
KOMITET TECHNIKI ROLNICZEJ PAN
POLSKIE TOWARZYSTWO INŻYNIERII ROLNICZEJ

INŻYNIERIA ROLNICZA
AGRICULTURAL ENGINEERING

Rok XVII

1(142)T.2

Kraków 2013

Rada Naukowa Wydawnictw KTR PAN

czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Janusz Haman – przewodniczący
czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Rudolf Michałek – wiceprzewodniczący
Prof. dr hab. Małgorzata Bzowska-Bakalarz,
Prof. dr hab. Jan Bronisław Dawidowski
Prof. dr hab. Józef Szlachta
Prof. dr hab. Jerzy Weres
Prof. dr hab. Zdzisław Wójcicki
Prof. Radomir Adamovsky (Rep. Czeska)
Prof. Stefan Cenkowski (Kanada)
Doc. Ing. Ján Frančák, CSc. (Słowacja)
Prof. Jürgen Hahn (Niemcy)
Prof. Dorota Haman (USA)
Doc. Ing. Zuzana Hlaváčová, CSc. (Słowacja)
Prof. Gerard Wiliam Isaacs (USA) – czł. zagr. PAN
Prof. Oleg Sidorcuk (Ukraina)

Komitety Redakcyjny

czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Rudolf Michałek – redaktor naczelny
czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Janusz Haman
prof. dr hab. inż. Janusz Laskowski
dr hab. inż. Maciej Kuboń – sekretarz

Redaktor statystyczny
dr Stanisława Roczowska-Chmaj

Redaktor językowy
mgr Mirosław Grzegórzek

Praca wykonana
w Katedrze Maszyn Ogrodniczych i Leśnych
Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie

Recenzenci:

Prof. dr hab. Tadeusz Rawa – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Dr hab. inż. Dariusz Kwaśniewski – Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wydawca: Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków 2013

Druk i oprawa:
DRUKROL S.C., Kraków, ul. Ujastek 9
tel./fax: +48 12 412-46-50; <http://www.drukrol.pl>
Ark. Wyd. 6,0 Ark. druk. 5,5
Nakład: 150 egzemplarzy

Monografie i Rozprawy

Nr 1(35)

Janusz Zarajczyk

**UWARUNKOWANIA TECHNICZNE
I TECHNOLOGICZNE PRODUKCJI PELETU
Z BIOMASY ROŚLINNEJ
NA CELE ENERGETYCZNE**

(rozprawa habilitacyjna)

Spis treści

1. WSTĘP	7
2. UZASADNIENIE PROBLEMU BADAWCZEGO	9
2.1. Zasoby i uwarunkowania energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce ..	9
2.2. Produkcja i korzyści ze stosowania peletów	13
2.3. Główne problemy wytwarzania peletu	17
3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU BADAWCZEGO	19
3.1. Geneza podjęcia tematu	19
3.2. Cel i zakres pracy	21
4. OBIEKT BADAŃ	23
5. METODYKA BADAŃ	27
5.1. Miejsce i warunki realizacji badań	27
5.2. Materiał badawczy i pomiary parametrów peletu	32
5.3. Metody statystyczne	34
6. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA	35
6.1. Wydajność granulatora	35
6.1.1. Prędkość obrotowa głowicy granulatora 25 obr·min ⁻¹	35
6.1.2. Prędkość obrotowa głowicy granulatora 38 obr·min ⁻¹	37
6.1.3. Prędkość obrotowa głowicy granulatora 45 obr·min ⁻¹	40
6.1.4. Określenie łącznego wpływu badanych czynników na wydajność granulatora	42
6.2. Jednostkowe zużycie energii elektrycznej w procesie granulowania	43
6.2.1. Prędkość obrotowa głowicy granulatora 25 obr·min ⁻¹	44
6.2.2. Prędkość obrotowa głowicy granulatora 38 obr·min ⁻¹	46
6.2.3. Prędkość obrotowa głowicy granulatora 45 obr·min ⁻¹	49
6.2.4. Określenie łącznego wpływu badanych czynników na jednostkowe zużycie energii	51
6.3. Analiza jakościowa peletów	53
6.3.1. Cechy geometryczne i gęstość nasypowa peletu	53
6.3.2. Wartość opałowa peletów	58
7. DYSKUSJA	61
8. WNIOSKI	64
9. LITERATURA	66
10. STRESZCZENIE	72
11. ANEKS	75

STRESZCZENIE

Celem użytkowym rozprawy było opracowanie konstrukcji i wykonanie prototypu granuladora pierścieniowego do produkcji peletu o średnicy 25 mm ze słomy roślin zbożowych i rzepaku. Celem naukowym rozprawy było określenie wpływu gatunku i wilgotności słomy na wydajność i energochłonność procesu wytwarzania peletów przy trzech przyjętych do badań prędkościach obrotowych głowicy granuladora. Badania wykazały, że zarówno gatunek słomy użytej do produkcji peletu, jak również jej wilgotność oraz prędkość obrotowa głowicy granuladora miały istotny wpływ na wydajność i jednostkowe zużycie energii oraz jakość peletu (określoną jego gęstością nasypową i wartością opałową). Przy prędkościach głowicy granuladora: 25, 38 i 45 obr·min⁻¹, najwyższe wydajności wynoszące odpowiednio: 0,58, 0,68 i 0,67 t·h⁻¹ uzyskano przy peletowaniu słomy rzepakowej i były one istotnie wyższe od wydajności uzyskanych przy peletowaniu słomy pszennej, żytniej i kukurydzianej. Przy badanych gatunkach słomy i prędkościach obrotowych głowicy granuladora najwyższą wydajność uzyskano przy peletowaniu słomy o wilgotności 10%, zaś najniższą przy peletowaniu słomy o wilgotności 26%. Badania wykazały, że zarówno gatunek słomy jak i jego wilgotność miały istotny wpływ na jednostkowe zużycie energii przy wszystkich badanych prędkościach obrotowych głowicy granuladora. Przy prędkościach obrotowych głowicy granuladora: 25, 38 i 45 obr·min⁻¹ stwierdzono, że najniższe jednostkowe zużycie energii wynoszące odpowiednio: 16,0, 19,3 i 23,7 kWh·t⁻¹ wystąpiło przy peletowaniu słomy rzepakowej, zaś najwyższe wynoszące odpowiednio: 21,6, 24,9 i 29,3 kWh·t⁻¹ przy peletowaniu słomy kukurydzianej. Istotnie najniższe jednostkowe zużycie energii przy wszystkich badanych prędkościach obrotowych głowicy granuladora i gatunkach słomy stwierdzono przy jej wilgotności w zakresie 16,2–20,9%, a powyżej tej wartości wilgotności słomy jednostkowe zużycie energii istotnie wzrosło. Najwyższą średnią wartość gęstości nasypowej peletu (663,7 kg·m⁻³) wytworzonego z gatunków słomy użytych w badaniach uzyskano przy prędkości obrotowej głowicy granuladora 38 obr·min⁻¹. Stwierdzono, że średnie wartości gęstości nasypowej peletu wytworzonego z gatunków słomy użytych w badaniach przy przyjętych do badań prędkościach obrotowych głowicy granuladora w większości przypadków różniły się istotnie między sobą. Najwyższą gęstością nasypową charakteryzowały się pelety wytworzone ze słomy kukurydzianej (655,5 kg·m⁻³), zaś istotnie niższą pelety ze słomy pszennej (622,2 kg·m⁻³). Natomiast gęstości nasypowe peletów wytworzonych ze słomy rzepakowej (612,8 kg·m⁻³) i ze słomy żytniej (609,4 kg·m⁻³) nie różniły się istotnie na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Stwierdzono, że wartość opałowa peletów wytworzonych ze słomy żytniej i rzepakowej nie różniła się istotnie; była ona istotnie wyższa od wartości opałowej peletów wytworzonych ze słomy kukurydzianej i pszennej. Stwierdzono również, że najniższą wartością opałową charakteryzowały się pelety wytworzone ze słomy o najwyższej badanej wilgotności wynoszącej 26%. Najkorzystniejsze wyniki dotyczące jednostkowego zużycia energii, wydajności i jakości peletu uzyskano przy prędkości głowicy granuladora 38 obr·min⁻¹. Wprawdzie przy prędkości głowicy 45 obr·min⁻¹ wydajność granuladora była nieco wyższa, jednak wyższe było również jednostkowe zużycie energii oraz niższa gęstość nasypowa peletu niż przy prędkości głowicy 38 obr·min⁻¹.

Słowa kluczowe: granulador, słoma, pelet, jakość

TECHNICAL AND TECHNOLOGY CONDITIONS OF PLANT BIOMASS PELLETS FOR ENERGY PURPOSES

Summary

The utilitarian objective of the thesis was to develop a construction and a prototype of a ring granulator for production of 25 mm diameter pellets of grain plants and rape. The scientific objective of the thesis was to determine the impact of the straw variety and moisture on efficiency and energy consumption of the pellets production process at three accepted for the research rotational speeds of the head of a granulator. The research proved that both the variety of straw used for production of pellets as well as its moisture and the rotational speed of the head of the granulator has a significant impact on efficiency and the specific energy consumption and the pellets quality determined as bulk density and calorific value. At speeds of the head of the granulator amounting to 25, 38 and 45 rpm⁻¹, the highest efficiencies amounting respectively: 0.58, 0.68 and 0.67 t·h⁻¹ were obtained at pelleting rape straw and they were significantly higher than efficiencies obtained at pelleting wheat, rye and rape straw. At the investigated varieties of straw and rotational speeds of the granulator head, the highest efficiency was obtained at pelleting straw of 10% moisture while the lowest at pelleting straw of 26% moisture. The research proved that both the straw variety and moisture had a crucial impact on the specific energy consumption at all the researched rotational speeds of the granulator head. At the rotational speeds of the granulator head of 25, 38 and 45 rpm⁻¹ it was reported that the lowest specific energy consumption amounting to respectively: 16.0, 19.3 and 23.7 kWh·t⁻¹ occurred at pelleting rape straw while the lowest amounting to respectively: 21.6, 24.9 and 29.3 kWh·t⁻¹ at pelleting maize straw. Significantly the lowest specific energy consumption at all the researched rotational speeds of the granulator head and straw varieties were reported at its moisture within 16.2-20.9% and above this value of straw moisture the specific energy consumption significantly increased. The highest average value of bulk density of the pellets (663.7 kg·m⁻³) produced of straw varieties, used in the research, were obtained at the rotational speed of the granulator head amounting to 38 rpm⁻¹. It was found that mean values of bulk density of pellets produced from the straw varieties used in the research at rotational speeds of the granulator head, accepted for the research, in majority of cases differed significantly between each other. The highest bulk density characterised pellets produced of maize straw (655.5 kg·m⁻³), whereas a significantly lower bulk density characterised pellets of wheat straw (622.2 kg·m⁻³). Whereas, bulk densities of pellets produced of rape straw (612.8 kg·m⁻³) and rye straw (609.4 kg·m⁻³) did not differ significantly at the level of significance of $\alpha = 0.05$. It was found that the calorific value of pellets produced of rye and rape straw did not differ significantly and was significantly higher than the calorific value of pellets produced of maize and wheat straw. Moreover, it was found that pellets produced of straw of the highest researched moisture amounting to 26% were characterised with the lowest calorific value. The most advantageous results concerning the specific energy consumption, efficiency and pellets quality were obtained at the speed of the granulator head amounting to 38 rpm⁻¹. Indeed, at the head speed of 45 rpm⁻¹ efficiency of the granulator was slightly higher, however, also the specific energy consumption was higher and the bulk density of the pellets was lower at the head speed amounting to 38 rpm⁻¹.

Key words: granulator, straw, pellet, quality, production, technology