

WARTOŚĆ OPAŁOWA BIOMASY ŁODYG ŚLAZOWCA PENSYLWAŃSKIEGO W ZALEŻNOŚCI OD WILGOTNOŚCI

Joanna Szyszlak-Bargłowicz, Wiesław Piekarski
Katedra Energetyki i Pojazdów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań oznaczenia ciepła spalania i obliczenia wartości opałowej wykonanych dla biomasy łodyg ślazuwca pensylwańskiego o różnej wilgotności w różnych terminach zbioru łodyg rośliny. Wyniki pomiarów ciepła spalania i wartości opałowej biomasy łodyg ślazuwca pensylwańskiego potwierdziły, że roślina ta może być surowcem energetycznym.

Słowa kluczowe: ślazuwiec pensylwański, biomasa, wartość opałowa

Wstęp

Energetyczna ocena biomasy wymaga zastosowania tych samych zasad, co do oceny tradycyjnych paliw stałych [Winnicka i in. 2005]. Do najważniejszych kryteriów należą: wartość opałowa, zawartość wody, popiołu i siarki, temperatura topliwości popiołu, zawartość części lotnych i uziarnienie [Zawistowski 2003].

Ciepło spalania i wartość opałowa to podstawowe parametry termofizyczne biopaliw stałych. Przy wykorzystaniu energetycznym podstawowe znaczenie odgrywa wartość opałowa paliwa, która zależy przede wszystkim od wilgotności i składu chemicznego. Wartość opałowa biopaliw waha się od 5 do 8 MJ·kg⁻¹ dla biomasy o wilgotności 50-60% do 15-17 MJ·kg⁻¹ dla biomasy podsuszanej, której wilgotność wynosi 15-20% i do ok. 20 MJ·kg⁻¹ dla biomasy całkowicie wysuszonej [Niedziółka, Zuchniarz 2006].

Niekorzystną cechą biomasy pochodzenia roślinnego jest wilgotność wynosząca nawet 50%. Dodatkowym problemem jest jej zmienność w zależności od rodzaju rośliny i okresu sezonowania (w wyniku sezonowania wartość opałowa wzrasta), czego konsekwencją jest stosunkowo niska i zmienna wartość opałowa. Przy wilgotności 50% spalanie jest możliwe jedynie w specjalistycznych kotłach, co jest opłacalne wyłącznie w ciepłowniach zawodowych średniej i dużej mocy. Spalanie biomasy w tradycyjnych kotłach c.o. wymaga zmniejszenia jej wilgotności do wartości poniżej 15% [Kubica i in. 2003].

Duża zawartość wody w biomacie ma również wpływ na koszty jej pozyskiwania. Często biomasę dowozi się do miejsca spalania z dalszych regionów kraju i zawartość wody, a tym samym wyższy ciężar biomasy, wpływa na wyższe koszty transportu. Wykorzystanie biomasy, odpadów drzewnych jak i słomy przeznaczonej do celów energetycznych jest więc opłacalne tylko przy niewielkiej odległości transportu surowca [Wisł, Matwiejew 2005; Kubica i in. 2003].

Jak dotychczas w Polsce nie przyjęto własnych norm dotyczących jakości biomasy wykorzystywanej na cele energetyczne. I tak na przykład jakość peletów z różnego rodzaju biomasy określa się na podstawie spełnienia wymogów zawartych w niemieckiej normie DIN 51731 dla peletów z naturalnego drewna.

Warunki przebiegu zmian pogody przed i w momencie zbioru pędów ślazuca z pola, wpływają istotnie na wilgotność jego biomasy. Pozostawienie pędów podsuszonych na polu przy znaczącym wzroście wilgotności względnej powietrza, powoduje szybkie ich nawilgacanie [Stolarski 2004]. Jak zauważają Borkowska i Styk [2006] bez względu na termin zbioru biomasa wikliny prawie w połowie składa się z wody, natomiast masa ślazuca pensylwańskiego zbieranego zimą zawiera o połowę mniej wody niż wiklina. Pozwala to na zmniejszenie kosztów transportu oraz na oszczędność energii potrzebnej do wysuszenia surowca (w przypadku sztucznego suszenia).

Metodyka badań

Przedmiotem badań było:

1. Oznaczenie wartości ciepła spalania biomasy łądyg ślazuca pensylwańskiego (wartości opałowej górnej), która zgodnie ze specyfikacją techniczną PKN-CEN/TS 14588 i normami PN-81/G-04515 i PN-ISO 1928 jest ilością ciepła, uzyskaną podczas spalania jednostki masy paliwa stałego w atmosferze tlenu. Końcowymi produktami spalania są gazy schłodzone do temperatury otoczenia, do których zaliczamy: tlen, azot, dwutlenek węgla, dwutlenek siarki, jak również woda oraz popiół.
2. Obliczenie wartości opałowej, która jest ciepłem spalania pomniejszonym o ciepło parowania wody, uzyskanej z paliwa w procesie spalania oraz wilgoci higroskopijnej. Wartość opałowa zależy więc od wilgotności materiałów higroskopijnych, jakim są biopaliwa stałe.

Wartość opałową obliczono za pomocą wzorów 1-5, przy pomocy programu komputerowego, w który wyposażona jest jednostka sterująca pracą kalorymetru (zgodnego z normami PN - 80 / G - 04511 oraz PN - ISO 1928).

$$W_t = W_{ex} + W_h \frac{100 - W_{ex}}{100} \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

- W_t – zawartość całkowitej wilgoci w próbce [%];
- W_{ex} – zawartość wilgoci przemijającej [%];
- W_h – zawartość wilgoci higroskopijnej [%].

$$H_a = \frac{100 - W_a - A_a}{K_h} \quad [\%] \quad (2)$$

gdzie:

- H_a – zawartość wodoru w próbce analitycznej [%];
- W_a – zawartość wilgoci w próbce analitycznej [%];
- A_a – zawartość popiołu w próbce analitycznej [%];
- K_h – współczynnik do obliczania zawartości wodoru w próbce analitycznej = 18 500.

$$Q_{sa} = Q - \frac{c}{m} \quad [\text{J}\cdot\text{g}^{-1}] \quad (3)$$

gdzie :

- Q_{sa} – ciepło spalania paliw w stanie analitycznym $[\text{J}\cdot\text{g}^{-1}]$;
- Q – ciepło spalania próbki paliwa $[\text{J}\cdot\text{g}^{-1}]$;
- c – suma poprawek na dodatkowe efekty cieplne $[\text{J}]$;
- m – masa odważki paliwa stałego $[\text{g}]$.

$$Q_{ia} = Q_{sa} - P(W_a + H_w(H_a)) \quad [\text{J}\cdot\text{g}^{-1}] \quad (4)$$

gdzie:

- Q_{ia} – wartość opałowa w stanie analitycznym $[\text{J}\cdot\text{g}^{-1}]$;
- Q_{sa} – ciepło spalania paliwa w stanie analitycznym $[\text{J}\cdot\text{g}^{-1}]$;
- P – ciepło parowania wody przy 25°C 1% zawartości $[\text{J}\cdot\text{g}^{-1}]$;
- H_w – współczynnik przeliczeniowy wodoru na wodę = 8,94.

$$Q_{ir} = \frac{100 - W_t}{100 - W_a} (Q_{ia} + P(W_a)) - P(W_t) \quad [\text{J}\cdot\text{g}^{-1}] \quad (5)$$

gdzie:

- Q_{ir} – wartość opałowa w stanie roboczym $[\text{J}\cdot\text{g}^{-1}]$.

Obiektem badań była biomasa łądyg ślázowca pensylwańskiego, reprezentatywną próbkę do badań o masie 1 kg pobrano z plonu pochodzącego z plantacji doświadczalnej.

Do obliczeń wartości opałowej biomasy ślázowca pensylwańskiego wykorzystano akredytowane oznaczenie zawartości wodoru i popiołu w tej biomacie, wykonane w Zespole Laboratoriów Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze, posiadającym Certyfikat Akredytacji o Nr AB 081 (wydany w 2001 r.) spełniającym wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17025:2001. Do obliczeń przyjęto zawartość wodoru, która wynosiła 5,61%, natomiast zawartość popiołu powstałego z biomasy ślázowca pensylwańskiego w temperaturze 600°C, która wynosiła 3,5%. Badania mające na celu wyznaczenie ciepła spalania łądyg ślázowca pensylwańskiego wykonano klorymetrem KL-12, który przeznaczony jest do pomiaru ciepła spalania paliw stałych.

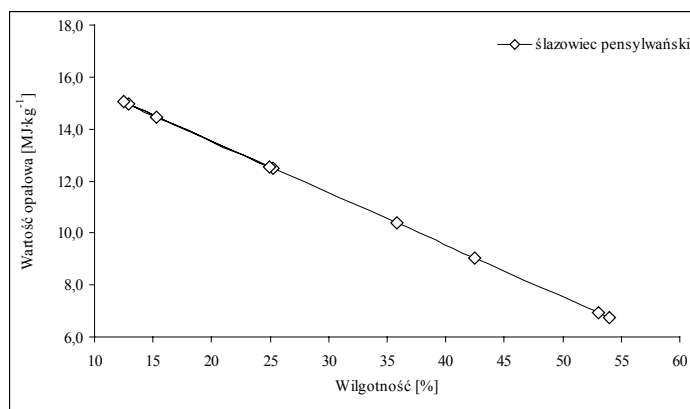
Metoda pomiaru jest zgodna z wymogami norm PN-1/G-04513, PN- SO 1928. Badania polegały na całkowitym spalaniu próbki paliwa (1 g) w atmosferze tlenu przy ciśnieniu rzędu 2,5 MPa w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie i na wyznaczeniu przyrostu temperatury tej wody. Ciepło spalania paliwa wyliczane jest w sposób automatyczny i przedstawione na ekranie komputera. Pomiar przyrostu temperatury podawany jest z dokładnością 0,001°.

Oznaczenie wilgotności wykonano zgodnie z wymogami PN-80/G04511, z wykorzystaniem: suszarki elektrycznej z urządzeniem do wymiany powietrza, zaopatrzonej w termometr o zakresie pomiarowym do 120°C z podziałką elementarną 1°C; naczyń laboratoryjnych; tacy z nierdzewnego materiału, wagi analitycznej.

Oznaczenia ciepła spalania i obliczenia wartości opałowej, wykonano dla biomasy łądyg ślázowca pensylwańskiego o różnej wilgotności, w zależności od terminu zbioru łądyg rośliny. Reprezentatywne próbki do badań pobierano z plantacji doświadczalnej ślázowca pensylwańskiego dwa razy w miesiącu od października do lutego w latach 2007–2008.

Wyniki badań

Wartość opałowa biomasy łodyg ślazuwca pensylwańskiego zależała w dużym stopniu od wilgotności i terminu zbioru (rys. 1, tab. 1). Przy wilgotności łodyg wynoszącej 12,1% (20. 02. 2008) wartość opałowa wyniosła 15,1 (ciepło spalania $17,1 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) natomiast gdy łodygi miały wilgotność 54% (28. 09. 2007) wartość opałowa wyniosła $6,7 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Biomasa ślazuwca pensylwańskiego charakteryzowała się najniższą wilgotnością (rys. 1, tab. 1), a tym samym najwyższą wartością opałową w miesiącach zimowych od końca grudnia do lutego. Mając na uwadze perspektywę energetycznego wykorzystania tej biomasy, jej zbiór uzasadniony jest w tych terminach. Najkorzystniej jest przeprowadzać go przy temperaturze co najmniej kilku stopni poniżej zera, co również ułatwia wjechanie ciężkim sprzętem na pole, nie niszcząc struktury gleby.



Źródło: badania własne

Rys. 1. Wartość opałowa biomasy łodyg ślazuwca pensylwańskiego w zależności od wilgotności
 Fig. 1. Calorific value of biomass from Virginia fanpetals stems depending on humidity

Stolarski [2004] zwraca uwagę, że w przypadku zdrewniałej biomasy ślazuwca pensylwańskiego pozyskiwanej z plantacji tego gatunku, jednym z decydujących elementów wpływających na jakość tego paliwa jest termin oraz warunki zbioru biomasy. Borkowa i Styk [2003] podają, że rośliny ślazuwca pensylwańskiego pozyskiwane w po zakończeniu wegetacji na przełomie października i listopada miały wilgotność średnio 42,8%, natomiast zbierane w grudniu miały niższą wilgotność, średnio 28,2%. Obserwacje Stolarskiego [2004] wykazały, że wilgotność pozyskanej z doświadczenia polowego biomasy ślazuwca pensylwańskiego wyniosła w grudniu 24,7%, po czym w styczniu wzrosła do 45,4%, a następnie w okresie lutego i marca spadła do poziomu odpowiednio: 33,9% i 36,1%.

Zależność ciepła spalania i wartości opałowej odpadowych surowców pochodzenia roślinnego w funkcji wilgotności przedstawił również Obidziński (rys. 2) [2002; 2004]. Autor potwierdza, że wilgotność ma istotny wpływ na wartość opałową biomasy różnego rodzaju. Stolarski wraz z innymi naukowcami [2008] badając właściwości biomasy wieloletnich roślin energetycznych analizowali również zależność terminu zbioru i warunków

Wartość opałowa biomasy...

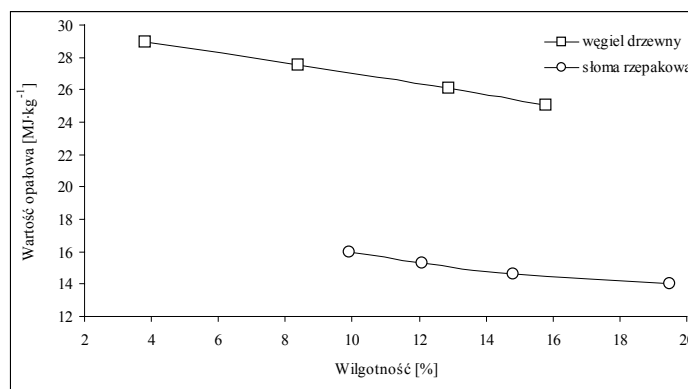
pogodowych podczas pozyskiwania paliwa. Stwierdzili oni, iż generalnie opóźnienie zbioru od listopada do marca wpłynęło na obniżenie zawartości popiołu w biomase, a biomasa pozyskiwana marcu charakteryzowała się wyższymi wartościami ciepła spalania niż w listopadzie.

Tabela 1. Wartość opałowa łodyg ślázowca pensylwańskiego o zmiennej wilgotności w różnych terminach zbioru

Table 1. Calorific value of Virginia fanpetals stems characterised by varying humidity at different harvest dates

Data zbioru	28.09.2007	28.10.2007	10.11.2007	25.11.2007	11.12.2007	29.12.2007	07.01.2008	21.01.2008	04.02.2008
Wilgotność [%]	54,0	53,1	42,5	35,8	25,3	12,9	15,3	24,9	12,5
Wartość opałowa [MJ·kg ⁻¹]	6,7	6,9	9,0	10,4	12,5	14,9	14,5	12,6	15,1

Źródło: badania własne



Źródło: Obidziński 2002

Rys. 2. Wartość opałowa węgla drzewnego i słomy rzepakowej w zależności od wilgotności
Fig. 2. Calorific value of charcoal and rape straw depending on humidity

Właściwości słomy jako paliwa przedstawiła Grzybek wraz z innymi autorami [Grzybek i in. 2001]. Wartość energetyczna słomy zależy głównie od jej wilgotności. Wilgotność słomy świeżej wynosi od 12 do 22%, a w pewnych przypadkach może być wyższa i zależy od rodzaju rośliny oraz od warunków atmosferycznych, w jakich odbywa się zbiór. Zbyt wysoka wilgotność słomy nie tylko obniża jej wartość opałową, ale wpływa również na przebieg procesu spalania, powodując wyższe emisje zanieczyszczeń w spalinach

W tabeli 2 zestawiono uzyskane wyniki badań własnych ciepła spalania i wartości opałowej łodyg ślázowca pensylwańskiego z wynikami uzyskanymi przez innych autorów.

Tabela 2. Ciepło spalania i wartość opałowa ślazuwa pensylwańskiego
 Table 2. Virginia fanpetals combustion heat and calorific value

	Wilgotność [%]	Ciepło spalania [MJ·kg ⁻¹]	Wartość opałowa [MJ·kg ⁻¹]
Ślazuwa pensylwański*	12,1	17,1	15,1
Ślazuwa pensylwański	7,6	18,4	16,6
Pelety ze ślazuwa pensylwańskiego	7,9	18,2	16,0
Pelety ze ślazuwa pensylwańskiego	8,0	18,7	17,0

[Źródło: ślazuwa pensylwański* - badania własne; pozostałe: Szyszlak i in. 2006; Stolarski in. 2005; Borkowska 2006]

Zawartość popiołu powstałego z biomasy ślazuwa pensylwańskiego w temperaturze 600°C wyniosła 3,5%. Wyższą zawartość popiołu w peletach ze ślazuwa (4,83%) podaje Borkowska [2006], zwracając jednocześnie uwagę, że był to pierwszy przypadek stwierdzenia tak znacznego udziału popiołu w masie ślazuwa pochodzącej z uprawy polowej.

Zmierzona zawartość popiołu w biomase ślazuwa pensylwańskiego mieściła się w typowym przedziale zawartości popiołu w biomacie, który wynosi do 0,5 do 5,5% [Wisł, Matwiejew 2005].

Podsumowanie i wnioski

Wyniki pomiarów ciepła spalania i wartości opałowej biomasy łodyg ślazuwa pensylwańskiego potwierdziły, że roślina ta może być surowcem energetycznym. Z przeprowadzonej analizy właściwości biomasy łodyg ślazuwa pensylwańskiego, wykorzystanej jako rośliny do celów energetycznych, wynikają następujące wnioski:

1. Stwierdzono najniższą wilgotność biomasy ślazuwa pensylwańskiego od końca grudnia (24,9%) do lutego (12,1%). Wilgotność biomasy zbieranej bezpośrednio z pola uprawnego określona jest przez warunki pogodowe. Najkorzystniej jest przeprowadzać zbiór przy temperaturze co najmniej kilku stopni poniżej zera, co ułatwia również wjechanie ciężkim sprzętem na pole, nie niszcząc struktury gleby.
2. Uzyskana biomasa łodyg ślazuwa pensylwańskiego charakteryzowała się wysoką wartością ciepła spalania wynoszącą 17,1 MJ·kg⁻¹, natomiast wartość opałowa kształtowała się na poziomie 15,1 MJ·kg⁻¹, przy wilgotności 12,1%.
3. Zawartość popiołu powstałego z biomasy ślazuwa pensylwańskiego (3,5%) mieściła się w granicach zawartości popiołu w innych rodzajach biomasy (0,5-5,5%).

Bibliografia

- Borkowska H.** 2006. Pelety ze ślazuwca pensylwańskiego na tle normy DIN 51731. *Czysta Energia*. Nr 6. s. 22-23.
- Borkowska H., Styk B.** 2003. Ślazuwiec – Biomasa, perspektywy uprawy i wykorzystania ślazuwca pensylwańskiego na cele energetyczne. W monografii pod red. Ciechowicz W., Szczukowski S. pt. Ogniw paliwowe i biomasa lignoceluzowa szansą rozwoju wsi i miast. WSISiZ Warszawa. s. 185-191.
- Borkowska H., Styk B.** 2006. Ślazuwiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). WAR. Lublin. ISBN 83-7259-142-3.
- Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K.** 2001. Słoma energetyczne paliwo. Wydaw. Wieś Jutra. Warszawa. ISBN 83-88368-19-2.
- Kubica K., Ściążko M., Raińczak J.** 2003. Współspalanie biomasy z węglem. *Polityka Energetyczna*. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków. Zeszyt specjalny t. 6. s. 297-307.
- Niedziółka I., Zuchniarz A.** 2006. Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego. *Motorol*. Nr 8A. s. 232-237.
- Obidziński S.** 2002. Ciepło spalania I wartość opałowa odpadowych surowców pochodzenia roślinnego. *Inż. Roln.* Nr 4(37). s. 243-250.
- Obidziński S.** 2004. Ciepło spalania i wartość opałowa kory drzew liściastych i iglastych. *Inż. Roln.* Nr 5(60). s. 223-231.
- Stolarski M.** 2004. Produkcja oraz pozyskiwanie biomasy z wieloletnich upraw roślin energetycznych. *Probl. Inż. Roln.* Nr 3(45). s. 47-56.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Kwiatkowski J., Grzelczyk M.** 2005. Charakterystyka zrębków oraz peletów (granulatów) z biomasy wierzby i ślazuwca jako paliwa. *Probl. Inż. Roln.* Nr 1(47). s. 13-22.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.** 2008. Biopaliwa biomasy wieloletnich roślin energetycznych. *Energetyka*, Nr 1. s. 77-80.
- Szyszlak-Bargłowicz J., Piekarski W., Krzaczek P.** 2006. Spalanie słomy jednym z kierunków jej wykorzystania. *Energetyka. Zeszyt tematyczny IX*. s. 53-57.
- Winnicka G., Tramer A., Świeca G.** 2005. Badanie właściwości biomasy do celów energetycznych. IChPW. Zabrze. Maszynopis.
- Wis J., Matwiejew A.** 2005. Biomasa – badania w laboratorium w aspekcie przydatności do energetycznego spalania. *Energetyka*. Nr 9 s. 631-636.
- Zawistowski J.** 2003. Współspalanie biomasy drzewnej z węglem – szybszy rozwój energetyki odnawialnej. *Ekologia Praktyczna*. Nr 7/8. s. 8.

CALORIFIC VALUE OF BIOMASS FROM VIRGINIA FANPETALS (SIDA HERMAPHRODITA RUSBY) STEMS DEPENDING ON HUMIDITY

Abstract. The paper presents results of the research on combustion heat determination and calorific value computation for biomass from Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) stems characterised by varying humidity, carried out at different plant stem harvest dates. Measurement results of combustion heat and calorific value for biomass obtained from Virginia fanpetals stems have confirmed that this plant may constitute usable material for energy production.

Key words: Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby), biomass, calorific value

Adres do korespondencji:

Joanna Szyszlak-Bargłowicz; e-mail: joanna.szyszlak@up.lublin.pl
Katedra Energetyki i Pojazdów
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin