

Granulowanie i brykietowanie materiałów pochodzenia roślinnego

Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące badań wytwarzania granulatu i brykietów w procesie ciśnieniowej aglomeracji. Treści przedstawione w artykule charakteryzują podstawowe zagadnienia w obszarze zagęszczania materiałów pochodzenia roślinnego. Oprócz omówienia procesu technologicznego wytwarzania granulatu (brykietu) oraz mechanizmu jego zagęszczania, w pracy zaprezentowano również przykładowe wyniki badań procesu zagęszczania (charakterystyki zagęszczania) objętościowych mieszanek paszowych z udziałem słomy.

Słowa kluczowe: *granulat, brykiety, ciśnieniowa aglomeracja*

Pelleting and briquetting of the plant materials

Summary

The paper presents the issues concerning the research related to pellets and briquets production in the process of pressure agglomeration. The contents presented in this paper is characterized the basic issues in the field of plant materials densification. In addition of discussing of the technological process of granules (briquettes) and the mechanism of their densification, the paper presents an example of the results of the densification process (densification characteristics) of the feed volume mixtures involving straw.

Key words: *pellets, briquets, pressure agglomeration*

Wykaz oznaczeń:

P_k – naciski zagęszczające [MPa],
 R^2 – współczynnik korelacji [-],
 U – wilgotność [%],
 T – temperatura [K],

S – procentowej zawartości słomy [%],
 L_t – długości cząstek słomy [mm],
 ρ – gęstość ρ aglomeratu (brykietów) [kg/m³].

Wprowadzenie

Proces ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych (granulowanie, brykietowanie) znalazł zastosowanie w produkcji pasz przemysłowych oraz ekologicznego paliwa stałego z surowców odpadowych. Złożoność zagadnień występujących podczas procesu, realizowanego w układach roboczych o różnej konstrukcji, sprawia, że rozwiązywanie problemów jest ciągłym procesem poznawczym. Utrudnieniem jest także zmienność właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych materiałów poddawanych granulowaniu (brykietowaniu), w trakcie procesu (Klose i Hejft, 1984; Hejft, 2002). Wysokie obciążenia dynamiczne układów roboczych są powodem krótkiej ich trwałości, przy jednoczesnych wysokich kosztach wytwarzania. Stąd też poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych układów roboczych urządzeń do granulowania i brykietowania materiałów roślinnych (Hejft, 2005; Hejft i Obidziński, 2013a; 2013b).

Prace naukowo-badawcze autora i zespołu z nim współpracującego, realizowane od lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku w Katedrze Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego (obecnie Zakładu Inżynierii Rolno-Spożywczej i Leśnej) Politechniki Białostockiej, opierają się na następującym założeniu:

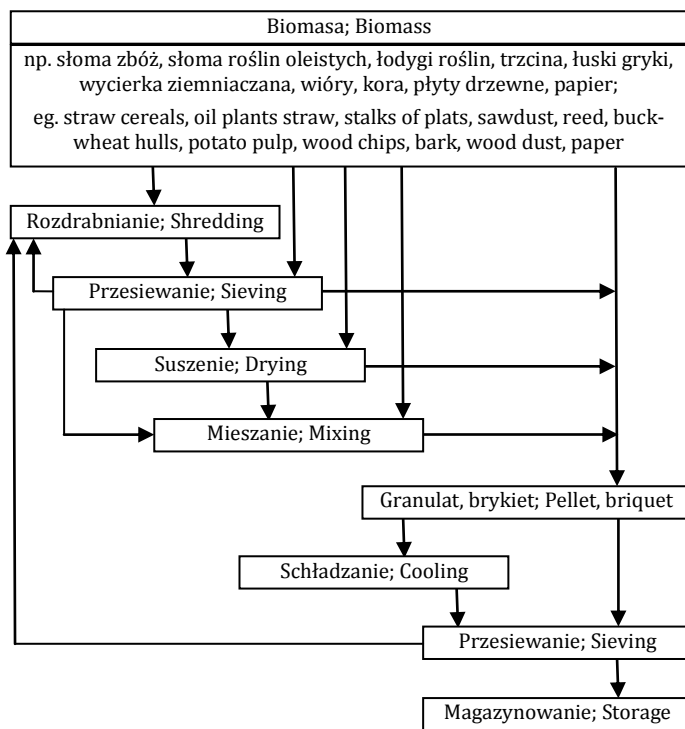
wdrażanie do produkcji uniwersalnych urządzeń granulująco-brykietujących materiały roślinne o niewielkiej wydajności, mających zastosowanie w średnich i dużych gospodarstwach rolnych oraz małych i średnich zakładach przetwarzających materiały roślinne, upowszechnię w Polsce technikę granulowania i brykietowania w obszarze produkcji pasz przemysłowych i produkcji ekologicznego paliwa stałego (z odpadów) (Hejft, 2002).

