

## WPLYW WARUNKÓW KONDYCJONOWANIA NA WILGOTNOŚĆ MATERIAŁU SYPKIEGO I GRANULATU

*Ryszard Kulig*

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: ryszard.kulig@up.lublin.pl

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu warunków kondycjonowania surowców paszowych na wilgotność materiału po obróbce hydrotermicznej oraz wilgotność granulatu otrzymanego w wyniku stosowania różnych metod kondycjonowania. Wykazano istnienie bardzo silnej liniowej zależności zarówno pomiędzy temperaturą kondycjonowania jak i ciśnieniem pary a wilgotnością materiału po kondycjonowaniu parowym ( $R = 0,994$ ). Średnie wartości wilgotności wahają się w przedziale od 15,19 do 22,03%. Stwierdzono, iż kondycjonowanie parowe, w przypadku większości badanych surowców, zapewnia uzyskanie granulatu o niższej wilgotności po wyjściu z matrycy niż kondycjonowanie z dodatkiem wody. Uzyskane średnie wartości tego parametru zawierają się w przedziale od 13,51 do 18,43% dla kondycjonowania parowego i od 10,23 do 21,22% dla kondycjonowania z dodatkiem wody.

**Słowa kluczowe:** kondycjonowanie, granulowanie, wilgotność materiału sypkiego, wilgotność granulatu

### WSTĘP

W procesie granulowania kondycjonowanie oznacza zabieg polegający na oddziaływaniu dodatkowo wprowadzonej wody lub ciepła, bądź też razem wody i ciepła, na mieszankę sypką, w wyniku czego następują zmiany fizykochemiczne w obrabianym materiale przed prasowaniem. Następstwem procesu jest podwyższenie temperatury i wilgotności mieszanki, co w konsekwencji wpływa na wzrost wydajności produkcji (Laskowski 1989, Skoch i in. 1981), zwiększenie spójności oraz wartości odżywczych granulatu (Israelsen i in. 1996, Thomas i in. 1997). W rzeczywistości wilgotność materiału uzyskana w procesie kondycjonowania wynika z sumy dwóch rodzajów wilgoci: „związanej” i dodanej. Wilgoć „związana” ma charakter wiązań chemicznych i fizycznych ze składnikami komponentów mieszanki

(Haman i in. 1973). Wilgoć dodana wprowadzana jest w kondycjonerze lub mieszarce w postaci pary albo wody (Behnke 2001, Smallman 1996).

Wilgotność „związana” surowców roślinnych zmienia się, dążąc do wartości równowagowej, wynikającej z ich higroskopijności. Wilgotność równowagowa materiału poddawanego granulowaniu (obok składu chemicznego) wpływa na ilość pary dodawanej do niego w celu osiągnięcia założonej temperatury po obróbce hydrotermicznej (Kulig 2007b, Muirhead 1999). Rolę wilgoci dodanej należy rozpatrywać w dwóch aspektach. Po pierwsze jak podaje Rumpf (1958), obecność wody powoduje powstawanie mostków cieczowych między cząstkami materiału prowadzących do wzrostu wytrzymałości granulatu. Z drugiej zaś strony, wilgoć dodana zwilża cząstki materiału, przez co działa jak smar redukujący tarcie w czasie przetłaczania przez matrycę (Kulig 2007a). W konsekwencji wszystkie te czynniki wpływają na wilgotność, jaką charakteryzuje się granulaty wychodzący z matrycy. Wielkość tego parametru ma pewne znaczenie prognostyczne. Ponieważ przy założeniu, że w czasie chłodzenia granulatu ilość odprowadzanej wilgoci wynosi przeciętnie 2-3% (Laskowski 1989), informuje wstępnie, czy produkt otrzymany w danych warunkach obróbki będzie się nadawał do przechowywania.

Z przeglądu literatury przedmiotu wynika, iż brak jest szczegółowych badań dotyczących zmian wilgotności materiału w procesie granulowania. Stąd też celem niniejszej pracy było zbadanie oddziaływania warunków kondycjonowania surowców roślinnych na wilgotność materiału po obróbce hydrotermicznej i granulatu po wyjściu z matrycy.

## MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły śruty z jęczmienia, kukurydzy, pszenicy, owsa, grochu, łubinu oraz mączka z lucerny. Surowce rozdrabniano na rozdrabniaczu bijakowym H-950 wyposażonym w sito o wymiarach otworów  $\phi 3$  mm. Po rozdrobnieniu materiał badawczy doprowadzano do stałej wilgotności 14% (z dokładnością do  $\pm 0,25\%$ ) poprzez nawilżenie zimną wodą. Wartość tę przyjęto jako punkt odniesienia dla badań procesu granulowania z zastosowaniem kondycjonowania parowego. Jednocześnie jest to minimalna wartość wilgotności, zapewniająca możliwość granulowania wszystkich materiałów metodą „na zimno”.

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

nawilżanie 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 4 mm i grubości 20 mm) oraz komputerowe układy pomiaru zużycia pary, ciepła i energii elektrycznej (Kulig i in. 1999, Kulig i Laskowski 2002).

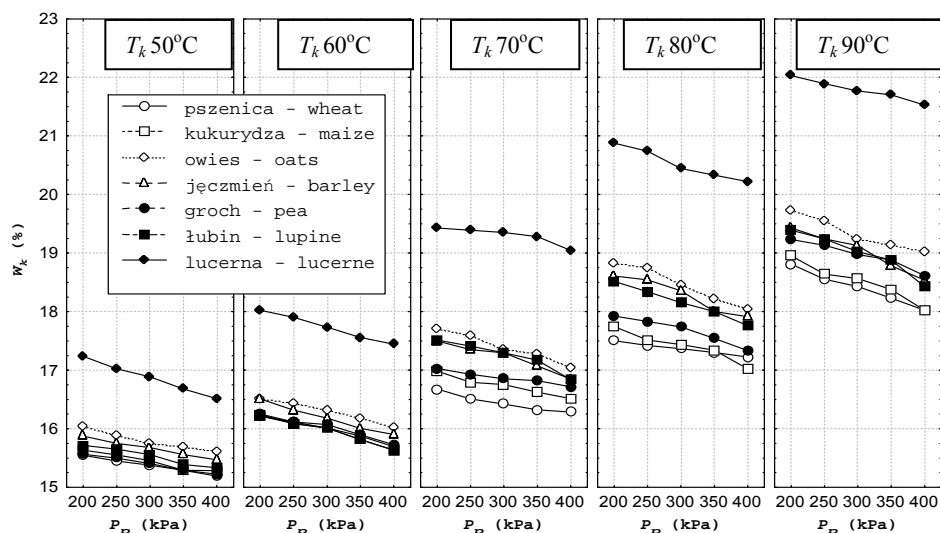
Wilgotność materiału sypkiego (po rozdrobnieniu, nawilżeniu zimną wodą i kondycjonowaniu parowym) oraz granulatu po wyjściu z matrycy określono metodą suszarkową zgodnie z PN-93/A-74012. Do suszarki laboratoryjnej typu SUP-4 nagrzanej do temperatury  $130^{\circ}\text{C}$  wkładano 10 g próbki surowca umieszczone w naczynkach wagowych. Suszenie odbywało się przez 60 minut w temperaturze  $130^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Analizę zależności pomiędzy parametrami procesu kondycjonowania a wilgotnością materiału sypkiego i 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.

## WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań wilgotności materiału po obróbce hydrotermicznej przedstawiono na rysunku 1. Średnie wartości analizowanego parametru zawierają się w przedziale od 15,19 do 22,03%. Największe wartości wilgotności odnotowano dla mączki z lucerny, najniższe zaś dla śruty pszennej. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono istnienie liniowej zależności zarówno pomiędzy temperaturą kondycjonowania jak i ciśnieniem pary a wilgotnością materiału po procesie kondycjonowania. Zależność tę potwierdza wysoka wartość współczynnika korelacji wielokrotnej ( $R = 0,994$ ). Przeciętny przyrost wilgotności materiału sypkiego po kondycjonowaniu, odpowiadający zmianie temperatury obróbki hydrotermicznej o  $10^{\circ}\text{C}$ , wynosi 0,75 punktu procentowego.

W tabeli 1 przedstawiono równania regresji wielokrotnej, opisujące interakcję między temperaturą obróbki hydrotermicznej i ciśnieniem pary a wilgotnością materiału po kondycjonowaniu, odnoszące się do poszczególnych surowców.



**Rys. 1.** Zależność wilgotności surowców po kondycjonowaniu ( $W_k$ ) od temperatury kondycjonowania ( $T_k$ ) i ciśnienia pary ( $P_p$ )

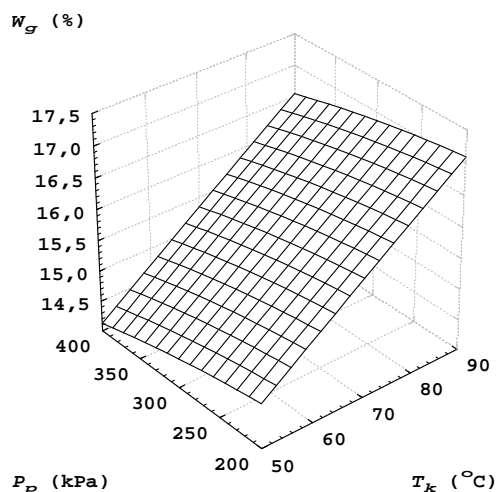
**Fig. 1.** Dependence of humidity of raw material after conditioning ( $W_k$ ) on conditioning temperature ( $T_k$ ) and steam pressure ( $P_p$ )

**Tabela 1.** Równania regresji opisujące wpływ temperatury kondycjonowania ( $T_k$ ) i ciśnienia pary ( $P_p$ ) na wilgotność surowców po kondycjonowaniu ( $W_k$ )

**Table 1.** Regression equations describing the effects of conditioning temperature ( $T_k$ ) and steam pressure ( $P_p$ ) on humidity of raw material after conditioning ( $W_k$ )

Surowiec Material	Postać równania Equation	A	B	C	R <sup>2</sup>
Pszenica – Wheat	$W_k = A T_k - B P_p + C$	0,074	0,002	12,17	0,972
Kukurydza – Maize	$W_k = A T_k - B P_p + C$	0,091	0,003	11,87	0,982
Jęczmień – Barley	$W_k = A T_k - B P_p + C$	0,088	0,003	12,10	0,984
Owies – Oats	$W_k = A T_k - B P_p + C$	0,092	0,003	11,92	0,986
Groch – Pea	$W_k = A T_k - B P_p + C$	0,088	0,002	11,52	0,981
Łubin – Lupine	$W_k = A T_k - B P_p + C$	0,912	0,003	11,77	0,980
Lucerna – Lucerne	$W_k = A T_k - B P_p + C$	0,126	0,003	11,25	0,993

Oddziaływanie warunków kondycjonowania hydrotermicznego na zmianę wilgotności granulatu po wyjściu z matrycy zobrazowano na rysunku 2. Uzyskane średnie wartości wahają się w przedziale od 13,51 do 18,43%.



**Rys. 2.** Zależność wilgotności granulatu po wyjściu z matrycy ( $W_g$ ) od temperatury kondycjonowania ( $T_k$ ) i ciśnienia pary ( $P_p$ ) (wartości średnie dla 7 badanych surowców)

**Fig. 2.** Dependence of humidity of pellets on exit from die ( $W_g$ ) on conditioning temperature ( $T_k$ ) and steam pressure ( $P_p$ ) (mean values obtained for 7 raw materials examined)

Wyniki przedstawione w tabeli 2 wskazują, iż zależność wilgotności granulatu od temperatury kondycjonowania przyjmuje różny charakter, co wynika z odmiennych właściwości surowców. Natomiast pomiędzy ciśnieniem pary a wilgotnością granulatu stwierdzono bardzo wysoką liniową ujemną korelację ( $r = -0,976$ ). Przy czym na podstawie analizy wariancji wykazano, iż w tym przypadku aż 10% zmienności wilgotności granulatu wyjaśnione jest poprzez zmiany ciśnienia pary. Przy założeniu stałości temperatury obróbki, średnie różnice w wilgotności granulatu, odpowiadające skrajnym wartościom ciśnienia pary, wynoszą 0,4 punktu procentowego.

W przypadku granulowania „na zimno” (rys. 3) zależności uzyskane dla wszystkich badanych surowców przyjmują charakter liniowy ( $r > 0,99$ ), o czym świadczą równania regresji przedstawione w tabeli 3. Podyktowane jest to zapewne brakiem oddziaływania cieplnego na materiał przed prasowaniem, a tym samym nie zachodzeniem w nim przemian fizykochemicznych, jakie mają miejsce podczas kondycjonowania parowego.

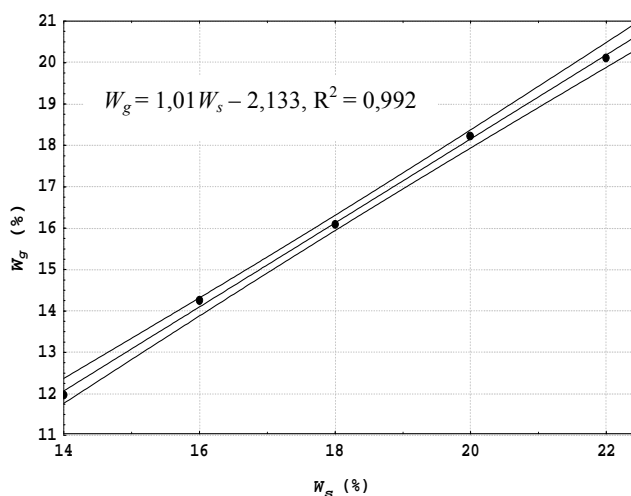
Z kolei dane przedstawione na rysunku 4 świadczą o tym, iż najwyższą średnią wilgotność (17,12%) uzyskano dla granulatu z kukurydzy, otrzymanego w wyniku granulowania „na zimno”. Najniższą zaś (14,31%) dla granulatu z lucerny otrzymanego tą samą metodą granulowania. Największe różnice w wilgotności granulatu, wynikające z zastosowanej metody kondycjonowania, dotyczą surowców zawiera-

jących znaczne ilości tłuszczu (kukurydza, łubin, owies) oraz włókna (lucerna). Najmniejsze zaś odnoszą się do surowców o umiarkowanej zawartości włókna i tłuszczu, ale bogatych w białko i skrobię (jęczmień, pszenica, groch).

**Tabela 2.** Równania regresji opisujące wpływ temperatury kondycjonowania ( $T_k$ ) i ciśnienia pary ( $P_p$ ) na wilgotność granulatu po wyjściu z matrycy ( $W_g$ )

**Table 2.** Regression equations describing the effects of conditioning temperature ( $T_k$ ) and steam pressure ( $P_p$ ) on humidity of pellets on exit from die ( $W_g$ ).

Surowiec Material	Postać równania Equation	A	B	C	D	R <sup>2</sup>
Pszenica – Wheat	$W_g = AT_k^2 - BT_k - CP_p + D$	0,001	0,097	0,003	17,74	0,985
Kukurydza – Maize	$W_g = A T_k^2 - CP_p + D$	0,001		0,003	14,51	0,928
Jęczmień – Barley	$W_g = BT_k - CP_p + D$		0,059	0,004	12,59	0,972
Owies – Oats	$W_g = BT_k - CP_p + D$		0,075	0,005	12,25	0,978
Groch – Pea	$W_g = -AT_k^2 + BT_k - CP_p + D$	0,001	0,145	0,001	8,299	0,972
Łubin – Lupine	$W_g = AT_k^2 - CP_p + D$	0,001		0,001	13,59	0,981
Lucerna – Lucerne	$W_g = BT_k - CP_p + D$		0,069	0,005	12,67	0,974

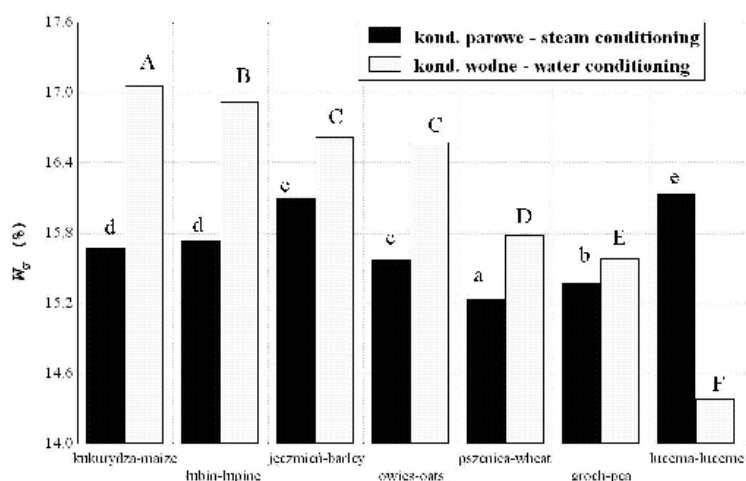


**Rys. 3.** Zależność wilgotności granulatu po wyjściu z matrycy ( $W_g$ ) od wilgotności surowca ( $W_s$ ) (średnie wartości dla 7 badanych surowców)

**Fig. 3.** Dependence of humidity of pellets on exit from die ( $W_g$ ) on moisture content of raw materials ( $W_s$ ) (cold conditioning)

**Tabela 3.** Równania regresji opisujące wpływ wilgotności surowca ( $W_s$ ) na wilgotność granulatu po wyjściu z matrycy ( $W_g$ ) (granulowanie „na zimno”)**Table 3.** Regression equations describing the effect of moisture content of raw materials ( $W_s$ ) on humidity of pellets on exit from die ( $W_g$ ) (cold conditioning)

Surowiec – Material	Postać równania– Equation	B	C	R <sup>2</sup>
Pszonica – Wheat	$W_g = BW_s - C$	1,066	3,414	0,998
Kukurydza – Maize	$W_g = BW_s - C$	1,018	1,28	0,996
Jęczmień – Barley	$W_g = BW_s - C$	0,996	1,363	0,992
Owies – Oats	$W_g = BW_s + C$	0,883	0,718	0,985
Groch – Pea	$W_g = BW_s - C$	1,019	2,766	0,992
Łubin – Lupine	$W_g = BW_s - C$	1,038	1,783	0,998
Lucerna – Lucerne	$W_g = BW_s - C$	1,078	5,039	0,997

**Rys. 4.** Wpływ rodzaju surowca i warunków kondycjonowania na wilgotność granulatu po wyjściu z matrycy ( $W_g$ ) (średnie wartości dla kondycjonowania parowego oraz z dodatkiem wody)**Fig. 4.** Effects of raw material and conditioning method on humidity of pellets on exit from die ( $W_g$ ) (means obtained)

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można przedstawić następujące wnioski:

1. Stwierdzono istnienie silnej liniowej zależności zarówno pomiędzy temperaturą kondycjonowania, jak i ciśnieniem pary a wilgotnością materiału po procesie kondycjonowania parowego. W przyjętym zakresie badawczym, średni

przyrost wilgotności materiału po kondycjonowaniu wynosi 3,35 punktu procentowego, przy czym maleje on wraz ze zwiększaniem się ciśnienia pary.

2. Wykazano, iż średnie ubytki wilgotności granulatu po prasowaniu przyjmują porównywalną wartość dla obydwu metod kondycjonowania (1,72 p.p. w przypadku kondycjonowania parowego i 1,87 p.p. w odniesieniu do kondycjonowania z dodatkiem wody). Jednocześnie stwierdzono, że metoda kondycjonowania wpływa na zmianę średnich różnic w wilgotności granulatu, wynikających z właściwości fizykochemicznych przerabianych surowców.

3. Zaobserwowano, że najwyższe wartości wilgotności odnoszą się do granulatu otrzymanego z surowców o znacznej zawartości tłuszczu, granulowanych podczas kondycjonowania z dodatkiem wody i są przeciętnie o 7,5% wyższe niż w metodzie parowej. Najmniejsze zaś dotyczą granulatu otrzymanego z surowców o umiarkowanej zawartości tłuszczu, ale bogatych w białko i skrobię (kondycjonowanie parowe) oraz włókno (kondycjonowanie z dodatkiem wody).

#### PIŚMIENNICTWO

- Behnke K.C., 2001. Moistening the mash. *Feed Tech*, 5 (5), 15-18.
- Haman J., Szot B., Woźniak W., 1973. Zagadnienia wymiany ciepła i masy w materiałach roślinnych. *Problemy Agrofizyki*, WPAN.
- Israelsen M., Busk J., Virsoe I., Hansen I.D., 1996. Reduzierung des Salmonellabefalls durch Expandieren und Pelletieren. *Kraftfutter*, 12, 584-592.
- Kulig R., Laskowski J., Skonecki S., 1999. Wykorzystanie komputera w badaniach procesu granulowania na prasie firmy Kahl typ 14-175. *Materiały VI Krajowej Konferencji „KOWBAN 99”*, Polanica Zdrój, 397- 400.
- Kulig R., Laskowski J., 2002. Pomiary zużycia pary wodnej w procesie kondycjonowania surowców i mieszanek paszowych. *Inżynieria Rolnicza*, 4 (24), 134-141.
- Kulig R., 2007a. Effects of conditioning methods on energy consumption during pelleting. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, Tom 7A, 52-58.
- Kulig R., 2007b. Steam and heat consumption during conditioning of vegetable feed raw materials in the pelleting process. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, Tom 7A, 59-67.
- Laskowski J., 1989. *Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych*. Seria Wydawnicza – Rozprawy Naukowe, nr 113, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie.
- Muirhead S., 1999. Precision in Mash Moisture Management Improves Pellet. *Feedstuffs* 71 (10), 16-17.
- Rumpf H., 1958. Grundlagen und Methoden des Granulierens. *Chem. Ing. Tech.*, 30, 144-158.
- Skoch E.R., Behnke K.C., Deyoe C.W., Binder S.F., 1981. The effect of steam conditioning rate on the pelleting process. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 6, 83-90.
- Smallman C., 1996. Maximising Conditioning Potential. *Feed Milling International*, 190 (11), 16-19.
- Thomas M., van Kol E., Tamminga S., Verstegen M.W.A., van der Poel A.F.B., 1997. Effect of Water, Steam and Shear Conditioning on the Protein Quality of Soy Grits. *J. Sci. Agric.*, 74, 392-400.
- PN-93/A-74012 – Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie wilgotności.



INFLUENCE OF CONDITIONING TREATMENTS  
ON MOISTURE CONTENT OF POWDERED MATERIAL AND PELLETS

*Ryszard Kulig*

Department of Machine Operation in Food Industry, University of Life Sciences  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: ryszard.kulig@up.lublin.pl

**Abstract.** Results of conditioning treatments of some fodder materials on the moisture content of resulting material before pelleting and after it are presented in the study. A strong linear relationship was observed, both between temperature of treatments and steam pressure, and the resulting moisture of powdered material ( $R = 0.994$ ). Average moisture ranged from 15.19 to 22.03%. It was observed, for a majority of the materials under study, that steam conditioning results in lower moisture level of material obtained after pelleting in comparison when the procedures using addition of water were employed only. For the two compared treatments, the average moisture of pellets ranged from 13.51 to 18.43% for steam conditioning, and from 10.23 to 21.22% for water addition.

**Keywords:** conditioning, pelleting, moisture of powdered material, moisture of pellets