono 5 frakcji o różnym stopniu rozdrobnienia. Rozdzielenia surowca na frakcje dokonano

za pomocą zestawu sit o następujących wymiarach oczek: 0,5; 1,0; 1,6; 2,0 i 3,0 mm. Wartość średniego wymiaru otrzymanych frakcji wynosiła odpowiednio: 0,25; 0,75; 1,3; 1,8 i 2,5 mm. Po rozdrobnieniu materiał badawczy doprowadzano do stałej wilgotności 12%.

Całość badań przeprowadzono na stanowisku badawczym, którego szczegółowy opis przedstawiono w pracy Kuliga i Laskowskiego [4]. Proces granulowania prowadzono z zastosowaniem kondycjonowania parowego. Badane surowce przed prasowaniem doprowadzano do pięciu poziomów temperatury: 50, 60, 70, 80 i 90°C, poprzez traktowanie parą wodną nasyconą o ciśnieniu 400kPa \pm 5 kPa i temperaturze ok. 140°C. Badania prowadzono przy stałej wydajności kondycjonera. Założoną temperaturę materiału, po wyjściu z kondycjonera, uzyskiwano w wyniku zmiany natężenia przepływu pary do urządzenia. W następstwie zetknięcia pary nasyconej z powierzchnią cząstek o temperaturze niższej niż temperatura pary następowało jej skroplenie, czemu towarzyszyło wnikanie ciepła (ciepło skraplania) i dalsze jego rozprzestrzenianie w materiale na zasadzie przewodzenia przy jednoczesnym dyfuzyjnym ruchu wilgoci do wnętrza materiału. W konsekwencji podnosiła się zarówno wilgotność, jak też temperatura materiału po wyjściu z kondycjonera, proporcjonalnie do natężenia przepływu pary do urządzenia.

Prasowanie materiału realizowano z zastosowaniem matrycy o średnicy kanałów 4 mm i długości 20 mm.

Wilgotność materiału sypkiego (po rozdrobnieniu, nawilżeniu zimną wodą i kondycjonowaniu parowym) oraz granulatu po wyjściu z matrycy określono metodą suszarkową zgodnie z PN-93/A-74012 [16]. Temperaturę granulatu mierzono przy pomocy termometru laboratoryjnego z dokładnością do $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Otrzymany produkt bezpośrednio po wyjściu z zespołu prasującego pobierano do naczynia z izolacją cieplną, w którym umieszczano termometr. W granulacie wychodzącym z matrycy określono procentową zawartość cząstek rozkruszonych, wykorzystując sito o wymiarze oczek 3 mm. Gęstość granulatu w stanie zsypanym określono zgodnie z PN-ISO 7971-2:1998 [17]. Badania wytrzymałości kinetycznej granulatu, po czasie 30 minut od jego wytworzenia, przeprowadzono według PN-R-64834/98 [18] na testerze Pfof'a. Pomiary twardości aglomeratów przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick Z020/TN2S w zakresie obciążeń 0÷500 N.

Analizę statystyczną wykonano przy wykorzystaniu procedur zawartych w programie STATISICA, przyjmując za każdym razem poziom istotności $\alpha_i = 0,01$. Przy wyborze postaci równań stosowano metodę regresji krokowej wstecznej. Istotność współczynników równania regresji badano testem t-Studenta. Natomiast adekwatność modelu sprawdzano stosując test Fishera.

3. Wyniki badań

Średnie wyniki badań przyrostu wilgotności śruty po kondycjonowaniu (ponad wielkość 12%, ustaloną jako wyjściowa wilgotność dla obydwu surowców i wszystkich stosowanych rozdrobnień) w zależności od średniego wymiaru cząstki surowca przedstawiono na rys. 1. Zarówno najmniejsza (2,62%), jak też największa (5,79%) wartość dotyczy łubinu. W przypadku tego surowca poziom rozdrobnienia oddziałuje w większym stopniu na wilgotność śruty po obróbce hydrotermicznej niż w przypadku jęczmienia. Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono, że przyrost wilgotności jest odwrotnie proporcjonalny do wartości stopnia rozdrobnienia materiału oraz wprost proporcjonalny do jego temperatury po kondycjo-

waniu. Zależność tę, w przypadku obydwu surowców, potwierdzają wysokie wartości współczynników korelacji ($R > 0,97$). Uzyskane zależności można ująć w postaci liniowych modeli regresji wielokrotnej:

$$W_{sr} = 0,365d_{sr} + 0,147T_k - 2,682; R^2 = 0,951, \quad (1)$$

$$W_{sr} = 1,397d_{sr} + 0,049T_k - 1,252; R^2 = 0,953, \quad (2)$$

gdzie:

