

## INFLUENCE OF THE BRIQUETTING ROLLERS VELOCITY ON THE CONDENSATION OF CREATED BRIQUETTE

### Summary

One of the possibilities of the straw surplus utilization is to use it as energy-raw material. For the unification and the improvement of the usefulness of the straw as energy-raw material it is necessary to increase its density. It can be obtained by the condensation of loose masses of straw. One method of briquetting of the straw and other straw materials consists in the curling of the layer of non cut up material by the one direction turning round briquetting rolls. This article describes the influence of the tangential velocity of briquetting rollers on the consistence of briquettes obtained with this method.

## WPŁYW PRĘDKOŚCI WALCÓW BRYKIETUJĄCYCH NA ZAGĘSZCZENIE TWORZONEGO BRYKIETU

### Streszczenie

Jedną z dróg zagospodarowania nadwyżek słomy jest wykorzystanie jej w energetyce. Dla ujednoczenia i polepszenia przydatności słomy do celów energetycznych należy zwiększyć jej gęstość. Taki efekt daje zagęszczenie luźnej masy słomy. Jeden ze sposobów brykietowania słomy i materiałów słomiastych polega na zwijaniu warstwy niepociętego materiału przez obracające się w jednym kierunku walce. W pracy zawarto analizę wpływu prędkości obwodowej walców brykietujących na stopień zagęszczenia brykietów uzyskanych tą metodą.

### 1. Wprowadzenie

Jedną z możliwości zagospodarowania nadwyżek słomy jest wykorzystanie jej w energetyce [8, 10]. Dla ujednoczenia i polepszenia przydatności słomy do celów energetycznych należy luźną masę słomy poddać procesowi zagęszczenia. Taką formę można uzyskać np. przez brykietowanie. Jednym ze sposobów brykietowania słomy i materiałów słomiastych, jest zwijanie warstwy niepociętego materiału dostarczanego do wnętrza komory utworzonej pomiędzy obracającymi się w jednym kierunku walcami. Osie ich są skrócone o pewien kąt w stosunku do osi komory brykietownia, będącej zarazem osią tworzonego brykietu, co decyduje o stopniu zagęszczenia tworzonego brykietu [1, 2].

Ze znanych opracowań tego tematu najbardziej wyczerpująca jest praca Olszewskiego [9], który podał elementarne zależności geometryczne i kinematyczne zachodzące w komorze brykietarki rolującej oraz przytoczył znane z literatury modele matematyczne procesu zagęszczania materiału roślinnego. Pozwalają one m. in. na wyznaczanie teoretycznego stopnia zagęszczenia uzyskiwanych brykietów. W pracy zostanie omówiony wpływ prędkości obrotowej walców brykietujących na teoretyczny i rzeczywisty stopień zagęszczenia brykietów tworzonych metodą zwijania.

### 2. Cel badań

Celem badań było określenie wpływu zmian prędkości obrotowej walców brykietujących na zagęszczenie brykietów tworzonych z niepociętej słomy metodą zwijania.

### 3. Przebieg badań

Badania przeprowadzono w laboratorium Zespołu Badań i Rozwoju Urządzeń do Pozyskiwania Energii Odnawialnej, Prac Gospodarskich i Magazynowych Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych w Poznaniu. Do badań wykorzystano słomę pszeniczną ze zbiorów w 2008 roku po-

chodzącą z gospodarstwa rolnego z okolic Poznania.

Zasadnicze etapy przeprowadzonych badań laboratoryjnych obejmowały:

- pomiar wilgotności słomy metodą suszarkowo-wagową dla losowo wybranych próbek z przygotowanych porcji,
- pomiar prędkości walców brykietujących dla różnych częstotliwości prądu,
- brykietownie przygotowanej słomy metodą zwijania i pomiary jego parametrów,
- pomiary geometryczne i masowe wybranych brykietów (odcinków) w celu wyznaczenia ich stopnia zagęszczenia.

W celu przeprowadzania zmiany kierunków obrotów i prędkości obrotowych walców brykietujących w układ napędowy stanowiska laboratoryjnego została włączona przetwornica częstotliwości typu „pDRIVE” MX BASIC 22/30 3x400 V (rys. 1). Pracą przetwornicy sterował program Matrix 2.0.

