

INFLUENCE OF CONDITIONING ON THE OUTPUT LOSSES DURING PELLETING OF PLANT MATERIALS

Summary

The paper presents results of studies on the conditioning treatments of plant materials and their mixtures upon the capacity losses, represented by the amount of fines in pellets. It was confirmed for the majority of materials under the study, that steam conditioning in comparison to the simple conditioning with water addition, decreased amounts of fines. The averages values ranged from 2,03 to 4,12% for steam conditioning, and from 1,2 to 19,8% for water addition. The lowest percentage of fines was noticed for lucerne and the highest for oats.

WPLYW WARUNKÓW KONDYCJONOWANIA NA STRATY WYDAJNOŚCI W PROCESIE GRANULOWANIA MATERIAŁÓW ROŚLINNYCH

Streszczenie

Praca przedstawia wyniki badań nad wpływem warunków kondycjonowania surowców roślinnych i ich mieszanin na straty wydajności procesu granulowania wyrażone zawartością cząstek rozkruszonych w granulacie. Stwierdzono, iż kondycjonowanie parowe, w przypadku większości badanych surowców, zapewnia uzyskanie granulatu o niższej zawartości cząstek rozkruszonych aniżeli kondycjonowanie z dodatkiem wody. Uzyskane średnie wartości zawierają się w przedziale od 2,03 do 4,12% dla kondycjonowania parowego i od 1,2 do 19,82% dla kondycjonowania z dodatkiem wody. Jednocześnie zaobserwowano, iż najniższa wartość analizowanego parametru odnosi się do lucerny, a najwyższa do owsa.

Wykaz symboli i oznaczeń

- C_r – zawartość cząstek rozkruszonych w granulacie [%],
 m_o – masa granulatu po odsianiu cząstek rozkruszonych [g],
 m_p – masa granulatu przed odsiewaniem cząstek rozkruszonych [g],
 M_w – masa dodanej wody [g],
 M_1 – aktualna masa próbki materiału [g],
 p – obliczony poziom istotności,
 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_1 – aktualna wilgotność próbki materiału [%],
 W_2 – wymagana wilgotność próbki materiału [%],
 Z_l – zawartość lucerny w mieszaninie [%],
 Z_r – zawartość rzepaku w mieszaninie [%],
 α_i – przyjęty poziom istotności.

1. Wprowadzenie

Wydajność procesu granulowania należy rozpatrywać w dwóch aspektach. Po pierwsze, jako wydajność granulatora - wyznaczaną w odniesieniu do produktu wychodzącego bezpośrednio z matrycy urządzenia. Po drugie, jako wydajność linii granulowania, która jest niższa od wydajności granulatora o wartość wydajności cząstek rozkruszonych (wydzielanych z granulatu podczas jego odsiewania po procesie suszenia i chłodzenia).

Znajomość ilości uzyskanych odsiewów pozwala na szacowanie strat wydajności całej linii granulowania, a tym

samym rzeczywistej energochłonności procesu. Należy przy tym uwzględnić fakt, iż cząstki rozkruszone ponownie poddawane są granulowaniu. Stąd też po każdym ich obiegu, zawartość w mieszance granulowanej materiału, co najmniej raz aglomerowanego, ciągle wzrasta [4]. W związku z tym, aby proces granulowania był efektywny (szczególnie w kontekście jego energochłonności), ilość cząstek rozkruszonych w granulacie nie powinna przekraczać 4% wartości wydajności granulatora. Jedynie w przypadku produkcji granulatu kruszonego wartość tego parametru może dochodzić do 30% [8].

Ilość odsiewów wydzielanych z granulatu zależy bezpośrednio od jego wytrzymałości mechanicznej. Wynika ona zarówno z właściwości przerabianych materiałów [1, 2], jak też parametrów techniczno-technologicznych prowadzenia procesu granulowania [3, 7]. Mając na uwadze powyższe, celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu warunków kondycjonowania surowców paszowych i ich mieszanin na zawartość cząstek rozkruszonych w wyprodukowanym z nich granulacie.

2. Metodyka i przebieg badań

Do badań wykorzystano śruty z jęczmienia, kukurydzy, pszenicy, owsa, grochu, łubinu oraz mączkę z lucerny. Badaniom poddano również mieszaniny pszenicy z lucerną o zawartości lucerny od 25 do 75% (co 25%) oraz mieszaniny pszenicy z rzepakiem o zawartości rzepaku od 10 do 50% (co 10%). Takie zestawienie mieszanin pozwoliło na dodatkową ocenę wpływu zawartości włókna (w zakresie od 2,74 do 23,55%) oraz tłuszczu (w zakresie od 1,92 do 20,8%) w materiale poddawany aglomerowaniu na zawartość cząstek rozkruszonych w granulacie. Surowce rozdrabniano na rozdrabniaczu bijakowym H-950 wyposażonym w sito o wymiarach

otworów ϕ 3mm. Szczegółową charakterystykę właściwości materiałów badawczych przedstawiono w pracy [5].

