

Ignacy NIEDZIÓŁKA, Beata ZAKLIKA  
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

## Ocena cech fizycznych brykietów wytworzonych z wybranych surowców roślinnych w brykieciarce ślimakowej

### Streszczenie

W pracy przedstawiono ocenę cech fizycznych brykietów wytworzonych z wybranych surowców roślinnych w brykieciarce ślimakowej. Do produkcji brykietów użyto słomy pszennej, słomy kukurydzianej oraz siana łąkowego. Badane surowce rozdrabniano przy użyciu stacyjnej sieczkarni bębnowej, napędzanej silnikiem elektrycznym o mocy 7,5 kW. Teoretyczna długość cięcia surowców wynosiła 20 mm. Wilgotność badanych surowców wahała się w granicach 12 – 14%. Do wytwarzania brykietów zastosowano brykieciarkę ślimakową z podgrzewaną komorą zagęszczania. Badane cechy fizyczne brykietów obejmujące średnicę, długość, masę i gęstość, zależały od rodzaju użytego surowca i wielkości temperatury w komorze zagęszczającej brykieciarki. Ze wzrostem temperatury w komorze brykieciarki z 200 do 250°C odnotowano spadek rozprężania się brykietów i ich średnicy o 7 – 10%. Z kolei długość wytwarzanych brykietów zwiększyła się od 18% dla słomy pszennej do około 45% dla słomy kukurydzianej i siana łąkowego. Również masa uzyskiwanych brykietów była 2-krotnie większa w przypadku słomy pszennej i siana łąkowego oraz blisko 3-krotnie w przypadku słomy kukurydzianej. Natomiast gęstość brykietów wytworzonych siana łąkowego zwiększyła się o około 40%, ze słomy pszennej o ponad 70%, a ze słomy kukurydzianej – 2-krotnie.

**Słowa kluczowe:** biomasa roślinna, brykiety, cechy fizyczne, gęstość

### Evaluation of briquettes physical properties made from selected raw materials in screw briquetting press

#### Summary

In the paper, the evaluation of briquettes physical properties made from selected raw materials in the screw briquetting press were presented. For the production of briquettes used wheat straw, maize straw and meadow hay. Tested raw materials chopped using the chaff cutter, driven electric motor power 7.5 kW. Theoretical cutting length of raw materials was 20 mm. Moisture of tested raw materials ranged between 12 – 14%. For the briquettes production was used the screw briquetting press with heating thickening chamber. Tested physical properties including briquettes diameter, length, mass and density, depend on kind of used raw material and range of temperature in the chamber of briquetting press. With the increase of temperature in the briquetting presses chamber from 200 to 250°C has been reported to decrease expansion briquettes and their diameter at about 7 – 10% has been reported. In turn, the length of produced briquettes increased from 18% for wheat straw to about 45% for maize straw and hay meadow. Also, the mass of the resulting briquettes was 2-times greater in the case of wheat straw and hay meadow and 3-times in the case of maize straw. While the density of briquettes made of meadow hay increased by about 40%, from wheat straw by more than 70%, and maize straw – 2-times.

**Key words:** plant biomass, briquettes, physical properties, density

#### Wstęp

Biomasa stanowi trzecie, co do wielkości na świecie, naturalne źródło energii. Według definicji UE biomasa oznacza podatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, odpadów i pozostałości przetwórstwa rolno-spożywczego (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, jak również frakcje odpadów przemysłowych i miejskich. Wykorzystanie biomasy przeznaczonej na cele energetyczne będzie najprawdopodobniej zależało od rozważanych i zaawansowanych technologicznie rozwiązań. Oznacza to, że biomasa powinna być podatna na przetwarzanie w postaci stałej, płynnej i gazowej, a także dostarczać efektywną formę energii elektrycznej i ciepła (Denisiuk 2007; Kwaśniewski 2009; Czop, Kajda-Szcześniak 2013). Bardzo pożądanym zjawiskiem towarzyszącym wykorzystaniu biomasy do celów energetycznych jest ograniczenie emisji dwutlenku węgla.