Należy dodać, że do produkcji niezbędne jest zestawienie linii technologicznej począwszy od maszyn realizujących operacje: rozdrabniania, mieszania, suszenia, segregacji, chłodzenia, operacje transportowe (międzyoperacyjne), kończąc na pakowaniu i dystrybucji.

Treści przedstawione w artykule charakteryzują podstawowe zagadnienia w obszarze zagęszczania materiałów pochodzenia roślinnego i oparte są na publikacjach autora.

Proces technologiczny

Proces technologiczny wytwarzania granulatu (brykietów) z surowców pochodzenia roślinnego (produkcja pasz, paliw stałych) przebiega wg schematu (rys.1)



Rys. 1. Schemat procesu technologicznego wytwarzania granulatu (brykietów) (Hejft, 2002)

Fig. 1. The diagram of the technological process of pellets (briquettes) production (Hejft, 2002)

Rozdrabnianie

Średnia wielkość cząstek poddana granulowaniu lub brykietowaniu ma istotny wpływ na przebieg procesów i jakość produktu. Z pewnym przybliżeniem można przyjąć, że średnia wielkość cząstek wynosi około połowy średnicy otworów w matrycy. Skład granulometryczny rozdrobnionego materiału wpływa na udział wewnętrznych wiązań spajających cząstki.

Przesiewanie

Przesiewanie ma na celu wyeliminowanie w materiale frakcji granulometrycznych skrajnych tzn. o zbyt małych cząstkach lub też zbyt dużych, biorąc pod uwagę, że te frakcje mogłyby ujemnie wpływać na przebieg procesu ciśnieniowej aglomeracji.

Suszenie

Suszenie jest operacją alternatywną. Wymagane jest, gdy wilgotność surowca poddanego granulowaniu, brykietowaniu wynosi powyżej 18-20%. Jako energii można użyć biomasy poprzez jej spalanie w kotłach suszarni lub też energii słonecznej z kolektorów.

Mieszanie

Mieszanie jest ważną operacją, zwłaszcza, gdy przygotowany materiał jest kompozycją wielu składników. Mieszanie może stanowić kompromisowe rozwiązanie dotyczące ujednorodnienia materiału sypkiego pod względem składu granulometrycznego jak i wymaganej końcowej wilgotności np. poprzez

mieszanie materiału o wysokiej wilgotności z materiałem suchym. Należy również dodać, że w trakcie procesu granulowania (brykietowania) następuje dalszy, paroprocentowy spadek wilgotności.

Ciśnieniowa aglomeracja - granulowanie, brykietowanie

Wysokie obciążenia dynamiczne układów roboczych granulująco - brykietujących powodują stosunkowo wysoką energochłonność procesu a także szybkie ich zużycie (przy jednoczesnych wysokich kosztach wytwarzania). Stąd też szczególną uwagę należałoby zwrócić na układy robocze z płaską nieruchomą matrycą (prosta konstrukcja, matryce mogą być przy wielu produktach wykorzystywane obustronnie, łatwość wymiany matrycy i rolek zagęszczających, znacząco niższa cena w porównaniu z innymi konstrukcjami itp.).

Schładzanie

Efektom operacji schładzania jest wzrost trwałości produktu (granulatu, brykietów).

Przesiewanie

Kolejna operacja przesiewania jest operacją alternatywną, w przypadku, gdy występuje niedopuszczalna ilość produktu o niedostatecznej jakości, np. wymiarach. Ta część niewymiarowego produktu zwracana jest do początkowych operacji.

Mechanizm zagęszczania (granulowanie, brykietowanie)

W procesie ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych występują znane typy wiązań fizykochemicznych:

- przyciągania między cząstkami ciał stałych (van der Waalsa, elektrostatyczne),
- powierzchniowe, na granicy rozdziału fazy stałej i ciekłej,
- adhezyjne, powstające w warstwie adsorpcyjnej,
- spójności, przejawiające się w tworzeniu mostków, występujące przy spiekaniu, zateżnieniu środka wiążącego, stapianiu i krystalizacji rozpuszczonych substancji.

