

## OCENA JAKOŚCI PELETÓW WYTWORZONYCH Z WYBRANYCH SUROWCÓW ROŚLINNYCH\*

*Ignacy Niedziółka, Wojciech Żak*

*Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

*Mieczysław Szpryngiel*

*Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania w Inżynierii Rolniczej,  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

**Streszczenie:** Przedstawiono wyniki badań jakości peletów wytworzonych ze słomy pszennej i siana łąkowego. Badane surowce roślinne rozdrabniano za pomocą rozdrabniacza bijakowego wyposażonego w sita o średnicy otworów 5 mm. Analizę wilgotności, długości cząstek i wartości opałowej surowców oraz gęstości nasypowej i trwałości mechanicznej peletów przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi normami. Średnia wilgotność surowców wynosiła 14,5% dla słomy pszennej i 16,2% dla siana łąkowego. Średnia wartość opałowa wynosiła od 15,2 MJ·kg<sup>-1</sup> dla słomy pszennej do 15,5 MJ·kg<sup>-1</sup> dla siana łąkowego. Do wytwarzania peletów użyto dwóch typów pelecjarek tj.: pelecjarki z dwustronną obrotową matrycą płaską i pelecjarki z jednostronną nieruchomą matrycą płaską. Gęstość nasypowa oraz trwałość mechaniczna peletów zależały od rodzaju surowca i typu pelecjarki. Gęstość nasypowa zawierała się w przedziale 373,6-477,8 kg m<sup>-3</sup> dla słomy pszennej i 288,3-501,6 kg m<sup>-3</sup> dla siana łąkowego. Wskaźnik trwałości mechanicznej peletów wahał się w zakresie od 69,6 do 97,1% dla słomy pszennej i od 73,4 do 96,3% dla siana łąkowego. Korzystniejsze efekty pracy dotyczące jakości wytworzonych peletów zapewniała pelecjarka z jednostronną nieruchomą matrycą płaską.

**Słowa kluczowe:** biomasa roślinna, pelety, gęstość nasypowa, trwałość mechaniczna

### Wstęp

W ostatnich latach bardzo duży nacisk stawiany jest na wykorzystanie tzw. alternatywnych źródeł energii oraz na badania nad pozyskiwaniem i wykorzystywaniem surowców odnawialnych. Jednym z ważniejszych źródeł tej energii – obok słońca, wód geotermalnych, wiatru, czy ruchu wody – jest niewątpliwie biomasa. Badania naukowe prowadzone

---

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

w wielu krajach, a także i w Polsce, jednoznacznie wskazują, że w najbliższych latach biomasa roślinna będzie stanowiła podstawowe, odnawialne źródło energii. Nieskomplikowana technologia jej spalania oraz dostępność tańszego surowca sprawia, że biomasa używana do celów energetycznych staje się konkurencyjna dla stosowanych obecnie paliw konwencjonalnych [Frączek (red.) 2010a; Kowalik 2002].

Rosnący wzrost zainteresowania pozyskiwaniem i przetwarzaniem biomasy na cele energetyczne związany jest z poszukiwaniem alternatywnych źródeł energii. Surowce te mogą pochodzić z upraw polowych jednorocznych oraz wieloletnich, ale także z produktów ubocznych i odpadów powstałych w przemyśle rolno-spożywczym. Do celów energetycznych są wykorzystywane przede wszystkim odpady i nadwyżki, takie jak: słoma zbóż i innych roślin, trawy z trwałych użytków zielonych (siano) oraz rośliny energetyczne z upraw celowych [Burezyk 2012; Denisiuk 2008].

Nadwyżki słomy mogą być wykorzystane do produkcji peletów i brykietów. Przetworzona w ten sposób biomasa ma wiele zalet. Paliwo to jest nieszkodliwe dla środowiska. Podczas jego spalania ilość dwutlenku węgla emitowana do atmosfery równoważona jest ilością CO<sub>2</sub> pochłanianego przez rośliny, które odtwarzają biomasę w procesie fotosyntezy. Również siano łąkowe jest zaliczane do biomasy roślinnej, która pochodzi z produkcji rolnej. Ze względu na spadek pogłowia zwierząt i zapotrzebowania na pasze z siana łąkowego, istnieje możliwość zagospodarowania jego nadwyżek do produkcji biopaliw. Ponadto wykorzystanie siana z łąk nieużytkowanych do produkcji peletów czy brykietów zwiększyłoby zasoby potencjału technicznego biomasy roślinnej. W tej sytuacji ogrzewanie biomasą staje się coraz bardziej opłacalne, gdyż ceny jej na rynku są konkurencyjne w stosunku do paliw konwencjonalnych.

Biomasa roślinna w stanie nieprzetworzonym charakteryzuje się małą gęstością, sprawiającą znaczne problemy podczas jej transportu, magazynowania i wykorzystania w praktyce. Stąd wynika konieczność jej zagęszczenia w postaci peletów lub brykietów. Wytwarza się je z rozdrobnionej suchej biomasy w procesie aglomeracji pod wpływem działania wysokiego ciśnienia i temperatury. Dzięki temu zmniejsza się jej wilgotność, zwiększa koncentracja masy i energii w jednostce objętości oraz wzrasta komfort dystrybucji i użytkowania takiego biopaliwa [Denisiuk 2007; Mani i in. 2003; O'Dogherty i in. 1995]. Jakość 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 bardzo trwałe, aby nie pojawił się efekt pylenia i nie wystąpiły problemy techniczne podczas automatycznego zadawania paliwa [Frączek (red.) 2010b; Szpryngiel i in. 2011].

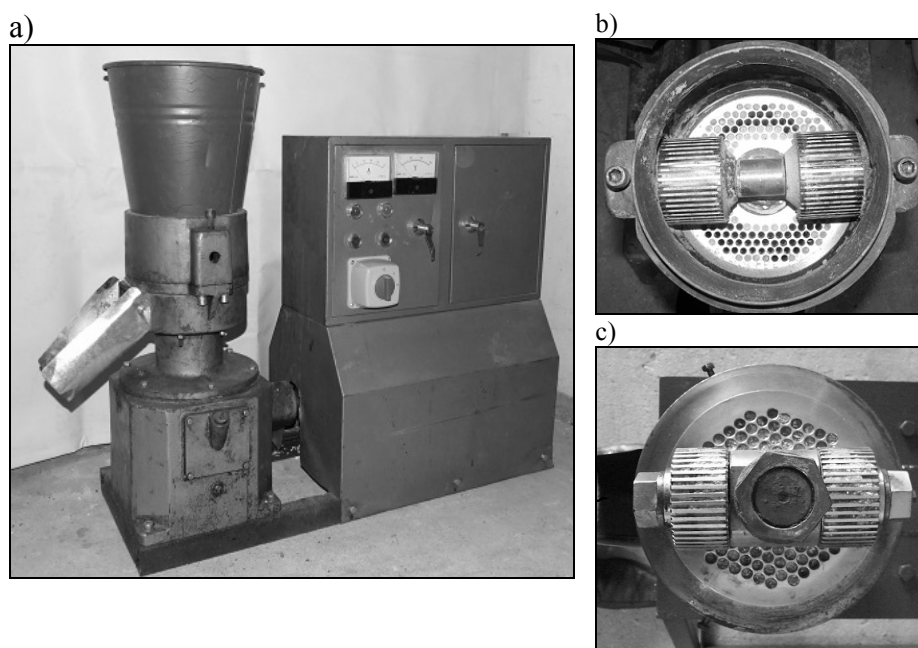
Celem pracy była ocena charakterystyk rozkładów wymiarów cząstek rozdrobnionej biomasy, a także gęstości nasypowej oraz trwałości mechanicznej peletów wytworzonych z rozdrobnionej słomy pszennej i siana łąkowego w dwóch typach pelecziarek z matrycą płaską i rolkami zagęszczającymi.

## **Metodyka i warunki badań**

Badanymi surowcami roślinnymi była słoma pszenna i siano łąkowe, zbierane prasami wysokiego stopnia zgniotu w postaci małych bel prostopadłościennych. Wilgotność

względnej surowców roślinnych wyznaczono metodą wagowo-suszarkową zgodnie z normą PN-EN 15414-3:2011, natomiast wartość opałową obliczono na podstawie ciepła spalania wyznaczonego metodą kalorymetryczną przy użyciu kalorymetru KL-12, zgodnie ze specyfikacją techniczną PKN-CEN/TS 14588 oraz normami PN-81/G-04515. Do rozdrabniania surowców wykorzystano rozdrabniacz bijakowy H 111 wyposażony w sita o średnicy otworów 5 mm i napędzany silnikiem elektrycznym o mocy 4,5 kW. Następnie pobierano próbę rozdrobnionego materiału i za pomocą analizatora sitowego typu Analysette 3 PRO dokonano rozdziału na 7 klas, przy użyciu sit o otworach: 0,25; 0,5; 1,0; 1,4; 2,0; 2,8 i 3,15 mm wg normy PN-EN 15149-2. Poszczególne frakcje ważono i określano ich procentowy udział w badanej masie próby.

Do procesu zagęszczania rozdrobnionych surowców roślinnych zastosowano pelectiarki wyposażone w dwustronną obrotową matrycę płaską (rys. 1b) i jednostronną nieruchomą matrycę płaską (rys. 1c). W obu typach pelectiarek średnica matrycy wynosiła 200 mm, a średnica otworów 6 mm. Grubość matrycy dwustronnej wynosiła 25 mm, a matrycy jednostronnej 20 mm (tab. 1).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Pelectiarka z matrycą płaską: a) widok ogólny, b) dwustronna obrotowa matryca z nie napędzanymi rolkami, c) jednostronna nieruchoma matryca z napędzanymi rolkami

Fig. 1. A pelleting machine with a flat matrix: a) general view, b) a two-side rotating matrix with driven rolls, c) a one-side immovable matrix driven with rolls

Tabela 1. Dane techniczno-eksploatacyjne stosowanych pelecziarek  
 Table 1. Technical and exploitation data of the used pelleting machines.

Wyszczególnienie	Jednostka miary	Parametry pelecziarek	
		dwustronna	jednostronna
Rodzaj matrycy pelecziarki	–		
Średnica matrycy	[mm]	200,0	
Grubość matrycy	[mm]	25,0	20,0
Średnica otworów matrycy	[mm]	6,0	
Prędkość obrotowa matrycy	[obr·min <sup>-1</sup> ]	145,0 i 290,0	nieruchoma
Prędkość obrotowa rolek	[obr·min <sup>-1</sup> ]	nie napędzane	110,0
Średnica rolek	[mm]	80,0	100,0
Moc silnika	[kW]	7,5	
Wydajność pelecziarki	[kg·h <sup>-1</sup> ]	80-100	60-80
Masa pelecziarki	[kg]	220	180

Źródło: opracowanie własne

W pelecziarce z matrycą dwustronną prędkość obrotowa matrycy była regulowana za pomocą falownika i podczas badań wynosiła 145 i 290 obr·min<sup>-1</sup>. Natomiast w pelecziarce z matrycą jednostronną prędkość rolek ząszczających była stała i wynosiła 110 obr·min<sup>-1</sup>. Średnica rolek pelecziarki z matrycą dwustronną wynosiła 80 mm, a pelecziarki z matrycą jednostronną – 100 mm. Wydajność efektywna pierwszej pelecziarki wahała się w granicach 80-100 kg·h<sup>-1</sup>, natomiast drugiej w przedziale 60-80 kg·h<sup>-1</sup>.

Jakość wytworzonych peletów oceniano na podstawie ich gęstości nasypowej i trwałości mechanicznej. Gęstość nasypową peletów wyznaczono poprzez swobodne ich nasypywanie do naczynia pomiarowego o objętości 5 dm<sup>3</sup>. Po wypełnieniu naczynia i zgarnięciu listwą nadmiaru peletów, całość ważono na wadze WPE 200 z dokładnością do ±0,1 g. Wartość gęstości nasypowej obliczono jako iloraz różnicy masy naczynia z peletami i masy bez peletów do jego objętości, zgodnie z normą PN-EN 15103.

Trwałość mechaniczną peletów wyznaczono na stanowisku badawczym poprzez nasypanie próbki aglomeratu o masie 500 g (±10 g) do komór testera, napędzanego silnikiem elektrycznym, przy prędkości obrotowej 50 obr·min<sup>-1</sup> i w czasie 10 min. Przed próbą i po jej zakończeniu pelety przesiewano przez sito o otworach 3,15 mm. Wskaźnik trwałości mechanicznej obliczono jako iloraz masy peletów po przeprowadzonej próbie do masy peletów przed próbą, według normy PN-EN 15210-1.

Pomiary badanych cech surowców i wytworzonych peletów przeprowadzono w pięciu powtórzeniach. Uzyskane wyniki badań gęstości nasypowej i trwałości mechanicznej poddano analizie statystycznej w programie SAS, wykorzystując podwójną klasyfikację krzyżową z interakcją oraz test Tukey'a na poziomie istotności 0,05.

## Wyniki badań

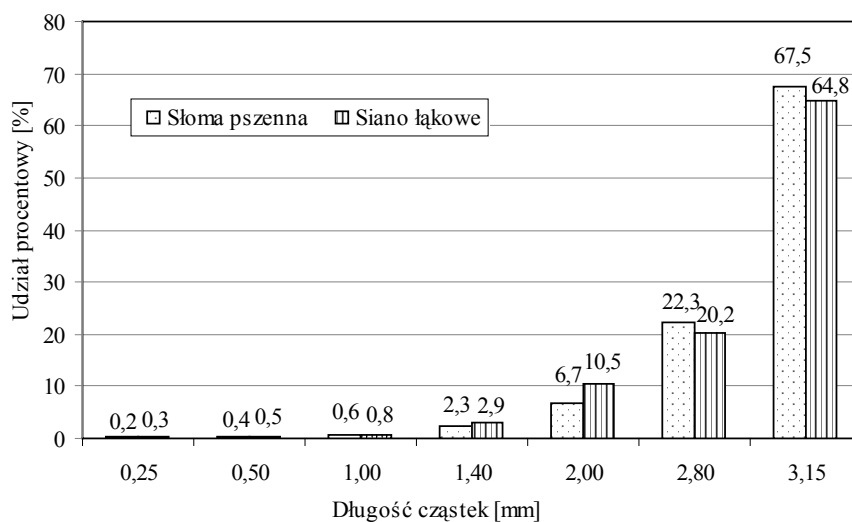
W tabeli 2 zamieszczono charakterystykę badanych surowców roślinnych. Średnia wilgotność surowców zawierała się w granicach od 14,5% dla słomy pszennej do 16,2% dla siana łąkowego. Średnia wartość opałowa słomy pszennej wynosiła 15,2 MJkg<sup>-1</sup>, a siana łąkowego 15,5 MJkg<sup>-1</sup>. Po rozdrobnieniu słomy pszennej uzyskano 96,2% masy cząstek

w przedziale długości od 2,0 do 3,15 mm i powyżej, a po rozdrobnieniu siana łąkowego uzyskano 95,0% masy cząstek w przyjętych przedziałach długości (rys. 2).

Tabela 2. Charakterystyka badanych surowców roślinnych  
Table 2. Characteristics of the researched plant materials

Wyszczególnienie	Jednostka miary	Parametry	
		słoma pszenna	siano łąkowe
Rodzaj surowców roślinnych	–	słoma pszenna	siano łąkowe
Wilgotność surowców	[%]	14,5(±0,4)	16,2(±0,5)
Ciepło spalania	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]	16,8(±0,5)	16,9(±0,6)
Wartość opałowa	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]	15,2(±0,2)	15,5(±0,3)
Udział cząstek (2,0-3,15 mm i powyżej)	[%]	96,2(±0,3)	95,0(±0,4)

Źródło: opracowanie własne

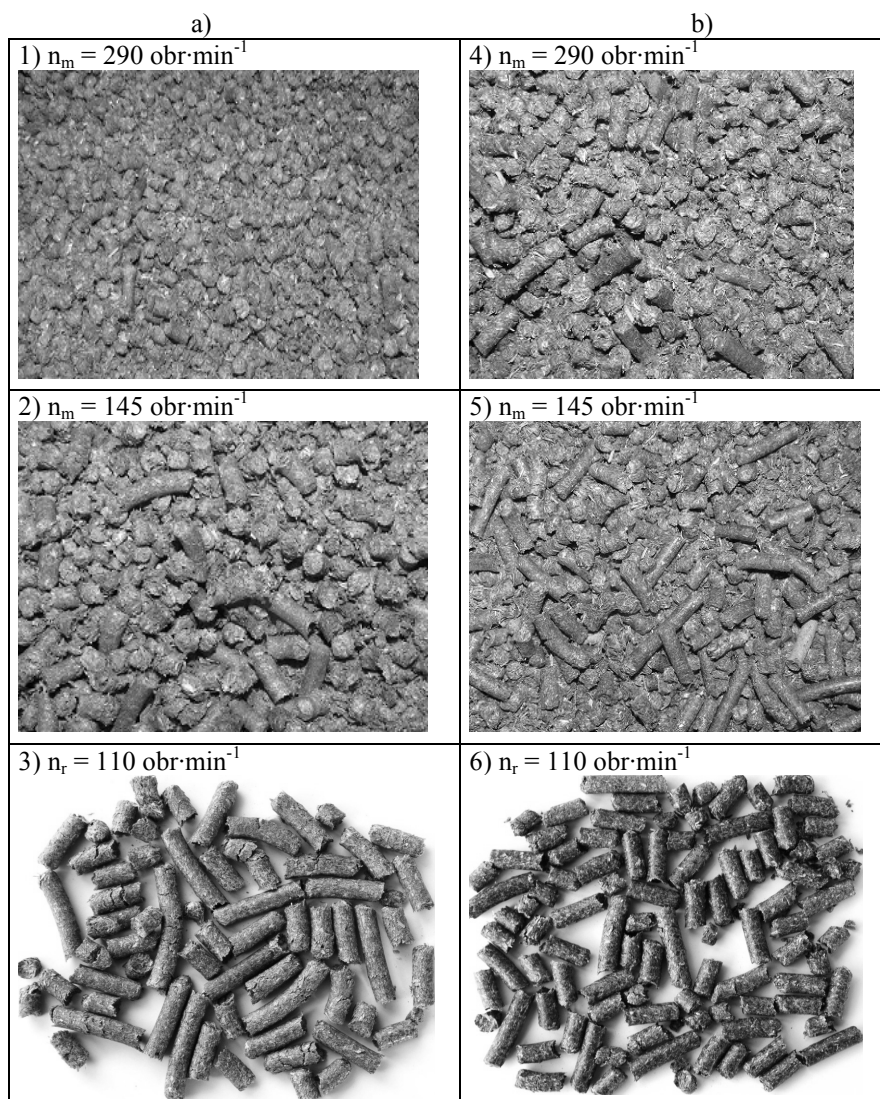


Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Udział procentowy długości cząstek rozdrobnionych materiałów roślinnych  
Fig. 2. Percentage share of the length of particles of the fragmented plant materials

Na rysunku 3 przedstawiono pelety wytworzone w badanych pelecniarkach ze słomy pszennej (rys. 3a) i siana łąkowego (rys. 3b), dla przyjętych parametrów roboczych elementów ząszczających. W przypadku pelecniarki z matrycą dwustronną i wyższej jej prędkości obrotowej jakość peletów była niższa. Związane to było ze zbyt krótkim czasem przebywania surowca roślinnego w otworach obracającej się matrycy. Zmniejszenie prędkości obrotowej matrycy o połowę przyczyniło się do nieznacznej poprawy jakości peletów.

tów. Natomiast zastosowanie pelecarki z matrycą jednostronną i napędzanymi rolkami spowodowało, że wytworzone pelety charakteryzowały się wyższą gęstością nasypową oraz trwałością mechaniczną.



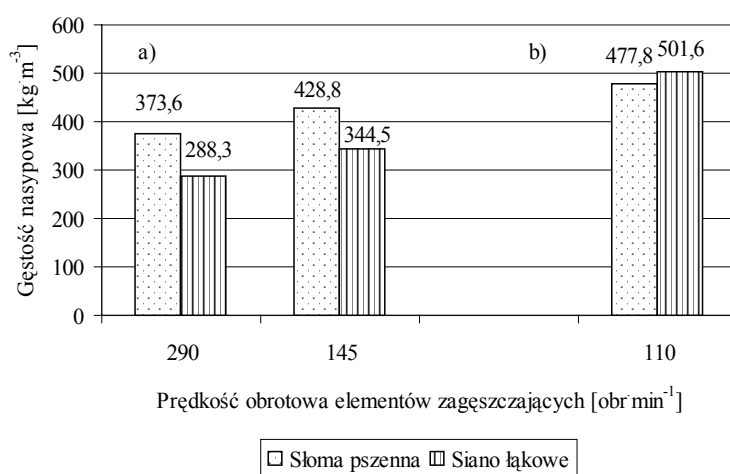
$n_m$  – prędkość obrotowa matrycy,  $n_r$  – prędkość obrotowa rolek zagęszczających

Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Pelety wytworzone ze słomy pszennej (a) i siana łąkowego (b) w pelecierce z matrycą dwustronną (1-2 i 4-5) oraz z matrycą jednostronną (3-6)

Fig. 3. Pellets made of grain straw (a) and meadow hay (b) in a pelleting machine with a two-side matrix (1-2 and 4-5) and a one-side matrix (3-6)

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań gęstości nasypowej peletów wytworzonych w pelecjarce z matrycą dwustronną (rys. 4a) i matrycą jednostronną (rys. 4b), ze słomy pszennej i siana łąkowego. W przypadku pelecjarce z matrycą dwustronną ze zmniejszeniem prędkości obrotowej matrycy gęstość nasypowa peletów wzrosła o 15% dla słomy pszennej i o 20% dla siana łąkowego. Z kolei w pelecjarce z matrycą jednostronną i napędzanymi rolkami zagęszczającymi gęstość nasypowa peletów była wyższa od 11 do 28% dla słomy pszennej i od 45 do 74% dla siana łąkowego, w porównaniu z gęstością nasypową peletów wytworzonych w pelecjarce z matrycą dwustronną.

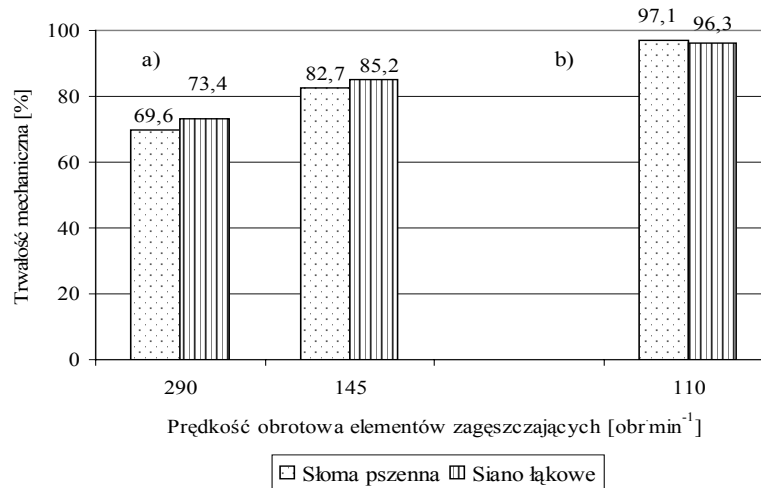


Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Gęstość nasypowa peletów wytworzonych w pelecjarce: a) z matrycą dwustronną, b) z matrycą jednostronną

Fig. 4. Bulk density of pellets made in a pelleting machine: a) a two-side matrix, b) a one-side matrix

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań trwałości mechanicznej peletów wytworzonych w pelecjarce z matrycą dwustronną (rys. 5a) i matrycą jednostronną (rys. 5b). W zależności od prędkości obrotowej matrycy dwustronnej wskaźnik trwałości mechanicznej peletów wynosił 69,6-82,7% dla słomy pszennej i 73,4-85,2% dla siana łąkowego. Z kolei w pelecjarce z matrycą jednostronną wartości tego wskaźnika były wyższe i wynosiły 97,1% dla słomy pszennej i 96,3% dla siana łąkowego. W przypadku pelecjarce z matrycą jednostronną wskaźnik trwałości mechanicznej peletów był bliski wartości zawartej w normach, który dla tych surowców roślinnych wynosi  $\geq 97,5\%$ .



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Wskaźnik trwałości mechanicznej peletów wytworzonych w pelecjarce: a) z matrycą dwustronną, b) z matrycą jednostronną  
 Fig. 5. Mechanical endurance of pellets made in a pelleting machine: a) a two-side matrix, b) a one-side matrix

## Wnioski

- Wyższą gęstością nasypową i trwałością mechaniczną odznaczały się pelety wytworzone w pelecjarce z jednostronną nieruchomą matrycą i napędzanymi rolkami zagęszczającymi, w porównaniu z peletami wytworzonymi w pelecjarce z dwustronną obrotową matrycą, ze względu na dłuższy czas procesu aglomeracji w tej pierwszej maszynie.
- Gęstość nasypowa peletów ze słomy pszennej i z siana łąkowego wytworzonych w pelecjarce z matrycą jednostronną była większa odpowiednio o 11,4-27,8% i o 45,6-73,9%, w porównaniu z gęstością nasypową peletów wytworzonych w pelecjarce z matrycą dwustronną.
- Trwałość mechaniczna peletów wytworzonych w pelecjarce z matrycą jednostronną była wyższa o 18,3-39,5% w przypadku słomy pszennej i o 13,0-31,2% w przypadku siana łąkowego, w porównaniu z trwałością mechaniczną peletów wytworzonych w pelecjarce z matrycą dwustronną.
- Szczegółowa analiza badanych cech peletów wykazała wszystkie istotne statystycznie różnice parami. Wraz ze zmniejszaniem prędkości obrotowej elementów zagęszczających, zarówno w przypadku peletów wytworzonych ze słomy pszennej, jak i siana łąkowego istotnie wzrastała ich gęstość nasypowa i trwałość mechaniczna.



## Bibliografia

- Burczyk H.** (2012): Biomasa z roślin jednorocznych dla energetyki zawodowej. *Czysta Energia*, 2(126), 30-32.
- Denisiuk W.** (2007): Brykiety/pelety ze słomy w energetyce. *Inżynieria Rolnicza*, 9(97), 41-47.
- Denisiuk W.** (2008): Słoma – potencjał masy i energii. *Inżynieria Rolnicza*, 2(100), 23-30.
- Frączek J.** (red.). (2010a): *Produkcja biomasy na cele energetyczne*. Wyd. PTIR, Kraków, ISBN 978-83-917053-8-4.
- Frączek J.** (red.). (2010b): *Przetwarzanie biomasy na cele energetyczne*. Wyd. PTIR, Kraków, ISBN 978-83-917053-9-1.
- Galecki T.** (2004): Pelety ze słomy – racjonalna alternatywa. *Czysta Energia*, 6(34), 34.
- Hejft R.** (2006): Granulacja ciśnieniowa – analiza układu roboczego z płaską matrycą. *Inżynieria Rolnicza*, 7(82), 209-214.
- Kowalczyk-Juśko A., Zywer A.** (2011): Co za dużo, to ... na opał. *Agroenergetyka*, 4, 29-31.
- Kowalik P.** (2002): Perspektywy peletyzacji biomasy w Polsce. *Czysta Energia*, 10, 14-15.
- Mani S., Tabil L.G., Sokhansanj S.** (2003): An overview of compaction of biomass grand. *Powder Handling and Processing*, 15(2), 160-168.
- O'Dogherty M.J., Huber A.J., Dyson J., Marshal C.J.** (1995): A study of the physical and mechanical properties of wheat straw. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62(2), 133-142.
- Pelka G.** (2010): Pelety – paliwo czyste, ekologiczne i praktyczne. *GLOBEnergia*, 1, 46-47.
- Szpryngiel M., Kraszkiewicz A., Kachel-Jakubowska M., Niedziółka I.** (2011): Ocena gęstości usypowej i energochłonności produkcji peletów w pelecierce z dwustronną matrycą płaską. *Inżynieria Rolnicza*, 6(131), 215-222.
- PN-EN 15103: 2010. Biopaliwa stałe – Oznaczenie gęstości nasypowej.
- PN-EN 15210-1: 2010. Biopaliwa stałe – Oznaczenie wytrzymałości mechanicznej brykietów i peletów. Część 1: Pelety.
- PN-EN 15149-2:2011. Biopaliwa stałe – Oznaczenie rozkładu wielkości ziaren – Część 2: Metoda przesiewania wibracyjnego przy użyciu sit o szczelinie 3,15 mm lub mniejszej.

## EVALUATION OF PELLETS QUALITY MADE OF THE SELECTED PLANT MATERIALS

**Abstract.** The results of the quality research of pellets made of grain straw and meadow hay. The researched plant materials fragmented with a hammer mill equipped with sieves of 5 mm meshes. Moisture analysis, length of particles and calorific value of materials as well as bulk density and mechanical endurance of pellets were carried out according to valid standards. Average moisture of materials was 14.5% for grain straw and 16.2% for meadow hay. Average calorific value was ranging from 15.2 MJ·kg<sup>-1</sup> for grain straw to 15.5 MJ·kg<sup>-1</sup> for meadow hay. Two types of pelleting machines were used for production of pellets, i.e.: pelleting machines with a two-side rotating flat matrix and a pelleting machine with a one-side immovable flat matrix. Bulk density and mechanical endurance of pellets depended on the type of material and a type of a pelleting machine. Bulk density was within 373.6-477.8 kg·m<sup>-3</sup> for grain straw and 288.3-501.6 kg·m<sup>-3</sup> for meadow hay. Index of mechanical endurance of pellets was within 69.6 to 97.1% for grain straw and from 73.4 to 96.3% for meadow hay. A pelleting machine with a one-side immovable flat matrix ensured more advantageous effects of work concerning the quality of the produced pellets.

**Key words:** plant biomass, pellets, bulk density, mechanical endurance

**Adres do korespondencji:**

Ignacy Niedziółka; e-mail: ignacy.niedziolka@up.lublin.pl

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego

Uniwersytet Przyrodniczy

ul. Poniatowskiego 1

20-060 Lublin