

Ryszard Kulig, Janusz Laskowski
Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego
Akademia Rolnicza w Lublinie

WPLYW WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI SUROWCÓW NA CECHY WYTRZYMAŁOŚCIOWE GRANULATU

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań nad wpływem zawartości tłuszczu i włókna w materiale paszowym na cechy wytrzymałościowe granulatu. Badaniom poddano mieszaninę pszenicy z rzepakiem o zawartości tłuszczu od 1,92 do 20,8%, mieszaninę pszenicy z lucerną o zawartości włókna od 2,74 do 18,34% oraz mieszaninę DKA-Super Grower o zawartości tłuszczu od 0 do 4%. Stwierdzono, iż w przypadku maksymalnej zawartości tłuszczu w materiale paszowym, wytrzymałość kinetyczna granulatu (P_{DI}) przyjmuje minimalną wartość 60% w odniesieniu do mieszaniny pszenicy z rzepakiem i 77% w odniesieniu do mieszanki DKA-Super Grower. Natomiast przy najniższej zawartości lucerny w mieszaninie z pszenicą (2,74% włókna), granulatu uzyskuje wytrzymałość kinetyczną na poziomie 97%. Wykazano, iż twardość granulatu zmniejsza się wraz ze zwiększaniem się udziału tłuszczu w materiale, średnio o 72% w przypadku mieszanki DKA-Super Grower i o 61% w przypadku mieszaniny pszenicy z rzepakiem. Natomiast zwiększanie udziału włókna w przerabianym materiale powoduje zwiększenie się twardości - średnio o 95%.

Słowa kluczowe: granulowanie, kondycjonowanie, wytrzymałość kinetyczna, twardość granulatu, tłuszcz paszowy, włókno paszowe

Wykaz symboli i oznaczeń

- F_n – maksymalna siła niszcząca granulę [N],
- H_p – twardość granulatu [N/cm],
- l – długość granuli [cm],
- P_{DI} – wytrzymałość kinetyczna granulatu [%],
- P_p – ciśnienie pary [kPa],
- r – współczynnik korelacji liniowej Pearsona,
- R^2 – współczynnik determinacji,

- T_k – temperatura materiału po kondycjonowaniu parowym [°C],
 W_s – wilgotność materiału po kondycjonowaniu z dodatkiem wody [%],
 W_k – wilgotność materiału po kondycjonowaniu parowym [%],
 Z_l – zawartość lucerny w mieszaninie [%],
 Z_r – zawartość rzepaku w mieszaninie [%],
 Z_t – zawartość tłuszczu w mieszance [%],
 α_i – przyjęty poziom istotności.

Wprowadzenie

Skład i właściwości mieszanki poddawanej granulowaniu wywierają zasadniczy wpływ zarówno na wydajność procesu, jak i cechy wytrzymałościowe granulatu. W zakresie składu chemicznego mieszanki, przebieg procesu granulowania determinowany jest głównie poprzez zawartość tłuszczu, włókna, białka i skrobi [Laskowski 1989].

W ostatnich latach, szczególnym przedmiotem zainteresowania jest zagadnienie wprowadzania tłuszczu do mieszanek paszowych. Jest to wynikiem licznych badań, które wykazały, że tłuszcze w mieszanekach pozwalają polepszyć wskaźniki wychowu i są szczególnie niezbędne w produkcji brojlerów [Scheideler 1991; Wiseman i in. 1998]. Wzrost udziału surowców tłuszczowych w mieszance poddawanej granulowaniu, z jednej strony zwiększa wydajność granulatora, a z drugiej pogarsza właściwości wytrzymałościowe otrzymanego granulatu. Z kolei surowce zawierające dużą ilość włókna wpływają korzystnie na wzrost wytrzymałości granulatu, ale powodują jednocześnie zmniejszenie wydajności procesu [Behnke 2001]. Hejft [1991] podkreśla, że rozpuszczone i rozluźnione związki ligninowe obecne we włóknie zwiększają oddziaływanie sił spójności podczas aglomeracji. Ligniny są bardziej podatne na oddziaływanie wysokich temperatur niż ma to miejsce w przypadku skrobi i białka. W konsekwencji granule z dużym udziałem włókna charakteryzują się wysoką wytrzymałością kinetyczną. Mając na uwadze powyższe, celem prezentowanej pracy było ustalenie zależności pomiędzy zawartością tłuszczu i włókna w materiale paszowym a cechami wytrzymałościowymi granulatu, co jest niezwykle istotne zarówno dla producentów jak i odbiorców paszy.

Metodyka i przebieg badań

Do badań wykorzystano następujące materiały paszowe:

- śrutę z pszenicy odmiany *Emika* (o zawartości 1,92% tłuszczu i 2,74% włókna);
- mieszaniny pszenicy z rzepakiem (odmiana *Lirajet*) o zawartości rzepaku od 10 do 50% (co 10%). Dla tak zestawionych mieszanin, udział zawartego w nich tłuszczu wynosił odpowiednio: 5,48; 9,31; 13,13; 16,97 i 20,8%;

- mączkę z lucerny odmiany *Derby* (o zawartości 23,55% włókna);
- mieszaniny pszenicy z lucerną o zawartości lucerny od 25 do 75% (co 25%). Dla tak zestawionych mieszanin, udział zawartego w nich włókna wynosił odpowiednio: 7,93; 13,14 i 18,34%;
- mieszankę DKA-Super Grower o zawartości tłuszczu od 0 do 4% (zawrtość włókna 3,9%).

Badania granulowania mieszanin pszenicy z rzepakiem i lucerną przeprowadzono na stanowisku pomiarowym, którego szczegółowy opis znajduje się w pracy - [Kulig i Laskowski 2002]. Proces granulowania prowadzono z zastosowaniem kondycjonowania parowego i kondycjonowania z dodatkiem wody. W pierwszym przypadku badane surowce przed prasowaniem doprowadzono do pięciu poziomów temperatury: 50, 60, 70, 80 i 90°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%. Natomiast badania granulowania mieszanki DKA-Super Grower przeprowadzono w Wytwórni Pasz w Radzynie Podlaskim na granulatorze GTL 700. Proces granulowania prowadzono z zastosowaniem kondycjonowania parowego, doprowadzając materiał do temperatury 65°C. W obydwu przypadkach prasowanie materiału odbywało się na matrycy o średnicy otworów $\Phi = 4\text{mm}$.

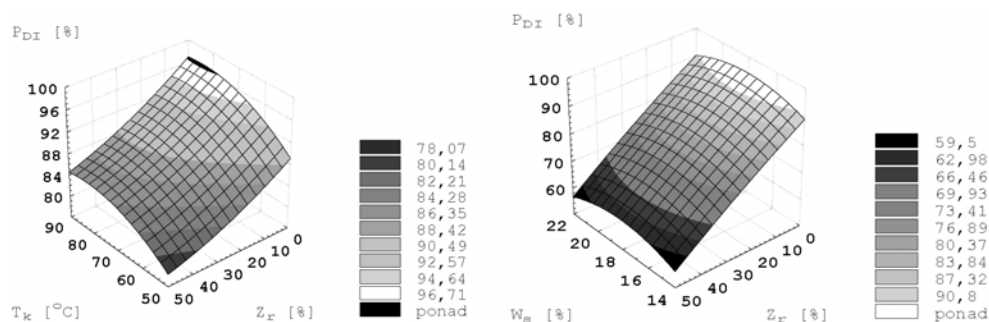
Badania wytrzymałości kinetycznej granulatu przeprowadzono według PN-R-64834/98 na testerze Pfost'a po czasie 30 minut od jego wytworzenia. Natomiast pomiary twardości granulatu przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick Z020/TN2S w zakresie obciążeń 0÷500 N. Pojedyncze granule, po uprzednim zmierzeniu długości z dokładnością do $\pm 10^{-1}$ mm, umieszczano poziomo na nieruchomym stoliku i zgniatano przy pomocy poruszającej się ze stałą prędkością (10 mm/min.) głowicy pomiarowej. Pomiar prowadzono do momentu osiągnięcia maksymalnej wartości siły, której przekroczenie niszczy granule. Znajomość wartości siły niszczącej (F_n) oraz długości granulatu (l) pozwoliła na wyznaczenie jego twardości według wzoru:

$$H_p = \frac{F_n}{l} \text{ [N*cm}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

Analizę zależności pomiędzy zawartością tłuszczu i włókna w badanych materiałach paszowych oraz warunkami procesu kondycjonowania a parametrami wytrzymałościowymi 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.