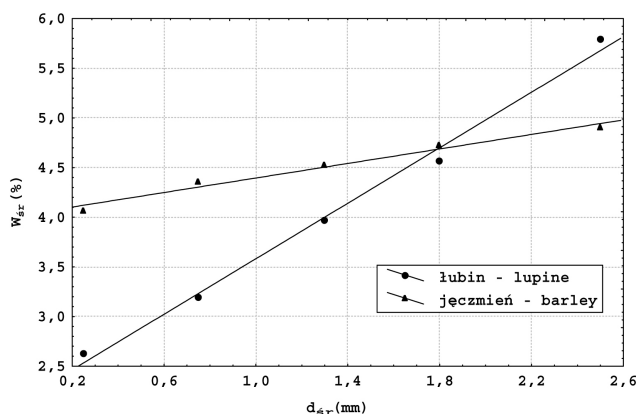
d_{sr} – średni wymiar cząstki surowca [mm],

R^2 – współczynnik determinacji,

T_k – temperatura materiału po kondycjonowaniu [$^\circ\text{C}$],

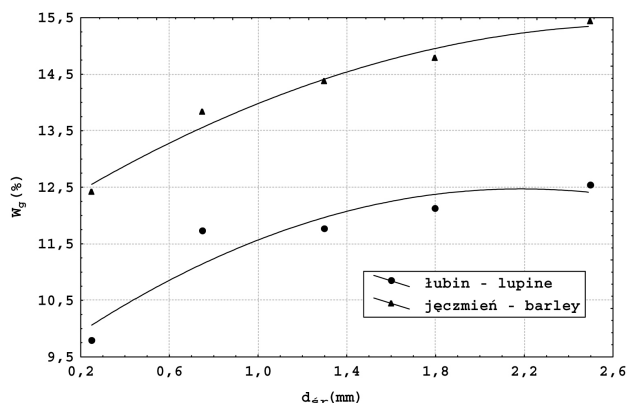
W_{sr} – wilgotność śruty po kondycjonowaniu [%].

Oddziaływanie stopnia rozdrobnienia surowców na zmianę wilgotności granulatu po wyjściu z matrycy przedstawiono na rys. 2. Uzyskane średnie wartości wahają się w przedziale od 9,78 do 15,42%.



Rys. 1. Zależność przyrostu wilgotności surowca po kondycjonowaniu (W_{sr}) od średniego wymiaru cząstki (d_{sr}) – średnie wartości dla 5 temperatur surowca po kondycjonowaniu

Fig. 1. Dependence between moisture increase of raw material after conditioning (W_{sr}) and the average size of ground particles (d_{sr}) – mean values for 5 raw material temperatures after conditioning (T_k)



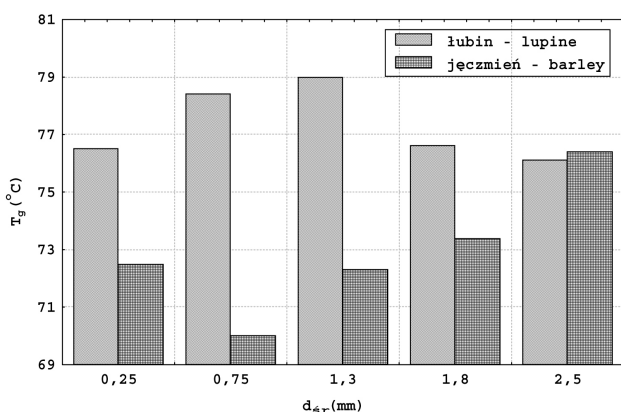
Rys. 2. Zależność wilgotności granulatu po wyjściu z matrycy (W_g) od średniego wymiaru cząstki (d_{sr}) – średnie wartości dla 5 temperatur surowca po kondycjonowaniu