Proces granulowania prowadzono z zastosowaniem kondycjonowania z dodatkiem wody (granulowanie „na zimno”) i kondycjonowania parowego (granulowanie „na gorąco”). W pierwszym przypadku badane surowce po rozdrobieniu przed prasowaniem doprowadzano do pięciu poziomów wilgotności tj. 14, 16, 18 i 20 i 22% z dokładnością do $\pm 0,25\%$. Założoną wilgotność surowca uzyskiwano poprzez nawilżanie wodą o temperaturze otoczenia (21°C). Do surowca o wilgotności mniejszej od wymaganej (poddawanego mechanicznemu mieszanii) dodawano wodę w postaci mgły rozpylanej pistoletem. Wymaganą ilość wody obliczano z następującej zależności:

$$M_w = \frac{W_2 - W_1}{1 - W_1} M_1 \text{ [g]} \quad (1)$$

W drugim przypadku badane surowce (o wilgotności początkowej ustalonej na poziomie 14%) doprowadzano przed prasowaniem 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.

Całość badań przeprowadzono na stanowisku pomiarowym wyposażonym w wytwornicę pary typ LW 69, kondycjoner łopatkowy, granulador firmy Amandus Kahl typ L-175 (matryca o średnicy kanałów 4mm i długości 20mm) oraz komputerowe układy pomiaru zużycia pary, ciepła i energii elektrycznej [6].

Z wysuszonego i ochłodzonego granulatu odważano 500g próbkę, którą następnie przesiewano na sicie o wymiarze oczek mniejszym o 1 mm od średnicy otrzymanych granul. Z kolei ważono odsiany granul na wadze typu WPE 300 z dokładnością do 10^{-1}g i wyznaczano procentowy udział cząstek rozkruszonych w otrzymanym granulacie według wzoru:

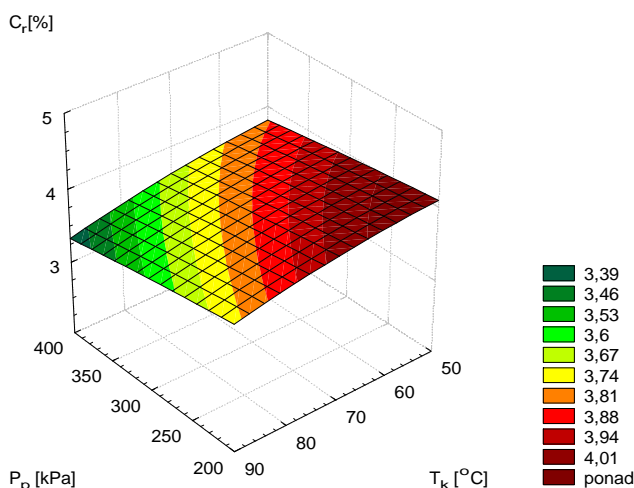
$$C_r = \frac{m_p - m_o}{m_p} * 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

Analizę zależności pomiędzy parametrami procesu kondycjonowania a zawartością cząstek rozkruszonych w granulacie przeprowadzono przy wykorzystaniu procedur statystycznych programu 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. Na rys. 3 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

Wyniki badań wpływu warunków obróbki hydrotermicznej na ilość cząstek rozkruszonych, zawartych w granulacie przedstawiono na rys. 1. Na podstawie analizy wariancji stwierdzono, iż dla

wszystkich surowców w przyjętym zakresie badawczym, brak jest statystycznie istotnego oddziaływania zarówno temperatury kondycjonowania jak i ciśnienia pary na ogólną zmienność badanego parametru ($p > 0,01$). Tak więc, ze względu na zmiany wartości tego parametru w granicach błęd pomiarowego, nie możliwe jest ustalenie matematycznej zależności pomiędzy tymi parametrami. Należy jednak podkreślić, iż średnie wartości analizowanego parametru wahają się w przedziale od 3,39 do 4,12% co z praktycznego punktu widzenia jest rezultatem zadawalającym.