Wyniki badań

Wyniki badań wytrzymałości kinetycznej granulatu w zależności od zawartości rzepaku w mieszaninie poddawanej granulowaniu przedstawiono na rys. 1 i 2. Uzyskane dane wskazują, iż wzrost udziału rzepaku powoduje pogorszenie się jakości granulatu. Tendencja taka zauważalna jest dla obydwu metod granulowania.



Rys. 1. Zależność wytrzymałości kinetycznej granulatu (P_{DI}) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) i temperatury kondycjonowania (T_k) (wartości średnie dla 5 ciśnień pary)

Fig. 1. Dependence of kinetic strength of granulated product (P_{DI}) on the content of rape in the mixture with wheat (Z_r) and conditioning temperature (T_k) (average values for 5 pressure values of steam)

Rys. 2. Zależność wytrzymałości kinetycznej granulatu (P_{DI}) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) i wilgotności materiału (W_s) (kondycjonowanie z dodatkem wody)

Fig. 2. Dependence of kinetic strength of granulated product (P_{DI}) on the content of rape in the mixture with wheat (Z_r) and material moisture (W_s) (conditioning with water addition)

W przypadku kondycjonowania parowego zaobserwowano, iż oddziaływanie temperatury staje się bardziej istotne wraz ze zwiększaniem się udziału rzepaku w mieszaninie. Najwyższy przyrost wytrzymałości wynikający z oddziaływania temperatury odnotowano przy 50% zawartości rzepaku, a wynosił on 8,5%. W wyniku przeprowadzonej analizy regresji wielokrotnej ustalono modele równań, opisujące wpływ zawartości rzepaku w mieszaninie oraz warunków kondycjonowania na wytrzymałość kinetyczną granulatu następującej postaci:

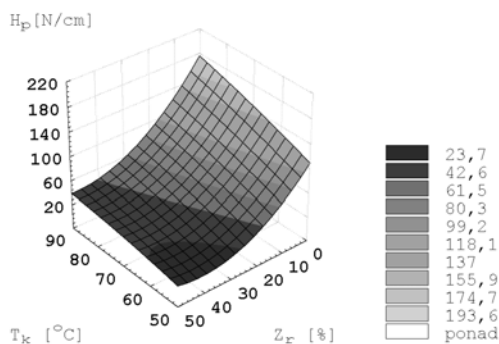
dla kondycjonowania parowego

$$P_{DI} = 0,0018Z_r^2 - 0,3235Z_r - 0,0639T_k^2 + 1,0697T_k + 5202; R^2 = 0,921 \quad (2)$$

dla kondycjonowania z dodatkiem wody:

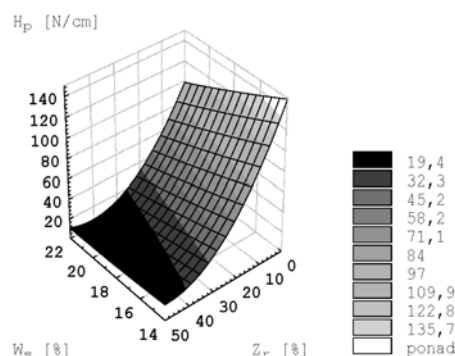
$$P_{DI} = -0,6677Z_r - 0,2857W_s^2 + 10,37W_s + 1,21; R^2 = 0,964 \quad (3)$$

Wyniki badań dotyczące wpływu zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą na twardość granulatu zobrazowano na rys. 3 i 4. W przypadku granulowania z dodatkiem pary wodnej wzrost temperatury powoduje zwiększanie się wartości analizowanego parametru. Przy czym analiza statystyczna wykazuje, że po przekroczeniu zawartości rzepaku na poziomie 25% oddziaływanie temperatury przestaje być istotne, a otrzymany granulat osiąga minimalny poziom twardości nie przekraczający 30 N/cm.



Rys. 3. Zależność twardości granulatu (H_p) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) i temperatury

Fig. 3. Dependence of hardness of granulated product (H_p) on the content of rape in the mixture with wheat (Z_r) and conditioning temperature (T_k) (average values for five pressure values of steam)



Rys. 4. Zależność twardości granulatu (H_p) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) i wilgotności materiału (W_s) (kondycjonowanie z dodatkiem wody)

Fig. 4. Dependence of hardness of granulated product (H_p) on the content of rape in the mixture with wheat (Z_r) and material moisture (W_s) (conditioning with water addition)

W przypadku granulowania z dodatkiem wody, gdzie udział rzepaku powoduje znaczną redukcję wartości współczynnika tarcia w czasie prasowania, uzyskane

wyniki są przeciętnie o 50% niższe niż osiągnięte w metodzie granulowania „na gorąco”. Także w tym przypadku po przekroczeniu zawartości 30% rzepaku w mieszaninie, oddziaływanie wilgotności staje się statystycznie nie istotne a granulatur przyjmuje stały, bardzo niski poziom twardości (poniżej 20 N/cm). Równania regresji wielokrotnej opisujące analizowane zależności zestawiono poniżej:

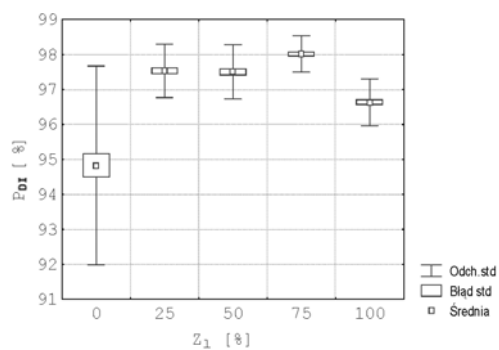
dla kondycjonowania parowego

$$H_p = 0,0582Z_r^2 - 5,228Z_r + 1,126T_k + 65,31; R^2 = 0,941 \quad (4)$$

dla kondycjonowania z dodatkiem wody

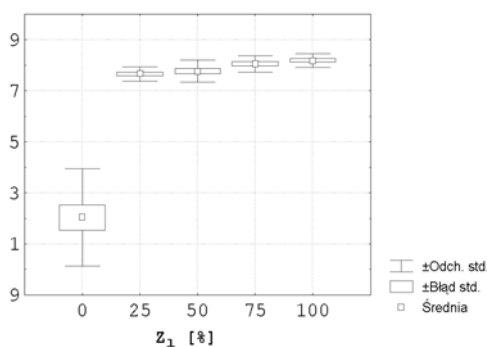
$$H_p = 0,0546Z_r^2 - 4,937Z_r - 3,459W_s + 185,34; R^2 = 0,937 \quad (5)$$

Wyniki pomiarów wytrzymałości kinetycznej granulatu w zależności od zawartości w mieszaninie lucerny i warunków kondycjonowania przedstawiono na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Zależność wytrzymałości kinetycznej granulatu (P_{DI}) od zawartości lucerny w mieszaninie z pszenicą (Z_l) (wartości średnie dla 5 temperatur kondycjonowania i 5 ciśnień pary)

Fig. 5. Dependence of kinetic strength of granulated product (P_{DI}) on the content on lucerne in the mixture with wheat (Z_l) (average values for 5 conditioning temperatures and 5 pressures of steam)



Rys. 6. Zależność wytrzymałości kinetycznej granulatu (P_{DI}) od zawartości lucerny w mieszaninie z pszenicą (Z_l) (wartości średnie dla 5 wilgotności materiału) (kondycjonowanie z dodatkiem wody)

Fig. 6. Dependence of kinetic strength of granulated product (P_{DI}) on the content of lucerne in the mixture with wheat (Z_l) (average values for 5 moisture values of material) (conditioning with water addition)

Zaobserwowano, że 25% dodatek lucerny do mieszaniny powoduje wzrost wytrzymałości kinetycznej do poziomu odpowiadającego „czystej” lucernie (kondycjonowanie z dodatkiem wody) a w przypadku kondycjonowania parowego nawet nieco wyższego. Jak wynika z przedstawionych wyników badań, w danych warunkach obróbki dalsze zwiększanie udziału lucerny w mieszaninie nie powoduje statystycznie istotnych zmian jakości granulatu gdyż zmienność parametru zachodzi w granicach błędu pomiarowego.

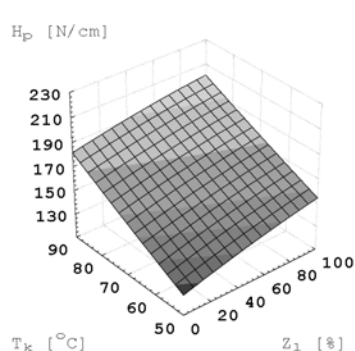
Wyniki badań odnośnie roli jaką w kształtowaniu twardości granulatu pełni włókno przedstawiono na rys. 7 i 8. Zaobserwowano, że w obydwu przypadkach zwiększanie udziału lucerny w mieszaninie powoduje zwiększanie się wartości twardości, a zależność ta przyjmuje charakter równania drugiego stopnia. Poniżej przedstawiono równania regresji wielokrotnej opisujące analizowane zależności:

dla kondycjonowania parowego

$$H_p = - 0,0007Z_l^2 + 0,2975U + 1,267T_k + 61,125; R^2 = 0,978 \quad (6)$$

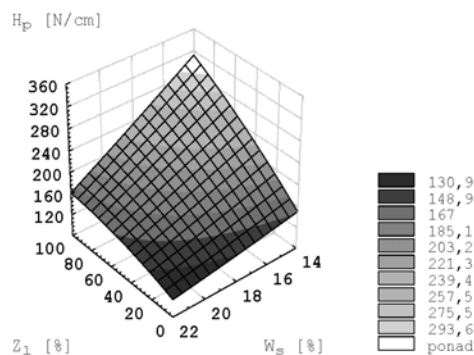
dla kondycjonowania z dodatkiem wody

$$H_p = - 0,0007Z_l^2 + 0,2975U + 1,267T_k + 61,125; R^2 = 0,978 \quad (7)$$



Rys. 7. Zależność twardości granulatu (H_p) od zawartości lucerny w mieszaninie z pszenicą (Z_l) i temperatury kondycjonowania (T_k) (wartości średnie dla 5 ciśnień pary)

Fig. 7. Dependence of hardness of granulated product (H_p) on the content of lucerne in the mixture with wheat (Z_l) and conditioning temperature (T_k) (average values for 5 pressures of steam)



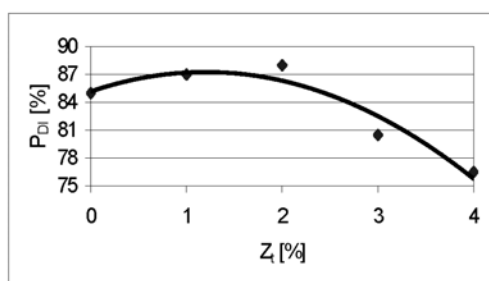
Rys. 8. Zależność twardości granulatu (H_p) od zawartości lucerny w mieszaninie z pszenicą (Z_l) i wilgotności materiału (W_s) (kondycjonowanie z dodatkiem wody)

Fig. 8. Dependence of hardness of granulated product (H_p) on the content of lucerne in the mixture with wheat (Z_l) and material moisture (W_s) (conditioning with water addition)

Wyniki badań wytrzymałości kinetycznej i twardości granulatu w zależności od zawartości tłuszczu w mieszance DKA-Super Grower zobrazowano na rys. 9 i 10. Stwierdzono, iż wzrost zawartości tłuszczu do 2% powoduje zwiększenie się wartości wskaźnika (P_{DI}) średnio o 3%, z kolei dalsze zwiększanie jego udziału w mieszance prowadzi do spadku wartości parametru (P_{DI}) średnio o 12%. Natomiast twardość granulatu wraz ze zwiększaniem się udziału tłuszczu w materiale maleje średnio o 72%. Ilościową analizę powyższych zależności ujęto w postaci następujących równań:

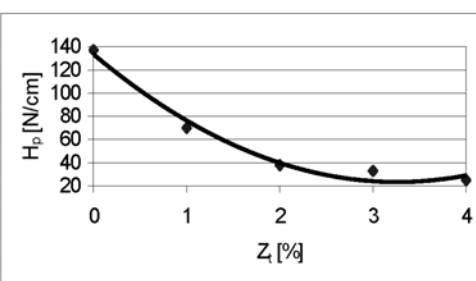
$$P_{DI} = -1,46 Z_t^2 + 3,5071 Z_t + 85,171; R^2 = 0,91; \quad (8)$$

$$H_p = 10,357 Z_t^2 - 67,529 Z_t + 133,51; R^2 = 0,9821; \quad (9)$$



Rys. 9. Zależność wytrzymałości kinetycznej granulatu (P_{DI}) od zawartości tłuszczu (Z_t) w mieszance DKA-Super Grower (granulowanie w warunkach przemysłowych)

