

NAKŁADY ENERGII W PROCESIE GRANULOWANIA ŚRUT PSZENICY O RÓŻNYM STOPNIU ROZDROBNIENIA

Ryszard Kulig, Janusz Laskowski

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza w Lublinie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu średniego wymiaru cząstki śruty z pszenicy (zakres od 0,65 do 1,65 mm) na energochłonność procesu granulowania. Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym wyposażonym w mikroprocesorowy układ pomiaru zużycia pary, ciepła i energii elektrycznej. Stwierdzono, iż średnie wartości zużycia pary wahały się w przedziale od 17,3 do 84,2 kg•Mg⁻¹, a energii cieplnej od 46,29 do 248,2 kJ•kg⁻¹. Natomiast średnie nakłady energii elektrycznej mieściły się w przedziale od 69,7 do 223,6 kJ•kg⁻¹.

Słowa kluczowe: zużycie pary i ciepła, granulowanie, kondycjonowanie, średni wymiar cząstki

WSTĘP

Jednym z podstawowych wymagań stawianych surowcom w procesie granulowania jest ich właściwe rozdrobnienie [Laskowski 1989]. Szereg autorów wskazuje, że do granulowania najlepiej nadają się surowce o rozdrobnieniu drobnym i średnim, co odpowiada wielkości cząstek w zakresie od 0,4 do 2 mm [Stevens 1987, Le Deschault de Monredon 1991, Wondra i in. 1994, Angulo i in. 1996]. Bhenke [2001] podaje, że drobne cząstki ze względu na ich większą powierzchnię właściwą szybciej absorbują ciepło i wilgoć podczas kondycjonowania oraz mają większą liczbę punktów styczności. W konsekwencji ułatwia to powstawanie wiązań między cząstkami materiału oraz redukuje wartość nakładów energetycznych ponoszonych w procesie. Badania Kuliga i Laskowskiego [2002b] dowodzą, iż w przypadku surowców strączkowych (bobik, groch, łubin, wyka) występuje optymalny zakres rozdrobnienia, po przekroczeniu którego dochodzi do negatywnego oddziaływania na wartość energochłonności procesu prasowania. Przykładowo, dla grochu zmniejszenie średniego wymiaru cząstki z 2,57 do 1,06 mm (wartość optymalna) powoduje spadek energochłonności procesu z wartości 523 do 195 kJ×kg⁻¹ (granulowanie bez dodatku pary wodnej).

Z przeglądu literatury wynika, iż większość badań zrealizowanych w tym zakresie dotyczy oddziaływania stopnia rozdrobnienia surowca na parametry jakościowe granulatu. Natomiast brak jest opracowań dotyczących wpływu tej cechy na energochłonność procesu, a w szczególności na zużycie pary i ciepła. Stąd też celem niniejszej pracy jest zbadanie wpływu średniego wymiaru cząstki śruty z pszenicy oraz warunków obróbki

hydrotermicznej na wartość jednostkowych nakładów energii ponoszonych w procesie granulowania.

MATERIAŁY I METODY

Do badań wykorzystano pszenicę odmiany Emika. Surowiec przygotowano w rozdrabniaczu bijakowym typu H-950 wyposażonym w sita o średnicy oczek w przedziale od 3 do 9 mm. Średni wymiar cząstki surowca po rozdrobnieniu wyznaczono zgodnie z PN-89/R-64798. Wartość tego parametru wynosiła odpowiednio: 0,65; 0,83; 1,17; 1,38 i 1,65 mm. Po rozdrobnieniu materiał badawczy doprowadzano do stałej wilgotności 12%.

Całość badań przeprowadzono na stanowisku pomiarowym wyposażonym w wytwornicę pary typu LW 69, kondycjoner łopatkowy, granulator firmy Amandus Kahl typu L-175 (matryca o średnicy otworów 4 mm i grubości 20 mm) oraz komputerowe układy pomiaru zużycia pary, ciepła i energii elektrycznej. Szczegółowy opis wyposażenia stanowiska wraz z metodyką określania zużycia pary, ciepła i nakładów energii elektrycznej przedstawiono w innych pracach [Kulig i in. 1999, Kulig i Laskowski 2002a]. 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 o ciśnieniu 400 kPa.