Duża różnorodność materiałów roślinnych pod względem ich budowy biologicznej, składu chemicznego, właściwości fizycznych, a także ich dodatkowa zmienność podczas procesu granulowania, brykietowania, sprawia trudność przy określeniu, które z mechanizmów wiązań są dominujące (dotyczy to przede wszystkim mieszanin różnych komponentów). Na przykład rozdrobnione ziarna zbóż, zawierające skrobię, są dobrym komponentem o dużej podatności na zagęszczanie, natomiast słoma należy do materiałów „trudnych” zarówno do granulowania jak i brykietowania. Stąd też liczne poszukiwania sposobów ułatwiających jej zagęszczanie np. poprzez zniszczenie kompleksu ligninowo-celulozowego słomy (ługowanie związkami sodu, wapnowanie itd.). Przy brykietowaniu rozdrobnionej słomy, występują wiązania mechaniczne poprzez ząbienie mechaniczne cząstek.

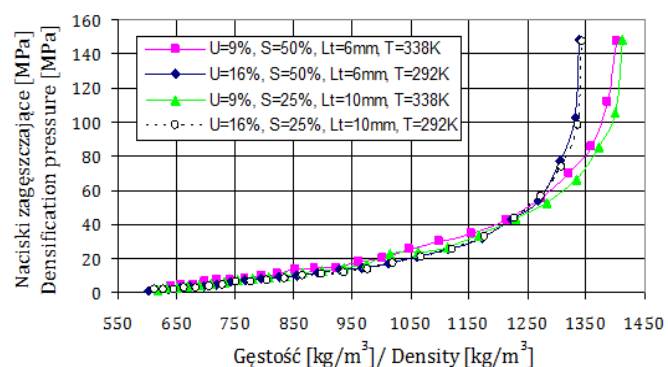
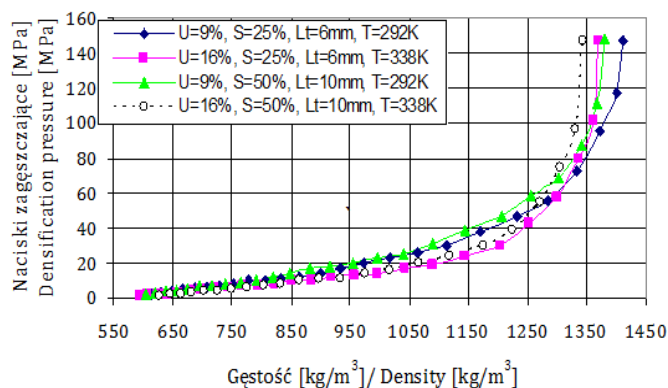
Charakterystyki zagęszczania

Przykładowe charakterystyki zagęszczania (rys. 2) objętościowych mieszanek paszowych (słoma, rozdrobnione ziarno żyta, susz z traw, rozdrobnione wysłodki buraczane, polfamix,

melasa, mocznik) określono z wykorzystaniem metodyki przedstawionej w monografii (Hejft, 2002).

Badaniom poddano mieszanki z $S=25\%$ i $S=50\%$ udziałem słomy, przy rozdrobieniu słomy $L_t=6$ mm i 10 mm (słomę rozdrabniano na rozdrabniaczu RU-3M przy zastosowaniu sit o oczkach 6 mm i 10 mm), wilgotności $U=9\%$ i $U=16\%$, w temperaturze brykietowania $T=292K$ i $T=338K$.

Zależność nacisków zagęszczających p_k od gęstości formowanych brykietów ρ przedstawiono na rysunku 2 oraz w tabeli 1.



Rys. 2. Charakterystyka zagęszczania mieszanki paszowej z udziałem słomy (Hejft, 1991; 2002)

Fig. 2. Densification characteristics of the feed mixture with the straw content (Hejft, 1991; 2002)

Tab.1. Zależność $p_k=f(\rho)$ (Hejft, 1991; 2002)

Table 1. The dependence $p_k=f(\rho)$ (Hejft, 1991; 2002)

| Lp. | $p_k=A \exp B\rho$ (5.3) | | Parametry procesu; The process parameters | | | | R^2 |
|-----|--------------------------|--------|--|-------|------------|-------|--------|
| | A | B | | | | | |
| | | | U [%] | S [%] | L_t [mm] | T [K] | |
| 1 | 0,2143 | 0,0045 | 9 | 25 | 6 | 292 | 0,9644 |
| 2 | 0,0324 | 0,0059 | 16 | 25 | 6 | 338 | 0,9498 |
| 3 | 0,2377 | 0,0045 | 9 | 50 | 6 | 338 | 0,9628 |
| 4 | 0,0251 | 0,0062 | 16 | 50 | 6 | 292 | 0,9389 |
| 5 | 0,0351 | 0,0060 | 9 | 25 | 10 | 338 | 0,9342 |
| 6 | 0,2067 | 0,0045 | 16 | 25 | 10 | 292 | 0,9626 |
| 7 | 0,2140 | 0,0044 | 9 | 50 | 10 | 292 | 0,9444 |
| 8 | 0,0329 | 0,0060 | 16 | 50 | 10 | 338 | 0,9411 |

Wpływ parametrów (wilgotności U , temperatury T , procentowej zawartości słomy S , długości cząstek słomy L_t) mieszanki na gęstość ρ aglomeratu (brykietów) przy różnych naciskach zagęszczających p_k (rys. 2) przedstawiono w tabeli 2.

Tab.2. Zależność $\rho=f(U, S, L_t, T)$ (Hejft, 1991; 2002)

Table 2. The dependence $\rho=f(U, S, L_t, T)$ (Hejft, 1991; 2002)

| Lp. | Zależność $\rho=f(U, S, L_t, T)$ [kg·m ⁻³] Dependence $\rho=f(U, S, L_t, T)$ [kg·m ⁻³] | Naciski p_k [MPa] Pressure p_k [MPa] |
|-----|---|---|
| 1 | $\rho=1423,6 - 7,5U - 0,72S - 2,5L_t + 0,29T$ | 148 |
| 2 | $\rho=1428,9 - 7,3U - 0,72S - 2,4L_t + 0,29T$ | 138 |
| 3 | $\rho=1414,5 - 7,21U - 0,7S - 2,4L_t + 0,29T$ | 128 |
| 4 | $\rho=1410,3 - 7,07U - 0,7S - 2,4L_t + 0,29T$ | 118 (9% ≤ U ≤ 16%) |
| 5 | $\rho=1400 - 6,57U - 0,68S - 2,25L_t + 0,28T$ | 108 (25% ≤ S ≤ 50%) |
| 6 | $\rho=1376,4 - 5,39U - 0,69S - 2,31L_t - 0,29T$ | 98 (6 mm ≤ L _t ≤ 10 mm) |
| 7 | $\rho=1347,8 - 4,25U - 0,69S - 2,43L_t + 0,3T$ | 88 (292K ≤ T ≤ 338K) |
| 8 | $\rho=1334,8 - 3,39U - 0,76S - 2,06L_t + 0,32T$ | 78 |
| 9 | $\rho=1272,8 - 1,89U - 0,73S - 1,81L_t + 0,32T$ | 68 |
| 10 | $\rho=1211,1 + 0,25U - 0,77S - 2,19L_t + 0,35T$ | 58 |

Na podstawie zależności przedstawionych w tabeli 2 można stwierdzić, że wzrost
- wilgotności mieszanki paszowej U ,
- procentowej zawartości słomy S ,
- długości cząstek słomy L_t ,
powoduje spadek gęstości aglomeratu.

Wzrost temperatury T mieszanki powoduje zwiększenie gęstości aglomeratu.

Podsumowanie

Analizując proces ciśnieniowej aglomeracji materiałów pochodzenia roślinnego realizowany w układach roboczych granulująco - brykietujących należy uwzględnić podstawowe kryteria:

- minimum energii zużytej do wytworzenia jednostki produktu,
- zakładana jakość produktu (np. jego trwałość).

W wielu przypadkach należy przeanalizować możliwość wykorzystania substancji wiążących (lepiszczowych), które pozwolą uzyskać żądanej jakości produkt wytworzony przy istotnie mniejszych (ok. 20-30%) nakładach energetycznych.

Bibliografia

Klose, M., Hejft, R. (1984). Einfluß bestimmter technisch-technologischer Parameter auf den Preßdruck beim Pressen von Futtermittelmischungen. *Agrartechnik*, 4(34), 176-178.

Hejft, R. (1991). Ciśnieniowa aglomeracja pasz i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco- brykietujących. *Rozprawy Naukowe Politechniki Białostockiej*, 11, 177.

Hejft, R. (2002). *Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*, ITE Radom: Biblioteka Problemów Eksploatacji, 257.

Hejft, R. (2005). Konstruktionslösungen der Pelletspressen mit kleinem Durchsatz. *Acta Mechanica Slovaca*. 51-56.

Hejft, R., Obidziński, S. (2013a). The pressure agglomeration of the plant materials – the technological and technical innovations. Part 2. The dosing and mixing – densifying arrangement. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 58(1), 60-63.

Hejft, R., Obidziński, S. (2013b). Innovation in the construction of pelleting and briquetting devices. *Teka Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 13(2), 13-16.

Roman Hejft

Politechnika Białostocka,
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Zakład Inżynierii Rolno-Spożywczej i Leśnej,
ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok.
r.hejft@pb.edu.pl