Fig. 9. Dependence of kinetic strength of granulated product (P_{DI}) on the fat content (Z_t) in DKA-Super Grower mixture (granulating under industrial conditions)



Rys. 10. Zależność twardości granulatu (H_p) od zawartości tłuszczu (Z_t) w mieszance DKA-Super Grower (granulowanie w warunkach przemysłowych)

Fig. 10. Dependence of hardness of granulated product (H_p) on fat content (Z_t) in DKA-Super Grower mixture (granulating under industrial conditions)

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można przedstawić następujące wnioski:

1. Stwierdzono, iż w przypadku mieszanin pszenicy z rzepakiem wraz ze wzrostem udziału tłuszczu wytrzymałość kinetyczna granulatu (P_{DI}) pogarsza się, przyjmując minimalną wartość 78% w odniesieniu do metody granulowania z dodatkiem pary wodnej i 60% w odniesieniu do granulowania bez udziału pary wodnej.

2. Wykazano, iż w przypadku mieszanki DKA-Super Grower wzrost zawartości tłuszczu do 2% powoduje zwiększenie się wartości wskaźnika (P_{DI}) średnio o 3%, z kolei dalsze zwiększanie jego udziału w mieszance prowadzi do spadku wartości parametru (P_{DI}) średnio o 12%.
3. Zaobserwowano, że zwiększenie zawartości włókna w mieszance do 5,74%, powoduje uzyskanie wytrzymałości kinetycznej na poziomie 97%, a dalsze jego zwiększanie nie powoduje statystycznie istotnych zmian jakości granulatu.
4. Twardość granulatu zmniejsza się wraz ze zwiększaniem udziału tłuszczu w materiale, średnio o 72% w przypadku mieszanki DKA-Super Grower i o 61% w przypadku mieszaniny pszenicy z rzepakiem.
5. Zwiększanie udziału włókna w przerabianym materiale z 2,74% do 18,34%, powoduje zwiększanie się wartości twardości średnio o 63% w odniesieniu do granulowania z dodatkiem pary wodnej i o 124% w odniesieniu do granulowania bez udziału pary wodnej.
6. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość modelowania cech wytrzymałościowych granulatu poprzez zmianę składu surowcowego mieszanek paszowych.

Bibliografia

Hejft R. 1991. Ciśnieniowa aglomeracja i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco-brykietujących. Rozprawy Naukowe Politechniki Białostockiej, nr 11, Białystok.

Kulig R., Laskowski J. 2002. Pomiary zużycia pary wodnej w procesie kondycjonowania surowców i mieszanek paszowych, *Inżynieria Rolnicza*, 4 (24): 134-141.

Laskowski J. 1989. Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych, Praca habilitacyjna, Wydawnictwo AR, Lublin.

Scheideler, S.E. 1991. Proc. of the Carolina Poultry Nutrition Conf., Carolina Feed Industry Assn., Sanford, NC.

Behnke K.C. 2001. Factors influencing pellet quality. *Feed Tech*, 5 (4): 19-22.

Wiseman J., Powles J., Salvador F. 1998. Comparison between pigs and poultry in the prediction of the dietary energy value of fats. *Animal Feed Science Technology* 71: 1-9.

EFFECT OF SELECTED PROPERTIES OF RAW MATERIALS ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF GRANULATED PRODUCT

Summary

The paper presents results of the studies of the effect of fat and fiber content in the feed material on strength characteristics of the granulated product. The studies covered a mixture of wheat and rape with a fat content from 1,92 to 20,8%, mixture of wheat and lucerne with a fiber content from 2,74 to 18,34% and mixture of DKA-Super Grower with a fat content from 0 to 4%.

The studies showed that for maximum fat content in the feed material, the kinetic strength of the granulated product (P_{DI}) reaches a minimum value of 60% in relation to the mixture of wheat and rape and 77% in relation to mixture of DKA-Super Grower. With the lowest content of lucerne in the mixture with wheat (2,74% of fiber), the granulated product reaches a kinetic strength of 97%. The studies revealed that granulated product hardness was decreasing with the increase of fat share in the material, on the average by 72% for DKA-Superb Grower mixture and by 61% for the mixture of wheat and rape. Increasing the share of fiber in the processed material results in increase of hardness - on the average by 95%.

Key words: granulating, conditioning, kinetic strength, hardness of granulated product, feed fat, feed fiber