Rys. 1. Zależność ilości cząstek rozkruszonych w granulacie (C_r) od temperatury kondycjonowania (T_k) i ciśnienia pary (P_p) (średnie wartości dla 7 badanych surowców)

Fig. 1. Dependence of fines in pellets (C_r) on conditioning temperature (T_k) and steam pressure (P_p) (mean values obtained for 7 raw materials examined)

Natomiast dane uzyskane w przypadku granulowania „na zimno”, wskazują na istotne statystycznie oddziaływanie warunków obróbki wstępnej ($p < 0,01$) na ilość cząstek rozkruszonych. Taki stan rzeczy potwierdza zachowanie większości badanych surowców (rys. 2). Jedynie w przypadku lucerny wpływ wilgotności na wartość parametru C_r jest nieistotny. Ilościowy opis uzyskanych zależności zestawiono w tab. 1.

Porównanie rezultatów uzyskanych w wyniku stosowania obydwu metod granulowania zilustrowano na rys. 3. Metoda parowa daje o wiele lepsze efekty, gdyż jedynie w przypadku kukurydzy, średnie wartości parametru C_r przekraczają dopuszczalne normy (ponad 7%). Poza tym obróbka prowadzona w warunkach hydrotermicznych przyczynia się do tego, iż zanikają w znacznym stopniu różnice wynikające z właściwości fizykochemicznych poszczególnych surowców.

Odwrotna sytuacja występuje w przypadku obróbki z dodatkiem wody. Jedynie surowce wysokobiałkowe (groch, łubin) oraz pszenica i lucerna dają w miarę zadawalające efekty. Znajduje to odzwierciedlenie w mieszkankach lucerny z pszenicą, co zobrazowano na rys. 4.

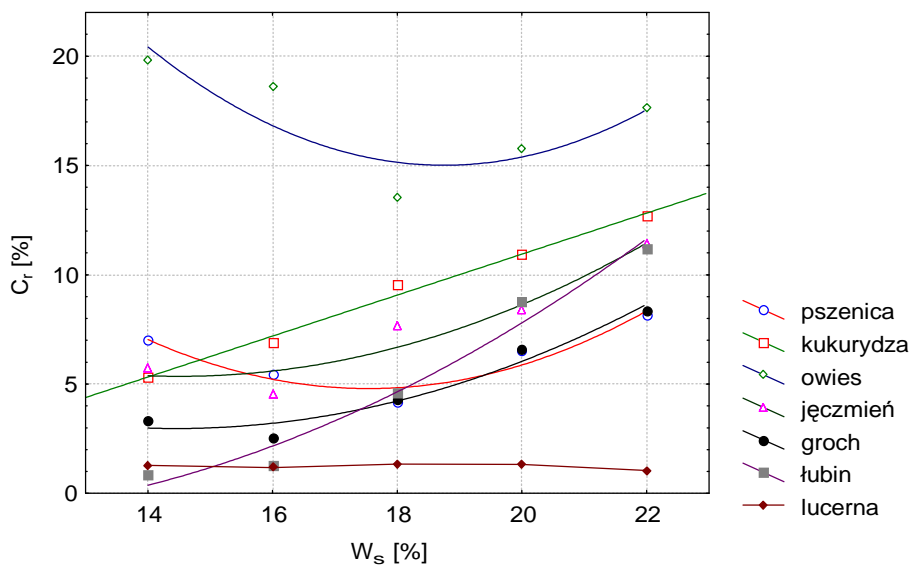
Również w przypadku mieszanki lucerna-pszenica opis matematyczny uzyskanych zależności jest niemożliwy. Warto podkreślić, że dodatek lucerny w całym badanym zakresie powoduje wyrównanie się różnic w

wartościach analizowanego parametru, wynikających z odmiennych metod kondycjonowania ($p > 0,01$).

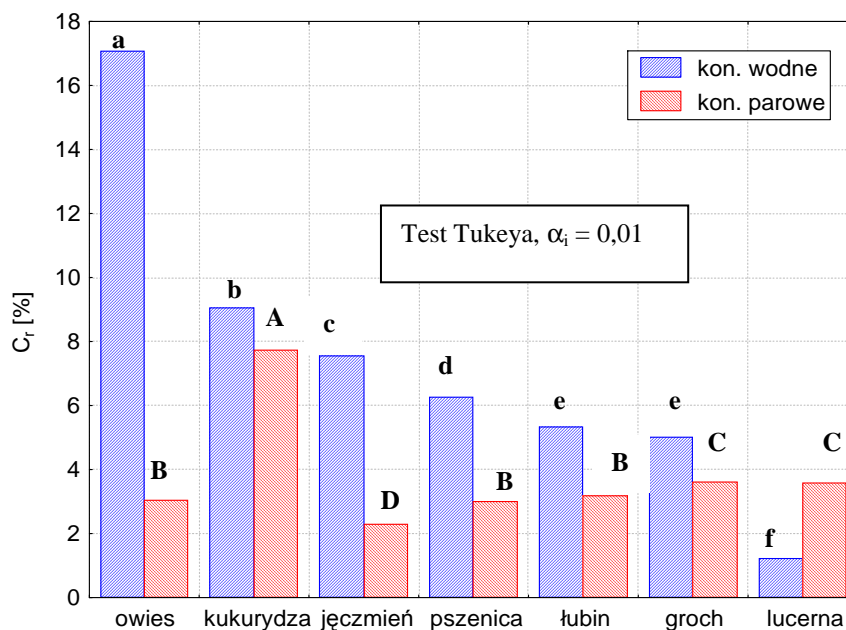
Tab. 1. Równania regresji opisujące wpływ wilgotności surowca (W_s) na ilość cząstek rozkruszonych w granulacie (C_r) (granulowanie „na zimno”)

Table 1. Regression equations describing the effect of moisture content of raw materials (W_s) on fines quantity in pellets (C_r) (cold pelleting)

SUROWIEC	POSTAĆ RÓWNANIA	A	B	C	R ²
pszenica	$C_r = AW_s^2 - BW_s + C$	0,178	6,265	59,74	0,791
kukurydza	$C_r = BW_s - C$		0,937	7,799	0,988
jęczmień	$C_r = AW_s^2 - BW_s + C$	0,239	8,997	99,35	0,762
owies	$C_r = AW_s^2 + C$	0,021		0,424	0,841
groch	$C_r = AW_s^2 - BW_s + C$	0,099	2,881	23,78	0,957
łubin	$C_r = AW_s^2 - C$	0,039		7,739	0,965

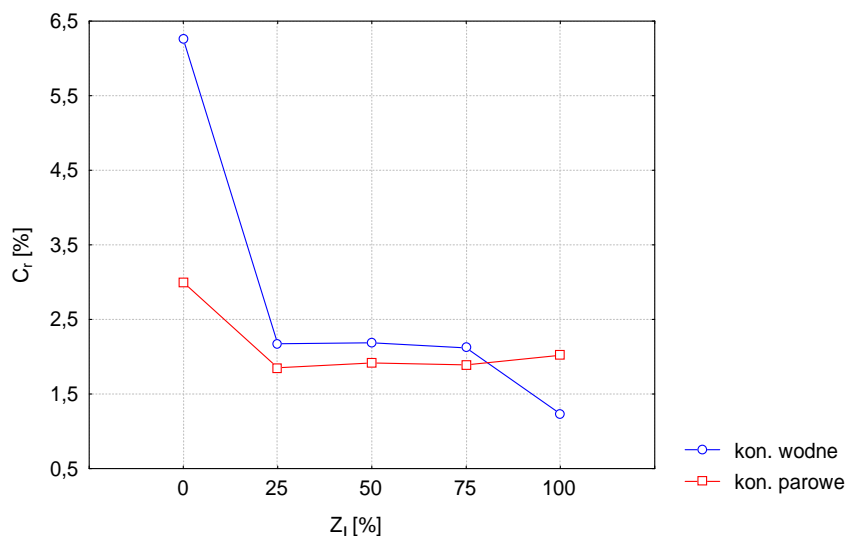


Rys. 2. Zależność ilości cząstek rozkruszonych w granulacie (C_r) od wilgotności surowca (W_s) (granulowanie „na zimno”)
Fig. 2. Dependence of fines quantity in pellets (C_r) on moisture contents of raw materials (W_s) (cold pelleting)



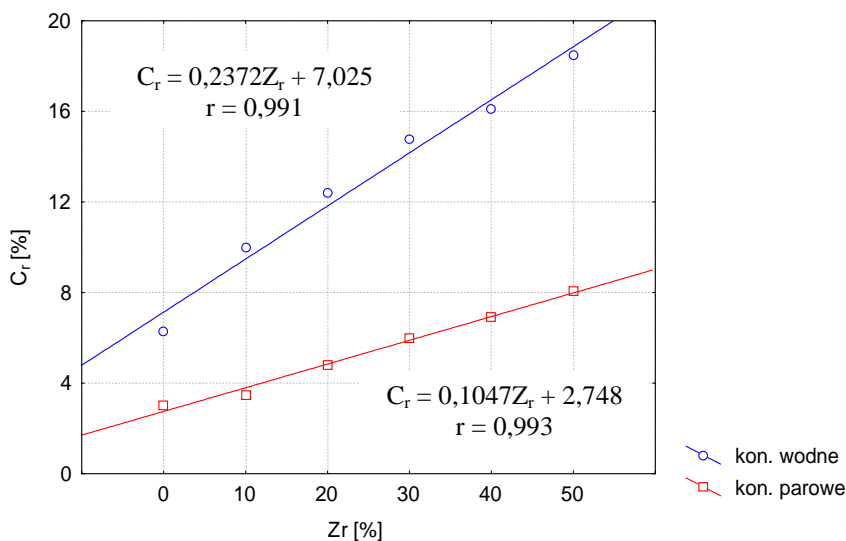
Rys. 3. Zależność ilości cząstek rozkruszonych w granulacie (C_r) od rodzaju surowca i metody granulowania (średnie wartości dla kondycjonowania parowego i wodnego)

Fig. 3. Dependence of fines quantity in pellets (C_r) on the type of raw material and conditioning method (mean values for steam and water conditioning)



Rys. 4. Zależność ilości cząstek rozkruszonych w granulacie (C_r) od zawartości lucerny w mieszaninie z pszenicą (Z_l) (średnie wartości dla kondycjonowania parowego i wodnego)

Fig. 4. Dependence of fines quantity in pellets (C_r) on the contents of lucerne in mixture with wheat (Z_l) (mean values for steam and water conditioning)



Rys. 5. Zależność ilości cząstek rozkruszonych w granulacie (C_r) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) (średnie wartości dla kondycjonowania parowego i wodnego)

Fig. 5. Dependence of fines quantity in pellets (C_r) on the contents of rape in mixture with wheat (Z_r) (mean values for steam and water conditioning)

Na kolejnym rysunku (5) zobrazowano tendencje zmian jakie zachodzą w wartości parametru C_r na skutek wstającego udziału tłuszczu w mieszaninie. Dla obydwu metod granulowania stwierdzono istnienie bardzo wysokich dodatnich korelacji pomiędzy oboma analizowanymi parametrami, co potwierdzają otrzymane wartości współczynników Pearson'a (rys. 5). Natomiast z porównania wartości współczynników regresji występujących przy zmiennej Z_r wynika, że w przypadku użycia w procesie granulowania pary, dynamika wzrostu ilości cząstek rozkruszonych jest średnio o 50% niższa niż w metodzie z dodatkiem wody.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

1. Kondycjonowanie parowe zapewnia uzyskanie wymaganej minimalnej zawartości cząstek rozkruszonych w granulacie ($C_r < 4\%$) niezależnie od rodzaju surowca (z wyjątkiem kukurydzy). W przypadku kondycjonowania z dodatkiem wody, tak niskie wartości tego parametru uzyskuje jedynie lucerna (w całym zakresie badawczym) oraz groch i łubin w odniesieniu do materiału o wilgotności w zakresie 14-16%.

2. Zaobserwowano, że zwiększenie udziału włókna w mieszaninie pszenicy z lucerną do 5,74% powoduje uzyskanie granulatu o zawartości cząstek rozkruszonych na poziomie nie przekraczającym 2,23%. Sytuacja taka zachodzi w przypadku obydwu metod kondycjonowania, przy czym dalsze zwiększanie zawartości włókna w mieszaninie nie powoduje statystycznie istotnych zmian w wartości parametru C_r .

3. Stwierdzono, iż w przypadku mieszanin pszenicy z rzepakami, wraz ze wzrostem udziału tłuszczu, ilość cząstek rozkruszonych zwiększa się średnio o 5,32 punktu procentowego w odniesieniu do granulowania z dodatkiem pary wodnej i o 12,51 p.p. w odniesieniu do granulowania z dodatkiem wody.

4. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość minimalizacji strat wydajności w procesie granulowania poprzez zmianę parametrów kondycjonowania i składu surowcowego mieszanek poddawanych aglomerowaniu.

5. Literatura

[1] Angulo E., Brufau J., Esteve-Garcia E.: Effect of sepiolite on pellet durability in feeds differing in fat and fibre content. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 1995, vol. 53, s. 233-241.

[2] 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.

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

[4] David L., Lefumeux J.: *Pratique de la compression et techniques nouvelles*. L. David ed. 17220 La Jarrie (France), 1972.

[5] Kulig R.: Określenie zależności między parametrami procesu kondycjonowania materiałów roślinnych a gęstością granulatu. *Journal of research and applications in agricultural engineering*, 2008, vol. 53 (3), s. 156-160.

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

[7] Kulig R., Laskowski J.: Wpływ parametrów matrycy na efektywność granulowania mieszanek pszenicy z rzepakami. *Inżynieria Rolnicza*, 2006, vol. 5(80), s. 375-384.

[8] Laskowski J.: *Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych*. Praca habilitacyjna. Wydawnictwo AR, Lublin 1989.