

Rozdział 40

Analiza właściwości fizykochemicznych materiału z biomasy w formie pelletu z łupiny orzecha włoskiego

Michał Nabiątczyk, Dorota Musiał, Agnieszka Bala-Litwiniak

Politechnika Częstochowska
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów

Streszczenie: W rozdziale zaprezentowano możliwość wykorzystania materiału z biomasy w formie łupiny orzecha włoskiego do produkcji paliwa stałego w postaci granulatu. Celem badania było wytworzenie pelletu i sprawdzenie jego właściwości fizykochemicznych. Przeprowadzone badania obejmują określenie zawartości popiołu, części lotnych, wilgoci, gęstości nasypowej oraz ciepła spalania wytworzonego paliwa. Otrzymane wyniki pozwoliły na ustalenie przydatności łupiny orzecha w przemyśle energetycznym i określenie jakości wytworzonego paliwa.

Słowa kluczowe: łupina orzecha włoskiego, materiały z biomasy, paliwa alternatywne, właściwości fizykochemiczne

Wprowadzenie

Dynamicznie zmieniająca się rzeczywistość na rynku paliw kopalnych, spowodowana wybuchem wojny w Ukrainie, sankcjami Unii Europejskiej oraz skutkami niedawnej pandemii, doprowadziła do niedoborów węgla kamiennego. Ten surowiec energetyczny służył jako źródło energii nie tylko w elektrowniach i ciepłowniach, ale także w gospodarstwach domowych oraz małych przedsiębiorstwach. Według danych GUS z 2021 roku około 35% wykorzystanego w Polsce węgla przypadało na dwie ostatnie grupy (Berent-Kowalska i in. 2022, s. 12-13). Z powodu coraz trudniejszej sytuacji wielu przedstawicieli wymienionych grup zdecydowało się na wykorzystanie zamiennika w postaci paliw wytwarzanych z biomasy. Także rozporządzenia i dyrektywy unijne w znaczący sposób wpłynęły na decyzję o zmianie paliw kopalnych na alternatywne źródła (Regulation (EU) 2021..., s. 5). Zgodnie z dyrektywami państwa Unii mają ograniczyć do 2023 roku emisję CO₂ o co najmniej 55% w porównaniu z poziomami z roku 1990. Chociaż paliwa stałe z biomasy nie stanowią jedynej alternatywy dla paliw

kopalnych, są one dobrym i tanim zamiennikiem, a ich duża dostępność skłania do ich użytkowania. Pellety z takich materiałów jak rośliny szybko rosnące, drewno oraz niektóre biomasy odpadowe stanowią ekonomicznie opłacalne i ekologiczne zastępstwo dla węgla kamiennego ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne i niższe od pozostałych paliw opodatkowanie, (Dz.U. 2004 nr 54 poz. 535; Niedziółka, Zuchniarz 2006, s. 1; Kowalczyk-Juśko, Cybulski 2012, s. 155). Jednakże zwiększone z powodu ostatnich wydarzeń zainteresowanie ludności może przyczynić się do niedoboru oraz wzrostu cen biomasy. Aby temu przeciwdziałać, należy szukać dodatkowych źródeł biomasy, które można wykorzystać do produkcji paliw. Część materiałów z biomasy, zwłaszcza odpadowej, wciąż można wykorzystać do produkcji paliw stałych, które są łatwe i czyste w użytkowaniu, wykazując przy tym lepsze od nieprzetworzonej biomasy właściwości energetyczne (Zajemska, Musiał 2013, s. 108).

Energetyczne wykorzystanie materiałów z biomasy rolniczo-spożywczej

Łupina orzecha włoskiego to materiał z biomasy odpadowej, który nadaje się do wykorzystania w przemyśle energetycznym. Światową produkcję orzecha włoskiego szacuje się na około 2-3 mln ton rocznie, z czego Polska dostarcza niemal 7 tys. ton (Bogumił i in. 2022, s. 43). Orzech włoski znajduje zastosowanie głównie w przemyśle spożywczym jako dodatek do produktów takich jak batony i maśła orzechowe. Można z niego otrzymać także olej, który wykorzystuje się zarówno do produkcji lakierów i farb, jak i w przemyśle spożywczym (Wroniak i in. 2016, s. 45). Wykorzystaniu ulega jednak tylko nasiono, nie zaś jego skorupka, która stanowi połowę masy orzecha włoskiego (Matin i in. 2023, s. 1). W związku z tym przemysł przyczynia się do znacznej produkcji odpadu w postaci łupiny. Skorupka znajduje zastosowanie w małych ilościach jako ściółka dla zwierząt, natomiast jej znaczna część jest spalana na polach i ogrodach (Gürdil i in. 2016, s. 162). Łupina może być także potencjalnie wykorzystana jako dodatek do kompozytów cementowych i betonów w celu poprawy ich właściwości mechanicznych (Łasica, Małek 2021, s. 2). Łupina orzecha włoskiego posiada jednak jeszcze jedno zastosowanie – jako materiał dla przemysłu energetycznego, w formie niedrogiego, ekologicznego i odnawialnego źródła energii. W celu użycia łupiny w energetyce należy zwrócić szczególną uwagę na właściwości fizykochemiczne paliwa, określone w odpowiednich normach i przepisach unijnych (PN-EN ISO 17225-6 (2021), s. 5). To dzięki nim będzie można otrzymać paliwo spełniające wymagania jakościowe, niebędące zagrożeniem dla środowiska naturalnego oraz zdrowia i życia człowieka. Z biomasy można wytwarzać paliwo stałe w postaci pelletu, które będzie łatwe i czyste w użyciu. Przed przystąpieniem do pelletyzacji materiał należy najpierw poddać procesowi suszenia i rozdrabniania. Suszenie przyczyni się do zwiększenia wartości opałowej materiału, pozwoli na

jego bezpieczne magazynowanie i nie dopuści do gnicia składowanego pelletu. Przygotowany pellet należy poddać szeregowi badań mających na celu ustalenie jego właściwości fizykochemicznych zgodnie z obowiązującymi normami.

Metodyka badawcza

Do przeprowadzenia badań zostały użyte orzechy włoskie z własnej plantacji z 2022 roku. Wszystkie orzechy zostały zebrane i składowane przez okres trzech miesięcy w zaciemnionym i zadaszonym pomieszczeniu, gdzie były poddane procesowi suszenia. Wszystkie orzechy zostały rozdzielone i oczyszczone ręcznie przed przystąpieniem do następných procesów. Przed dalszym przetwarzaniem materiału zbadano wartość gęstości nasypowej dla nieprzetworzonej biomasy. Oczyszczone i wysuszone łupiny zostały rozdrobnione przy pomocy laboratoryjnego młynka nożowego FAEL PSM – 1SRP i przesiane przez sito o średnicy otworów 1 mm. Po rozdrobnieniu biomasy został przeprowadzony proces pelletyzacji przy pomocy pelletarki przemysłowej ZLSP 150B o mocy 4 kW. W jego wyniku otrzymano paliwo stałe w postaci granulatu (*rys. 40.1*) o średnicy 6 mm i długości około $3,15 \pm 40$ mm.

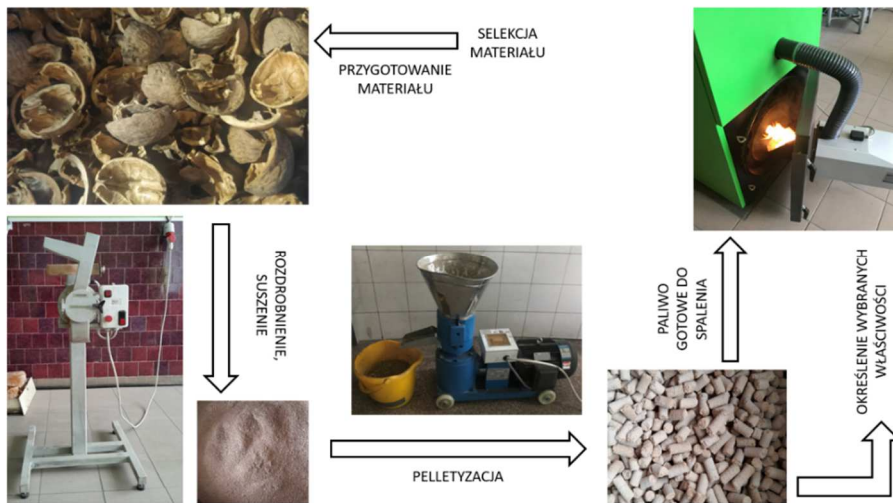


Rysunek 40.1. Pellety z łupiny orzecha włoskiego

Źródło: Opracowanie własne

W procesie użyty został lignosulfonian wapnia w formie lepiszcza w ilości około 2% (Kulig i in. 2010, s. 33) oraz woda. Wyprodukowany pellet w ilości około 30 kg został ponownie osuszony do stanu powietrzno-suchego przez okres dwóch tygodni. Następnie część pelletów zmielono w młynku i przeprowadzono szereg badań, do których można zaliczyć oznaczanie zawartości popiołu,

zawartości części lotnych, wilgoci oraz wartości ciepła spalania paliwa. Dla wytworzonego pelletu określono także wartość gęstości nasypowej. Rezultaty wszystkich badań zostały przedstawione w *tab. 40.1*. Przebieg procesu peletyzacji przedstawiono na *rys. 40.2*.



Rysunek 40.2. Schemat przetwarzania łupiny orzecha w paliwo do celów energetycznych

Źródło: Opracowanie własne

Do badania zawartości wilgoci przygotowane zostały trzy próbki w szklanych pojemnikach zgodnie z normą PN-EN ISO 18134-1. Do każdego z wstępnie wygrzanych pojemników odważono 1 g próbki z dokładnością do 0,0001 g. Próbki z naważkami umieszczono w nagrzanym do 105°C suszarce laboratoryjnej FN 055 i utrzymywano w tej temperaturze przez godzinę. Wyjęte próbki ostudzono do temperatury pokojowej w ekcykatorze i dokonano pomiarów masy na wadze laboratoryjnej. Zważone próbki ponownie umieszczono w ekcykatorze, a następnego dnia powtórzono proces suszenia, aż do uzyskania stałej masy. Przyjęte wyniki użyto do obliczenia procentowej zawartości wilgoci.

Badanie zawartości popiołu przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 18122. Do wygrzanych w temperaturze 550°C tygli ceramicznych odważono 1 g biomasy z dokładnością do 0,001 g. Następnie próbki umieszczono w piecu muflowym i stopniowo, przez okres 40 min, podnoszono temperaturę do 250°C. W tej temperaturze próbki były utrzymywane przez godzinę, żeby pozwolić na ulotnienie się części lotnych przed zapłonem materiału. Następnie przez pół godziny podnoszono temperaturę do 550°C i utrzymywano w niej próbki przez 120 min. Po upływie tego czasu próbki ostudzono i umieszczono w ekcykatorze. Po osiągnięciu temperatury pokojowej ponownie zważono próbki i obliczono zawartość popiołu.

Do przeprowadzenia badania zawartości części lotnych skorzystano z normy PN-EN ISO 18123. Do wygrzanych w temperaturze 900°C tygli ceramicznych odważono 1 g materiału na wadze laboratoryjnej z dokładnością do 0,001 g i wsadzono do pieca rozgrzanego do temperatury 900°C na okres 7 min. Po upływie czasu tygle wyciągnięto i ochładzano na powietrzu przez 10 min, po czym umieszczono je w ekzykatorze na pół godziny. Ostudzone do temperatury pokojowej tygle zważono na wadze laboratoryjnej, a na ich podstawie obliczono zawartość części lotnych.

Przeprowadzono oznaczanie ciepła spalania przy użyciu kalorymetru KL-12Mn2 wyposażonego w bombę tlenową, zgodnie z normą PN-EN 14918. Do próbki odważono 1 g biomasy z dokładnością do 0,0001 g. Po zważeniu próbkę odpowiednio spreparowano i umieszczono wewnątrz bomby tlenowej. Bombę napełniono sprężonym tlenem pod ciśnieniem 40 atm, umieszczono w kalorymetrze i uruchomiono program badawczy. Próbę przeprowadzono pięć razy, odrzucając dwa najbardziej skrajne wyniki. Następnie otrzymane wartości ciepła spalania, zawartości popiołu, części lotnych i wilgoci użyto w programie komputerowym do obliczenia wartości opałowej paliwa.

Wyniki badań

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w *tab. 40.1*.

Tabela 40.1. Wyniki badań wybranych właściwości fizykochemicznych dla pelletu z łupiny orzecha włoskiego

Wybrana właściwość fizykochemiczna	Wyniki badań	Wartości według normy PN-EN ISO 17225-6	Wartości według normy PN-EN ISO 17225
Gęstość nasypowa łupiny orzecha (g/dm ³)	226,09	≥ 550	≥ 600
Gęstość nasypowa pelletu (g/dm ³)	441,10	≥ 550	≥ 600
Średnia zawartość wilgoci (%)	8,25	≤ 15	≤ 10
Średnia zawartość popiołu (%)	1,31	≤ 10	≤ 2
Średnia zawartość części lotnych (%)	77,72	-	-
Średnie ciepło spalania analityczne Q _{sa} (MJ/kg)	18,17	-	-
Średnia wartość opałowa analityczna Q _{ia} (MJ/kg)	16,90	≥ 14,5	≥ 16,5

Źródło: Opracowanie własne, PN-EN ISO 17225-6 (2021), PN-EN ISO 17225 (2014)

Analizując otrzymane wyniki, można zauważyć, że średnia wilgoc dla otrzymanego pelletu wynosi 8,25% i mieści się w normie zarówno dla pelletów nie-drzewnych, jak i drzewnych. Podobnie zawartość popiołu osiąga średnią wartość 1,31% i tym samym spełnia wymagania obu norm. Zjawisko to jest pozytywne

i świadczy o wysokiej jakości wytworzonego paliwa oraz użyteczności biomasy w postaci łupiny orzecha włoskiego dla zastosowań energetycznych. Zawartość części lotnych w pelletach wynosi średnio 77,72%. Dzięki temu paliwo charakteryzuje się większą reaktywnością w porównaniu z paliwami tradycyjnymi, kompensując to zmniejszoną wartością opałową, która wynosi średnio około 16,9 MJ/kg. Wartość opałowa, podobnie jak pozostałe właściwości fizykochemiczne, spełnia wymagania zarówno dla pelletów nieдрzewnych, jak i drzewnych. Relatywnie niska wartość opałowa paliwa w porównaniu z paliwami kopalnymi może zostać zredukowana poprzez stworzenie pelletu z mieszanki kilku różnych rodzajów biomasy. Alternatywnie możliwe jest zastosowanie pelletu z łupiny w procesie współspalania, choć ze względu na kryzys na rynku paliw kopalnych nie jest to rozwiązanie pewne i opłacalne. Gęstość nasypowa zarówno przed, jak i po pelletyzacji jest niska i nie spełnia wymagań określonych w normach. Główną przyczyną jest kruchość wytworzonego pelletu, mogąca mieć podłoże w niewłaściwie dobranych proporcjach wody do biomasy w mieszaninie przeznaczonej do pelletyzacji. Inną prawdopodobną przyczyną jest niska jakość oraz długi okres eksploatacji pelletearki. Można zauważyć niemal dwukrotny wzrost gęstości nasypowej granulatu w porównaniu z nieprzetworzonym materiałem, a co za tym idzie, wzrost wartości gęstości nasypowej świadczy o pozytywnym wpływie przetwarzania materiału z biomasy na pellety.

Otrzymane wyniki pozwalają na zweryfikowanie przydatności paliwa i jego jakości, ale nie pozwalają na dogłębne sprawdzenie jego wpływu na środowisko naturalne oraz kotły, w których będzie ono spalane. Aby się tego dowiedzieć, należy przeprowadzić właściwe badania, które pozwolą w sposób dokładniejszy określić poziom jakości otrzymanego paliwa.

Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że paliwo stałe w postaci pelletu z analizowanej biomasy spełnia większość wymagań obecnych w normach unijnych. Co więcej, wyniki mieszczą się nie tylko w normie określającej wymagania dla pelletów nieдрzewnych, ale także dla pelletów drzewnych. Świadczy to o wysokiej jakości wytworzonego paliwa. Wartość opałowa wynosząca 16,9 MJ/kg pozwala na wykorzystanie pelletu z łupiny orzecha włoskiego w celach energetycznych. Niska zawartość popiołu wynosząca 1,31% pozytywnie świadczy o wytwarzanym paliwie z punktu widzenia ekologicznego, natomiast wartość wilgoci na poziomie 8,25% pozwala na bezpieczne składowanie i eksploatację paliwa. Łupina orzecha włoskiego jest zatem materiałem, który nadaje się do produkcji paliw w celach energetycznych dla gospodarstw domowych i małych przedsiębiorstw.

Niska gęstość nasypowa może mieć przyczynę w niewłaściwych proporcjach wody w stosunku do biomasy lub w niskiej jakości i zużyciu sprzętu laboratoryjnego w postaci pelletearki. Usprawnienie procesu pelletyzacji poprzez wymianę

sprzętu lub dobór właściwych proporcji może w znaczący sposób wpłynąć na zwiększenie wartości gęstości nasypowej. Wykonanie paliwa będącego mieszanką różnych rodzajów biomasy również może wpłynąć na zwiększenie gęstości nasypowej.

Stosunkowo niska, choć wystarczająca z punktu widzenia normy prawnej wartość opałowa, może zostać zwiększona poprzez zastosowanie procesu współspalania z paliwami konwencjonalnymi lub wytworzenia pelletu będącego mieszaniną różnych rodzajów biomasy odpadowej.

Brak danych dotyczących wpływu spalania materiału w kotłach na ich elementy stalowe oraz wpływ na środowisko rodzi potrzebę przeprowadzenia badań w tym zakresie. Przeprowadzenie chromatografii gazowej pozwoliłoby na wykrycie potencjalnie szkodliwych związków w spalinach i umożliwiłoby dokładniejsze określenie przydatności paliwa pod względem ekologicznym.

Literatura

1. Berent-Kowalska G., Peryt S., Kacprowska J., Boczek-Gizińska R., Żarek E., Brasse J. (2022), *Zużycie paliw i nośników energii w 2021 r.*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
2. Bogumił A., Borychowska H., Dach-Oleszek I., Dziejowska I., Dziergowska A., Floriańczyk Z., Grabowska A., Kuliś M., Majcher A., Miziołek D., Obarowski A., Orzanowska A., Przypaśniak J., Pytkowska R., Rafa W., Tylkowska-Siek A., Wasilewska K., Wojciechowski M., Wróblewska A., Zaremba Ł., Zbrzeska E. (2022), *Rolnictwo w 2021 r.*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
3. Gürdil G., Demirel B., Baz Y., Demirel Ç. (2016), *Pelleting Hazelnut Husk Residues for Biofuel*, Proceeding of 6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2016, s. 162-165, <http://2016.tae-conference.cz/proceeding/TAE2016-025-G-Gurdil.pdf> (dostęp: 26.02.2023).
4. Kowalczyk-Juśko A., Cybulski J. (2012), *Biomasa drzewna jako surowiec dla energetyki*, „Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe”, 13, 10, s. 155-158.
5. Kulig R., Skonecki S., Gawłowski S., Zdybel A., Łysiak G. (2013), *Oddziaływanie ciśnienia na efektywność zageszczania trocin wybranego drewna miękkiego*, „Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria”, 12(1-2) 2013, s. 31-40.
6. Łasica W., Małek M. (2021), *Wpływ dodatku odpadowych granulowanych lupin orzecha oraz kolb kukurydzy na właściwości mechaniczne kompozytów cementowych i betonów*, [w:] Jędrzejewska J., Danielewska A., *Nauki ścisłe i przyrodnicze – przegląd wybranych zagadnień*, s. 158-177, Wydawnictwo Naukowe Tygiel, Lublin.
8. Matin A., Brandić I., Voća N., Bilandžija N., Matin B., Jurišić V., Špelić K., Antonović A., Grubor M., Krička T. (2023), *Influence of Conduction Drying on the Physical and Combustion Properties of Hazelnut Shell*, „Energies”, 16, 3, 1297.
9. Niedziółka I., Zuchniarz A. (2006), *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, „Motrol”, 8A, s. 232-237, <https://pdf4pro.com/view/analiza-energetyczna-wybranych-rodzaj-211-w-257104.html> (dostęp: 20.02.2023).
10. PN-EN 14918 (2010), *Biopaliwa Stałe – Oznaczenie wartości opałowej*, PKN, Warszawa.
11. PN-EN ISO 17225 (2014), *Biopaliwa Stałe – Specyfikacja paliw i klasy, Część 2: Klasy peletów drzewnych*, PKN, Warszawa.

12. PN-EN ISO 17225-6 (2021), Biopaliwa stałe – Specyfikacje paliw i klasy, Część 6: Klasy peletów nieдрzewnych, PKN, Warszawa.
13. PN-EN ISO 18122 (2015), Biopaliwa Stałe – Oznaczanie zawartości popiołu, PKN, Warszawa.
14. PN-EN ISO 18123 (2015), Biopaliwa Stałe – Oznaczanie zawartości części lotnych, PKN, Warszawa.
15. PN-EN ISO 18134-1 (2015), Biopaliwa Stałe – Oznaczanie zawartości wilgoci metodą suszarkową, Część 1: Wilgoć całkowita Metoda referencyjna, PKN, Warszawa.
16. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law') (2021), „Official Journal of the European Union”, 243.
17. *Światowa produkcja orzecha włoskiego według kraju*, AtlasBig.com, <https://www.atlasbig.com/pl/kraje-wedlug-produkcji-orzecha-wloskiego#:~:text=%C5%9Awiatowa%20produkcja%20orzecha%20w%C5%82oskiego%20wed%C5%82ug%20kraju%20Chiny%20jest,jest%20trzecim%20co%20do%20wielko%C5%9Bci%20producentem%20orzecha%20w%C5%82oskiego> (dostęp: 05.03.2023).
18. Ustawa z dnia 11 marca 2004 r. o podatku od towarów i usług (Dz.U. 2004 nr 54 poz. 535).
19. Wroniak M., Parzychowska J., Rękas A. (2016), *Charakterystyka i porównanie wartości żywieniowej orzechów i otrzymanych z nich olejów*, „Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego” 71, 3, s. 44-58.
20. Zajemska M., Musiał D. (2013), *Energetyczne wykorzystanie biomasy z produkcji rolniczej w procesie współspalania*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, 21, 4, s. 107-118.

Analysis of Physicochemical Properties of Pellets Made from Walnut Shells

Abstract: The chapter presents the possibility of using biomass material in the form of walnut shells for the production of solid fuel in the form of granules. The aim of the study was to produce a pellet and check its physicochemical properties. The tests carried out include the content of ash, volatile parts, moisture, bulk density and heat of combustion of the produced fuel. The obtained results made it possible to determine the usefulness of walnut shells in the energy industry and to determine the quality of the produced fuel.

Keywords: alternative fuels, biomass materials, physicochemical properties, walnut shell