

GRANULOWANIE PASZ W UKŁADZIE ROBOCZYM Z PŁASKĄ MATRYCĄ - FORMOWANIE GRANULATU W OTWORZE – CZĘŚĆ I*

Roman Hejft

Zakład Techniki Rolno-Spożywczej, Politechnika Białostocka

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań granulowania pasz – zależności gęstości, wytrzymałości kinetycznej i wilgotności oraz czasu przebywania formowanego granulatu w otworze matrycy od wysokości porcji materiału włączanego przez rolki w ciągu 1 sekundy (prędkości przetłaczania). Badania zrealizowano na autorskich stanowiskach badawczych SB-3, SB-12. Wysokość porcji materiału włączanego przez rolki w ciągu 1 sekundy (prędkość włączania) ma istotny wpływ na gęstości granulatu. Dłuższy czas przebywania w otworze matrycy porcji materiału włączanego przez rolki powoduje zwiększenie gęstości granulatu. Należy przyjąć, że wysokość porcji materiału włączanego przez rolki w ciągu 1 sekundy (prędkości włączania) wynoszącej około $1,6\text{--}1,9\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ zapewnia dobrą jakość granulatu, charakteryzowaną jego gęstością i wytrzymałością kinetyczną.

Słowa kluczowe: granulát, matryca, gęstość, wytrzymałość kinetyczna, pasza

Wprowadzenie

Ciśnieniowe granulowanie jest procesem, w którym rozdrobniony materiał, pod działaniem sił zewnętrznych i wewnętrznych, ulega zagęszczeniu, a otrzymany produkt (granulat) uzyskuje określoną, stałą formę geometryczną [Chłopek i in. 2012; Czaban 2000; Drzymała 1988; Hejft 2002; Laskowski 1989].

Według Razuna i in. [2011] produkt procesu ciśnieniowej aglomeracji – granulát, jest często preferowaną formą paszy lub paliwa opałowego z powodu jego ulepszonych w trakcie procesu fizycznych własności, jak również ze względu na inne jego zalety.

Na przebieg procesu ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych jak i na jakość uzyskanego aglomeratu ma wpływ szereg czynników: związanych ze składem chemicznym zagęszczanego materiału oraz jego budową biologiczną, z przygotowaniem materiału do procesu zagęszczania, z budową układu roboczego oraz z przebiegiem procesu zagęszcza-

* Praca wykonana w ramach pracy statutowej S/WM/2/10

nia [Kaliyan, Morey 2009; Obidziński 2005; Obidziński i in. 2006; Shaw 2008; Skonecki i in. 2011].

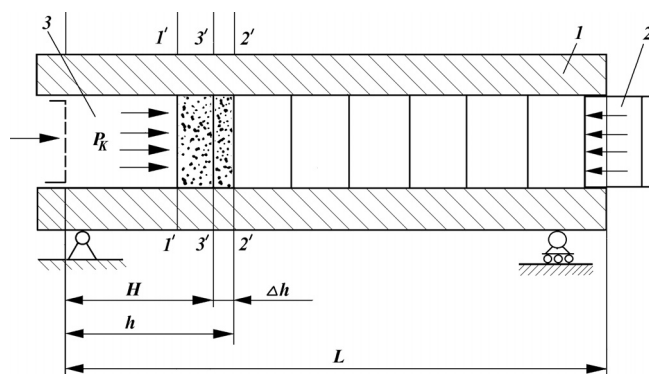
Proces granulowania ciśnieniowego przebiega następująco:

- zagęszczanie materiału sypkiego (roślinnego) od gęstości nasypowej do ok. $500\text{--}600\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ przy minimalnych naciskach. Cząstki materiału zwiększają swoje powierzchnie kontaktu, a powietrze znajdujące się pomiędzy nimi jest wyciskane,
- zagęszczanie od gęstości ok. $600\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ przy naciskach rosnących liniowo do wartości ok. 20 MPa. Cząstki materiału, ulegają nieodwracalnym odkształceniom, a pozostałe powietrze zostaje wyciśnięte,
- zagęszczanie od gęstości ok. $1000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $1300\text{--}1500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ przy naciskach rosnących nieliniowo do wartości ok. 150 MPa. Cząstki materiału ulegają dalszym odkształceniom, co prowadzi do ich przeorientowania.

Dalsze zagęszczanie jest niecelowe, ponieważ powoduje znaczny wzrost nacisków przy nieznacznym wzroście gęstości.

W układach roboczych urządzeń granulujących granulaty w postaci stałej otrzymuje się po przetłoczeniu, przez rolki zagęszczające, materiału sypkiego (paszy) przez otwory przelotowe w matrycy.

Na rys. 1 przedstawiono schemat formowania granulatu w komorze otwartej (otworze matrycy) [Hejft 2002].



Źródło: Hejft 2002

Rys. 1. Schemat formowania granulatu w komorze otwartej

Fig.1. A schematic representation of the pellet's moulding in the open chamber

Proces polega na zagęszczaniu i włączaniu kolejnych porcji materiału 3, które stanowią opór dla następnych. Opór zagęszczania powstaje na skutek tarcia materiału o ścianki komory (otworu). Przy kolejnym cyklu następuje przesuwanie całego zagęszczonego materiału z położenia 1' do 2'. Pomiędzy cyklami zagęszczania i włączania zagęszczony materiał rozpręża się (z położenia 2' do 3').

Żądaną gęstość aglomerat (granulat) osiąga wtedy, gdy na odcinku L wytworzy się określony opór pochodzący od sił tarcia pomiędzy przetłaczanymi porcjami zagęszczonego materiału a ściankami wewnętrznymi komory roboczej (otworu).

Przedstawiony wyżej mechanizm formowania granulatu (z poszczególnych porcji materiału) realizowany jest w układach roboczych przemysłowych granulatorów. Należy zaznaczyć, że ilość otworów w matrycy (płaskiej lub pierścieniowej) granulującej wynosi (w zależności od jej parametrów geometrycznych) od paruset do paru tysięcy. W niniejszym opracowaniu przyjęto uproszczające założenie – opis nie obejmuje tzw. martwych przestrzeni pomiędzy otworami w matrycy.

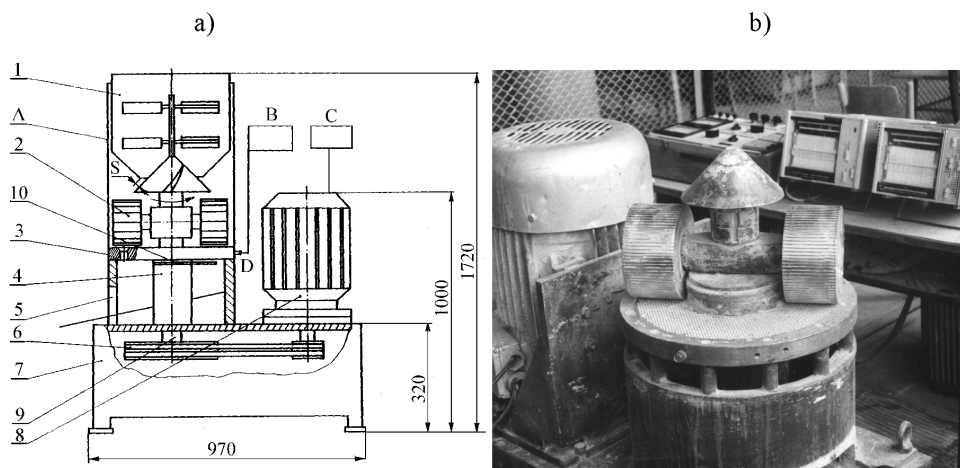
Opis mechanizmu formowania granulatu (z poszczególnych porcji materiału) realizowanego w układach roboczych przemysłowych granulatorów uzupełnia dotychczasowe doniesienia literaturowe. Przykładowo – doniesienia odnośnie wpływu prędkości granulowania (brykietowania) materiałów pochodzenia roślinnego są nieliczne a w niektórych przypadkach sprzeczne [Hejft 2002].

Cel pracy

Celem pracy jest przedstawienie wpływu wielkości porcji materiału paszowego włączanego w jednostce czasu do otworu matrycy (prędkości przetłaczania) na jakość otrzymanego granulatu, określaną poprzez jego gęstość, wytrzymałość kinetyczną oraz wilgotność.

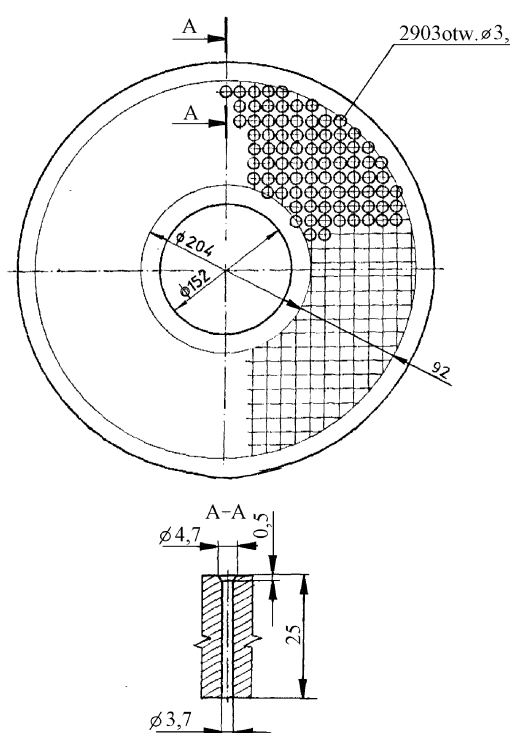
Metodyka badań

Badania procesu granulowania realizowano na stanowisku badawczym przedstawionym na rys. 2 z użyciem matrycy płaskiej z otworami o średnicy 3,7 mm (rys. 3).



Źródło: Hejft 2002

Rys. 2. Stanowisko badawczego SB-3: a) schemat stanowiska, b) widok
 Fig. 2. The researcher's stand SB-3: a) schematic representation of the stand, b) the view



Źródło: [Hejft, Obidziński 2012]

Rys. 3. Schemat matrycy
Fig. 3. A schematic representation of the matrix

Urządzenie składa się z nieruchomej matrycy 3 oraz dwu napędzanych rolek zagęszczających 2. Układ rolek zagęszczających 2 napędzany jest wałem 9, łożyskowanym w obudowie wału 4, poprzez przekładnię pasową 6 z silnika elektrycznego 8. Urządzenie posiada dozownik 1, którego położenie względem stożka zamontowanego w górnej części wału napędowego 9 można zmieniać bezstopniowo (bezstopniowa regulacja ilości dostarczanej mieszanki).

Dane techniczne; moc - 15 kW, prędkość zespołu rolek zagęszczających - 210 obr·min⁻¹, wymiary - 970 mm x 600 mm x 1720 mm, szerokość rolki - 102 mm.

Do badań użyto mieszankę paszową DK Finiszer o wilgotności 16,2%. Skład i parametry mieszanki paszowej DK-Finiszer (wg. producenta - wytwórni pasz TURPASZ w miejscowości Turośń Kościelna) przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład i parametry mieszanki paszowej DK-Finiszer (wg. producenta)
Table 1. Composition and parameters of the compound feed DK-Finiszer (according to the manufacturer)

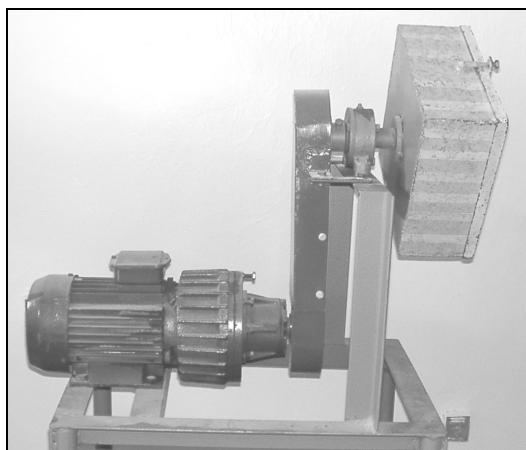
Parametry	Ilość składnika
Energia metaboliczna	13,0 MJ
Białko	20,0 %
Tłuszcz	7,48 %
Włókno	2,4 %
Wapń	0,85 %
Fosfor	0,54 %
Sód	0,16 %
Lizyna	1,1 %
Metionina	0,59 %
Treonina	0,73 %

Granulowanie pasz...

Tryptofen	0,24 %
Witamina A	10000 JM
Witamina D ₃	2500 JM
Witamina E (O-alfa Tokoferol)	18,2 mg
Witamina K ₃	1,5 mg
Witamina B ₁	1,5 mg
Witamina B ₂	6,0 mg
Witamina B ₆	3,6 mg
Witamina B ₁₂	20 mcg
Kwas foliowy	1,0 mg
Kwas pantatowy	10,0 mg
Kwas nikotynowy	25,0 mg
Biotyna	50,0 mcg
Chlorek choliny	20,0 mg
Mangan	30,0 mg
Cynk	50,0 mg
Żelazo	40,0 mg
Miedź	10,0 mg
Jod	1,0 mg
Kobalt	0,5 mg
Selen	0,3 mg
Kokcydiostatyk	100,0 mg

Skład mieszanki: śruta: sojowa poekstrakcyjna modyfikowana dop. Roz. Min. Och. Śr. Nr 31/2002r., śruta słonecznikowa, śruty zbożowe, dodatki energetyczne, węglan wapnia, kwaśny węglan sodu, tlenek cynku, tlenek magnezu, przemieszka mineralno-witaminowa.

Źródło: [Obidziński 2005]



Rys. 4. Widok stanowiska SB-12
Fig. 4. The view of the SB-12 stand

Źródło: [Hejft 2002; Obidziński 2005]

Gęstość granulatu określono jako stosunek masy do objętości, natomiast czas przebywania formowanego granulatu w matrycy jako stosunek długości otworu w matrycy do wysokości porcji materiału wtaczanej przez rolkę w ciągu 1 sekundy.

Wilgotność granulatu określono zgodnie z PN-76/R-64752 za pomocą wagosuszarki WS 30 z dokładnością 0,01%.

Realizacja badań

1. Granulowanie wstępne mieszanki DK Finiszer – do ustalenia się temperatury w układzie roboczym (okres około 20 min).
2. Granulowanie mieszanki DK Finiszer z określoną wydajnością (60 kg/h, 100 kg·h⁻¹, 140 kg·h⁻¹, 180 kg·h⁻¹, 220 kg·h⁻¹, 260 kg·h⁻¹).
3. Określenie jakości granulatu (wilgotności, gęstości, wytrzymałości kinetycznej).
4. Określenie wysokości H porcji włączanej do jednego otworu w matrycy w ciągu 1 sekundy (prędkości przetłaczania) z zależności:

$$H = \frac{4Q}{3600 \cdot \pi \cdot n \cdot \rho \cdot d^2} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

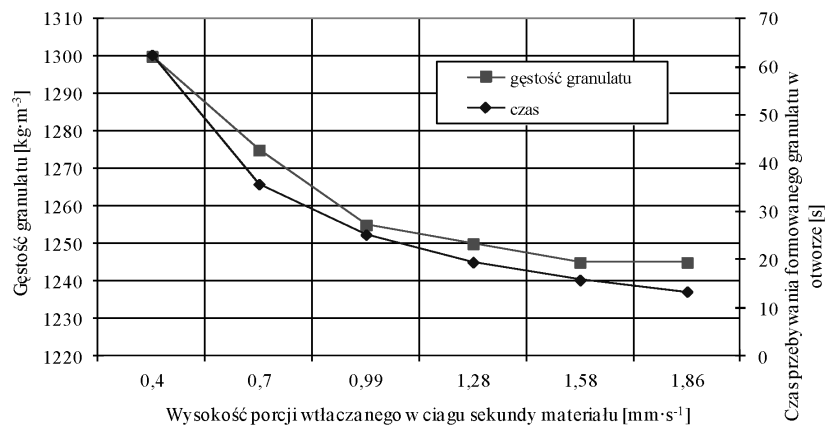
- Q – wydajność (zmienna) granulatora [kg·h⁻¹],
- n – liczba otworów w matrycy,
- d – średnica otworu [m].
- ρ – gęstość granulatu [kg·m⁻³].

Wyniki badań

Zależności gęstości granulatu, jego wytrzymałości kinetycznej, wilgotności oraz czasu t przebywania formowanego granulatu w otworze matrycy od wysokości h porcji materiału włączanego do otworu matrycy przez rolki w ciągu 1 sekundy (prędkości przetłaczania) przedstawiono na rys. 5, 6, 7.