Fig. 2. Dependence between moisture of pellet exit from die (W_g) and the average size of ground particles (d_{sr}) – mean values for 5 raw material temperatures after conditioning (T_k)

Wyższą wilgotnością charakteryzuje się granulatu z jęczmienia. Wynika to zapewne z faktu, iż surowiec ten w większości przypadków nabywa większą wilgotność w czasie obróbki hydrotermicznej oraz charakteryzuje się znacznie niższą

zawartością włókna (jęczmień – 5,11 %, łubin – 13,5%). W związku z tym, prawdopodobnie występują mniejsze opory przetłaczania przez matrycę, co znajduje również potwierdzenie w wynikach zilustrowanych na rys. 3.

Wzrost temperatury granulatu ponad średnią wartość temperatury kondycjonowania (70°C) przybiera mniejsze wartości w odniesieniu do jęczmienia niż łubinu. W przypadku granulatu z łubinu, otrzymanego z surowca o średnim wymiarze cząstki w zakresie od 0,75 do 1,8 mm, po wyjściu z matrycy następuje prawie całkowita utrata wilgoci dodanej podczas kondycjonowania. Jednocześnie temperatura granulatu osiąga najwyższe wartości.



Rys. 3. Zależność temperatury granulatu po wyjściu z matrycy (T_g) od średniego wymiaru cząstki (d_{sr}) - średnie wartości dla 5 temperatur surowca po kondycjonowaniu

Fig. 3. Dependence between temperature of pellet exit from die (T_g) and the average size of ground particles (d_{sr}) – mean values for 5 raw material temperatures after conditioning (T_k)

Ilościową ocenę analizowanych zależności można przedstawić w postaci następujących równań:

dla śruty z jęczmienia:

$$W_g = -0,440d_{sr}^2 + 2,453d_{sr} + 0,033T_k + 9,641; R^2 = 0,970, \quad (3)$$

$$T_g = 0,973d_{sr}^2 + 0,004T_k^2 + 46,81; R^2 = 0,942, \quad (4)$$

dla śruty z łubinu:

$$W_g = -0,643d_{sr}^2 + 2,812d_{sr} + 0,045T_k + 2,812; R^2 = 0,883, \quad (5)$$

$$T_g = 0,003T_k^2 + 63,71; R^2 = 0,911, \quad (6)$$

gdzie:

d_{sr} – średni wymiar cząstki surowca [mm],

R^2 – współczynnik determinacji,

T_g – temperatura granulatu po wyjściu z matrycy [°C],

T_k – temperatura materiału po kondycjonowaniu [°C],

W_g – wilgotność granulatu po wyjściu z matrycy [%].

Średnie wyniki badań zawartości cząstek rozkruszonych w granulacie po wyjściu z matrycy oraz wytrzymałości kinetycznej granulatu z jęczmienia przedstawiono na rys. 4. Otrzymane wyniki wskazują, że wraz ze wzrostem wielkości cząstek śruty po rozdrobieniu wzrasta zawartość cząstek rozkruszonych w granulacie i jednocześnie maleje wytrzymałość kinetyczna granulatu z 97,12 do 91,72%. Uzyskane wartości udziału cząstek rozkruszonych w granulacie zawierają się w przedziale od 7,43 do 14,41%, co znacznie przekracza dopuszczalne normy.

