

ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI SUROWCÓW STOSOWANYCH DO PRODUKCJI BIOPALIW STAŁYCH*

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

Ignacy Niedziółka
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Wiele produktów będących pozostałością produkcji pochodzenia rolniczego jak i przemysłowego charakteryzuje się odpowiednimi właściwościami fizyczno-chemicznymi, umożliwiającymi wykorzystanie ich jako surowca do produkcji peletów. W pracy dokonano analizy parametrów fizyko-chemicznych oraz trwałości peletów wytworzonych ze 100% słomy rzepakowej, makuch rzepakowych oraz mieszanek słomy rzepakowej z 5 i 10% udziałem wagowym makuch, MONG'u oraz gliceryny technicznej. Analizie poddano parametry dotyczące wilgotności, wartości opałowej oraz trwałości mechanicznej. Ogólnie badane parametry wartości opałowej wykazały, że wszystkie zestawienia zastosowane w niniejszych analizach czynią powyższe surowce cennym materiałem dla energetycznej gałęzi przemysłu.

Słowa kluczowe: pelet, gliceryna, MONG, wartość opałowa, trwałość peletów

Wstęp

Rosnące obawy o stan środowiska naturalnego człowieka zwiększyły zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii i w konsekwencji doprowadziły do wzrostu ich wykorzystania w krajach należących do UE. Zainteresowanie biomasą jako źródłem energii nastąpiło w krajach Wspólnoty w wyniku powstającej nadwyżki produkcji żywności oraz wycofania się części producentów z procesu wytwarzania pasz i surowców żywnościowych (Szcukowski, 2006).

Szereg produktów ubocznych szeroko rozpowszechnionych pochodzenia rolniczego, paszowego oraz przemysłu paliwowego, określanych jako słoma, makuchy rzepakowe, gliceryna techniczna i destylowana oraz MONG (Matter Organic Non Glicerol), będący

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

pozostałością po czyszczeniu gliceryny, może być dobrym surowcem lub dodatkiem do produkcji peletów (Kachel-Jakubowska i in., 2011; Szwedziak, 2010). Materiały te, ze względu na ich konsystencję oraz małą gęstość usypową, mogą sprawiać trudności w ich dystrybucji w postaci nieprzetworzonej (Adamczyk i in., 2005), a sam transport przyczyni się do zwiększenia kosztów, jak i związanej z tym emisji gazów cieplarnianych (Holm i in., 2006; Kaliyan i in., 2009). W celu polepszenia przydatności biomasy do celów transportowych, jak i energetycznych należy zwiększyć jej gęstość, co uzyskuje się poprzez ciśnieniowe zagęszczenie luźnego surowca w procesie brykietowania lub peletowania do postaci brykietu lub peletu (Hejft, 2002, 2006; Kowalczyk-Juško, 2009; Garcia-Maraver i in., 2011).

Należy jednak pamiętać, iż z powodu odmiennych właściwości fizyko-chemicznych biomasy oraz pozostałości poprodukcyjnych konstrukcje kotłów dla tych paliw różnią się od kotłów tradycyjnych. Od rodzaju i jakości biomasy zależy wybór systemu spalania: im większa niejednorodność i gorsza jakość biomasy, tym bardziej wyrafinowany system sterowania spalaniem. Paliwa o niskiej jakości znajdują zastosowanie jedynie w dużych i średnich systemach spalania, natomiast do urządzeń energetycznych małej mocy należy stosować jednorodne biopaliwa dobrej jakości (Jakubiak i in., 2008; Obernberger i in., 2004).

Produkcja peletów nie jest procesem skomplikowanym, choć wymaga dość złożonej i starannie zaprojektowanej linii technologicznej. Same pelety są wytwarzane z suchej, rozdrobnionej biomasy stałej w odpowiedniej temperaturze przez sprasowanie pod wysokim ciśnieniem z ewentualnym dodatkiem substancji wiążącej (lepiszcza w postaci gliceryny, makuch lub MONG'u), mającej za zadanie polepszenie właściwości jakościowych produktu końcowego. Właściwości fizyczne, jak i chemiczne otrzymanego produktu mają ogromne znaczenie wpływające na ustalenie dalszych warunków składowania, jak i samego transportu (McMullen, 2005; Horabik, 2001; Skonecki, 2011). W przypadku zastosowanie frakcji gliceryny jako indywidualne paliwo ciekłe istnieje konieczność wyznaczenia podstawowych parametrów technicznych (tj. temperatura zapłonu, lepkości oraz gęstość) oraz ciągłego monitorowania jej parametrów jakościowych (Muzyka i in., 2011). Najważniejszymi parametrami materiałów sypkich są między innymi: wilgotność surowca oraz skład granulometryczny (Horabik, 2001; Hejft, 2002), wartość opałowa, ciepło spalania oraz trwałość należąca do parametrów mechanicznych paliw stałych. W przypadku wykorzystania energetycznego duże znaczenie odgrywa wartość opałowa, która zależy od składu chemicznego surowca, jego wilgotności jak też od samego gatunku materiału oraz techniki przygotowania (Denysiuk, 2003; Niedziółka, 2006). Może ona wahać się od $6\text{--}8\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla biomasy o wilgotności 50–60% do $15\text{--}17\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla biomasy podsuszanej, której wilgotność wynosi 10–20%, aż do $19\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla biomasy całkowicie wysuszonej. Wartość powyższego parametru dla MONG'u może mieścić się w granicach od 11,3 do $22\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, a dla gliceryny technicznej od 18,60 do $25,20\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Karta, 2009; Kachel-Jakubowska i in., 2011).

Cel badań

Celem prezentowanych badań jest określenie podstawowych właściwości fizykochemicznych oraz trwałości peletów wytworzonych ze 100% słomy rzepakowej, makuch rzepakowych oraz mieszanek słomy rzepakowej z 5 i 10% udziałem wagowym makuch, MONG'u oraz gliceryny technicznej.

Metodyka i pochodzenie materiału

Materiał do badań stanowiły 5-litrowe zbiorniki prób gliceryny technicznej oraz produktu powstającego w procesie oczyszczania gliceryny potocznie określanego jako MONG. Surowiec został dostarczony z partii produkcyjnej biopaliwa powstającego z oleju rzepakowego w Rafinerii Trzebinia S.A.

Słoma rzepakowa pochodziła z Małopolskiej Hodowli Roślin w Krakowie Oddział w Palikijach. Makuchy rzepakowe stanowiły próby w postaci 25 kg worków dostarczone z Zakładów Tłuszczy Roślinnych „MOSSO” Kwaśniewscy S.J. w Radziejowicach.

Badania obejmowały analizę parametrów fizyko-termicznych oraz wytrzymałości mechanicznej wyprodukowanych peletów. Surowce roślinne przed peletowaniem rozdrabniano przy użyciu rozdrabniacza bijakowego typu H 111, napędzanego silnikiem elektrycznym o mocy 7,5 kW oraz wyposażonego w sita o średnicy 6 mm.

Wartość ciepłą spalania oleju określono na stanowisku laboratoryjnym za pomocą Kalorymetru LECO typu AC 600. Pomiar polegał na całkowitym spalaniu próbek badanych produktów o masie 5 g (+/- 0,0002 g) w atmosferze tlenu pod ciśnieniem 3 MPa w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie. Pomiar wykonywano w trzech powtórzeniach, a odczyt wyników przeprowadzono po około 5 minutach po ustabilizowaniu procesu, zgodnie z obowiązującą normą PN-86/C-04062.

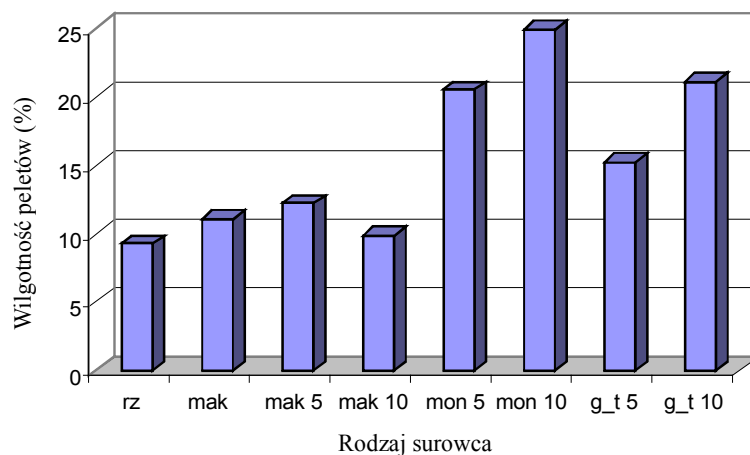
Wytrzymałość mechaniczną peletów przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 15210-1, za pomocą stanowiskowego testera obrotowego z trzema pojemnikami o znormalizowanych wymiarach, które obracały się z prędkością kątową $5,22 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ przez 600 s.

Analiza statystyczna polegała na wyznaczeniu podstawowych statystyk wszystkich zmiennych, jak: wartości średnie, odchylenia standardowe i macierze korelacji. Obliczenia wykonano za pomocą programu Statistica 6.0 firmy Statsoft.

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonych analiz początkowa wilgotność w badanym materiale nieprzetworzonym wahała się w przedziale od 4,5 dla makuch rzepakowych do 25% dla gliceryny.

Z rysunku 1 wynika, iż po wymieszaniu i poddaniu peletowaniu niniejszych surowców ich wilgotność była zróżnicowana i mieściła się w granicach od 9,3% dla czystej słomy rzepakowej do 25,5% dla słomy rzepakowej z 10% domieszką MONG'u. W sposób specyficzny zachowały się czyste makuchy rzepakowe, których wilgotność po procesie zagęszczania wzrosła z 4,5 do 11,5%. Zaistniała sytuacja mogła być spowodowana wyciekami zawartych w nich resztek oleju.

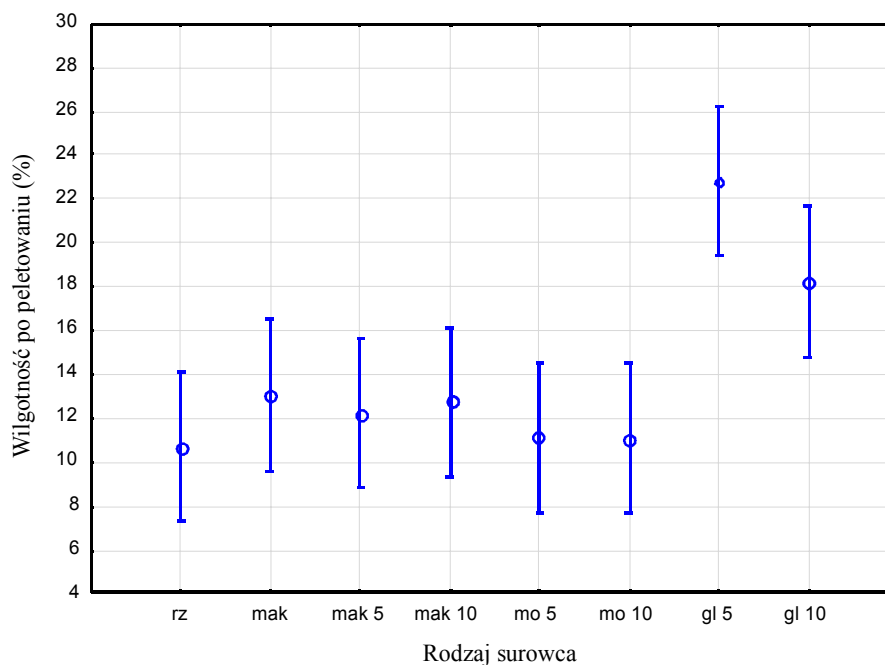


Rysunek 1. Wilgotność peletów po poddaniu procesowi zagęszczania
 Figure 1. Moisture of pellets after subjecting them to the compaction process

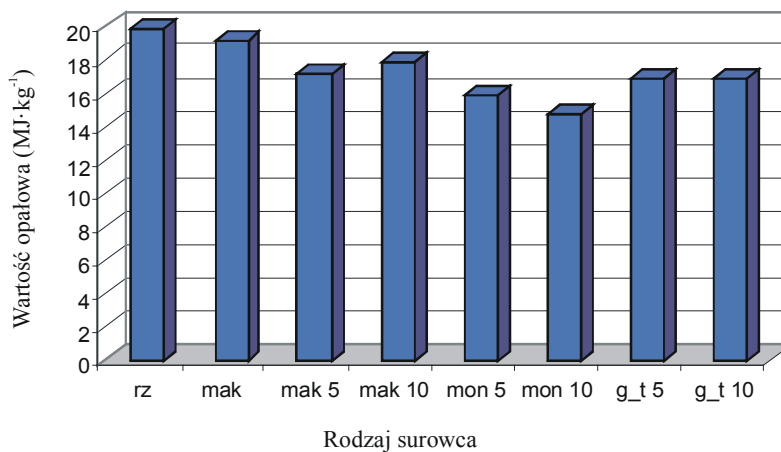
Wyniki analizy statystycznej, oceniającej zależność wilgotności od zastosowanego surowca po peletowaniu przedstawiono na rysunku 2. Przeprowadzone analizy wykazały, że dla materiałów reprezentowanych przez słomę rzepakową oraz makuch rzepakowych nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic. Różnice te zaobserwowano w przypadku zagęszczonych mieszanek słomy rzepakowej z 5 i 10% dodatkiem gliceryny technicznej i MONG'u w stosunku do wyżej wymienionych mieszanek. Podsumowując, można stwierdzić, że zagęszczanie materiału w temperaturze 95°C spowodowało w pierwszych przypadkach ujednoczenie zawartości wody w analizowanym materiale. Można również przypuszczać, iż panująca temperatura dla ostatniej z kombinacji mieszanek była zbyt niska lub też czas przebywania materiału był zbyt krótki i wilgotność peletów opuszczających pleciarkę wykraczała poza wartości określone normami.

Analizując wyniki wartości opałowej przedstawione na rysunku 3, możemy stwierdzić, że różnice pomiędzy poszczególnymi zestawieniami słomy rzepakowej, a jej domieszkami z produktami płynnymi są niewielkie. Najlepszymi właściwościami dla energetyki charakteryzowała się czysta słoma rzepakowa oraz makuchy rzepakowe, dla których parametr ten wynosił około 19,8 MJ·kg⁻¹, zgodnie z wynikami badań innych naukowców (Denysiuk, 2007). Najniższym wskaźnikiem wartości opałowej charakteryzowało się połączenie słomy rzepakowej z domieszką 5 i 10% zawartości MONG'u.

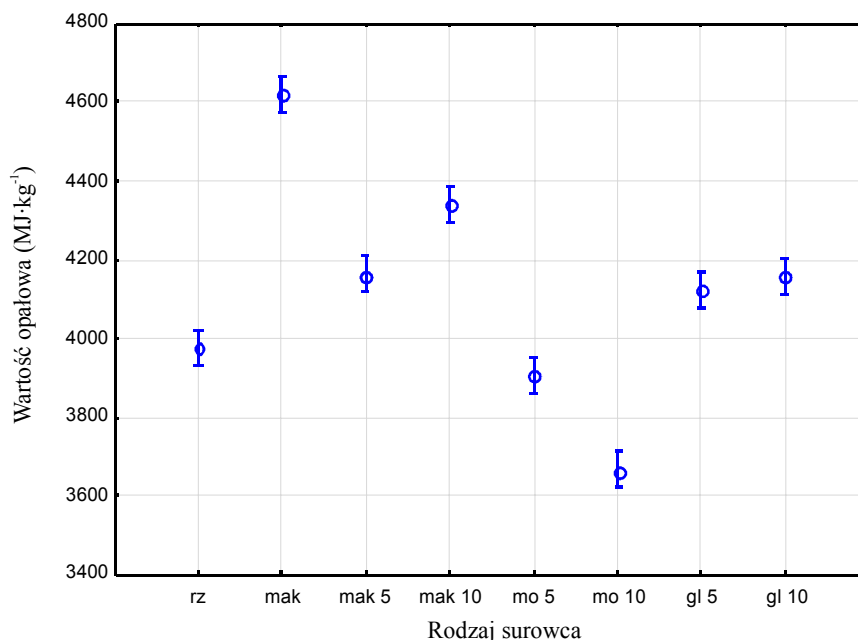
Analiza statystyczna wartości opałowej poszczególnych mieszanek surowców wykazała statystycznie istotnych różnicę pomiędzy wartością opałową czystej słomy rzepakowej, a wartością opałową pozostałych jej mieszanek. Na rysunku 4 można również zaobserwować niewielkie, ale statystycznie istotne, różnice pomiędzy właściwościami fizyko-temicznymi między mieszanką słomy rzepakowej z dodatkiem 5 i 10% zawartości gliceryny technicznej, a dodatkiem MONG'u.



Rysunek 2. Analiza wilgotności materialu po procesie zagęszczania poszczególnych surowców
Figure 2. Analysis of the moisture content after compaction process of particular raw materials



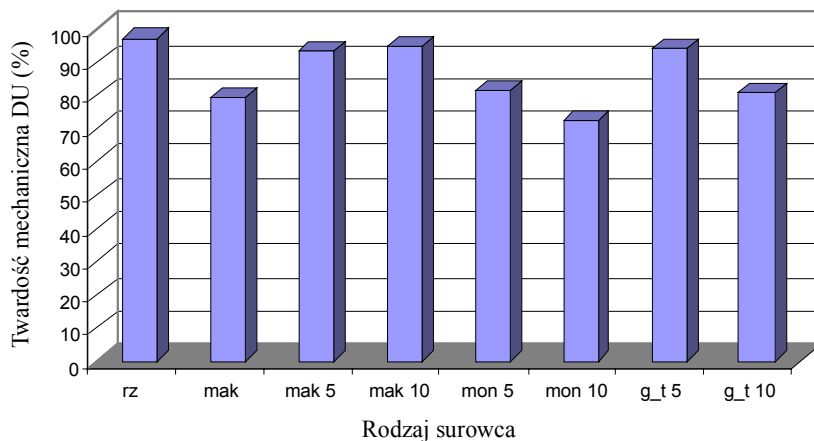
Rysunek 3. Wartość opalowa wyprodukowanych peletów
Figure 3. The calorific value of the produced pellets



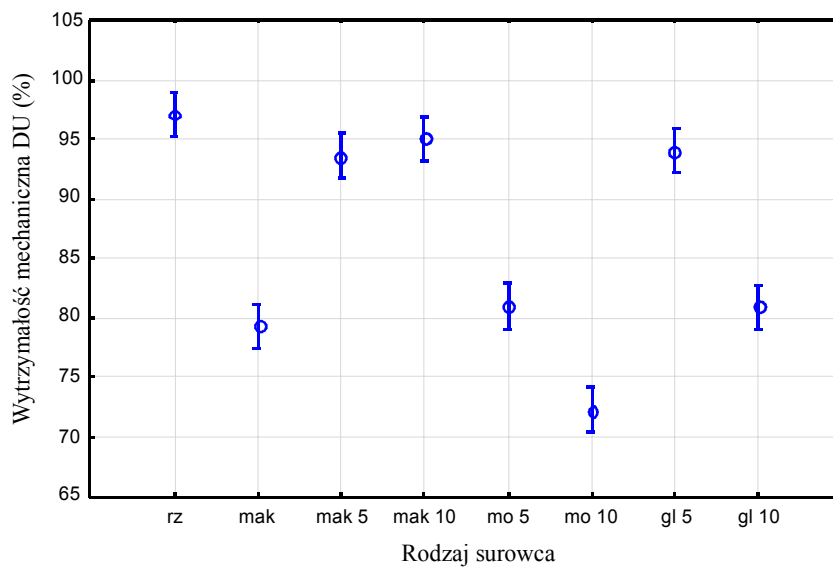
Rysunek 4. Analiza wartości opałowej w zależności od użytego surowca³³⁶
 Figure 4. Analysis of the calorific value according to the used material

Wyniki badań trwałości mechanicznej peletów (rys. 5) charakteryzowały się w połowie zadowalającym efektem końcowym, ponieważ tylko czysta słoma rzepakowa oraz z domieszką 5 i 10% dodatku makuch rzepakowych, jak i 5% dodatkiem gliceryny mieściła się w przyjętych normach jakościowych (96,5%). W przypadku peletów z czystych makuch rzepakowych, peletów z zawartością 5 i 10% MONG’u oraz 10% dodatkiem gliceryny technicznej, wytrzymałość na kruszenie mieściła się w granicy 70 do 80%. Mniejsza odporność na uszkodzenia wynika z faktu zawartości znacznej ilości resztek tłuszczu oraz wody, powodujących znaczne pogorszenie wytrzymałości.

Rozpatrywana analiza trwałości mechanicznej wykazała statystycznie istotne różnice pomiędzy peletami z czystej słomy rzepakowej, a peletami z makuch rzepakowych oraz z dodatkiem 5 i 10% zawartości MONG’u, jak i 10% zawartości gliceryny technicznej (rys. 6). Tak znaczne różnice w strukturze peletów są powiązane oczywiście z dodatkiem zastosowanych „lepiszczy”, mającym wpływ na końcowy produkt (polepszenie ich struktury cząsteczkowej lub zwiększenia wartości opałowej), a dokładnie na zawartość wody w produkcji (Skonecki, 2012).



Rysunek 5. Trwałość mechaniczna dla poszczególnego rodzaju peletów
 Figure 5. Mechanical durability for a particular type of pellets



Rysunek 6. Analiza trwałości mechanicznej w zależności od rodzaju surowca
 Figure 6. Analysis of the durability strength depending on the type of raw material

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie omówionych parametrów peletów ze słomy rzepakowej z domieszką produktów ubocznych z przemysłu spożywczego, paszowego oraz biopaliwowego możemy stwierdzić, że:

- wartość opałowa peletów mieści się w przedziale 14,5–19,8 MJ·kg⁻¹ i jest porównywalna z wartością opałową surowców, z których została wykonana,
- najmniejsza wrażliwością na uszkodzenia charakteryzowały się pelety ze 100% słomy rzepakowej 95 DU% oraz z domieszką 5 i 10% makuch rzepakowych 92 DU%,
- duża wilgotność materiału może powodować lepsze związanie ze sobą poszczególnych frakcji surowca, jednocześnie niekorzystnie wpływając na produkt końcowy, obniżając jego trwałość mechaniczną,
- celowym byłoby położenie nacisku na dalsze analizy poszczególnych parametrów mieszanek zawierających domieszkę pozostałości po oczyszczaniu gliceryny oraz samej gliceryny.

Literatura

- Adamczyk, F.; Frąckowiak, P.; Mielec, K.; Kośmicki, Z. (2005). Problematyka badawcza w procesie zagęszczania słomy przeznaczonej na opał. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*, 50(4), 5-8.
- Carone, MT.; Pantaleo, A.; Pellerano, A. (2011). Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Oleauropea L.* *Biomass Bioenergy*, 35, 402-10.
- Denysiuk, W. (2003). *Techniczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele grzewcze*. Rozprawa doktorska Olsztyn. Maszynopis.
- Denysiuk, W. (2007). Brykiety/pelety ze słomy w energetyce. *Inżynieria Rolnicza* 9(97), 41-47.
- García-Maraver, A.; Popov, V.; Zamorano, M. (2011). A review of European standards for pellet quality. *Renewable Energy*, 36, 3537-3540.
- Hejft, R. (2006). Wytwarzanie brykietów z odpadów roślinnych w ślimakowym układzie roboczym. *Inżynieria Rolnicza*, 5(80), 231-238.
- Hejft, R. (2002). *Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*. Politechnika Białostocka, Wyd. i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu, ISBN 8372042519.
- Holm, JK.; Henriksen, UB.; Hustad, JE.; Sorensen, LH. (2006). Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellet production. *Energy Fuel*, 20, 2686-94.
- Horabik, J. (2001). Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesach składowania. *Acta Agrophysica*, 54, 1-121.
- Jakubiak, M.; Kortylewski, W. (2008). Pelety podstawowym biopaliwem dla energetyki. *Archiwum Spalania*, 8, 3-4, 1-12.
- 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.
- Kaliyan, N.; Morey, RV.; White, MD.; Doering, A. (2009). Roll-press briquetting and pelleting of corn stover and switchgrass. *Trans ASAE*, 52, 543-55.
- Karta charakterystyki Gliceryny technicznej. (2009). Rafineria Trzebinia S.A.
- McMullen, J.; Fasina, OO.; Wood, AW.; Feng, Y. (2005). Storage and handling characteristics of pellets from poultry litter. *Appl Eng Agric*, 21, 645-51.
- Muzyka, R.; Topolnicka, T.; Wilk, B. (2011). Determination of the quality parameters of liquid biomass. Power engineering and environment. Modern Energy Technologies and Renewable Energy Resources, *Ostrowice 29-31. 08.2011*, 104-108.
- Niedziółka, I.; Zuchniarz, A. (2006). Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego. *MOTROL*, 8A, 232-237.

- Obernberger, I.; Thek, G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass Bioenergy*, 27, 653-69.
- Skonecki, S.; Potręć, M.; Laskowski, J. (2011). Właściwości fizyczne i chemiczne odpadów rolniczych. *Acta Agrophysica* 18(2), 443-455.
- Skonecki, S.; Laskowski, J. (2012). Wpływ średnicy komory i wilgotności słomy pszennej na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*, 19(2), 415-424.
- Szczukowski, S.; Tworkowski, J. (2006). *Zmiany w produkcji i wykorzystaniu biomasy w Polsce. Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii*. Podlaska fundacja rozwoju regionalnego, 25-28.
- Szwedziak, K. (2010). Energetyczne wykorzystanie słomy na terenie województwa opolskiego. *Inżynieria Rolnicza*, 5(123), 275-281.

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF RAW MATERIALS USED IN PRODUCTION OF SOLID BIOFUELS

Abstract. Many products which remain after agricultural and industrial production are characterized by relevant physico-chemical properties allowing their use as raw material for the production of pellets. The paper presents the analysis of physic-chemical properties and strength of pellets made of 100% rapeseed straw, rapeseed cake and rapeseed straw mixture of 5 and 10% share of cake weight, MONG and technical glycerin. The parameters concerning the moisture content and the calorific value as well as mechanical strength were analyzed. Overall, the investigated calorific value parameters showed that all lists used in these studies make the above raw materials a valuable material for the power industry.

Key words: oil cake, glycerol, Mong, calorific value, mechanical durability

Adres do korespondencji:

Magdalena Kachel-Jakubowska, e-mail: magdalena.kacheljakubowska@up.lublin.pl
Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin