

WPLYW TEMPERATURY NA GĘSTOŚĆ I TRWAŁOŚĆ BRYKIETÓW WYTWORZONYCH W BRYKIECIARCE ŚLIMAKOWEJ*

Ignacy Niedziółka

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Mieczysław Szpryngiel

*Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

Streszczenie. Przedstawiono analizę wpływu temperatury w komorze zagęszczania na gęstość i trwałość mechaniczną brykietów wytworzonych z wybranych surowców roślinnych. Do produkcji brykietów użyto słomy pszennej, kukurydzianej, rzepakowej 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. Analizy wilgotności surowców oraz gęstości i trwałości mechanicznej brykietów przeprowadzono zgodnie z normami. Wilgotność badanych surowców wahała się w granicach 13-15%. Do wytwarzania brykietów zastosowano brykietciarkę ślimakową JW-08 z podgrzewaną komorą zagęszczania grzałkami elektrycznymi o mocy 3 kW. Gęstość i trwałość mechaniczna brykietów zależały od rodzaju użytego surowca i temperatury w komorze zagęszczającej brykietciarki. Najniższa gęstość brykietów zawierała się w granicach od 505 do 734 kg m⁻³ dla słomy rzepakowej, a najwyższa od 643 do 827 kg m⁻³ dla słomy kukurydzianej, przy temperaturze w komorze zagęszczającej odpowiednio 200 i 250°C. Natomiast trwałość mechaniczna brykietów, dla przyjętych temperatur w komorze zagęszczania, wahała się od 52 do 74% dla słomy rzepakowej i od 69 do 94% dla słomy kukurydzianej.

Słowa kluczowe: surowce roślinne, brykiety, gęstość, trwałość mechaniczna

Wstęp

Powszechnie uważa się, że dominującym ilościowo nośnikiem wśród tzw. odnawialnych źródeł energii w Polsce jest i będzie biomasa. Za biomasę uważa się substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości

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

z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, które ulegają biodegradacji. Głównym powodem skłaniającym energetykę bazującą na węglu do sięgania po paliwa alternatywne jest konieczność sprostania wymaganiom dysponowania w puli paliw wykorzystywanych do wytwarzania energii pewnej ilości energii pierwotnej pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Ogólna dostępność tańszego surowca z produkcji roślinnej oraz znana technologia jej spalania sprawia, że biomasa używana do celów energetycznych staje się konkurencyjnym paliwem dla stosowanych obecnie paliw konwencjonalnych (Frączek, 2010a; Kachel-Jakubowska i in., 2011; Kowalczyk-Juško i Zywer, 2011).

Rosnące zainteresowanie surowcami roślinnymi na cele energetyczne związane jest z poszukiwaniem nowych źródeł ich produkcji. Mogą one pochodzić z jednorocznych lub wieloletnich upraw polowych. W związku z tym pozyskiwane są przede wszystkim takie, jak: słoma zbóż i innych roślin, trawy z trwałych użytków zielonych oraz rośliny z celowych upraw energetycznych (Majtkowski, 2007; Stolarski i in., 2008; Terlikowski, 2012). Zarówno nadwyżki słomy, jak inne surowce roślinne mogą być wykorzystane do produkcji biopaliw stałych. Przetworzona w ten sposób biomasa na paliwo jest nieszkodliwa dla środowiska, gdyż podczas jej spalania ilość CO₂ emitowana do atmosfery równoważona jest przez rośliny odtwarzające biomasę w procesie fotosyntezy. Ponadto wykorzystanie biomasy może być coraz bardziej opłacalne, gdyż ceny jej na rynku są konkurencyjne w stosunku do paliw konwencjonalnych (Denisiuk, 2008; Frączek, 2010b).

Surowce roślinne w stanie nieprzetworzonym charakteryzują się niską gęstością i często wysoką wilgotnością, sprawiającą duże problemy podczas jej transportu, magazynowania oraz wykorzystania w praktyce. W związku z tym istnieje konieczność ich przetworzenia na pelety lub brykiety. Produkty te wytwarzane są z rozdrobnionej suchej biomasy w procesie zagęszczania, związanego z wpływem wysokiego ciśnienia i temperatury, wywołanych działaniem elementów roboczych urządzeń aglomerujących. Dzięki temu uzyskuje się zmniejszenie ich wilgotności, zwiększenie koncentracji masy i energii w jednostce objętości oraz łatwości dystrybucji i użytkowania tego rodzaju biopaliw (Frączek, 2010a; Hejft, 2006; Niedziółka i Szpryngiel, 2012).

Spośród wielu specyficznych właściwości biomasy i wytworzonych z niej biopaliw, mających wpływ na sprawność działania urządzenia grzewczego i jego moc cieplną, należy wymienić wartość opałową, gęstość nasypową i trwałość mechaniczną. Jakość i standaryzacja wytwarzanych biopaliw stałych uzależniona jest w praktyce od techniki grzewczej. Dla dużych ciepłowni trwałość biopaliw i zawartość pyłu jest mniej ważna, natomiast biopaliwo wykorzystywane w indywidualnych systemach grzewczych musi być trwałe, aby nie wystąpił efekt pylenia i nie pojawiły się problemy podczas automatycznego zadawania paliwa do kotła. Dlatego prowadzone są badania związane z poszukiwaniem najbardziej korzystnych rozwiązań dotyczących doboru odpowiednich urządzeń aglomerujących i ich parametrów roboczych do kompaktowania różnych surowców roślinnych, wykorzystywanych do produkcji biopaliw stałych (Fiszler, 2005; Kołodziej i Matyka, 2012; Winnicka i in., 2005).

Celem pracy była analiza wpływu temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki ślimakowej na gęstość i trwałość mechaniczną brykietów wytworzonych z wybranych surowców roślinnych.

Metodyka i warunki badań

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

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

gdzie:

- W – wilgotność badanego surowca (%),
- m_o – masa próbki surowca przed suszeniem (g),
- m_1 – masa próbki surowca po suszeniu (g).

Badane surowce roślinne przed brykietowaniem rozdrabniano przy użyciu stacyjnej siewkarni 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 JW-08 firmy EnEco, 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 and operational data of a screw briquetting machine

Wyszczególnienie	Jednostka miary	Parametry
Typ brykietarki	-	JW- 08
Średnica komory zagęszczającej	(mm)	80,0
Długość prowadnicy stabilizującej brykiety	(m)	5,0
Moc silnika ślimaka zagęszczającego	(kW)	4,0
Moc silnika podajnika surowca	(kW)	1,1
Moc grzałek elektrycznych	(kW)	3,0
Wydajność brykietarki	(kg·h ⁻¹)	60-100
Wymiary brykietarki (dł. × szer. × wys.)	(mm)	1200 × 1000 × 1300
Masa brykietarki	(kg)	320

Po wytworzeniu brykietów określano ich cechy geometryczne: średnicę zewnętrzną i wewnętrzną za pomocą suwmiarki (z dokładnością $\pm 0,1$ 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 $\pm 0,1$ g). Gęstość brykietów określano na podstawie pomiarów ich cech fizycznych, obejmujących wymiary geometryczne i masę, oraz obliczano zgodnie ze wzorem (2):

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

gdzie:

- σ – gęstość brykietu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
- m_b – masa brykietu (g),
- d_z – średnica zewnętrzna brykietu (mm),
- d_w – średnica wewnętrzna brykietu (mm),
- l_b – długość brykietu (mm).

Pomiary trwałości mechanicznej brykietów przeprowadzono na stanowisku badawczym według normy PN-EN 15210-2. Prędkość obrotowa bębna wynosiła $21 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ (z dokładnością $\pm 0,1 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$), czas próby 5 min, a średnia masa próbki 2000 g (z dokładnością ± 100 g). Po przeprowadzeniu testu badane próbki brykietów przesiewano przez sito o średnicy otworów 45 mm. Na podstawie próby wykonanej w pięciu powtórzeniach określono wskaźnik trwałości mechanicznej brykietów dla badanych surowców roślinnych. Wskaźnik ten wyznaczano według zależności (3):

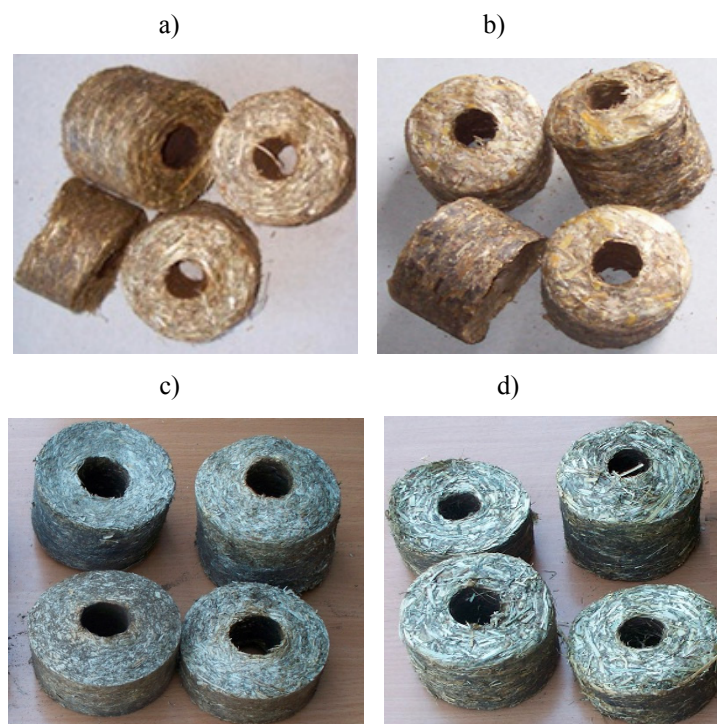
$$D_U = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100 \text{ (}\% \text{)} \quad (3)$$

gdzie:

- D_U – wskaźnik trwałości mechanicznej (%),
- m_A – masa brykietów po próbie trwałości (g),
- m_E – masa brykietów przed próbą trwałości (g).

Uzyskane wyniki pomiarów gęstości i trwałości mechanicznej 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 istotne zróżnicowanie badanych cech.

Na rysunku 1 przedstawiono brykiety wytworzone z badanych surowców roślinnych.



Rysunek 1. Brykiety wytworzone z badanych surowców roślinnych: a) słomy pszennej, b) słomy kukurydzianej, c) słomy rzepakowej, d) siana łąkowego
Figure 1. Briquettes produced of the investigated plant raw materials: a) wheat straw, b) maize straw, c) rape straw, d) meadow hay

Wyniki badań

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że zarówno badany surowiec, jak i przyjęta temperatura oraz ich interakcje istotnie różnicują gęstość brykietów (tab. 2). Istotnie statystycznie różnice stwierdzono w przypadku gęstości brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzianej, pszennej, siana łąkowego i słomy rzepakowej. Również istotne statystycznie różnice stwierdzono w przypadku gęstości brykietów wytworzonych z badanych surowców roślinnych w temperaturze 200, 225 i 250°C (tab. 3).

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki pomiarów gęstości brykietów w zależności od rodzaju użytych surowców roślinnych i temperatury w komorze zagęszczającej brykietciarki. Najniższą gęstością charakteryzowały się brykiety ze słomy rzepakowej (505-734 kg m⁻³), nieco wyższą z siana łąkowego (530-741 kg m⁻³) i słomy pszennej (557-758 kg m⁻³), a najwyższą brykiety ze słomy kukurydzianej (643-827 kg m⁻³), wytworzone w przyjętych temperaturach komory zagęszczającej.

Tabela 2

Wyniki analizy istotności wpływu temperatury i badanych surowców na gęstość brykietów

Table 2

Results of analysis of significance of temperature impact and the investigated raw materials on density of briquettes

Źródło zmienności	St. sw.	Suma kw.	Średnia kw.	Wartość F	p
Temperatura	2	457828,64	228914,32	4869,01	<0,0001
Surowiec	3	124091,67	41363,89	879,81	<0,0001
Temperatura × Surowiec	6	3410,87	568,48	12,09	<0,0001
Błąd	48	2256,70	47,01		
Całość	59	587587,89			

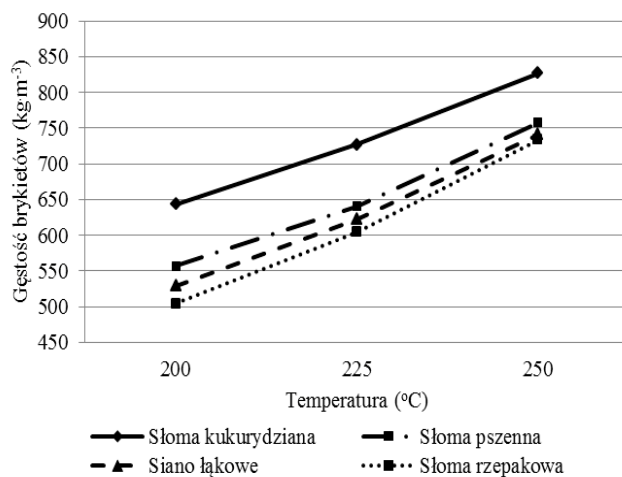
Tabela 3

Porównanie średnich gęstości brykietów dla badanych surowców i temperatury zagęszczania (kg m^{-3})

Table 3

Comparison of average density of briquettes for the investigated raw materials and compression temperature (kg m^{-3})

Badany surowiec	Słoma kukurydziana	Słoma pszenna	Siano łąkowe	Słoma rzepakowa
Średnie	732,21 ^A	641,77 ^B	627,81 ^C	617,61 ^D
Temperatura	250°C	225°C	225°C	200°C
Średnie	764,85 ^A	648,54 ^B	648,54 ^B	551,16 ^C



Rysunek 2. Średnie gęstości brykietów w zależności od temperatury zagęszczania

Figure 2. Average density of briquettes in relation to compression temperature

Analizując wpływ temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki na gęstość brykietów stwierdzono, że najniższe wartości uzyskano dla temperatury 200°C (505-643 kg·m⁻³), znacznie wyższe dla temperatury 225°C (605-727 kg·m⁻³), a najwyższe dla temperatury 250°C (734-827 kg·m⁻³). Różnica gęstości brykietów wytworzonych z użytych surowców roślinnych w temperaturze komory 200°C wynosiła około 27%, w temperaturze komory 225°C około 20%, natomiast w temperaturze komory 250°C około 12%. Z analizy uzyskanych danych wynika, że ze wzrostem temperatury w komorze zagęszczającej różnice gęstości brykietów wytworzonych z badanych surowców zmniejszały się.

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że zarówno badany surowiec, jak też przyjęta temperatura oraz ich interakcje istotnie różnicują trwałość mechaniczną brykietów (tab. 4). Istotne statystycznie różnice stwierdzono w przypadku trwałości brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzianej oraz pszennej w stosunku do siana łąkowego i słomy rzepakowej. Natomiast nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic trwałości brykietów wytworzonych z siana łąkowego i słomy rzepakowej. Również istotne statystycznie różnice stwierdzono w przypadku trwałości brykietów wytworzonych z badanych surowców roślinnych w temperaturze 200, 225 i 250°C (tab. 5).

Tabela 4

Wyniki analizy istotności wpływu temperatury i badanych surowców na trwałość brykietów

Table 4

Results of analysis of significance of temperature impact and the investigated raw materials on endurance of briquettes

Źródło zmienności	St. sw.	Suma kw.	Średnia kw.	Wartość F	p
Temperatura	2	7260,18	3630,09	559,85	<0,0001
Surowiec	3	2093,51	697,84	107,62	<0,0001
Temperatura × Surowiec	6	238,48	39,75	6,13	<0,0001
Błąd	48	311,23	6,48		
Całość	59	9903,39			

Tabela 5

Porównanie średnich trwałości brykietów dla badanych surowców i temperatury (%)

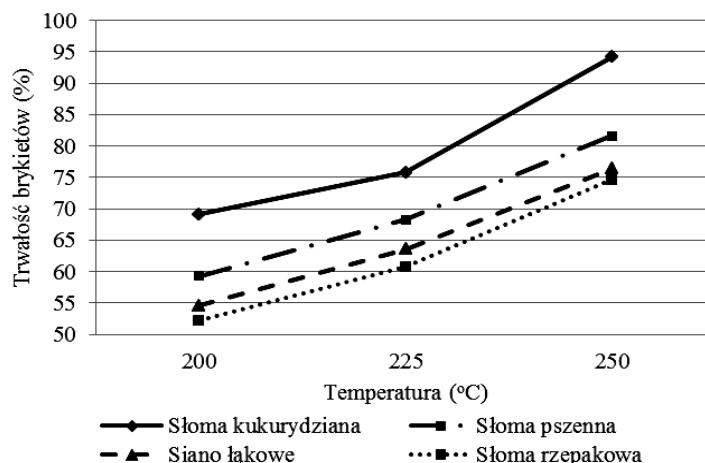
Table 5

Comparison of average endurance of briquettes for the investigated raw materials and temperature (%)

Badany surowiec	Słoma kukurydziana	Słoma pszena	Siano łąkowe	Słoma rzepakowa
Średnie	77,37 ^A	67,39 ^B	64,21 ^C	61,88 ^C
Temperatura	250°C	225°C		200°C
Średnie	81,71 ^A	66,65 ^B		54,84 ^C

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań trwałości mechanicznej brykietów w zależności od rodzaju użytych surowców roślinnych i temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki. Najniższą trwałością mechaniczną charakteryzowały się brykiety ze słomy

rzepakowej (52-75%), nieco wyższą z siana łąkowego (55-76%) i słomy pszennej (60-82%), a najwyższą brykiety ze słomy kukurydzianej (69-94%), wytworzone w przyjętych temperaturach komory zagęszczającej.



Rysunek 3. Średnie wartości trwałości brykietów w zależności od temperatury zagęszczania
Figure 3. Average density of briquettes in relation to compression temperature

Analizując wpływ temperatury w komorze zagęszczającej brykietciarki na trwałość mechaniczną brykietów stwierdzono, że najniższe wartości uzyskano dla temperatury 200°C (52-69%), znacznie wyższe dla temperatury 225°C (61-76%), a najwyższe dla temperatury 250°C (75-94%). Różnica względna trwałości brykietów wytworzonych z użytych surowców roślinnych w temperaturze komory 200°C wynosiła 32,7%, natomiast w temperaturze komory 225 i 250°C – odpowiednio 24,6 i 25,3%. Z analizy uzyskanych danych wynika, że różnice względne trwałości brykietów wytworzonych w niższej temperaturze komory zagęszczającej brykietciarki były większe, w porównaniu z trwałością brykietów wytworzonych w wyższych temperaturach. Ponadto wzrost temperatury z 225 do 250°C nie wpływał na różnice względne trwałości brykietów wytworzonych z badanych surowców.

Wnioski

1. Brykiety wytworzone z badanych surowców roślinnych, w zależności od rodzaju użytego surowca oraz przyjętych wartości temperatury w komorze zagęszczającej brykietciarki, różniły się zarówno pod względem ich gęstości, jak też trwałości mechanicznej.
2. Wzrost temperatury w komorze zagęszczania brykietciarki powodował zwiększenie gęstości brykietów od 505 kg·m⁻³ dla słomy rzepakowej i temperatury 200°C do 827 kg·m⁻³ dla słomy kukurydzianej i temperatury 250°C.

3. Analiza wyników gęstości brykietów wytworzonych z badanych surowców roślinnych wykazała, że ze wzrostem temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki z 200 do 250°C, różnice ich wartości zmniejszyły się z 27 do 12%.
4. Trwałość mechaniczna brykietów zależała od rodzaju surowca i temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki. Najniższą trwałość brykietów odnotowano w przypadku zagęszczania słomy rzepakowej w temperaturze 200°C (około 52%), a najwyższą dla słomy kukurydzianej zagęszczanej w temperaturze 250°C (około 94%).
5. Analiza wyników trwałości brykietów wytworzonych z badanych surowców roślinnych wykazała, że ze wzrostem temperatury w komorze zagęszczającej brykietarki z 200 do 225 oraz 250°C, różnice względne ich wartości zmniejszyły się z około 33 do 25%.

Literatura

- Denisiuk, W. (2008). Słoma – potencjał masy i energii. *Inżynieria Rolnicza*, 2(100), 23-30.
- Fischer, A. (2008). Badania porównawcze współczynnika trwałości brykietów ze słomy. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 53(3), 69-71.
- Frączek, J. (red.). (2010a). *Produkcja biomasy na cele energetyczne*. Kraków, PTIR, ISBN 978-83-917053-8-4.
- Frączek, J. (red.). (2010b). *Przetwarzanie biomasy na cele energetyczne*. Kraków, PTIR, ISBN 978-83-917053-9-1.
- Hejft, R. (2006). Wytwarzanie brykietów z odpadów roślinnych w ślimakowym układzie roboczym. *Inżynieria Rolnicza*, 5(80), 231-238.
- Kachel-Jakubowska, M.; Kraszkiewicz, A.; Szpryngiel, M.; Niedziółka I. (2011). Możliwości wykorzystania odpadów poprodukcyjnych z rzepaku ozimego na cele energetyczne. *Inżynieria Rolnicza*, 6(131), 61-68.
- Kołodziej, B.; Matyka, M. (red.). (2012). *Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne*. Poznań, PWRiL Sp. z o.o., ISBN 978-83-09-01139-2.
- Kowalczyk-Juško, A.; Zywer, A. (2011). Co za dużo, to ... na opał. *Agroenergetyka*, 4, 29-31.
- Majtkowski, W. (2007). Rośliny energetyczne na paliwo stałe. *Wies Jutra*, 8/9, 16-18.
- Niedziółka, I.; Szpryngiel, M. (2012). Ocena cech jakościowych peletów wytworzonych z biomasy roślinnej. *Inżynieria Rolnicza*, 10(135), 153-159.
- PN-EN 15210-2: 2011. Biopaliwa stałe – Oznaczanie wytrzymałości mechanicznej brykietów i peletów. Część 2: Brykiety.
- Stolarski, M.; Szczukowski, S.; Tworkowski, J. (2008). Biopaliwa z biomasy wieloletnich roślin energetycznych. *Energetyka*, 1, 77-80.
- Terlikowski, J. (2012). Biomasa z trwałych użytków zielonych jako źródło energii odnawialnej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1(75), 43-49.
- Winnicka, G.; Tramer, A.; Świeca, G. (2005). Badanie właściwości biomasy stałej do celów energetycznych. *Karbo*, 2, 141-147.

IMPACT OF TEMPERATURE ON DENSITY AND ENDURANCE OF BRIQUETTES PRODUCED IN A SCREW BRIQUETTING MACHINE

Abstract. Analysis of temperature impact in the compression chamber on density and mechanical endurance of briquettes produced of the selected plant raw materials was presented. Wheat, maize, rapeseed straw and meadow hay were used for production of briquettes. The researched raw materials were ground with the use of a drum straw-cutter driven with an electric motor of 7.5 kW capacity. Theoretical length of cutting raw materials was 20 mm. Analysis of moisture of raw materials and density and mechanical strength of pellets was carried out according to valid standards. Moisture of the researched raw materials was within 13-15%. A screw briquetting machine JW-08 with a heated compression chamber with an electric heater of 3 kW power. Density and mechanical strength of briquettes depended on the type of the used raw material and temperature in the compression chamber of a briquetting machine. The lowest density of briquettes was within 505 to 734 kg m⁻³ for rye straw and the highest within 643 to 827 kg m⁻³ for maize straw at the temperature in the compression chamber respectively 200 and 250°C. Whereas, mechanical endurance of briquettes for the accepted temperatures in the compression chamber was within 52 to 74% for rape straw and within 69 to 94% for maize straw.

Key words: plant raw materials, briquettes, density, mechanical strength

Adres do korespondencji:

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