Odpowiednie równania funkcji regresji opisujące te zależności zestawiono poniżej:

dla śruty z jęczmienia:

$$C_r = 2,927d_{sr} - 0,113T_k + 14,87; R^2 = 0,750 \quad (7)$$

$$P_{DI} = -2,049d_{sr} + 96,78; R^2 = 0,839 \quad (8)$$

gdzie:

C_r – zawartość cząstek rozkruszonych w granulacie [%],

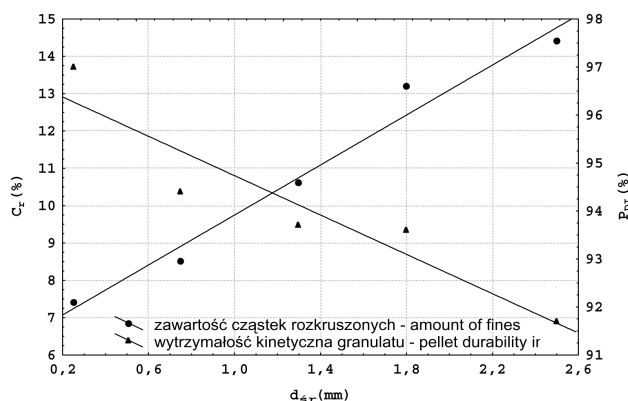
d_{sr} – średni wymiar cząstki surowca [mm],

P_{DI} – wytrzymałość kinetyczna granulatu [%],

R^2 – współczynnik determinacji,

T_k – temperatura materiału po kondycjonowaniu [°C].

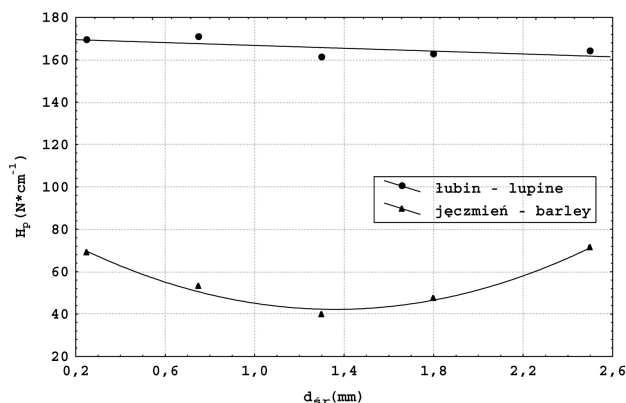
W przypadku łubinu, nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu zarówno stopnia rozdrobnienia, jak też temperatury obróbki hydrotermicznej na wartość wyżej rozpatrywanych parametrów ($p > 0,01$). Przy czym zaobserwowano, że zawartość cząstek rozkruszonych w granulacie za każdym razem nie przekracza wartości 4%, a wytrzymałość kinetyczna utrzymuje się na poziomie około 96%. Jest to zapewne efektem bardzo wysokiej zawartości białka (38,5%) w tym surowcu.



Rys. 4. Zależność zawartości cząstek rozkruszonych w granulacie (C_r) i wytrzymałości kinetycznej granulatu (P_{DI}) od średniego wymiaru cząstki śruty z jęczmienia (d_{sr}) - średnie wartości dla 5 temperatur surowca po kondycjonowaniu

Fig. 4. Dependence of fines in pellet (C_r) and pellet durability index (P_{DI}) on the average size of barley ground particles (d_{sr}) – mean values for 5 raw material temperatures after conditioning (T_k)

Powyższy fakt wydaje się być również istotnym dla interpretacji wyników badań twardości granulatu (rys. 5).



Rys. 5. Zależność twardości granulatu (H_p) od średniego wymiaru cząstki (d_{sr}) - średnie wartości dla 5 temperatur surowca po kondycjonowaniu

Fig. 5. Dependence between pellet hardness (H_p) and the average size of ground particles (d_{sr}) – mean values for 5 raw material temperatures after conditioning (T_k)

Także w tym przypadku oddziaływanie stopnia rozdrobnienia w odniesieniu do łubinu jest statystycznie nieistotne ($p > 0,01$). Uzyskana zmienność twardości wynika jedynie ze zmiany temperatury materiału po kondycjonowaniu, przy czym zależność ta nie jest zbyt silna ($R = 0,598$). Natomiast w przypadku jęczmienia zmiany wartości rozpatrywanego parametru są wynikiem oddziaływania stopnia rozdrobnienia

($R=0,911$). Najniższą wartość parametru ($40,03 \text{ N}\cdot\text{cm}^{-1}$) stwierdzono dla średniego wymiaru cząstki 1,3 mm. Wartość ta jest przeciętnie o 75% niższa od twardości uzyskanych przez granulaty z łubinu.

Ilościową ocenę analizowanych zależności można przedstawić w postaci następujących równań:

$$H_p = 22,32d_{sr}^2 - 60,66d_{sr} + 83,41; R^2 = 0,830, \quad (9)$$

$$H_p = 0,593T_k + 124,2; R^2 = 0,358, \quad (10)$$

gdzie:

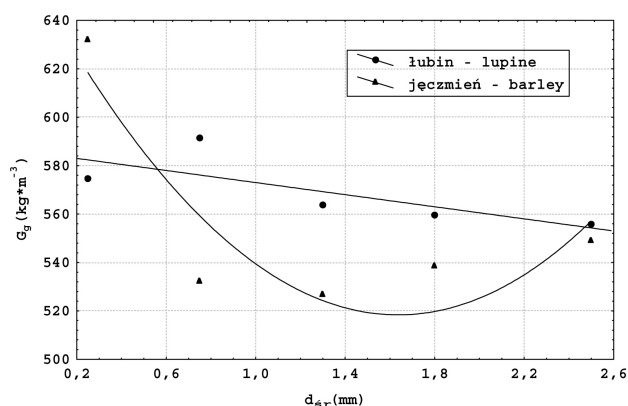
d_{sr} – średni wymiar cząstki surowca [mm],

H_p – twardość granulatu [$\text{N}\cdot\text{cm}^{-1}$],

R^2 – współczynnik determinacji,

T_k – temperatura materiału po kondycjonowaniu [$^{\circ}\text{C}$].

Gęstość granulatu w stanie zsypanym, uzyskaną podczas prasowania surowców o różnym stopniu rozdrobnienia przedstawiono na rys. 6. Jak wynika z uzyskanych danych, średnie wartości analizowanego parametru mieszczą się w przedziale od 526,8 do $632,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.



Rys. 6. Zależność gęstości granulatu (G_g) od średniego wymiaru cząstki (d_{sr}) – średnie wartości dla 5 temperatur surowca po kondycjonowaniu

Fig. 6. Dependence between pellet density (G_g) and the average size of ground particles (d_{sr}) – mean values for 5 raw material temperatures after conditioning (T_k)

Zarówno największa, jak też najmniejsza wartość parametru odnosi się do jęczmienia - odpowiednio dla śruty o średnim wymiarze cząstki 0,25 i 1,75 mm. Również w tym przypadku, w odniesieniu do łubinu nie wykazano statystycznie istotnego ($p > 0,01$) wpływu stopnia rozdrobnienia na gęstość granulatu, a stwierdzono jedynie średnie oddziaływanie temperatury surowca po kondycjonowaniu ($R=0,671$).

Uzyskane zależności opisano następującymi równaniami:

$$G_g = 52,04d_{sr}^2 - 170,3d_{sr} - 1,420T_k + 757,1; R^2 = 0,836 \quad (11)$$

$$G_g = -2,084T_k + 714,8; R^2 = 0,449 \quad (12)$$

gdzie: d_{sr} – średni wymiar cząstki surowca [mm],

G_g – gęstość granulatu w stanie zsypanym [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

R^2 – współczynnik determinacji,

T_k – temperatura materiału po kondycjonowaniu [$^{\circ}\text{C}$].

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

1. W przyjętym zakresie badawczym, dla obydwu badanych surowców stwierdzono prawie pełną liniową zależność pomiędzy stopniem rozdrobnienia a wilgotnością materiału po

kondycjonowaniu. Średni przyrost wilgotności, przypadający na jednostkę stopnia rozdrobnienia, wynosi 0,61 punktu procentowego dla jęczmienia i 0,95 p.p. dla łubinu.

2. Zaobserwowano, że wilgotność granulatu po wyjściu z matrycy zmniejsza się wraz ze wzrostem stopnia rozdrobnienia surowca. Przeciętne ubytki wilgotności na skutek prasowania przyjmują wartość 2,32 punktu procentowego dla jęczmienia i 4,44 p.p. dla łubinu.

3. Stwierdzono, iż w przypadku śruty z jęczmienia wraz ze wzrostem średniego wymiaru cząstki surowca, ilość cząstek rozkruszonych w granulacie zwiększa się przeciętnie o 6,68 punktu procentowego. Jednocześnie wytrzymałość kinetyczna granulatu zmniejsza się o 5,4 p.p. Natomiast w odniesieniu do łubinu nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu stopnia rozdrobnienia, jak też temperatury materiału po kondycjonowaniu, na wartość powyższych parametrów.

4. Wykazano, że gęstość i twardość granulatu zmieniają się wraz ze stopniem rozdrobnienia jęczmienia. Najniższą wartość twardości (40,02), jak też gęstości ($527 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), odnotowano dla surowca o średnim wymiarze cząstki 1,3 mm. Natomiast w przypadku łubinu, zmiany wartości niniejszych parametrów są głównie następstwem oddziaływania temperatury materiału po kondycjonowaniu.

5. Literatura

- [1] Angulo E., Brufau J., Esteve-Garcia E.: Effect of sepiolite product on pellet durability in pig diets differing in particle size and in broiler starter and finisher diets. Anim. Feed Sci. Tech., 1996, vol. 63, s. 25-34.
- [2] Dirkzwager, A., Elbers, A.R.W., van der Aar, P.J., Vos, J.H.: Effect of particle size and addition of sunflower hulls to diets on the occurrence of oesophagogastric lesions and performance in growing-finishing pigs. Livest. Prod. Sci., 1998, vol. 56, s. 53-60.
- [3] Grudniewska B.: Hodowla i użytkowanie świń. Wyd. ART, Olsztyn 1998.
- [4] Kulig R., Laskowski J.: Pomiarzy zycia pary wodnej w procesie kondycjonowania surowców i mieszanek paszowych. Inżynieria Rolnicza, 2002, vol. 4 (24), s. 134-141.
- [5] Kulig R., Laskowski J.: Określenie zależności między stopniem rozdrobnienia nasion roślin strączkowych a parametrami procesu granulowania. Inżynieria Rolnicza, 2002, vol. 7a, s. 155-163.
- [6] Kulig R., Laskowski J.: Nakłady energii w procesie granulowania śrut pszenicy o różnym stopniu rozdrobnienia. Motrol, 2006, tom 8A, s. 187-192.
- [7] Kulig R., J. Laskowski.: Energy requirements for pelleting of chosen feed materials with relation to the material coarseness. TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, 2008, tom 8, s.115-120.
- [8] Lahaye L., Ganier P., Thibault J. N., Riou Y., Seve B.: Impact of wheat grinding and pelleting in a wheat-rapeseed meal diet on amino acid ileal digestibility and endogenous in pigs. Anim. Feed Sci. Tech., 2008, vol. 141, s. 287-305.
- [9] MacBain R.: Pelleting formulation, conditioning, operating techniques. American Feed Manufacturing Association, Arlington, VA (USA) 1968.
- [10] Nielsen, E.K., Ingvarsen, K.L.: Effect of cereal type, disintegration method and pelleting on stomach content, weight and ulcers and performance in growing pigs. Livest. Prod. Sci., 2000, vol. 66, s. 271-282.
- [11] Payne J.D.: Improving quality of pellet feeds. Milling Feed Fertil., 1978, vol. 162, 34-41.
- [12] 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. Anim. Feed Sci. Tech., 1997, vol. 64, s. 173-192.
- [13] Wondra, K.J., Hancock, J.D., Behnke, K.C., Hines, R.H., Stark, C.R.: Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. J. Anim. Sci., 1995a, vol. 73, s. 757-763.
- [14] Wondra, K.J., Hancock, J.D., Behnke, K.C., Stark, C.R.: Effects of mill type and particle size uniformity on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. J. Anim. Sci., 1995b, vol. 73, s. 2564-2573.
- [15] Normy żywienia świń. Wartość pokarmowa pasz. Omnitech Press 1993.
- [16] PN-93/A-74012 – Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie wilgotności.
- [17] PN-ISO 7971-2:1998 - Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym.
- [18] PN-R-64834:1998. Pasze – Badanie wytrzymałości kinetycznej granul.