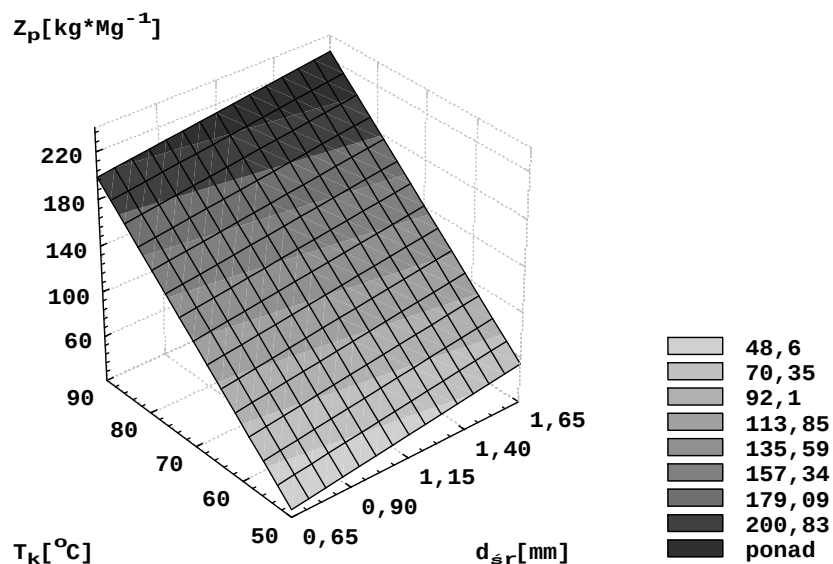
Analizę zależności pomiędzy stopniem rozdrobnienia surowca i warunkami obróbki hydrotermicznej a jednostkowymi nakładami energii granulowania wykonano przy wykorzystaniu procedur statystycznych zawartych w programie STATISICA, przyjmując za każdym razem poziom istotności $\alpha_i = 0,05$. Przy wyborze postaci równań stosowano metodę regresji krokowej wstecznej. Istotność współczynników równania regresji badano testem t-Studenta. Natomiast adekwatność modelu sprawdzano stosując test Fishera.

WYNIKI BADAŃ

Średnie wyniki badań zużycia pary w zależności od średniego wymiaru cząstki surowca i temperatury kondycjonowania i przedstawiono na rys. 1. Uzyskane wartości zawierają się w szerokim przedziale od 17,36 do 84,22 kg/Mg. Podobny charakter zmian otrzymano dla jednostkowych nakładów energii cieplnej (rys. 2). W tym przypadku średnie wartości wahają się w przedziale od 46,29 do 248,22 kJ•kg⁻¹.

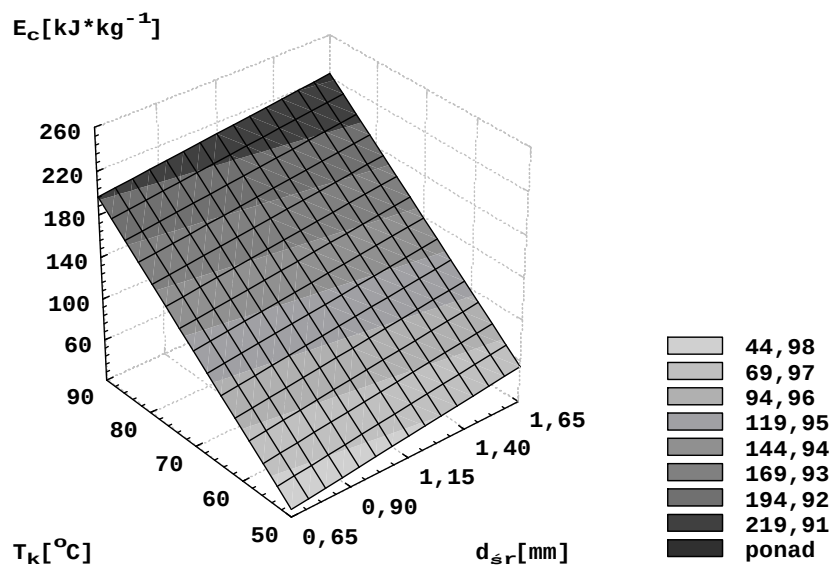
Jak wynika z rys. 1 i 2, przyrosty zużycia pary oraz jednostkowych nakładów energii cieplnej są wprost proporcjonalne do wartości temperatury materiału po kondycjonowaniu oraz odwrotnie proporcjonalne do jego stopnia rozdrobnienia.

Jednostkowe nakłady energii prasowania uzyskane podczas granulowania surowca o różnym stopniu rozdrobnienia przedstawiono na rysunku 3. Jak wynika z uzyskanych danych, średnie wartości analizowanego parametru mieszczą się w przedziale od 70 do ponad 200 kJ•kg⁻¹. Największe wartości parametru odnoszą się do śruty o najmniejszym średnim wymiarze cząstki (0,65 mm), kondycjonowanej w przedziale temperatur od 50 do 70°C. Taki stan rzeczy wynika zapewne z niższych wilgotności materiału po kondycjonowaniu, uzyskiwanych w przypadku materiału o dużym stopniu rozdrobnienia, dla którego zużycie pary przyjmowało najniższe wartości (rys. 1).



Rys. 1. Zależność zużycia pary (Z_p) od średniego wymiaru cząstki surowca (d_{sr}) i temperatury materiału po kondycjonowaniu (T_k)

Fig. 1. Dependence of steam consumption (Z_p) on an average particle size (d_{sr}) and conditioning temperature (T_k)



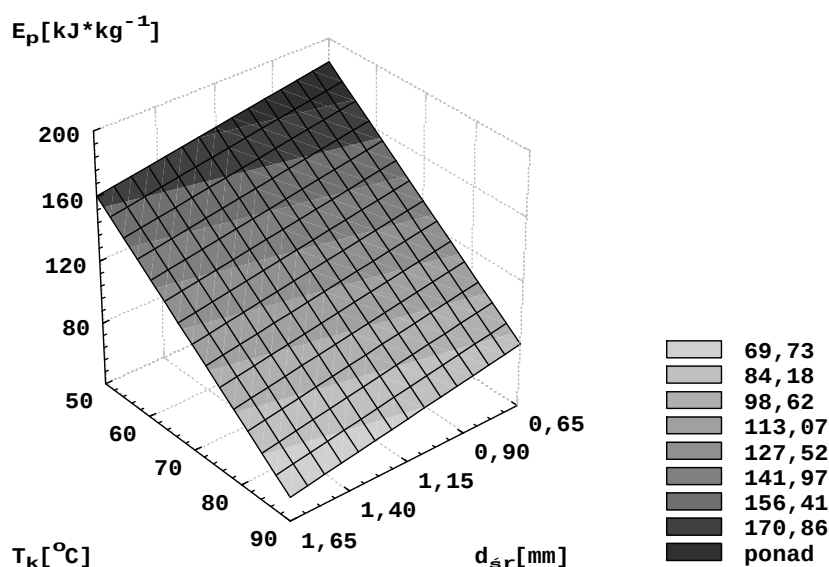
Rys. 2. Zależność jednostkowych nakładów energii cieplnej (E_c) od średniego wymiaru cząstki surowca (d_{sr}) i temperatury materiału po kondycjonowaniu (T_k)

Fig. 2. Dependence of heat energy consumption (Z_p) on an average particle size (d_{sr}) and conditioning temperature (T_k)

Przedstawione zależności można ująć w postaci liniowych modeli regresji wielokrotnej:

$$Z_p = 27,38 d_{sr} + 4,29T_k - 205,45; R^2 = 0,94 \quad (1)$$

$$E_c = 27,19 d_{sr} + 4,33T_k - 201,5; R^2 = 0,95 \quad (2)$$



Rys. 3. Zależność jednostkowych nakładów energii prasowania (E_p) od średniego wymiaru cząstki surowca (d_{sr}) i temperatury materiału po kondycjonowaniu (T_k)

Fig. 3. Dependence of pressing energy (E_p) on average particle size (d_{sr}) and conditioning temperature (T_k)

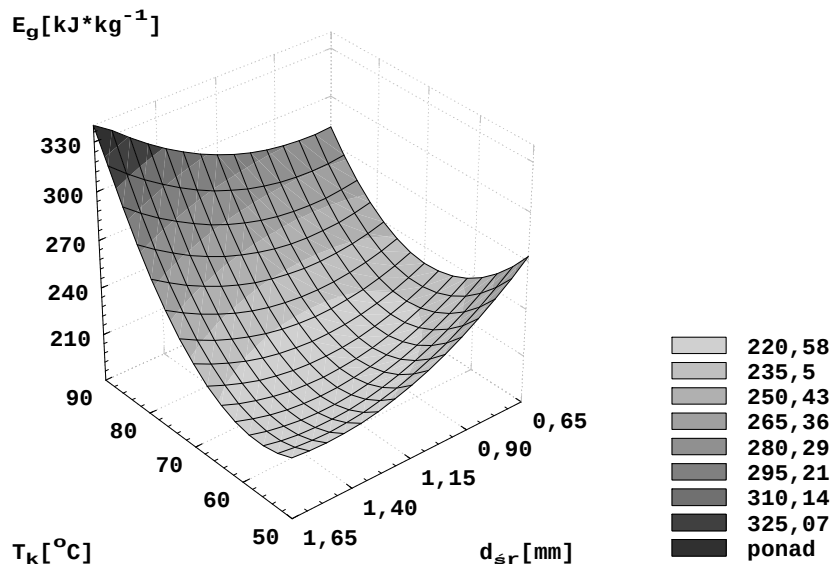
Ilościową ocenę analizowanych zależności można przedstawić w postaci następującego równania:

$$E_p = -24,95 d_{sr} - 2,62 T_k + 332,87; R^2 = 0,943 \quad (3)$$

Wyniki badań całkowitego zapotrzebowania na energię granulowania (suma energii elektrycznej prasowania i energii cieplnej zapotrzebowanej pod postacią pary) zilustrowano na rys. 4. Wartości analizowanego parametru wahają się w przedziale od 208 do 338 kJ·kg⁻¹.

Równanie regresji wielokrotnej opisujące analizowane zależności przyjmuje następującą postać:

$$E_g = 75,21d_{sr}^2 + 0,118T_k^2 + 2,91d_{sr}T_k - 372,2d_{sr} - 18,14T_k + 998,13; R^2 = 0,942 \quad (4)$$



Rys. 4. Zależność jednostkowych nakładów całkowitej energii granulowania (E_g) od średniego wymiaru cząstki surowca (d_{sr}) i temperatury materiału po kondycjonowaniu (T_k)

Fig. 4. Dependence of total energy during pelleting (E_g) on average particle size (d_{sr}) and conditioning temperature (T_k)

Stwierdzono, iż w odniesieniu do niskich temperatur materiału po kondycjonowaniu (50-60°C), wraz ze wzrostem stopnia jego rozdrobnienia zwiększa się wartość całkowitych jednostkowych nakładów energii granulowania. Natomiast w przypadku wyższych temperatur kondycjonowania odnotowano odwrotną tendencję zmian; przy czym minimalne wartości energochłonności uzyskano w przypadku granulowania materiału o temperaturze 70°C.

WNIOSKI

Zużycie pary i ciepła zmniejsza się wprost proporcjonalnie do wzrostu stopnia rozdrobnienia śruty poddawanej kondycjonowaniu. Średnia wartość redukcji wielkości tych parametrów wynosi 18% (dla rozdrobnienia surowca w zakresie od 0,65 do 1,65 mm).

Jednostkowe nakłady energii prasowania materiału rosną wraz ze zmniejszaniem się średniego wymiaru cząstki surowca. Największe zmiany wartości tego parametru dotyczą niskich temperatur obróbki (50-60°C). Natomiast w przypadku wyższych temperatur materiału po kondycjonowaniu wpływ ten jest mniej istotny.

Energochłonność całkowita granulowania materiału kondycjonowanego w niskich temperaturach obróbki wzrasta wraz ze zwiększaniem się stopnia rozdrobnienia surowca przeciętnie o 16%. Natomiast w przypadku wyższych temperatur materiału po kondycjonowaniu, wzrost stopnia jego rozdrobnienia powoduje zmniejszanie się całkowitej energochłonności granulowania średnio o 7%.

PIŚMIENNICTWO

- Angulo E., Brufau J., Esteve-Garcia E. 1996: 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.*, 63, 25–34.
- Behnke K.C. 2001: Factors influencing pellet quality. *Feed Tech.* 5 (4), 19–22.
- Kulig R., Laskowski J., Skonecki S., 1999: Wykorzystanie komputera w badaniach procesu granulowania na prasie firmy Kahl typ 14-175, VI Krajowa Konferencja „Komputerowe wspomaganie badań naukowych”, 397–400.
- Kulig R., Laskowski J. 2002a: Pomiary zużycia pary wodnej w procesie kondycjonowania surowców i mieszanek paszowych. *Inżynieria Rolnicza*, 4 (24), 134–141.
- Kulig R., Laskowski J. 2002b: Określenie zależności między stopniem rozdrobnienia nasion roślin strączkowych a parametrami procesu granulowania. *Inżynieria Rolnicza*, 7a, 155–163.
- Laskowski J., 1989: Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych. Seria Wydawnicza – Rozprawy Naukowe, nr 113, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie.
- Le Deschault de Monredon F. 1991: Axial compression into a die as a model for studying the granulation of feed powders. 2. Application to the study of moisture content and particule size effects. *Sci. Aliments*, 11, 321–340.
- PN-89/R-64798. Pasze – Oznaczanie rozdrobnienia.
- Stevens C.A. 1987: Starch gelatinization and the influence of particule size, steam pressure and die speed on the pelleting process. PhD thesis, Kansas State Univ., USA.
- Wondra K.J., Hancock J.D., Behnke K.C., Hines R.H., Starr C.R. 1994: Effect of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 73, 757–763.

ENERGY CONSUMPTION FOR PELLETING OF WHEAT MEAL
AT DIFFERENT PARTICLE SIZES

Summary. The paper presents the results of studies on the effects of particle sizes of wheat meal (range from 0,65 to 1,65 mm) on energy consumption during pelleting. Unit thermal and electric energy consumption in the pelleting process were determined. It was affirmed that the average values of steam consumption had hesitated in the range from 17,3 to 84,2 kg × Mg⁻¹, and heat energy from 46,29 to 248,2 kJ•kg⁻¹.

Key words: steam and heat consumption, pelleting, conditioning, an average particle size

Recenzent: prof. dr hab. Tadeusz Lis