Na podstawie zależności przedstawionych na rys. 5, 6, 7 proces formowania granulatu w otworze matrycy można scharakteryzować następująco:

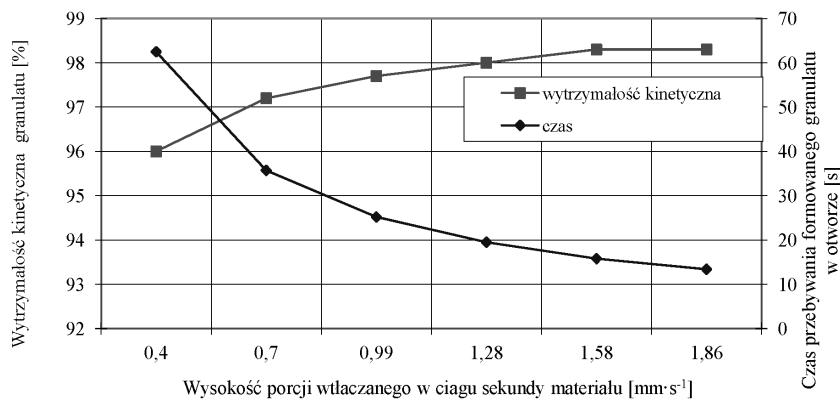
- gęstość granulatu spada wraz ze wzrostem wysokości włączanej porcji mieszanki paszowej) prędkości przetłaczania),
- wytrzymałość kinetyczna granulatu rośnie wraz z wysokością włączanej porcji mieszanki paszowej (prędkością przetłaczania),
- wilgotność (różnica pomiędzy wilgotnością materiału wejściowego – mieszanki DK-Finiszer a wilgotnością granul wychodzących z układu roboczego) spada wraz z wysokością włączanej porcji mieszanki (na rys. 7 wartości wilgotności dotyczą otrzymanego granulatu paszowego). Wilgotność materiału paszowego użytego w badaniach wynosiła 16,2%.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Zależności gęstości granulatu ρ oraz czasu t przebywania formowanego granulatu w otworze matrycy od wysokości h porcji materiału włączanego przez rolki w ciągu 1 sekundy

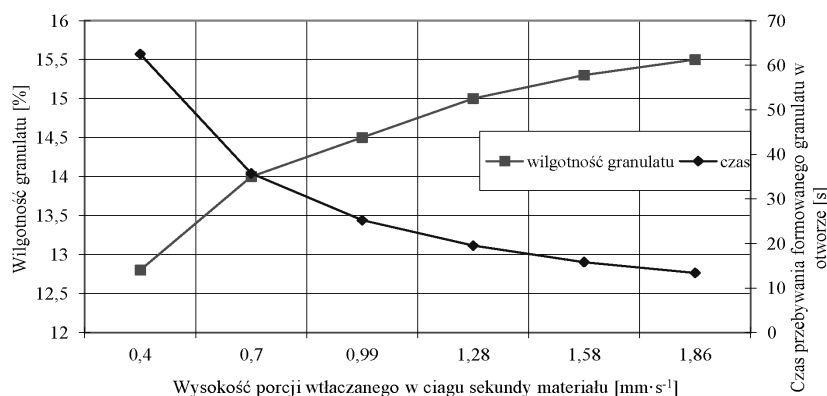
Fig. 5. The dependence of the pellets density ρ and the dwell time t of the moulded pellet in the hole of the matrix on the height h of the portion of the material pressed by rolls (in 1 second)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Zależności wytrzymałości kinetycznej granulatu P_{dx} oraz czasu t przebywania formowanego granulatu w otworze matrycy od wysokości h porcji materiału włączanego przez rolki w ciągu 1 sekundy

Fig. 6. The dependence of the pellets kinetic durability P_{dx} and the dwell time t of the moulded pellet in the hole of the matrix from the height h of the portion of the material pressed by rolls (in 1 second)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 7. Zależności wilgotności granulatu w oraz czasu t przebywania formowanego granulatu w otworze matrycy od wysokości h porcji materiału wtłaczanego przez rolki w ciągu 1 sekundy

Fig. 7. The dependence of the pellets moisture w and the dwell time t of the moulded pellet in the hole of the matrix from the height h of the portion of the material forced by rolls (in the period of 1 second)

Czas formowania granulatu w otworze matrycy zależy jest od wysokości wtłaczanej porcji mieszanki paszowej (prędkości przetłaczania).

Charakteryzując proces formowania granulatu w otworze matrycy można stwierdzić:

- gęstość granulatu nie jest wyznacznikiem jego trwałości określanej w przemyśle paszowym poprzez wytrzymałość kinetyczną,
- wzrost wysokości wtłaczanej porcji mieszanki paszowej (krótszy czas jej formowania w otworze matrycy – większa prędkość przetłaczania) powoduje mniejsze odparowanie cieczy, zawartej w mieszance paszowej, podczas granulowania, a tym samym wzrost wytrzymałości kinetycznej granulatu.

Wnioski

1. Wysokość porcji materiału wtłaczanego do otworu matrycy przez rolki w ciągu 1 sekundy (prędkość przetłaczania) ma istotny wpływ na gęstości granulatu. Dłuższy czas jej przebywania w otworze matrycy powoduje zwiększenie gęstości granulatu.
2. Wzrost wysokości wtłaczanej porcji mieszanki paszowej (krótszy czas jej formowania w otworze matrycy) powoduje mniejsze odparowanie cieczy, zawartej w mieszance paszowej, podczas granulowania, a tym samym wzrost wytrzymałości kinetycznej granulatu.
3. Gęstość granulatu nie jest wyznacznikiem jego trwałości określanej w przemyśle paszowym poprzez wytrzymałość kinetyczną. Można przyjąć, że wysokość porcji materiału wtłaczanego przez rolki w ciągu 1 sekundy (prędkość przetłaczania) wynoszącej około 1,6–1,9 mm·s⁻¹ zapewnia bardzo dobrą jakość granulatu.

Bibliografia

- Chlopek M., Dzik T., Hryniewicz M.** (2012): Metoda doboru elementów układu roboczego granuladora z płaską matrycą. *Chemik*, 66, 5, 493-500.
- Czaban J.** (2000): Ciśnieniowa aglomeracja pasz w układzie roboczym granuladora. Praca doktorska. Politechnika Białostocka, Białystok 2000.
- Drzymala Z.** (1988): Podstawy inżynierii procesu zagęszczania i prasowania materiałów. PWN, Wyd I, Warszawa.
- Hejft R.** (2002): Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE.
- Hejft R., Obidziński S.** (2012): Konstrukcje matryc w granuladorach z układem roboczym „płaska matryca – rolki zagęszczające” *Chemik*, 66, 5, 479-484.
- Kaliyan N., Morey R.V.** (2009): Factors affecting strength and durability of densified biomass products, *Biomass Bioenerg.* 33, 337-359.
- Laskowski J.** (1989): Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych. Praca habilitacyjna. Seria Wyd. Rozp. Nauk. 113. Wydanie Akademii Rolniczej w Lublinie. ISSN 0860-4355.
- Obidziński S.** (2005): Granulowanie materiałów roślinnych w pierścieniowym układzie roboczym granuladora. Praca doktorska. Politechnika Białostocka. Białystok.
- Obidziński S., Grzybek A., Hejft R.** (2006): Czynniki mające wpływ na przebieg procesu zagęszczania materiałów roślinnych i jakość uzyskanego produktu. *Energia Odnawialna* 7(2006), Bioenergetyka Zachodniopomorska. Szczecin, 34-38.
- Razuan R., Finney K.N., Chen Q., Sharifi V.N., Swithenbank J.** (2011): Pelletised fuel production from palm kernel cake, *Fuel Processing Technology*, 92, 609-615.
- Shaw M.**, (2008): Feedstock and process variables influencing biomass densification (in English): A Thesis. Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan. Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Skonecki S., Potręć M., Laskowski J.** (2011): Właściwości fizyczne i chemiczne odpadów rolniczych. *Acta Agrofizyka*, 18(2), 443-455.

FODDERS PELLETING IN THE WORKING SYSTEM WITH THE FLAT MATRIX – PELLETS`S MOULDING IN THE HOLE – PART I

Abstract. The paper presents the results of the investigations of the fodders pelleting – the dependence of density, kinetic durability, moisture and the dwell time of the moulded pellet in the hole of the matrix on the height of the portion of the material pressed by rolls in 1 second (the speed of pumping). Investigations were carried out on the authors' own research stands SB-3, SB-12. The height of the portion of the material pressed by rolls in 1 second (the forcing speed) has the significant influence on the pellets density. Longer dwell time of the portion of the material pressed by rolls in the opening hole of the matrix results in the growth of the pellets density. It should be assumed, that the height of the portion of the material pressed by rolls in 1 second (the speed of pressing) which is $1.6-1.9 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ensures a good quality of pellets characterized by their density and kinetic durability.

Key words: pellets, matrix, density, kinetic durability, fodder

Adres do korespondencji:

Roman Hejft; e-mail: rhj@pb.edu.pl
Zakład Techniki Rolno-Spożywczej
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45C
15-351 Białystok