Strumień CO<sub>2</sub>, emitowany podczas spalania biomasy, jest pochłaniany w procesie fotosyntezy i wykorzystywany do wzrostu roślin w procesie wegetacji. Wiąże się to z obniżeniem ujemnego wpływu na środowisko, wynikającego z zastosowania paliw kopalnych (emisja zanieczyszczeń, powstawanie odpadów, degradacja gleb i krajobrazu). Biomasa jest stale odnawialna w procesie fotosyntezy, a jej produkcja stanowi szansę zwiększenia przychodów dla rolnictwa, gospodarki leśnej czy sadownictwa, a także stworzenia nowych miejsc pracy w sektorze pozyskiwania i przygotowania biopaliw. W warunkach polskich można spodziewać się znacznego wzrostu zainteresowania wykorzystaniem biopaliw z surowców roślinnych. Naturalnym kierunkiem rozwoju wykorzystania biopaliw jest produkcja ciepła. Możliwe jest również wykorzystanie biopaliw stałych w instalacjach kogeneracji ciepła i energii elektrycznej (Wisł, Matwiejew 2005; Terlikowski 2012).

Biomasa pochodzenia roślinnego charakteryzuje się znacznym potencjałem energetycznym. Obejmuje ona m.in. odpady z produkcji rolniczej (słoma, siano) oraz odpady z produkcji leśnej i przemysłu drzewnego. Dużą grupę w strukturze biomasy stanowią surowce pochodzące z jednorocznych i wieloletnich upraw rolniczych, do których zalicza się takie rośliny, jak: wierzba, topola, topinambur, ślaziovec pensylwański, miskant olbrzymi i inne (Majtkowski 2007; Frączek (red.) 2010a; Kołodziej, Matyka 2012). Surowce te, ze względu na małą gęstość i niską wartość opałową (odniesioną do jednostki objętości) są w postaci nieprzetworzonej trudne w dystrybucji. Dla poprawy przydatności biomasy do celów energetycznych dąży się do zwiększenia jej gęstości, co uzyskuje się przez ciśnieniowe zagęszczenie rozdrobnionego surowca w procesie brykietowania lub peletowania (Frączek (red.) 2010b; Niedziółka, Szpryngiel 2011; Skonecki i in. 2011).

Biomasa, w porównaniu z paliwami kopalnymi, ma często wysoką wilgotność, obniżającą jej wartość opałową, a także niską gęstość nasypową. Jest również paliwem o silnych cechach hydrofilowych i niskich właściwościach przemiałowych. Zwłaszcza słoma zbóż i innych roślin uprawnych w formie pierwotnej zajmuje dużą przestrzeń transportową i magazynową oraz ma niską wartość opałową w jednostce objętości. W tej sytuacji należy ją odpowiednio przetworzyć, aby poprawić jej gęstość energetyczną. W związku z tym dąży się do aglomeracji surowców roślinnych poprzez ich brykietowanie lub peletowanie. Dzięki temu uzyskuje się zwiększenie koncentracji masy i energii w jednostce objętości tych biopaliw oraz znacznie poprawia ich dystrybucję i wykorzystanie (Hejft, Demianiuk 2000; Guzek, Pisarek 2002; Niedziółka i in. 2010; Kajda-Szcześniak 2012).

## Cel

Celem pracy była ocena cech fizycznych brykietów wytworzonych z wybranych surowców roślinnych w komorze zagęszczającej brykietarki ślimakowej.

## Metodyka i warunki badań

Do wytwarzania brykietów użyto następujących surowców roślinnych: słomy pszennej, słomy kukurydzianej i siana łąkowego. Badane surowce zbierane były prasami wysokiego stopnia zgniotu w postaci małych bel prostokątnych. Wilgotność względną surowców wyznaczono metodą wagiowo-suszarkową. Pomiar wilgotności surowców przeprowadzono dla 3 próbek i określano według wzoru (1):

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

- W – wilgotność badanego surowca (%);
- $m_0$  – masa próbki surowca przed suszeniem (g);
- $m_1$  – masa próbki surowca po suszeniu (g).

Badane surowce roślinne przed brykietowaniem rozdrabniano przy użyciu stacyjnej sieczkarni bębnowej, napędzanej silnikiem elektrycznym o mocy 7,5 kW. Teoretyczna długość cięcia surowców wynosiła 20 mm. Do procesu zagęszczania rozdrobnionych surowców roślinnych użyto brykietarki ślimakowej z podgrzewaną komorą zagęszczania grzałkami elektrycznymi o mocy 3 kW. Przyjęto trzy

wartości temperatury komory zagęszczającej, tj.: 200, 225 i 250°C. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane techniczno-eksploatacyjne brykietarki ślimakowej stosowanej do brykietowania badanych surowców roślinnych.

Tabela 1. Dane techniczno-eksploatacyjne brykietarki ślimakowej  
Table 1. Technical-exploitation data of screw briquetting press

Wyszczególnienie; Description	Jedn.; Units	Dane; Data
Typ brykietarki; Type of briquetting press		JW- 08
Średnica komory zagęszczającej; Diameter of compacting chamber	mm	80,0
Średnica prowadnika ślimaka; Diameter of screw guide	mm	30,0
Długość prowadnicy stabilizującej brykiety; Length of briquettes stabilization guide	m	5,0
Moc silnika ślimaka zagęszczającego; Engine power of thickening screw	kW	4,0
Moc silnika podajnika surowca; Motor power of raw material feeder	kW	1,1
Moc grzałek elektrycznych; Power of electric heaters	kW	3,0
Wydajność brykietarki; The productivity of briquetting press	kg·h <sup>-1</sup>	60-100
Wymiary brykietarki (dł. × szer. × wys.); Briquetting press dimensions (L × W × H)	mm	1200 × 1000 × 1300
Masa brykietarki; The mass of briquetting press	kg	320

Po wytworzeniu brykietów określano ich cechy geometryczne: średnicę wewnętrzną i zewnętrzną za pomocą suwmiarki (z dokładnością ±0,1 mm), średnią długość brykietu na podstawie trzech pomiarów wykonanych, co 120° przy użyciu linijki (z dokładnością ±1 mm) oraz masę z wykorzystaniem wagi laboratoryjnej WPT 3/6 (z dokładnością ±0,1 g). Gęstość brykietów określano na podstawie pomiarów ich cech fizycznych obejmujących wymiary geometryczne i masę oraz obliczano zgodnie ze wzorem (2):

$$\sigma = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot m_b}{\pi \cdot (d_z^2 - d_w^2) \cdot l_b} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (2)$$

gdzie:

- $\sigma$  – gęstość brykietów (kg·m<sup>-3</sup>);
- $m_b$  – masa brykietu (g);
- $d_z$  – średnica zewnętrzna brykietu (mm);
- $d_w$  – średnica wewnętrzna brykietu (mm);
- $l_b$  – długość brykietu (mm).

Uzyskane wyniki pomiarów cech fizycznych brykietów poddano analizie statystycznej wykorzystując dwuczynnikową analizę wariancji oraz test Tukey'a. We wszystkich analizach przyjęto poziom istotności  $\alpha = 0,05$ . Do tego celu wykorzystano program statystyczny SAS Enterprise Guide 5.1. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabelach analizy wariancji oraz tabelach zawierających odpowiednie średnie wraz z oznaczeniem ich wpływu na statystycznie istotne różnicowanie badanych cech.

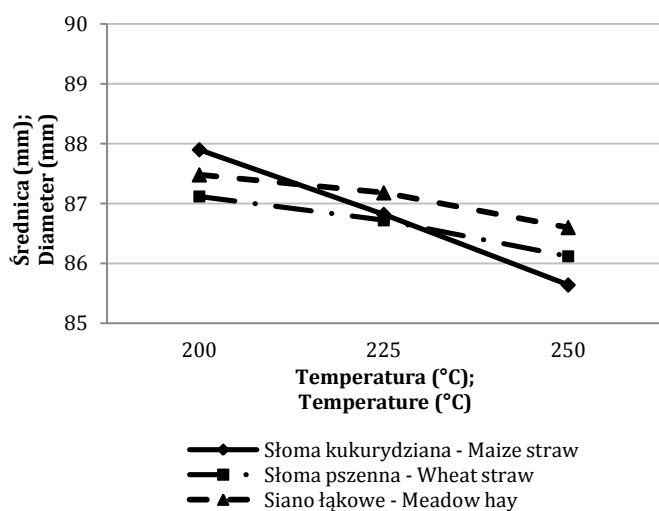
## Wyniki badań

Wilgotność surowców roślinnych przeznaczonych do procesu brykietowania była w stanie świeżym zróżnicowana

i wynosiła od 17,1 – 19,2% dla siana łąkowego i 18,6 – 21,7% dla słomy pszennej do 35,6 – 45,8% dla słomy kukurydzianej. Natomiast po ich wysuszeniu zawierała się w granicach 11,7 – 13,4% dla siana łąkowego, 12,2 – 13,6% dla słomy pszennej i 13,3 – 14,1% dla słomy kukurydzianej (tab. 2).

Tabela 2. Wilgotności surowców roślinnych użytych do produkcji brykietów  
Table 2. The moistures of plant raw materials used for the briquettes production

Rodzaj surowca; Kind of raw material	Wilgotność w stanie świeżym; Moisture in the fresh state (%)	Wilgotność w stanie suchym; Moisture in the dry state (%)
Słoma pszenna; Wheat straw	18,6 - 21,7	12,2 - 13,6
Słoma kukurydziana; Maize straw	35,6 - 45,8	13,3 - 14,1
Siano łąkowe; Meadow hay	17,1 - 19,2	11,7 - 13,4



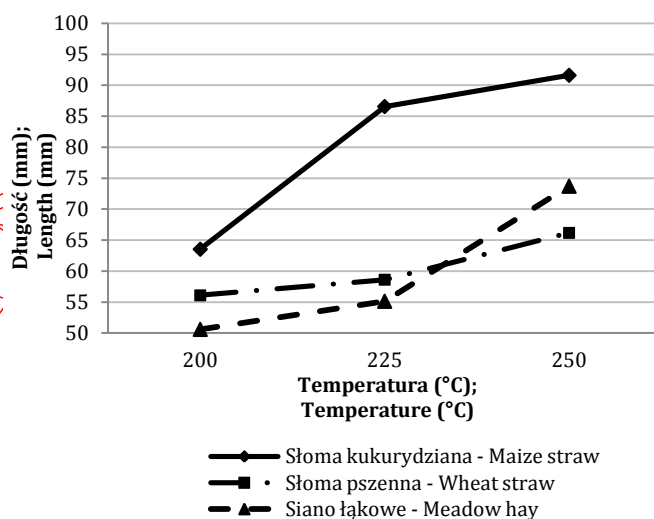
Rys. 1. Zależność średnicy brykietów od temperatury zagęszczania badanych surowców

Fig. 1. The dependence of briquettes diameter from compaction temperature of tested raw materials

Po opuszczeniu prowadnicy stabilizującej wytworzone brykiety ulegały rozprężeniu. Ich średnica wewnętrzna zmieniała się nieznacznie i wynosiła średnio 27,5 mm ( $\pm 0,1$  mm), niezależnie od surowca i temperatury komory zagęszczającej brykietarki. Natomiast średnica zewnętrzna zwiększała się bardziej dla przyjętych surowców i temperatur, w porównaniu do średnicy komory zagęszczającej brykietarki wynoszącej 80 mm. Na rysunku 1 przedstawiono wyniki pomiarów średnicy zewnętrznej brykietów w zależności od rodzaju użytych surowców roślinnych i temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki. W przypadku brykietów wytworzonych ze słomy pszennej ich średnica zewnętrzna zawierała się w przedziale 86,1 – 87,1 mm, dla brykietów ze słomy kukurydzianej – 85,6 – 87,9 mm, a dla brykietów z siana łąkowego – 86,6 – 87,5 mm. Analizując wpływ temperatury w komorze zagęszczającej na średnicę zewnętrzną brykietów stwierdzono, że dla temperatury 200°C zawierała się ona w granicach 87,1 – 87,9 mm, dla temperatury 225°C – 86,7–87,2 mm oraz dla temperatury 250°C – 85,6–86,6 mm. Z analizy uzyskanych danych wynika, że wzrost średnicy brykietów wytworzonych ze słomy pszennej wynosił 7,6 – 8,9%, dla brykietów ze słomy kukurydzianej – 7,0 – 9,9% i dla brykietów z siana łąkowego –

8,3 – 9,4%. Z kolei w przypadku temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki wynoszącej 200°C wzrost średnicy brykietów wynosił 8,9 – 9,9%, dla temperatury 225°C – 8,4 – 9,0% i dla temperatury 250°C – 7,0 – 8,3%.

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki pomiarów długości brykietów w zależności od rodzaju użytych surowców roślinnych i temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki. Najmniejsze różnice długości brykietów odnotowano dla słomy pszennej (56,1 – 66,2 mm) i siana łąkowego (50,6 – 73,7 mm), a największe dla brykietów ze słomy kukurydzianej (63,5 – 91,6 mm) wytworzonych w przyjętych temperaturach komory zagęszczającej brykietarki. Analizując wpływ temperatury w komorze zagęszczającej na długość brykietów stwierdzono, że najmniejsze różnice uzyskano dla temperatury 200°C (50,6 – 63,5 mm) oraz znacznie większe dla temperatury 225°C (55,1 – 86,6 mm) i temperatury 250°C (66,2 – 91,6 mm). Z analizy uzyskanych danych wynika, że ze wzrostem temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki z 200 do 250°C długość brykietów wytworzonych z badanych surowców roślinnych zwiększała się. Ze wzrostem temperatury długość brykietów wytworzonych ze słomy pszennej zwiększyła się o 18%, a brykietów ze słomy kukurydzianej i z siana łąkowego o około 45%.

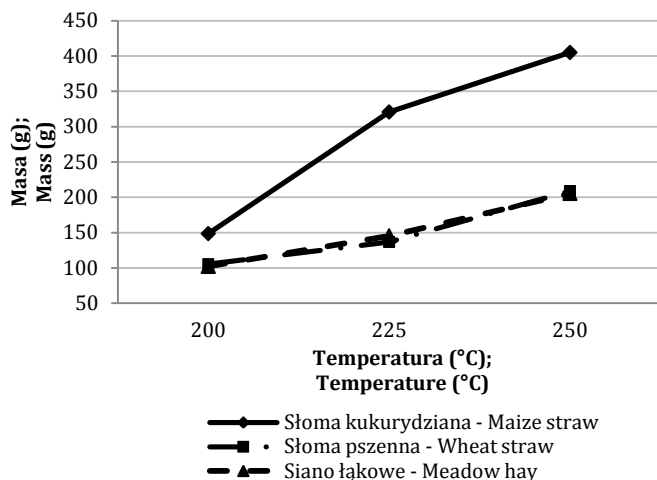


Rys. 2. Zależność długości brykietów od temperatury zagęszczania badanych surowców

Fig. 2. The dependence of briquettes length from compaction temperature of tested raw materials

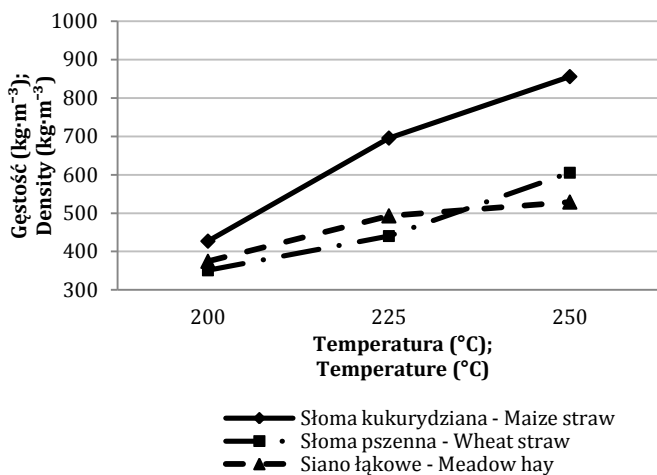
Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów masy wytworzonych brykietów w zależności od rodzaju użytych surowców roślinnych i temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki. Najmniejsze różnice masy uzyskanych brykietów odnotowano dla siana łąkowego (102,1 – 205,4 g) i słomy pszennej (105,3 – 208,7 g), a największe dla brykietów ze słomy kukurydzianej (148,5 – 404,8 g) wytworzonych w przyjętych temperaturach komory zagęszczającej brykietarki. Analizując wpływ temperatury w komorze zagęszczającej na masę brykietów stwierdzono, że najmniejsze różnice uzyskano dla temperatury 200°C (102,1 – 148,5 g) oraz znacznie większe dla temperatury 225°C (136,6 – 320,6 g) i temperatury 250°C (205,4 – 404,8 g). Z analizy uzyskanych danych wynika, że ze wzrostem temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki z 200 do 250°C masa pojedynczych

brykietów wytworzonych z badanych surowców roślinnych zwiększała się. Masa brykietów wytworzonych ze słomy pszennej i siana łąkowego była 2-krotnie większa, a brykietów ze słomy kukurydzianej – blisko 3-krotnie.



Rys. 3. Zależność masy brykietów od temperatury zagęszczania badanych surowców

Fig. 3. The dependence of briquettes mass from compaction temperature of tested raw materials



Rys. 4. Zależność gęstości brykietów od temperatury zagęszczania badanych surowców

Fig. 4. The dependence of density briquettes from compaction temperature of tested raw materials

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki gęstości wytworzonych brykietów w zależności od rodzaju użytych surowców roślinnych i temperatury w komorze zagęszczającej brykietciarki. Najmniejsze gęstości brykietów odnotowano dla słomy pszennej (351,0 – 605,3 kg·m<sup>-3</sup>) i siana łąkowego (374,6 – 528,9 kg·m<sup>-3</sup>), a największe dla brykietów ze słomy kukurydzianej (427,1 – 855,7 kg·m<sup>-3</sup>) wytworzonych w przyjętych temperaturach komory zagęszczającej brykietciarki. Analizując wpływ temperatury w komorze zagęszczającej na masę brykietów stwierdzono, że najmniejsze różnice uzyskano dla temperatury 200°C (351,0 – 427,1 kg·m<sup>-3</sup>) oraz znacznie większe dla temperatury 225°C (440,4 – 695,6 kg·m<sup>-3</sup>) i temperatury 250°C (528,9 – 855,7 kg·m<sup>-3</sup>). Z analizy uzyskanych danych wynika, że ze wzrostem temperatury w komorze zagęszczającej brykietciarki z 200 do 250°C gęstość brykietów wytworzonych z badanych surowców roślinnych zwiększyła się. Gęstość

brykietów wytworzonych siana łąkowego zwiększyła się o około 40%, ze słomy pszennej o ponad 70%, a ze słomy kukurydzianej – 2-krotnie.

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że w przypadku badanych surowców roślinnych nie stwierdzono statystycznie istotnego ich wpływu na średnicę wytworzonych brykietów (tab. 3). Również nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu surowca na długość, masę oraz gęstość brykietów wytworzonych ze słomy pszennej i siana łąkowego. Jedynie w przypadku zagęszczania słomy kukurydzianej stwierdzono statystycznie istotny wpływ na długość, masę i gęstość wytworzonych brykietów, w porównaniu do długości, masy i gęstości brykietów uzyskanych z pozostałych surowców roślinnych (tab. 3).

Tabela 3. Średnie wartości badanych cech brykietów w zależności od rodzaju użytego surowca

Table 3. The mean tested values of briquettes properties depending on the kind of used raw material

Wyszczególnienie; Jednostki;	Słoma pszenna;	Słoma kukurydziana;	Siano łąkowe;	
Description	Wheat straw	Maize straw	Meadow hay	
Średnica; Diameter	mm	86,6 <sup>A</sup>	86,8 <sup>A</sup>	87,1 <sup>A</sup>
Długość; Length	mm	60,3 <sup>A</sup>	80,6 <sup>B</sup>	59,8 <sup>A</sup>
Masa; Mass	g	150,2 <sup>A</sup>	291,3 <sup>B</sup>	150,9 <sup>A</sup>
Gęstość; Density	kg·m <sup>-3</sup>	472,11 <sup>A</sup>	679,23 <sup>B</sup>	472,95 <sup>A</sup>

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że w przypadku stosowanych temperatur zagęszczania 200 i 225°C nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu na średnicę wytworzonych brykietów. Jedynie w przypadku temperatury 250°C stwierdzono statystycznie istotny wpływ na średnicę uzyskanych brykietów, w stosunku do temperatur 200 i 225°C (tab. 4). Natomiast stwierdzono statystycznie istotny wpływ na długość, masę oraz gęstość brykietów wytworzonych z badanych surowców roślinnych dla wszystkich przyjętych temperatur w komorze zagęszczającej brykietciarki ślimakowej (tab. 4).

Tabela 4. Średnie wartości badanych cech brykietów w zależności od temperatury zagęszczania

Table 4. The mean tested values of briquettes properties depending on the compaction temperature

Wyszczególnienie; Jednostki;	Description	Temperatura; Temperature (°C)		
		200	225	250
Średnica; Diameter	mm	87,5 <sup>A</sup>	86,9 <sup>A</sup>	86,1 <sup>B</sup>
Długość; Length	mm	56,7 <sup>A</sup>	66,8 <sup>B</sup>	77,1 <sup>C</sup>
Masa; Mass	g	118,6 <sup>A</sup>	200,8 <sup>B</sup>	273,0 <sup>C</sup>
Gęstość; Density	kg·m <sup>-3</sup>	386,48 <sup>A</sup>	564,89 <sup>B</sup>	654,94 <sup>C</sup>

Uzyskane wyniki badań mogą być wykorzystane zarówno przez producentów brykietów wytwarzanych z powyższych surowców roślinnych, jak też odbiorców tego rodzaju biopa-

liw stałych. Wytwarzanie brykietów w wyższej temperaturze komory zagęszczającej brykietarki powoduje zwiększenie ich gęstości. Stąd też uzyskane brykiety odznaczają się mniejszą podatnością na rozprężanie i rozwarstwianie, a tym samym większą odpornością na rozpadanie się podczas ich transportu lub przeładunku.

### Wnioski

1. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwiększenie temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki z 200 do 250°C powodowało spadek rozprężania się brykietów wytworzonych z przyjętych surowców roślinnych, a tym samym ich średnicy, o 7 – 10%.

2. Wzrost temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki do 250°C powodował zwiększenie długości brykietów wytworzonych ze słomy pszennej o 18%, natomiast brykietów ze słomy kukurydzianej i z siana łąkowego o około 45%, w porównaniu do długości brykietów uzyskiwanych w temperaturze 200°C.

3. Ze zwiększeniem temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki z 200 do 250°C również średnia masa brykietów wytworzonych ze słomy pszennej i siana łąkowego wzrosła 2-krotnie, natomiast w przypadku brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzianej blisko 3-krotnie.

4. W związku ze wzrostem temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki z 200 do 250°C i jej wpływem na cechy fizyczne wytwarzanych brykietów, ich gęstość zwiększyła się o około 40% w przypadku siana łąkowego, o ponad 70% w przypadku słomy pszennej i około 2-krotnie w przypadku słomy kukurydzianej.

### Bibliografia

1. Czop M., Kajda-Szcześniak M. 2013. *Paliwa z odpadów źródłem energii odnawialnej*. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 15(2), 83 – 92.
2. Denisiuk W. 2007. *Brykiety/pelety ze słomy w energetyce*. Inżynieria Rolnicza, 9(97), 41 – 47.

3. Frączek J. (red.). 2010a. *Produkcja biomasy na cele energetyczne*. PTIR Kraków, ISBN 978-83-917053-8-4.
4. Frączek J. (red.). 2010b. *Przetwarzanie biomasy na cele energetyczne*. PTIR Kraków, ISBN 978-83-917053-9-1.
5. Guzek K., Pisarek M. 2002. *Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne w Polsce*. *Czysta Energia*, 2, 6 – 7.
6. Hejft R., Demianiuk L. 2000. *Wytwarzanie brykietów opałowych z odpadowych surowców pochodzenia roślinnego*. Zeszyty Naukowe, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, Politechnika Łódzka, 27, 123 – 130.
7. Kajda-Szcześniak M.D. 2012. *Wyznaczanie ekspansji zwrotnej brykietów wykonanych na bazie odpadów pochodzenia rolniczego i tworzyw sztucznych*. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 14(1), 33 – 40.
8. Kołodziej B., Matyka M. (red.). 2012. *Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne*. PWRiL Sp. z o. o. Poznań, ISBN 978-83-09-01139-2.
9. Kwaśniewski D. 2009. *Analiza kosztów produkcji brykietów na przykładzie linii technologicznej typu BRISUR 200*. Inżynieria Rolnicza, 5(114), 155 – 161.
10. Majtkowski W. 2007. *Rośliny energetyczne na paliwo stałe*. *Wieś Jutra*, 8/9, 16 – 18.
11. Niedziółka I., Sobczak P., Zawiaślak K. 2010. *Analiza wykorzystania wybranych surowców roślinnych do produkcji biopaliw stałych*. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 11, 79 – 86, 10.
12. Niedziółka I., Szpryngiel M. 2011. *Ocena energetyczna procesu zagęszczania wybranych surowców roślinnych w brykietarce ślimakowej*. Inżynieria Rolnicza, 9(134), 153 – 159.
13. Skonecki S., Gawłowski S., Potręć M., Laskowski J. 2011. *Właściwości fizyczne i chemiczne surowców roślinnych stosowanych do produkcji biopaliw*. Inżynieria Rolnicza, 8(133), 253 – 260.
14. Terlikowski J. 2012. *Biomasa z trwałych użytków zielonych jako źródło energii odnawialnej*. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1(75), 43 – 49.
15. Wisz J., Matwiejew A. 2005. *Biomasa – badania w laboratorium w aspekcie przydatności do energetycznego spalania*. *Energetyka*, 9(615), 631 – 636.

**Praca naukowa finansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki w latach 2011-2014, jako projekt badawczy nr NN 313 757540**

**Ignacy Niedziółka**

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin  
[ignacy.niedziolka@up.lublin.pl](mailto:ignacy.niedziolka@up.lublin.pl)