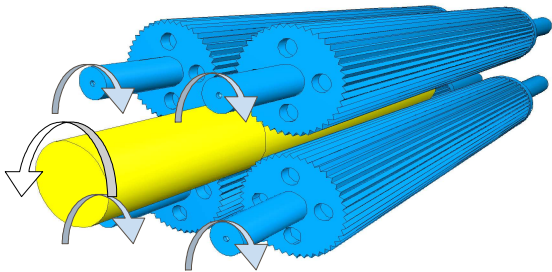


Rys. 1. Stanowisko badawcze do badania procesu brykietowania słomy metodą zwijania

Fig. 1. The test stand for research of the straw briquetting process by method of curling

Przetwornica poprzez zmiany częstotliwości prądu elektrycznego zasilającego silnik pozwala w pełnym zakresie regulować jego prędkość obrotową, a przez nią regulować prędkość walców brykietujących.

Elementem formującym brykiet na stanowisku laboratoryjnym jest układ z czterech obracających się w jednym kierunku walców o kształcie stożkowym, pomiędzy którymi formowana jest komora o przekroju rozetowym (nie walcowym) i tworzony brykiet o przekroju walcowym (rys. 2).



Rys 2. Model zespołu brykietującego stanowiska laboratoryjnego wraz z brykietem i kierunkami obrotów  
Fig. 2. The model of the briquetting set with briquette and directions of rotation

Słoma jest doprowadzana do komory brykietującej poprzez szczelinę między dwoma walcami i układa się w zwój spiralny lub przy występowaniu składowej ruchu, wzdłuż walców w zwój śrubowy. Składową poosiową ruchu uzyskuje się przez skrócenie osi walców zestawu w stosunku do osi centralnej zestawu o pewien niewielki kąt. Siły styczne na powierzchni rulonu dają w tym przypadku niezerową składową działającą wzdłuż osi rulonu, która powoduje wypychanie z komory. Skrócenie osi walców pozwala również w precyzyjny sposób sterować prędkością wysuwania się brykietu z komory, gdyż zachodzi tu ściśły związek kinematyczny. Siła wypychająca rulon może być równa sile tarcia rulonu o wałki brykietujące [6, 7].

Z prędkości obrotowej walców wyznacza się ich prędkość obwodową  $v_w$  z zależności (1) [6, 7]:

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n}{60000} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \quad (1)$$

gdzie:

$d_w$  – średnia średnica walca brykietującego [mm],  
 $n$  – prędkość obrotowa walców brykietujących [ $\text{min}^{-1}$ ].

Znając tę prędkość oraz kąt skrócenia walców  $\beta$ , można obliczyć prędkość wysuwania zwoju z komory zwijania według zależności geometrycznej (2) [6, 7]:

$$v_b = v_w \cdot \beta \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \quad (2)$$

gdzie:

$v_b$  – predkość wysuwania się brykietu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $v_w$  – prędkość obwodowa walców [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $\beta$  – kąt skrócenia walców [ $^\circ$ ].

Z bilansu masowego obliczono teoretyczną gęstość brykietu  $\gamma_t$  jako (3) [6, 7]:

$$\gamma_t = \frac{4Q_z}{(\pi \cdot v_b \cdot d_b^2)} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}, \quad (3)$$

gdzie:

$Q_z$  - ilość masy dostarczanej w jednostce czasu [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $d_b$  - średnica brykietu [m],  
 $v_b$  - prędkość wysuwu brykietu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Dla porównania wpływu prędkości obwodowej walców brykietujących na teoretyczne i rzeczywiste zagęszczenie tworzonych brykietów wyznaczono stopień zagęszczenia materiału  $\Delta$  z następującej zależności (4) [9]:

$$\Delta = \frac{\gamma}{\gamma_o}, \quad (4)$$

gdzie:

$\gamma_o$  - zagęszczenie słomy w podawanej warstwie [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ],  
 $\gamma$  - zagęszczenie słomy w brykiecie [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Zagęszczenie słomy  $\gamma_o$ , używanej do brykietowania określono poprzez wyznaczenie masy słomy i zajmowanej przez nią objętości.

Dla porównania określono także rzeczywiste wartości zagęszczenia słomy w czasie brykietowania jej metodą zwijania dla kilku różnych prędkości walców brykietujących. Rzeczywiste zagęszczenie słomy w podawanej warstwie  $\gamma$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] wyznaczano w następujący sposób [1, 2, 3]. Z brykietu uzyskanego po każdej przeprowadzonej na stanowisku laboratoryjnym właściwej próbie brykietowania, odcinano fragmenty o długości ok. 150 mm, ważono brykiety na wadze laboratoryjnej WS-21. Następnie mierzono ich wymiary geometryczne - średnicę (w 3-4 miejscach) oraz długość. Z uzyskanych danych wyliczano objętość zajmowaną przez brykiet i wyznaczano zagęszczenie brykietu  $\gamma$ .

Wszystkie badania prowadzono dla kąta skrócenia walców brykietujących  $\beta = 5^\circ$ , prędkości obrotowej silnika  $1500 \text{ min}^{-1}$  oraz przełożenia między kołem pasowym silnika a kołem pasowym napędu walców brykietujących  $i = 6$ .

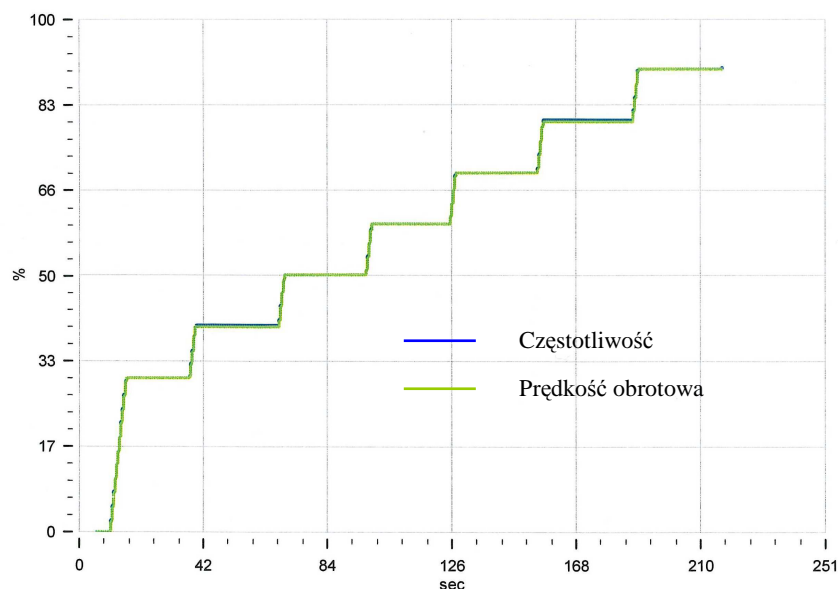
#### 4. Wyniki badań

Brykietowaniu poddano słomę pszenną z przeznaczeniem jej do spalania. Maksymalna dopuszczalna wilgotność dla słomy przeznaczonej do spalania jest różna dla różnych instalacji spalających, na ogół zawiera się w granicach 18-25% [4, 5]. Badania przeprowadzono dla słomy o wilgotności 18-20%.

Prędkości walców brykietujących określono na nieobciążonym stanowisku dla częstotliwości prądu pomiędzy 15 a 50 Hz, robiąc krok 5 Hz (rys. 3).

Pozwoliło to na wyznaczenie prędkości obrotowych walców brykietujących. Następnie na tej podstawie z zależności (1) i (2) wyznaczono prędkości obwodowe walców i prędkości wysuwania się brykietów (tab. 1).

Podczas brykietowania metodą zwijania, warstwa nieociętej słomy zostaje zwijana w sposób ciągły w komorze brykietowania, utworzonej przez cztery obracające się w jednym kierunku stożkowe walce [1, 2]. Utworzony w ten sposób brykiet ma różny stopień zagęszczenia w zależności od parametrów słomy i parametrów pracy zespołu brykietującego. Z zależności (3) obliczono teoretyczne wartości gęstości brykietów dla różnych prędkości walców brykietujących. Wyznaczono także rzeczywistą gęstość brykietów uzyskanych w czasie brykietowania przy różnych prędkościach walców. Dla wszystkich wartości, obydwu typów gęstości brykietów, obliczono z zależności (4) stopień zagęszczenia brykietu. Zależność stopnia zagęszczenia brykietów dla wartości teoretycznych i rzeczywistych od prędkości walców brykietujących zobrazowano na wykresie (rys. 4).

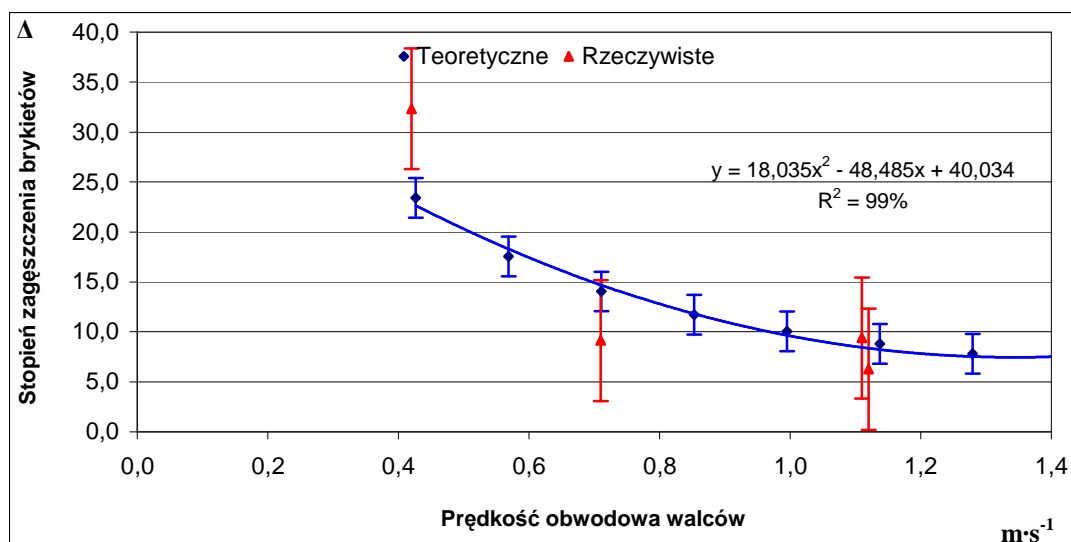


Rys. 3. Przebieg zmian częstotliwości prądu i prędkości obrotowej silnika napędzającego zespół brykietujący  
 Fig. 3. Variability course of the current frequency and of the rotational speed of the briquetting set engine

Tab. 1. Wartości prędkości obwodowej walców brykietujących oraz prędkości wysuwania się brykietu dla różnych prędkości obrotowych walców brykietujących  
 Tab. 1. Values of the tangential velocity of briquetting rollers and the speed of briquette forwarding for different rotational speeds of briquetting rollers

Lp.	Częstotliwość prądu	Prędkość obrotowa walców brykietujących	Prędkość obwodowa walców brykietujących	Prędkość wysuwania się brykietu
	Hz	min <sup>-1</sup>	m·s <sup>-1</sup>	m·s <sup>-1</sup>
1.	15	75	0,4265	0,0372
2.	20	100	0,5686	0,0496
3.	25	125	0,7108	0,0620
4.	30	150	0,8529	0,0744
5.	35	175	0,9951	0,0868
6.	40	200	1,1373	0,0992
7.	45	225	1,2794	0,1116
8.	50	250	1,4216	0,1240

Źródło: Badania własne



Rys. 4. Zależność stopnia zagęszczenia brykietów od prędkości obwodowej walców brykietujących  
 Fig. 4. The dependence of briquettes consistence on tangential velocity of briquetting rollers

Na wykresie (rys. 4) zaznaczono także zakresy błędów standardowych dla uzyskanych wielkości. Znaczny rozrzut rzeczywistych wartości zagęszczenia brykietów wynika z wpływów dodatkowych czynników nieuwzględnianych przez teoretyczny wzór. Najważniejszą z nich jest wilgotność brykietowanego materiału [3]. Niejednorodność wilgotności brykietowanej słomy spowodowała, że rzeczywiste wartości stopnia zagęszczenia brykietów występują zarówno powyżej, jak i poniżej krzywej dla wartości teoretycznych.

Współczynnik regresji  $R^2$  dla przebiegu funkcji teoretycznej jest wysoki, co świadczy o dobrym dopasowaniu funkcji do przebiegu zmienności.

Największy rzeczywisty stopień zagęszczenia brykietów (32,3) uzyskiwanych metodą zwijania niepociętej słomy uzyskano dla najniższej rozpatrywanej prędkości obrotowej walców brykietujących, mianowicie  $75 \text{ min}^{-1}$ . Natomiast najniższy rzeczywisty stopień zagęszczenia brykietów 6,28 uzyskano dla prędkości  $200 \text{ min}^{-1}$ . Niższe prędkości obrotowe walców brykietujących powodują, że tworzony brykiet dłużej przebywa w komorze brykietowania, a przez to jest wielokrotnie więcej razy zgniatany i uderzany przez obracające się walce, co powoduje jego większe zagęszczenie. Z drugiej jednak strony niskie prędkości obrotowe walców brykietujących zmniejszają wydajność procesu w wyniku jego wydłużenia. Należy tak dobrać parametry brykietowania, aby uzyskiwać zadawalający stopień zagęszczenia przy odpowiedniej wydajności procesu brykietowania.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Aby w pełni wykorzystać energetyczne właściwości słomy do celów energetycznych musi ona spełniać określone wymagania technologiczne oraz być odpowiednio przetworzona. Jednym ze sposobów przetwarzania niepociętej słomy jest jej brykietownie metodą zwijania. Wytworzone tą metodą brykiety powinny spełniać kilka kryteriów. Wśród nich najważniejszy jest odpowiedni stopień ich zagęszczenia. Jego wielkość zależy między innymi od prędkości obrotowej walców brykietujących. Dokonano analizy zmian teoretycznego i rzeczywistego stopnia zagęszczenia brykietów dla różnych prędkości obrotowych walców brykietujących. Analiza wyników przeprowadzonych badań eksperymentalnych pozwala na postawienie następujących wniosków:

1. Różnica przebiegów zmienności funkcji dla rzeczywistych i teoretycznych wartości stopnia zagęszczenia brykietów wynika z wpływów dodatkowych czynników nieuwzględnianych przez formułę teoretyczną.
2. Brykiety tworzone przy niższych prędkościach obrotowych walców brykietujących charakteryzowały się

większym stopniem zagęszczenia. Spowodowane jest to dłuższym czasem przebywania brykietu w komorze brykietowania, a przez to zwielokrotnieniem ilości uderzeń tworzonego brykietu przez walce brykietujące.

3. Brykietowanie słomy metodą zwijania przy niskich prędkościach obrotowych walców brykietujących zmniejsza jednak wydajność całego procesu w wyniku wydłużenia czasu jego trwania.
4. Największy rzeczywisty stopień zagęszczenia brykietów (32,3), uzyskiwanych metodą zwijania, otrzymano dla najniższej rozpatrywanej prędkości obrotowej walców brykietujących  $75 \text{ min}^{-1}$ , a najniższy rzeczywisty stopień zagęszczenia brykietów 6,28 dla prędkości  $200 \text{ min}^{-1}$ .

## 6. Literatura

- [1] Adamczyk F., Frąckowiak P., Kośmicki Z., Mielec K.: Problematyka badawcza w procesie zagęszczenia słomy przeznaczonej na opał. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2005, vol. 50(4), s. 4-7.
- [2] Adamczyk F., Frąckowiak P., Kośmicki Z., Mielec K., Zielnica M.: Badania eksperymentalne procesu zagęszczenia słomy metodą zwijania. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2006, vol. 51(3), s. 5-10.
- [3] Adamczyk F.: Wpływ wilgotności słomy zbożowej na stopień zagęszczenia uzyskiwanych brykietów. *Inżynieria Rolnicza 1(119) 2010*, s. 7-13.
- [4] Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K.: Słoma. Energetyczne paliwo. *Więś Jutra*, Warszawa, 2001.
- [5] Juliszewski T.: Ogrzewanie biomasą. PWRiL, Warszawa, 2009.
- [6] 2005a Kęska W., Kośmicki Z., Mielec K.: Matematyczne modelowanie brykietowania słomy metodą zwijania. VIII Międzynarodowa konferencja naukowa „Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej”. Wrocław – Polanica Zdrój 21-24.VI.2005, s. 65-71.
- [7] 2005b Kęska W., Kośmicki Z., Mielec K.: Energooszczędny proces zagęszczenia słomy do spalania w kotłowniach małej mocy. Zadanie 2.2. Modelowanie procesu zagęszczenia słomy metodą zwijania. PIMR, Poznań, 2005.
- [8] Wójcik W. [red.]: Nowe kierunki wytwarzania i wykorzystania energii. Zrównoważone systemy energetyczne. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin, 2005, s. 83-124.
- [9] Olszewski T.: Dobór optymalnych parametrów zespołu brykietującego zielonki metodą zwijania. Praca doktorska. Akademia Rolnicza w Poznaniu, Poznań, 1973.
- [10] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne Dz. U. 1997 nr 54 poz. 348 z późn. zm.