

OCENA WŁAŚCIWOŚCI ENERGETYCZNYCH I MECHANICZNYCH BRYKIETÓW Z MASY POŹNIWNEJ KUKURYDZY

Ignacy Niedziółka, Mariusz Szymanek, Andrzej Zuchniarz

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Akademia Rolnicza w Lublinie

Streszczenie. W pracy przedstawiono średnie plony resztek poźniwnych kukurydzy pastewnej uprawianej na ziarno, wartość opałową poszczególnych frakcji tej biomasy oraz możliwość zagospodarowania jej do celów energetycznych. Określono także właściwości mechaniczne brykietów uzyskanych z masy poźniwnej kukurydzy oraz spadek ich gęstości w wyniku ekspansji zwrotnej po zagęszczeniu. Gęstość brykietów w ciągu godziny zmniejszyła się odpowiednio dla nacisku 10 t o 13,9%, dla nacisku 15 t o 11,1% oraz dla nacisku 20 t o 9,1%, w stosunku do uzyskanej gęstości bezpośrednio po ich zbrykietowaniu.

Słowa kluczowe: słoma kukurydziana, plony, wartość opałowa, brykiety

Wstęp

Powierzchnia uprawy kukurydzy pastewnej z przeznaczeniem na ziarno w ostatnich latach kształtowała się na poziomie powyżej 300 tys. ha. W 2006 roku wyniosła ona około 303 tys. ha [GUS]. Duży potencjał plonowania tej rośliny, sięgający 12-15 t suchej masy całych roślin z 1 ha, powoduje wzrost zainteresowania jej wykorzystaniem nie tylko do produkcji biogazu (świeża masa, kiszonka), czy bioetanolu (ziarno), ale także do bezpośredniego spalania (słoma kukurydziana) [Podkówka 2007].

Resztki poźniwne kukurydzy z powodu znacznej zawartości wilgoci w stanie świeżym, budzą jednak pewne wątpliwości jako surowiec do produkcji energii cieplnej w przypadku bezpośredniego spalania. W zależności od terminów zbioru i związanych ściśle z nimi warunków pogodowych, wilgotność poszczególnych frakcji rośliny wahała się w przedziale 35-65%. Mając jednak na uwadze wysoką wartość opałową biomasy kukurydzianej (dla ziarna: $17,2 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, dla plewek: $16,2 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, dla słomy: $15,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) oraz aspekty ekologiczne, może być ona wykorzystywana do produkcji energii cieplnej [Niedziółka i in. 2006].

Wysoka zależność między wilgotnością, a wartością opałową stwarza konieczność dosuszania resztek poźniwnych kukurydzy w celu poprawy ich wartości energetycznej. Ponadto resztki poźniwne kukurydzy, jak każdy rodzaj biomasy w postaci nieprzetworzonej (zwłaszcza słoma) jest paliwem dosyć kłopotliwym w użyciu, ze względu na niską koncentrację energii w jednostce objętości (gęstość słomy kukurydzy wynosi $40\text{-}80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Odpowiednie zagęszczenie biomasy ma na celu poprawienie mechanicznych i energetycznych właściwości tego surowca, zwłaszcza jeśli chodzi o koszty jego transportu i magazy-

nowania. Jednym ze sposobów zagęszczania masy poźniwej kukurydzy może być brykietowanie. Umożliwia ono uzyskiwanie brykietów opałowych o gęstości $650-900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Należy przy tym podkreślić, że brykiety zapewniają znacznie dłuższy czas spalania w porównaniu z biomasą roślinną w postaci luźnej [Hejft 2002, Mani i in. 2006]. Celem pracy było określenie wartości opałowej masy roślinnej kukurydzy pastewnej jako potencjalnego źródła bioenergii oraz właściwości mechanicznych wytworzonych z niej brykietów opałowych, dotyczących zmian gęstości w czasie w zależności od przyjętych nacisków zagęszczających.

Metodyka badań

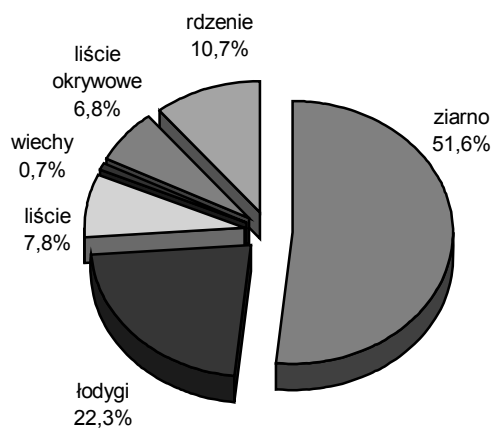
Materiał roślinny do wytwarzania brykietów pochodził z miejscowości Olszowiec woj. lubelskie. Stanowił on resztki poźniwe uzyskane podczas zbioru ziarna kukurydzy pastewnej odmiany Fuxol o klasie wczesności FAO 230. W celu określenia wielkości plonów słomy kukurydzianej, jak i poszczególnych jej frakcji, wycinano całe rośliny z powierzchni 10 m^2 w pięciu powtórzeniach. Następnie rozdzielano poszczególne frakcje (łodygi, liście, wiechy, kolby i liście okrywowe) oraz oddzielano ziarno od rdzeni. Otrzymane frakcje kukurydzy ważono i przeliczano na jednostkę powierzchni. Określono także procentowy udział tych frakcji w ogólnej masie roślinnej kukurydzy. Wilgotność poszczególnych frakcji określano metodą suszarkowo-wagową zgodnie z PN-ISO 6540. Wartość opałową masy poźniwej określano za pomocą kalorymetru.

Brykiety wytwarzano ze słomy kukurydzy pastewnej rozdrobnionej przy użyciu zawieszanej jednorzędowej sieczkarni polowej. Zawartość wilgoci zagęszczanego materiału roślinnego wynosiła w przybliżeniu 10%. Do zagęszczania wykorzystano prasę hydrauliczną typu PHW-25, przy naciskach 10; 15 i 20 t oraz cylinder o średnicy $\phi 60 \text{ mm}$ z tłokiem o skoku 300 mm. Następnie określano wymiary uzyskanych brykietów bezpośrednio po ich zagęszczeniu oraz w ciągu pierwszej godziny w odstępach 15-minutowych. Po dokonaniu pomiarów długości i średnicy brykietów ważono je i obliczano gęstość aglomeratu.

Wyniki badań

Analizując procentowy udział poszczególnych frakcji kukurydzy pastewnej stwierdzono, że stosunek plonu ziarna i słomy wynosił w przybliżeniu 1:1 (rys. 1).

Do wytworzenia brykietów użyto sieczki ze słomy kukurydzy pastewnej, uzyskanej po jej rozdrobnieniu w zespole toporowym sieczkarni polowej. Sieczka miała zróżnicowaną długość ze względu na różny stopień rozdrobnienia poszczególnych frakcji słomy kukurydzy (rys. 2). W przypadku łodyg kukurydzy przeciętna długość sieczki wynosiła od 15 do 25 mm, zaś dla liści wahała się w granicach 50-80 mm, przy teoretycznej długości cięcia 20 mm.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Udział procentowy poszczególnych frakcji kukurydzy pastewnej
Fig. 1. Participation of the particular factions of the fodder maize



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Rozdrobniona słoma kukurydzy pastewnej użyta do wytwarzania brykietów
Fig. 2. Grinded straw of the fodder maize used for producing briquettes

W tabeli 1 przedstawiono średnie plony, wilgotność oraz wartość opałową masy poźniwej kukurydzy pastewnej przeznaczanej do brykietowania. Przeciętny plon słomy kukurydzianej w czasie zbioru wynosił ok. $14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, przy średniej wilgotności 50%. Główną frakcją słomy stanowiły łodygi, których plon wynosił ok. $6,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, o stosunkowo wysokiej wilgotności (65,4%). Średnia wartość opałowa zbieranej słomy kukurydzy wynosiła w stanie świeżym ok. $6,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast w stanie wysuszonym dochodziła do $15,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Tabela 1. Średnie plony, wilgotność i wartość opałowa masy poźniwej kukurydzy pastewnej
Table 1. Average crops, the humidity and the calorific value of postharvest mass of the fodder maize

Frakcja kukurydzy	Średni plon [$\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Wilgotność w stanie świeżym [%]	Wartość opałowa w stanie świeżym [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Wartość opałowa w stanie wysuszonym (wilgotność 10%) [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Słoma ogółem,	13,9	50,3	6,5	15,5
w tym:	6,5	65,4	5,6	15,2
- łodygi	2,3	45,3	6,2	15,2
- liście	2,0	50,6	6,5	15,7
- liście okrywowe	2,9	55,6	6,8	16,1
- rdzenie	0,2	34,4	7,3	15,6
- wiechy				

Źródło: obliczenia własne

Otrzymane brykiety ze słomy kukurydzy pastewnej różniły się gęstością, co spowodowane było użyciem różnych nacisków zagęszczających. Przeprowadzone pomiary bezpośrednio po zagęszczeniu wykazały, że wytworzone brykiety charakteryzowały się następującą gęstością: $686,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dla nacisku 10 t, $774,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dla nacisku 15 t i $823,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dla nacisku 20 t. Natomiast w tabeli 2 zamieszczono wyniki badań właściwości fizycznych brykietów ze słomy kukurydzy pastewnej po zakończeniu procesu rozprężania.

Tabela 2. Właściwości fizyczne brykietów ze słomy kukurydzy pastewnej po zakończeniu procesu rozprężania

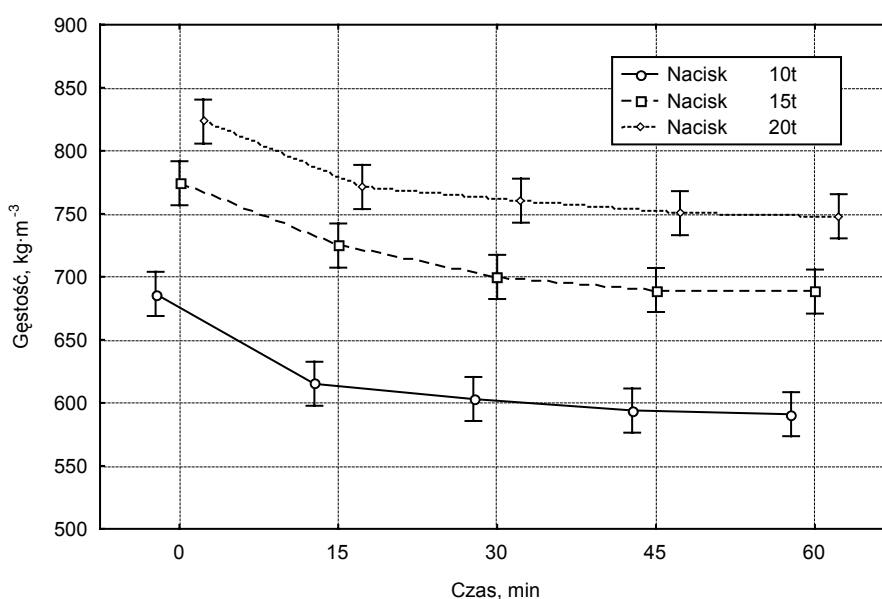
Table 2. Physical properties of briquettes made of the fodder maize straw after decompression

Nacisk [t]	Średnie wymiary brykietów		Masa [g]	Średnia gęstość [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
	średnica [mm]	wysokość [mm]		
10	62,4	54,9	98,97	598,03
15	61,9	48,0	99,16	688,32
20	61,8	44,2	99,59	748,04

Źródło: obliczenia własne

W brykietach ze słomy kukurydzy pastewnej wystąpiło również zjawisko ekspansji zwrotnej. Gęstość aglomeratu w ciągu godziny zmniejszyła się odpowiednio dla nacisku 10 t o $88,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, dla nacisku 15 t o $86,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, dla nacisku 20 t o $75,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ w stosunku do

uzyskanej gęstości bezpośrednio po brykietowaniu. Zjawisko rozprężania w uzyskanych brykietach wystąpiło w największym stopniu w ciągu pierwszych 15 minut od momentu aglomeracji dla wszystkich trzech rozpatrywanych nacisków. Z przeprowadzonych badań wynika, że w czasie tym gęstość ich zmniejszyła się o 10,4% dla nacisku 10 t, o 6,4% dla nacisku 15 t i o 6,3% dla nacisku 20 t. Po upływie 15 minut proces ten stopniowo malał i w ciągu następnych 45 minut po aglomeracji gęstość zmniejszyła się tylko o kolejne 3,5% dla nacisku 10 t o 4,7% dla nacisku 15 t i o 2,8% dla nacisku 15 t, by po godzinie ustać całkowicie (rys. 3).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Zmiana gęstości brykietów ze słomy kukurydzy pastewnej w zależności od upływu czasu
 Fig. 3. Change of the density of the briquettes made of straw of the fodder maize straw depending on the time run

Przeprowadzona analiza wariancji, przy przyjętym poziomie istotności $\alpha = 0,05$ wykazała, że nacisk istotnie wpływa na zmianę gęstości brykietów w wyniku ekspansji zwrotnej (tab. 3). Gęstość dla nacisków zagęszczających wynoszących 10 t w przeciągu jednej godziny od chwili wytworzenia brykietu zmniejszyła się o 13,9%, podczas gdy do aglomeracji użyto większego nacisku (15 t i 20 t) gęstość zmniejszyła się w mniejszym stopniu dla nacisku 15 t o 11,1%, a dla 20 t o 9,1%.

Tabela 3. Wyniki analizy wariancji dla przyjętego poziomu istotności $\alpha = 0,05$
 Table 3. Results of the variance analysis for the adopted significance level $\alpha = 0.05$

Źródło zmienności	Suma kwadratów	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat	Wartość statystyki F	Poziom istotności
Wyraz wolny	22217449	1	22217449	45584,13	0,000000
Nacisk	181224	2	90612	185,91	0,000000
Czas	45400	4	11350	23,29	0,000000
Nacisk-Czas	2182	8	273	0,56	0,801945
Błąd	14622	30	487		

Źródło: obliczenia własne

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Surowcem energetycznym budzącym coraz większe zainteresowanie jest masa poźniwna kukurydzy, obejmująca łodygi z liśćmi, rdzenie kolbowe, liście okrywowe kolb oraz odpady powstałe w czasie suszenia ziarna (plewki). Resztki poźniwne kukurydzy pastewnej ze względu na swoją wartość opałową ($15,2-17,2 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) mogą być wykorzystywane jako źródło biomasy roślinnej do celów grzewczych.
2. Różnicowana zawartość wilgoci we frakcjach masy poźniwnej kukurydzy (28,3-65,4%) powoduje konieczność jej dosuszania do wilgotności 10-15%, czyli najczęściej zalecanej podczas zagęszczania biomasy roślinnej w produkowanych maszynach brykietujących.
3. Zjawisko ekspansji zwrotnej w brykietach wytworzonych ze słomy kukurydzy pastewnej występuje w największym stopniu w ciągu pierwszych 15 minut od momentu zagęszczenia materiału i powoduje spadek gęstości wytworzonych brykietów o 10,4% dla nacisku 10 t, o 6,3% dla nacisku 15 t i o 2,8% dla nacisku 20 t.
4. Analiza wariancji, przy przyjętym poziomie istotności $\alpha = 0,05$ wykazała, że przyjęty nacisk istotnie wpływa na zmianę gęstości brykietów w wyniku ekspansji zwrotnej. Użycie większych nacisków zagęszczających spowodowało mniejszy spadek gęstości brykietów w czasie jednej godziny od momentu ich wytworzenia.

Bibliografia

- Hejft R. 2002. Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Białystok. ISBN 83-7204-251-9.
- Mani S., Tabil LG., Sokhansanj S. 2006. Specific energy requirement for compacting corn stover. *Bioresource Technology*, nr 97, s. 1420-1426.
- Niedziółka I., Szymanek M., Zuchniarz A. 2006. Energetic evaluation of postharvest corn mass for heating purposes. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, t. VI(6A), s. 145-150.
- Podkówka W. 2007. Biopaliwa dziś i jutro. *Kukurydza*, nr 2(31), s. 4-35.
- GUS. 2006. Wynikowy szacunek głównych ziemiopłodów rolnych i ogrodnich.

ESTIMATION OF CALORIC AND MECHANICAL PROPERTIES OF BRIQUETTES MADE OF THE POSTHARVEST MAIZE MASS

Summary. This work presents the average crops of postharvest remains of the fodder maize which is grown for grain as well as the calorific value of individual fractions of this biomass and the possibility of using the biomass for energy production. Mechanical properties of briquettes made of the mass from postharvest maize and the decrease in their densities resulting from the turning expansion after condensation were determined. The density of briquettes within an hour dropped down to 13.9% for the pressure of 10t, to 11.1% for the pressure of 15t and 9.1% for the pressure of 20t, with relation to the density just after briquetting.

Key words: corn straw, crops, calorific value, briquettes

Adres do korespondencji:

Ignacy Niedziółka; e-mail: ignacy.niedziolka@ar.lublin.pl
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego
Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin