

ANALIZA WYBRANYCH CECH JAKOŚCIOWYCH PELETÓW WYTWORZONYCH Z SUROWCÓW ROŚLINNYCH*

Artur Kraszkiewicz, Magdalena Kachel-Jakubowska, Mieczysław Szpryngiel
Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Ignacy Niedziółka
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę wybranych cech jakościowych peletów wytworzonych ze słomy pszennej ozimej, żytniej, pszenżyta ozimego dwóch odmian – Grenado i Fredro, mieszanki zbożowej, gryczanej i z siana łąkowego. Ocenie poddano następujące cechy wytworzonego peletu: wilgotność, wartość opałową i trwałość mechaniczną. Posłużono się metodami ogólnie przyjętymi w tego typu badaniach, opisanymi w normie PN-EN 14961 „Biopaliwa stałe – specyfikacje paliw i klasy”. Badania wykazały, że rozpatrywane cechy jakościowe wytworzonych peletów w aspekcie ich energetycznego wykorzystania oraz transportu i przechowywania były na wysokim poziomie, a otrzymane wyniki były porównywalne z danymi prezentowanymi przez innych badaczy. Zauważono również, że wszystkie rozpatrywane cechy, dla każdego materiału wyjściowego z którego powstał pelet, spełniały wymagania jakościowe stosownej normy, a produkt ten mógł być dopuszczony do obrotu na rynku biopaliw.

Słowa kluczowe: energia biomasy, trwałość mechaniczna peletów

Wprowadzenie

Energetyczne wykorzystanie biomasy roślinnej, w aspekcie poszukiwania nowych rozwiązań umożliwiających pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych, cieszy się nieustannym zainteresowaniem. Prowadzi to do wzrostu zapotrzebowania na ten surowiec i wzmacnia zainteresowanie jego przetwarzaniem. Bazę surowcową dla tej grupy biopaliw stałych stanowią jednoroczne uprawy polowe, jak też wieloletnie, a także produkty ubocz-

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

ne oraz odpady powstałe 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 i nieużytków (siano) oraz tzw. rośliny energetyczne z upraw celowych.

Należy jednak zauważyć, że biomasa roślinna w stanie pierwotnym, nieprzetworzonym jest surowcem bardzo niejednorodnym, zróżnicowanym pod względem cech fizycznych (Hejft, 2002; Hejft i Obidziński, 2006).

Procesem poprawiającym jej właściwości może być peletowanie, które ma na celu wytworzenie paliwa o znormalizowanych własnościach w wyniku działania dużego ciśnienia, czasem i wysokiej temperatury (Hejft, 2002). Niemniej jednak sam proces zagęszczania jest złożony, a na pożądane parametry aglomeratu mają wpływ dwie główne grupy czynników. Pierwszą grupę stanowią czynniki materiałowe, takie jak: stopień rozdrobnienia surowca, jego jednorodność, obecność substancji ułatwiających scalanie cząstek oraz stan fizyczny w momencie zagęszczania – wilgotność i temperatura. Drugą natomiast czynniki konstrukcyjno-eksploatacyjne maszyny zagęszczającej i obróbka otrzymanego produktu (Hejft, 2002; Hejft i Obidziński, 2006).

Wymagania jakościowe peletu reguluje polska norma PN-EN 14961 „Biopaliwa stałe – specyfikacje paliw i klasy”. Wśród kryteriów tej normy, oprócz wymagań kształtu, wilgotności, gęstości i wartości opałowej, jest ocena trwałości mechanicznej granulatu. Parametr ten, określany również jako trwałość, jest miarą odporności paliwa na wstrząsy i/lub ściekanie powstające w wyniku transportu i przebiegu innych procesów dystrybucji.

Cel i zakres pracy

Celem przeprowadzonych badań była analiza wybranych cech jakościowych peletów wytworzonych ze słomy pszennej ozimej, żytniej, pszenżyta ozimego dwóch odmian – Grenado i Fredro, mieszanki zbożowej, gryczanej i z siana łąkowego. Ocenie poddano następujące cechy wytworzonego peletu: wilgotność, wartość opałową i trwałość mechaniczną.

Metody badań

Surowce użyte do produkcji peletów pozyskano z czterech źródeł. Słoma pszenna, żytnia, mieszanki zbożowej i gryczana pochodziła z Gospodarstwa Rolnego położonego w Snopkowie. Słoma pszenżyta pochodziła z Gospodarstwa Małopolskiej Hodowli Roślin w Krakowie oddział w Palikijach. Natomiast siano łąkowe z Gospodarstwa Doświadczalnego UP w Lublinie położonego w obrębie miasta w dzielnicy Felin.

Pozyskany materiał rozdrobniono rozdrabniaczem bijakowym H 111 wyposażonym w sita o otworach 3 mm, po czym oznaczono wilgotność tego materiału metodą suszarkowo-wagową, susząc próbki w temperaturze 105°C zgodnie z normą PN-EN 14774-1. Wilgotność pozyskanego surowca po rozdrobnieniu z reguły zawierała się w przedziale od 11,5% do 14,8%, jedynie słoma gryczana miała wilgotność większą – 19,3% (tab. 1).

Tabela 1
Wilgotność pozyskanych surowców
 Table 1
Moisture of the obtained raw materials

Rodzaj surowca	Słoma pszenżyta Grenado	Słoma pszenżyta Fredro	Słoma żytnia	Słoma pszenna	Mieszanka zbożowa	Słoma gryczana	Siano łąkowe
Wilgotność (%)	14,8	13,7	11,7	12,2	11,5	19,3	13,6

Tak przygotowany surowiec poddano procesowi zagęszczania, używając pelecarki z nieruchomą jednostronną matrycą płaską o grubości 25 mm i średnicy otworów 8 mm. Prędkość obrotowa rolek zagęszczających wynosiła $11,67 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, a napęd rolek przekazywany był od silnika elektrycznego o mocy 7,5 kW przez zespół przekładni zębatych.

Następnie określono, zgodnie z normą PN-EN 14961, wybrane cechy jakościowe wytworzonego peletu, poddając ten produkt następującym oznaczeniom:

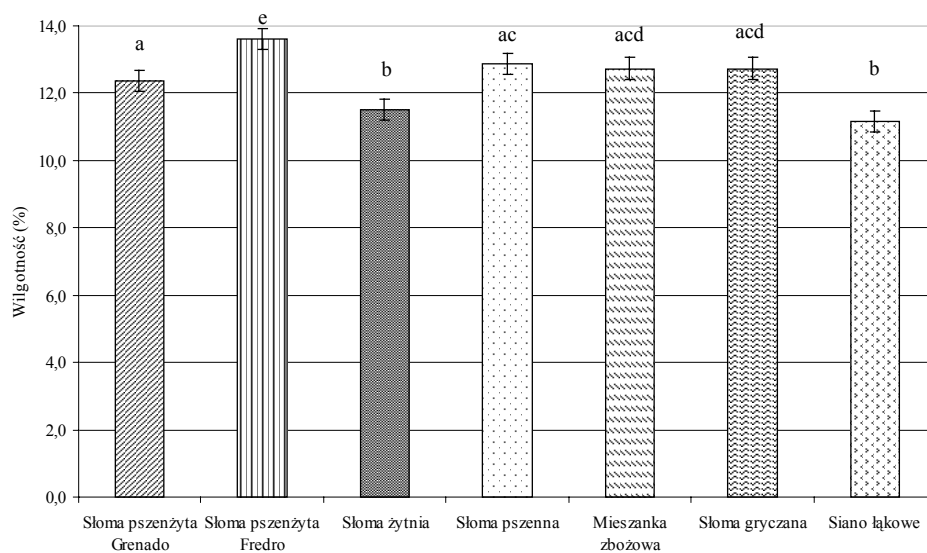
- Wilgotności, którą określono zgodnie z procedurą opisaną wyżej, według normy PN-EN 14774-1.
- Wartości opałowej, określonej przy użyciu kalorymetru statycznego zgodnie z normą PN-EN 14918.
- Trwałości peletów, którą określono za pomocą stanowiskowego testera obrotowego z trzema pojemnikami o znormalizowanych wymiarach i obracającego się z prędkością $5,22 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ przez okres 600 s według zaleceń normy PN-EN 15210-1.

Analiza statystyczna wyników badań objęła określenie wartości średnich, odchyłeń standardowych oraz współczynników korelacji liniowej Pearsona. Przeprowadzono również jednoczynnikową analizę wariancji. Istotność różnic między średnimi określono, wykorzystując test Tukey'a. Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Omówienie i analiza wyników badań

Wyniki pomiarów wilgotności peletów wytworzonych z rozpatrywanych surowców przedstawiono na rysunku 1.

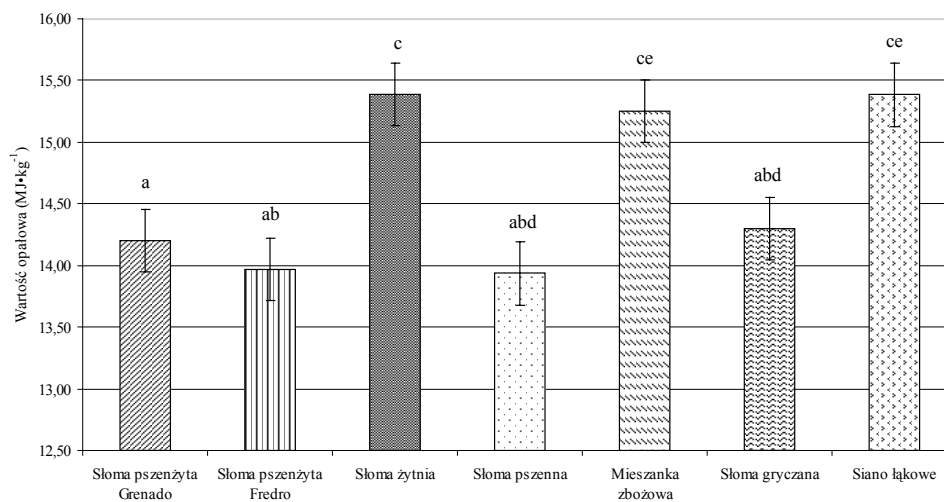
W warunkach badań średnia wilgotność peletu wytworzonego z poszczególnych surowców zawierała się w przedziale od 11,2% do 13,6%. Najmniejsze wartości tego parametru odnotowano dla peletu z siana łąkowego i słomy żytniej. Największą wilgotność miał pelet ze słomy pszenżyta Fredro (rys. 1). Wielkość odchylenia standardowego tego parametru w zależności od rodzaju surowca wynosiła od 0,10 do 0,40%. Na podstawie analizy wariancji stwierdzono istotne różnice między średnimi w poszczególnych grupach surowców ($p = 0,00000$), a przeprowadzony test Tukey'a wskazał tylko na cztery grupy jednorodne (rys. 1). Porównując otrzymane wyniki z danymi literaturowymi, można stwierdzić, że wilgotność peletu w warunkach badań była porównywalna (Adamczyk, 2010; Denisiuk, 2007; Kornacki i Maj, 2011). Natomiast wilgotność rozpatrywanego peletu w odniesieniu do wymagań jakościowych mieściła się w dopuszczalnym przedziale i należała do klasy M15.



Rysunek 1. Wilgotność wytworzonych peletów; wartości, a-e – grupy jednorodne ($\alpha=0,05$)

Figure 1. Moisture of the produced pellets; a-e – homogeneous ($\alpha=0.05$)

Uzyskane wartości opałowe badanych peletów w stanie powietrzno-suchym przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Wartość opałowa peletów w stanie powietrzno-suchym; wartości, a-e – grupy jednorodne ($\alpha=0,05$)

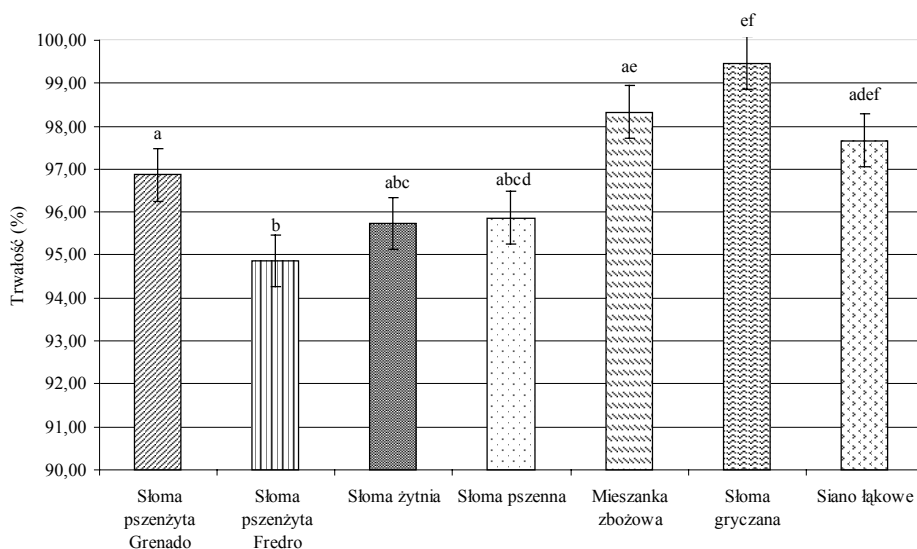
Figure 2. Calorific value of pellets in the air-dry state: a-e – homogeneous ($\alpha=0.05$)

Średnia wartość opałowa badanych peletów w poszczególnych grupach surowców oscylowała w granicy dwóch przedziałów. Przedział pierwszy zawierał się od $13,93 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $14,30 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ i zaliczały się do niego pelety wytworzone ze słomy pszenżyta dwóch odmian – Grenado i Fredro, pszennej i gryczanej. Natomiast drugi przedział zawierał się w zakresie od $15,25 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $15,39 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ i należały do niego pelety ze słomy żytniej i mieszanki zbożowej oraz siana łąkowego (rys. 2). Odchylenie standardowe tej cechy zawierało się w przedziale od 0,01 do $0,63 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Analiza wariancji wykazała istotne różnice między średnimi w poszczególnych grupach surowców ($p = 0,00000$). Dla wartości tego parametru można wyróżnić pięć grup jednorodnych (rys. 2).

W warunkach badań wartość opałowa rozpatrywanego peletu była porównywalna z danymi literaturowymi (Kornacki i Maj, 2011; Rybak, 2006).

Trwałość mechaniczną badanego aglomeratu, odpowiadającą za zniszczenia peletu podczas transportu i składowania, przedstawiono na rysunku 3.

W warunkach badań średnia trwałość mechaniczna aglomeratu powstałego z rozpatrywanych surowców z reguły zawierała się w zakresie od niespełna 95% (pelet ze słomy pszenżyta Fredro) do 97% (pelet ze słomy pszenżyta Grenado). Tylko trwałość peletu wytworzonego z siana łąkowego, słomy mieszanki zbożowej i gryczanej była większa i wynosiła odpowiednio 97,67; 98,33 i 99,47% (rys. 3).



Rysunek 3. Trwałość mechaniczna peletu; wartości, a-f – grupy jednorodne ($\alpha=0,05$)
 Figure 3. Mechanical strength of pellets; a-e – homogeneous ($\alpha=0.05$)

Odchylenie standardowe tej cechy w zależności od rodzaju surowca wynosiło od 0,12 do 0,95%. Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotne różnice między średnimi w poszczególnych grupach surowców ($p=0,00001$). Dla wartości tego parametru można

wyróżnić sześć jednorodnych grup, wśród których największymi pożądanymi wartościami wyróżniają się grupy e i f (rys. 3).

Odnosząc się do danych literaturowych (Hejft, 2002), stwierdzono, że w warunkach badań trwałość peletów ze słomy gryczanej i mieszanki zbożowej oraz siana łąkowego była większa, natomiast trwałość peletów powstałych z pozostałych surowców była porównywalna. Odnosząc się do wymagań jakościowych podanych dla tej cechy w normie PN-EN 14961, rozpatrywany granulatu mieścił się w klasach dopuszczalnych.

Wilgotność aglomeratu wpływa na jego wartość opałową (Rybak, 2006), która jest bardzo istotną cechą w aspekcie jego energetycznego wykorzystania. Zawartość w nim wody ma również wpływ na jego trwałość mechaniczną. Według danych literaturowych (Hejft, 2002) wzrost wilgotności powoduje spadek trwałości mechanicznej peletu.

Analiza statystyczna wyników badań wykazała ujemne tendencje liniowe między wilgotnością a wartością opałową i wilgotnością a trwałością oraz dodatnią między wartością opałową a trwałością rozpatrywanych peletów, przy czym najsilniejsza relacja wystąpiła między wilgotnością a wartością opałową aglomeratu. Współczynniki korelacji odpowiednio wyniosły -0,77; -0,18; 0,27.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że wybrane cechy jakościowe peletów wytworzonych ze słomy pszennej ozimej, żytniej, pszenżyta ozimego dwóch odmian – Grenado i Fredro, mieszanki zbożowej, gryczanej i z siana łąkowego w aspekcie ich energetycznego wykorzystania były korzystne i pożądane. Należy również zauważyć, że wszystkie rozpatrywane cechy, dla każdego materiału wyjściowego, z którego powstał pelet, spełniły wymagania jakościowe stosownej normy. Wysoka trwałość i wartość energetyczna otrzymanego aglomeratu umieściła ten surowiec w czołówce biopaliw stałych. Potwierdziły to również wykonane porównania otrzymanych wyników z danymi prezentowanymi przez innych badaczy. Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań można sformułować następujące stwierdzenia i wnioski:

1. W warunkach badań wilgotność wytworzonego aglomeratu wynosiła około 12%, a wartość opałowa około $15 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, co w aspekcie energetycznego wykorzystania, jest cechą korzystną i pożądaną.
2. Trwałość mechaniczna badanego granulatu była największa dla peletów ze słomy gryczanej. Podobne wartości (różnice nieistotne statystycznie) reprezentowały również: słoma mieszanki zbożowej i siano łąkowe.
3. Zauważono ujemne tendencje liniowe między wilgotnością a wartością opałową i wilgotnością a trwałością oraz dodatnią między wartością opałową a trwałością rozpatrywanych peletów, przy czym najsilniejsza relacja wystąpiła między wilgotnością a wartością opałową aglomeratu.
4. Rozpatrywane parametry jakościowe dla peletu powstałego z biomasy roślinnej mieściły się w granicach wymaganych przez przyjęte normy.

Literatura

- Adamczyk, F. (2010). Wpływ wilgotności słomy zbożowej na stopień zagęszczenia uzyskiwanych brykietów. *Inżynieria Rolnicza*, 1(119), 7-13.
- Denisiuk, W. (2009). Słoma jako paliwo. *Inżynieria Rolnicza*, 1(110), 83-89.
- Hejft, R. (2002). *Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*. Radom, Wyd. ITE, ISBN 8372042519.
- Hejft, R.; Obidziński, S. (2006). Produkcja granulatu i brykietów w aspekcie cech jakościowych. *Czysta Energia*, 6(55), 23-27.
- Kornacki, A.; Maj, G. (2011). Wybrane właściwości peletów wytworzonych z trawy pozyskanej z trawnika przydomowego. *Inżynieria Rolnicza*, 1(126), 103-108.
- Rybak, W. (2006). *Spalanie i współspalanie biopaliw stałych*. Wrocław, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, ISBN 8370859380.
- PN-EN 14774-1:2010. *Biopaliwa stałe – Oznaczanie zawartości wilgoci – Metoda suszarkowa*.
- PN-EN 14961:2010. *Biopaliwa stałe – specyfikacje paliw i klasy*.
- PN-EN 14918:2010. *Biopaliwa stałe – Oznaczanie wartości opalowej*.
- PN-EN 15210-1:2010. *Biopaliwa stałe – Oznaczanie wytrzymałości mechanicznej brykietów i peletów – Część 1: Pelety*.

THE ANALYSIS OF THE SELECTED QUALITY PROPERTIES OF PELLETS MADE OF PLANT RAW MATERIALS

Abstract. The paper presents the analysis of the selected quality properties of pellets produced of winter wheat straw, rye straw, Grenado and Fredro winter triticale, wheat mixture, buckwheat and meadow hay. The following properties of the produced pellets were evaluated: moisture, calorific value and mechanical strength. Generally accepted methods, set forth in the standard PN-EN 14961 "Solid biofuels- fuel specifications and classes" were used. The research proved that the considered quality properties of the produced pellets on account of their energy use, transport and storing were on a high level and the obtained results were comparable to the data presented by other researchers. It was also reported that all discussed properties for each initial material, of which pellet was made, met the quality requirements of the used standard and the product could have been admitted for turnover on the biofuels market.

Key words: biomass energy, mechanical strength of pellets

Adres do korespondencji:

Artur Kraszkiewicz; e-mail: artur.kraszkiewicz@up.lublin.pl
Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 13
20-950 Lublin