

WŁAŚCIWOŚCI ENERGETYCZNE WYBRANYCH GATUNKÓW BIOMASY

Jan Mółka, Bogusława Łapczyńska-Kordon

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące oznaczenia zawartości popiołu, ciepła spalania i wartości opałowej dla danych wilgotności materiałów. Wyniki tych pomiarów zostały przeprowadzone zgodnie z Polskimi Normami i potwierdziły, że ziarno zbóż może być surowcem energetycznym, gdyż, w porównaniu z innymi odnawialnymi źródłami energii, uzyskana wartość opałowa kształtowała się na poziomie $16 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, przy niskim udziale balastu w postaci popiołu i wilgoci. Ziarna zbóż charakteryzowały się najwyższą wilgotnością spośród wszystkich badanych gatunków biomasy, dlatego własność ta w większym stopniu wpłynęła na obniżenie ciepła spalania i po przeliczeniu na wartość opałową.

Słowa kluczowe: biomasa, wartość opałowa, popiół, wilgotność

Wstęp

Współczesna energetyka wciąż poszukuje odnawialnych źródeł energii, z których według nowych uregulowań prawnych UE w 2015 roku zostanie wyłączona biomasa leśna. Obecnie 4% ($190 \text{ mln t} \cdot \text{rok}^{-1}$) zapotrzebowania na energię Unia Europejska zaspokaja biomasą, niemniej jednak do 2020 roku ma nastąpić wzrost zużycia biomasy do 8%, czyli $380 \text{ mln t} \cdot \text{rok}^{-1}$ [Nowa Energia 2008]. Dodatkowo, wypełnienie zobowiązań udziału 15% energii odnawialnej w zużyciu energii ogółem w kraju w 2020 roku, które przyjęła Polska, wymusza by poszukiwać nowych rodzajów biomasy. Ponieważ plantacje wierzby energetycznej, ślazu pensylwańskiego, czy innych mniej znanych roślin energetycznych w Polsce, produkujące ok. 30% biomasy, nie zaspokoją zapotrzebowania na energię, dlatego Minister Gospodarki wydał rozporządzenie 14 sierpnia 2008 r. pozwalające na traktowanie ziarna zboża, jako odnawialnego źródła energii, z przeznaczeniem na spalanie [Dz.U.Nr 156, poz.969].

Energetyczna ocena biomasy wymaga zastosowania tych samych zasad, jak w ocenie tradycyjnych paliw stałych [Winnicka i in. 2005]. Podstawowym parametrem przy wykorzystaniu biomasy na cele energetyczne jest jej wartość opałowa, którą wyznacza się dla próbki o znanej wilgotności. Dlatego konieczne jest wyznaczenie wilgotności biomasy, która zmienia się w zależności od jej rodzaju i maleje wraz z okresem sezonowania. Stwierdzono na podstawie badań, że spalanie biomasy w tradycyjnych kotłach c.o. powinno odbywać się przy wartości wilgotności poniżej 15% [Kubica i in. 2003].

Dlatego w pracy podjęto próbę przeprowadzenia analizy właściwości energetycznych wybranych gatunków biomasy, poprzez określenie ciepła spalania, wartości opałowej, zawartości popiołu oraz wilgotności.

Metodyka badań

Materiał badawczy stanowiły ziarna zbóż: owsa, pszenicy, jęczmienia oraz, jako materiał porównawczy, słoma w postaci peletów, łądygi wraz z suchymi liśćmi z dwóch odmian słonecznika, zdrewniałe frakcje palmy i oliwy, buk oraz otręby zbożowe (20% owsa i 80% jęczmienia). Dla każdego z tych materiałów, po wcześniejszym rozdrobnieniu, wykonano oznaczenie wilgotności, a następnie oznaczono zawartość popiołu, ciepła spalania oraz wartość opałową. Do tego celu wykorzystano następujące urządzenia: suszarkę konwekcyjną typu Elkon, piec muflowy SNOL, kalorymetr KL-12 oraz wagę analityczną o dokładności 0,0001 g.

Analiza właściwości energetycznych nośnika energii polega na oznaczeniu zawartości wilgoci, popiołu, ciepła spalania i obliczenia wartości opałowej. Na podstawie wyników tych oznaczeń, uzyskuje się podstawowe informacje o budowie i właściwościach użytkowych danego materiału (paliwa). Zawartość wilgoci i popiołu jest miarą ilości balastu w próbce paliwa. Oznaczenie ciepła spalania i wartości opałowej stanowi podstawę oceny jakości paliwa jako surowca energetycznego. Na zgromadzonym materiale przeprowadzono badania obejmujące wyznaczenie wilgotności analitycznej, zawartości popiołu oraz ciepła spalania i wartości opałowej.

Wilgotność analityczną W^a , oznaczono zgodnie z normą PN-80/G-04511, metodą suszarkową. Do badań przygotowano próbki rozdrobnionego biopaliwa do frakcji poniżej 0,2 mm o masie około 1g i umieszczono w naczynkach szklanych. Tak przygotowane próbki suszono w atmosferze powietrza o temperaturze 378-383K (105-110°C), w suszarce elektrycznej ELKON, z termostatyczną regulacją temperatury, przez 90 minut. Po wysuszeniu, przed wyjęciem z suszarki, naczynko szklane z próbką zostało zamknięte pokrywką i umieszczone w eksykatorze, a następnie, po osiągnięciu temperatury otoczenia, zważone na wadze analitycznej. Suszenie cyklicznie ponawiano w odstępach 15 minutowych tak długo, aż masa ustaliła się, z dokładnością $\pm 0,0010$ g.

Oznaczanie zawartości popiołu A wykonano według PN-80/G-04512. Badanie to polegało na całkowitym spalaniu i wyżarzeniu próbki analitycznej paliwa o masie $1g \pm 0,1$, rozdrobnionego do frakcji poniżej 0,2 mm w piecu muflowym, ogrzanym do temperatury $815 \pm 10^\circ\text{C}$. Zastosowano metodę powolnego spopielenia, w której odważone próbki w naczynku wstawiono do zimnego elektrycznego pieca muflowego, a następnie ogrzewano go tak, aby po 30 minutach osiągnąć temperaturę wewnątrz pieca 500°C , a po 30-50 minutach $815 \pm 10^\circ\text{C}$. W tej temperaturze pozostawiono próbki przez 90 minut. Następnie naczynka ze spopielonymi próbkami, po wyjęciu z pieca, schładzano do temperatury otoczenia i ważono na wadze analitycznej.

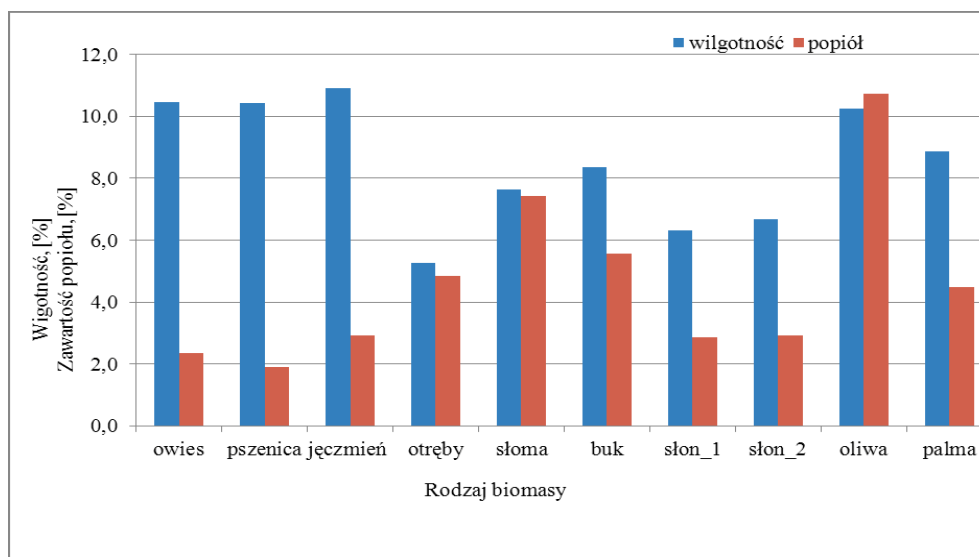
Oznaczenie wartości ciepła spalania Q_s biomasy wykonano w oparciu o normy PN-81/G-04515 i PN-ISO 1928 według, których jest ono ilością ciepła, uzyskaną podczas spalania zupełnego i całkowitego jednostki masy paliwa stałego w atmosferze tlenu.

Końcowymi produktami spalania są gazy schłodzone do temperatury otoczenia, do których należą: tlen, azot, dwutlenek węgla, dwutlenek siarki, jak również woda oraz popiół. Wartość opałowa Q_w została obliczona z zależności pomiędzy ciepłem spalania a wartością opałową, według której jest ona równa ciepłu spalania pomniejszonemu o ciepło parowania wody, uzyskanej z paliwa w procesie spalania oraz wilgoci higroskopijnej. Wartość opałowa zależy istotnie od wilgotności materiałów higroskopijnych, jakim są biopaliwa stałe. Wartość opałową obliczono przy pomocy programu komputerowego sterującego pracą kalorymetru (zgodnego z normami PN-80/G-04511 oraz PN-ISO 1928).

Wyniki

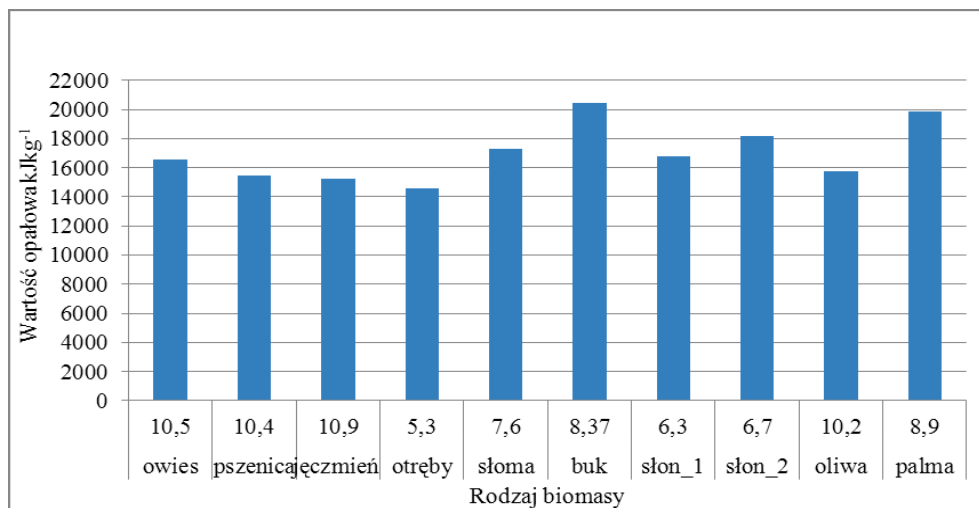
Przeprowadzone badania wskazują, że wilgotność materiału spalanego ma znaczący wpływ zarówno na zawartość popiołu jak i na ciepło spalania. Wyniki zaprezentowano na dwóch poniższych wykresach, przedstawiających procentową zawartość popiołu i wilgotność w zależności od rodzaju biomasy oraz wartość opałową w funkcji jej wilgotności i rodzaju (rys. 1, 2).

Przeprowadzona analiza właściwości energetycznych wybranych gatunków biomasy jako biopaliw wykazała, że ziarno zbóż posiada bardzo niską zawartość popiołu, który, podobnie jak i wilgotność, stanowi balast paliwa. Wartość opałowa zbóż kształtuje się na poziomie od $15,3 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla jęczmienia do $16,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla owsa.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Wpływ wilgotności materiałów biologicznych na zawartość popiołu
Fig. 1. Influence of biological materials moisture on the ash content



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Wpływ wilgotności materiałów biologicznych na ich wartość opałową
 Fig. 2. Influence of biological materials moisture on their calorific value

Podobną wartość opałową uzyskano dla oliwy – około $15,7 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, niemniej jednak okazało się, że oliwa posiada zwiększony balast w postaci około 5 razy większej zawartości popiołu. Zatem na podstawie tej analizy można stwierdzić, że przydatność oliwy jako biopaliwa jest gorsza w porównaniu do ziarna zbóż. Badania wykazały również, że, podobnie jak w przypadku oliwy, wysoką zawartością popiołu charakteryzują się: słoma żółta (7,42%), palma (4,5%) oraz buk (5,58%). Wyższą zawartość popiołu posiadają również otręby zbożowe (około 5%), których strukturę w przeważającym stopniu stanowią łuski ziaren, co może stanowić potwierdzenie hipotezy mówiącej o tym, że nadwyżka energii chemicznej w odniesieniu do pełnego ziarna zbóż skoncentrowana jest najprawdopodobniej w bielmie. Przeprowadzone analizy wykazały również, że zawartość popiołu w badanej biomase jest znacznie mniejsza od zawartości popiołu w większości węgla (około 15-20%) i znacznie różni się składem chemicznym i zawartością minerałów [Ściążko i in. 2006].

Z uwagi na współspalanie biomasy z węglem, zarówno paliwo kopalniane jest rozdrabnianie w młynach węglowych, jak i biomasa (najczęściej do ziarna $< 2 \text{ mm}$). Rozdrobnienie słomy lub wierzby energetycznej i innych roślin łądgowych, o twardej strukturze drzewnej, stanowi wielki problem, ponieważ trudno jest uzyskać z całej masy materiału roślinnego produkt w postaci ziarna o jednakowej średnicy, tak jak w przypadku węgla. Po rozdrobnieniu biomasy występują poszarpane frakcje o przeróżnych wymiarach, co uwarunkowane jest włóknistą strukturą, która, w przypadku wierzby, po zrębkowaniu przyjmuje kształt poszarpanych prostopadłościanów. Dlatego, pod względem przygotowania biopaliwa do spalania, ziarno zbóż jest dogodnym materiałem do rozdrobnienia, gdyż dla każdego gatunku ziarna zbóż są opracowane i wciąż modyfikowane technologie prze-

miałowe, dzięki czemu elektrocieplownie w łatwy sposób mogłyby dostosować wielkość ziarnistych drobin biomasy do swoich potrzeb.

Na podstawie badań stwierdzono również, że buk charakteryzuje się bardzo wysoką wartością opałową, około $20 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Jednak trudnością technologiczną w przypadku buka jest proces rozdrabniania, który uniemożliwia uzyskanie jednorodnych cząstek o kształcie kolistym. Zazwyczaj uzyskuje się frakcje dużo większe niż ziarno węgla, przez co proces współspalania może być silnie zakłócony, nie tylko z uwagi na różne czasy zapłonu frakcji biomasy bukowej, ale też czas zgazowania i spopielenia tych cząstek. Wpływ na czasy poszczególnych faz procesu spalania będą wynikać też z różnej struktury biologicznej i odmiennej topologii chemicznej pierwiastków wewnątrz cząstki biomasy, w odniesieniu do węgla. Także, niejednokrotnie rozdrobnienie biomasy drzewnej wymusza zaadaptowanie dużo większej ilości młynów przemiałowych niż przy przemieleniu tej samej masy węgla. Większa ilość młynów, działających z mniejszą sprawnością, z uwagi na trudność rozcierania materiału, sprawia, że cały proces staje się bardziej energochłonny.

Ocena przydatności materiałów biologicznych do spalania wykazała, że pelety ze słomy, pomimo prawie 3 krotnie większej zawartości popiołu niż w ziarnie zbóż, ze względu na wartość opałową, przekraczającą $17 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, są paliwem konkurencyjnym. Wyniki te uzyskano jednak dla niższej wilgotności peletów ze słomy o około 3% w stosunku do ziarna zbóż, a wilgotność, w przypadku biomasy, ma silny wpływ na wartość opałową. Ponadto, w przypadku pelet ze słomy, należy uwzględnić energochłonność procesu paletyzacji, która będzie miała wpływ szczególnie na końcowe koszty pozyskania energii z tego nośnika. Wysoką wartość opałową wynoszącą $19,9 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ uzyskano także dla palmy oraz dwóch odmian słonecznika (łodygi) $16,7 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ oraz $18,2 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, ale dla niższej wilgotności niż dla ziarna zboża. Ich wilgotność, szczególnie w przypadku słonecznika, była prawie 2 krotnie mniejsza w porównaniu z ziarnem zbóż. Teoretycznie wartość opałowa zależy głównie od stopnia uwęglenia spalanego materiału, czyli jego składu chemicznego, który umożliwia określenie wartości opałowej, na podstawie zawartości pierwiastków palnych w jej składzie, ze wzorów przybliżonych. Jednak badania potwierdzają, że wilgotność jest czynnikiem zdecydowanie obniżającym ten jakościowy parametr energetyczny paliwa. Pomimo, że próbki palmy i obu odmian słonecznika charakteryzowały się dobrymi właściwościami energetycznymi, to ze względu na ich dostępność, mają graniczną możliwość szerszego zastosowania. Natomiast uprawy zbóż mogą dostarczać energii nie tylko ze słomy lub jej pochodnych, ale nośnikiem energii może być też ziarno zbóż. Spośród wszystkich zbóż największa dostępność jest do owsa, którego ziarno ma niską zawartość popiołu bliską 2% i wysoką wartość opałową - bliską $17 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Ponadto owies, z uwagi na uwarunkowania glebowe i klimatyczne w Polsce, może rosnąć nawet w okolicy Zakopanego, gdzie okres wegetacji jest znacznie skrócony. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, mówiące o nie włączaniu biomasy leśnej do źródeł odnawialnych, powoduje, że po 2015 r. pozostanie około 70% niezagospodarowanego sektora biomasowego, który będzie się gwałtownie zwiększał do 2020 r. Realnym sposobem produkcji energii z biomasy wydaje się spalanie ziarna zbóż, analogicznie słomy i traw, które są łatwo dostępne, a ich technologie upraw są ogólnie znane rolnikom.

Podsumowanie i wnioski

Zastosowana metodyka badań, pozwoliła na określenie wilgotności, zawartości popiołu oraz ciepła spalania i wartości opałowej ziaren zbóż, zdrewniałej części palmy i oliwy, łądyg słonecznika z liśćmi oraz otręb. Badania te potwierdziły przydatność ziarna zbóż na cele energetyczne, które może uzupełnić zapotrzebowanie na biomasę w elektrociepłowniach.

Przeprowadzona analiza otrzymanych wyników badań pozwoliła na sformułowanie następujące wniosków:

- ziarno owsa, z uwagi na przyjęte założenia badawcze, wykazuje, przy tej samej wilgotności, najwyższą wartość opałową w porównaniu do pozostałych rodzajów ziaren zbóż i wynosi ona blisko $17 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ przy wilgotności w stanie dojrzałości ziarna;
- ziarno owsa charakteryzuje się bardzo niską zawartością popiołu, około 2,37%;
- zawartość popiołu wszystkich rodzajów ziarna zbóż nie przekracza 3%, czego nie udało się uzyskać dla biomas (peletów ze słomy, części zdrewniałych palmy i oliwy, łądygi słonecznika z liśćmi, zrębków z buka i otręb) o niższej wilgotności i wyższej wartości opałowej.

Bibliografia

- Kubica K., Ściążko M., Rainczak J.** 2003. Współspalanie biomasy z węglem. *Polityka Energetyczna*. Wyd. Instytutu GSMiE PAN. Kraków. Zeszyt specjalny. T. 6. s. 297-307.
- Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M.** 2006. Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową. *Energetyka*. Nr 3. s. 207-220.
- Winnicka G., Tramer A., Świeca G.** 2005. Badanie właściwości biomasy do celów energetycznych. IChPW. Zabrze. Maszynopis.
- Dz.U. Nr 156, poz. 969. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008r.
- Nowa Energia 2008. Materiały z konferencji „Ciepło z biomasy w praktyce 2008”. 05.03.2008 r. Kielce, Targi Energii Odnawialnej ENEX.

ENERGY PROPERTIES OF THE SELECTED BIOMASS TYPES

Abstract. The study presents results of the research concerning determination of ash content, heat of combustion and a calorific value for data concerning materials moisture. The results of these measurements were obtained according to the Polish Standards and confirmed that a cereal grain may constitute an energy material, because the obtained calorific value was on the level of $16 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ at a low ballast share in the form of ash and moisture in comparison with other renewable energy sources. Cereal grains were characterized by the highest moisture among all researched biomass types. Therefore, this property influenced the decrease of heat of combustion largely and after converting it into a calorific value.

Key words: biomass, calorific value, ash, moisture

Adres do korespondencji:

Jan Mólka; e-mail: jan_molka@wp.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków