

CIEPŁO SPALANIA SŁOMY JĘCZMIENIA UPRAWIANEGO W WARUNKACH ZMIENNEGO POZIOMU NAWOŻENIA POTASOWEGO

Andrzej Żabiński, Urszula Sadowska
Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Celem podjętych badań było określenie i porównanie wartości ciepła spalania słomy jęczmienia z uprawy przy dwóch poziomach nawożenia potasowego. Badania wykonano za pomocą kalorymetru zgodnie z obowiązującą normą PN-EN ISO 9831:2005. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że na wartość ciepła spalania badanej słomy jęczmiennej wpływ miała zarówno jej wilgotność, jak też zastosowana podczas uprawy dawka potasu. Przy wilgotności 3,2 i 11,7% słoma jęczmienia nawożonego potasem w dawce 150 kg·ha⁻¹ charakteryzowała się wyższą, w stosunku do drugiego zastosowanego wariantu nawożenia tym składnikiem, wartością ciepła spalania, wynoszącą odpowiednio 18,98 i 18,02 MJ·kg⁻¹. W przypadku jęczmienia, który nawożono o połowę mniejszą dawką potasu, ciepło spalania jego słomy przy wilgotności 3,2% wynosiło 18,3 MJ·kg⁻¹, natomiast 17,51 MJ·kg⁻¹, gdy słoma miała wilgotność 11,7%.

Słowa kluczowe: słoma jęczmienna, ciepło spalania, metoda kalorymetryczna

Wstęp

Z uwagi na malejące zasoby drewna dostępnego dla celów energetycznych, brane są obecnie pod uwagę także inne surowce odnawialne. Znaczny potencjał biomasy jako nośnika energii stanowi słoma, której nadwyżki po wykorzystaniu rolniczym wynoszące według różnych źródeł ok. 8-13 mln ton rocznie (Grzybek i in., 2001; Denisiuk, 2008), mogą być przeznaczone na cele energetyczne. Spalanie słomy w systemach grzewczych zaczęło propagować w Polsce już w latach 90. XX wieku. Poważnym jednak ograniczeniem w powszechnym wykorzystaniu tego surowca w energetyce jest rozproszenie jego źródeł. Słoma przeznaczona do celów energetycznych musi spełniać również określone wymagania dotyczące wilgotności. Zbyt wysoka – powoduje problemy podczas magazynowania, rozdrabniania oraz transportu do kotła, wpływa również ujemnie na wartość opałową i sam proces spalania, powodując zwiększoną emisję zanieczyszczeń do atmosfery. Maksymalna dopuszczalna wilgotność powinna zawierać się w granicach 18-22%.

Słoma jest trudnym paliwem również ze względu na niejednorodny skład chemiczny, zależny od gatunku i warunków uprawy. Pomimo tych trudności, w najbliższym czasie przewiduje się jednak dalsze zwiększenie energetycznego wykorzystania słomy w związku z brakiem na rynku innych rodzajów biomasy do bezpośredniego spalania (Kowalczyk-Juško, 2009a; Świętochowski i in., 2011; Wojciechowski, 2012). Wykorzystanie słomy jęczmiennej jako paliwa w systemach energetycznych jest niekiedy kwestionowane z uwagi na niską temperaturę topnienia jej popiołu (650°C), wywołaną zwiększoną zawartością związków alkalicznych i związanym z tym procesem oklejania wewnętrznych powierzchni kotła (Denisiuk, 1998; Denisiuk 2003). Obecnie są jednak metody ograniczające to zjawisko. W przypadku słomy zbóż można doprowadzić do obniżenia poziomu zawartych w niej metali alkalicznych poprzez sezonowanie jej w polu przed zbiorem lub przepłukiwanie wodą po zbiorze (Cocker-Maciejewska, 2007), innym rozwiązaniem jest dodawanie do spalanej biomasy (w tym również słomy), bądź bezpośrednio wprowadzanie do paleniska związków zmniejszających żużlowanie (Hardy i in., 2009).

Celem podjętych badań było określenie i porównanie wartości ciepła spalania słomy jęczmienia z uprawy przy dwóch poziomach nawożenia potasowego.

Material i metodyka badań

Badaniem objęto słomę jęczmienia jarego odmiany *Gawrosz*. Materiał pochodził z doświadczenia polowego, prowadzonego na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego, należącej do kompleksu żytniego dobrego. Przedplonem dla jęczmienia była gorczyca biała. Podczas nawożenia mineralnego jęczmienia stosowano dawki azotu, fosforu i potasu (NPK) mieszczące się w zaleceniach agrotechnicznych dla tego gatunku. Wynosiły one: $70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$, $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$. W przypadku potasu stosowano dwa poziomy nawożenia tym składnikiem: 75 oraz $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$.

Słomę po zbiorze podsuszone w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 40°C do wilgotności 3,2%, a następnie nawilżano do wyższych wymaganych jej poziomów (11,7% oraz 22,2%), rozkładając cienką warstwą w pomieszczeniu o podwyższonej wilgotności powietrza. Poziomy wilgotności ustalano biorąc pod uwagę zawartość wody w słomie świeżej wynoszącą zwykle od 12 do 22% (Adamczyk 2010), przyjmując skrajne wartości tego przedziału. Dla celów porównawczych przyjęto również skrajnie niską wilgotność możliwą do uzyskania po wysuszeniu. Wilgotność badanego materiału kontrolowano metodą suszarkowo-wagową. Próbkę do analizy przygotowywano, tnąc słomę na odcinki 1-2 cm, które następnie poddawano dokładnemu rozdrabnianiu za pomocą młynka laboratoryjnego.

Ciepło spalania oznaczano na kalorymetrze KL-10 zgodnie z obowiązującą normą: PN-EN ISO 9831:2005. Pomiar polegał na całkowitym spalaniu próbki o masie 1 g w atmosferze tlenu pod ciśnieniem 2,8 MPa w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie o objętości $2,7 \text{ dm}^3$, w naczyniu kalorymetrycznym, i wyznaczeniu przyrostu temperatury tej wody. Do zapłonu próbki stosowano drut oporowy z kantalu.



Rysunek 1. Stanowisko do badań kalorymetrycznych
Figure 1. A calorimeter research stand

Ciepło spalania próbki paliwa było obliczane automatycznie wg wewnętrznego programu urządzenia.

Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji dla poziomu istotności 0,05.

Dyskusja wyników

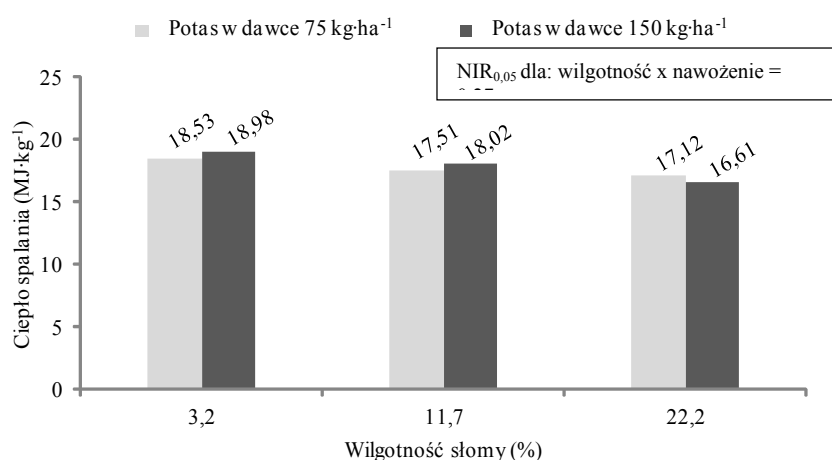
Przeprowadzone badania wykazały, że wartości ciepła spalania słomy jęczmiennej wykazują istotne statystycznie zróżnicowanie w zależności od jej wilgotności, jak również zastosowanej w uprawie jęczmienia dawki potasu.

Ciepło spalania słomy jęczmienia nawożonego potasem w dawce $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, w zależności od jej wilgotności zawierało się w przedziale od 16,61 do $18,98 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast dla niższego o połowę poziomu nawożenia potasowego wartości tego parametru uzyskane przy wilgotności 3,2% są porównywalne ze średnimi wartościami dla suchej słomy zbóż uzyskiwanymi przez innych autorów (Świętochowski i in., 2011).

Wraz ze wzrostem wilgotności słomy przy obu wariantach nawożenia, następował spadek wartości ciepła spalania, co wynika głównie z malejącej zawartości suchej masy w masie całkowitej spalanej próbki, a zapewne tylko w niewielkim stopniu wiąże się to z zapotrzebowaniem energii do odparowania wody, gdyż jest ona w większości odzyskiwana w trakcie schładzania spalin i kondensacji pary wodnej w szczelnie zamkniętym naczyniu, jakim jest bomba kalorymetryczna.

Z praktycznego punktu widzenia słoma w postaci nieprzetworzonej jest materiałem o niewielkiej wartości energetycznej, wynikającej z małej koncentracji suchej masy w jednostce objętości. Dla ujednoczenia i polepszenia jej właściwości, jako surowca przeznaczonego do celów energetycznych, należy jej luźną masę poddać procesom zagęszczenia. W procesach tych zbyt niska wilgotność już ok. 10% utrudnia zagęszczanie (Adamczyk, 2010). Wysoka wilgotność powyżej 18% ułatwia wprawdzie ten proces, lecz podczas składowania mogą wówczas zachodzić procesy pleśnienia (Chachułowa i in., 1997).

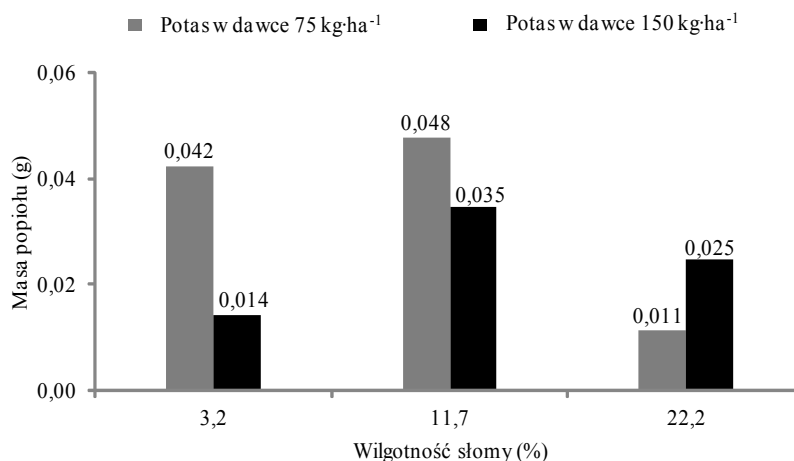
Zbyt wysoka wilgotność wpływa ponadto negatywnie na wartość energetyczną. Według Adamczyka (2010) najlepsza wilgotność słomy przeznaczonej do zagęszczania metodą zwijania, ze względu na trwałość otrzymywanych brykietów, powinna zawierać się w przedziale 15-25%, a biorąc pod uwagę również wartość opałową – nie przekraczać 22% (Wojciechowski, 2012). Powodem, dla którego analizowano słomę również przy wilgotności 3,2%, było wyznaczenie maksymalnych wartości ciepła spalania, możliwych do uzyskania dla słomy tego gatunku przy zastosowanych wariantach nawożenia. Mogą one stanowić punkt odniesienia w bilansie energetycznym procesu produkcji i wykorzystania tego paliwa.



NIR_{0,05}- najmniejsza istotna różnica dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$
 NIR_{0,05}- the lowest significant difference for the significance level $\alpha = 0.05$

Rysunek 2. Średnie wartości ciepła spalania słomy jęczmiennej w zależności od wilgotności i poziomu nawożenia potasowego
Figure 2. Average values of the heat of combustion depending on the moisture and the level of potassium fertilization

Kaloryczność badanej słomy znajdowała odzwierciedlenie w masie pozostałego po spalaniu próbki popiołu. Masa popiołu w obrębie każdego analizowanego poziomu wilgotności była mniejsza, gdy ciepło spalania przyjmowało wyższą wartość. Średnia masa popiołu pozostałego po spalaniu próbki o masie 1 g była największa dla słomy o wilgotności 11,7% i dawki potasu 75 kg·ha⁻¹, wynosiła ona 0,048 g. Najmniejszą natomiast, wynoszącą 0,011 g, stwierdzono przy wilgotności 22,2%, przy tym samym poziomie nawożenia potasowego (rys. 3). Dane literaturowe wskazują, że zawartość popiołu w słomie zbóż kształtuje się w granicach 3-4% (Kowalczyk-Juško, 2009b), ale może być również większa od maksymalnej uzyskanej w badaniach własnych i dochodzić w przypadku słomy pszennej nawet do 7,9% (Ciesielczuk, 2011).



Rysunek 3. Średnia masa popiołu pozostałego po spaleniu próbki paliwa o masie 1 g
 Figure 3. Average weight of ash, which remained after combustion of the fuel sample of 1 g weight

Wnioski

1. Na wartość ciepła spalania badanej słomy jęczmiennej wpływ miała zarówno jej wilgotność, jak też zastosowana w uprawie dawka potasu.
2. Przy wilgotności 3,2% i 11,7% słoma jęczmienia nawożonego potasem w dawce 150 kg·ha⁻¹ charakteryzowała się wyższymi wartościami ciepła spalania, w stosunku do drugiego zastosowanego poziomu nawożenia tym składnikiem (75 kg·ha⁻¹). Wynosiły one odpowiednio 18,98 i 18,02 MJ·kg⁻¹.
3. Największą wartość ciepła spalania zanotowano dla słomy o wilgotności 3,2% i przy nawożeniu potasem w dawce 150 kg·ha⁻¹, najmniejszą natomiast, wynoszącą 16,61 MJ·kg⁻¹, stwierdzono przy wilgotności 22,2% i takim samym poziomie nawożenia.
4. Masa popiołu pozostałego po spaleniu w obrębie każdego analizowanego poziomu wilgotności była większa, gdy wartość ciepła spalania przyjmowała niższą wartość. Dla słomy o wilgotności 11,7% i dawki potasu 75 kg·ha⁻¹ średnia masa popiołu pozostałego po spaleniu próbki była największa i wynosiła 0,048 g.

Literatura

- Adamczyk, F. (2010). Wpływ wilgotności słomy zbożowej na stopień zagęszczenia uzyskiwanych brykietów. *Inżynieria Rolnicza*, 1(119), 7-13.
- Chachułowa, J. (red.). (1997). *Pasze*. Warszawa, Fundacja Rozwój SGGW, 89-90.
- Ciesielczuk, T.; Kusza, G.; Nemś, A. (2011). Nawożenie popiołami z termicznego przekształcania biomasy źródłem pierwiastków śladowych dla gleb. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 49, 219-227.

- Cocker-Maciejewska, A. (2007). Obróbka wstępna biomasy na potrzeby systemów energetycznych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 30, 133-141.
- Denisiuk, W. (1998). *Analiza technologiczna, organizacyjna, i finansowa kotłowni opalanej słomą*. Materiały konferencji naukowej „Wykorzystania energii odnawialnej w rolnictwie”. Warszawa 29-30.09.1998, 161-172.
- Denisiuk, W. (2003). *Techniczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele grzewcze*. Rozprawa doktorska. Olsztyn.
- Denisiuk, W. (2008). Słoma – potencjał masy i energii. *Inżynieria Rolnicza*, 2(100), 23-30.
- Grzybek, A.; Gradziuk, P.; Kowalczyk, K. (2001). *Słoma-energetyczne paliwo*. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa.
- Hardy, T.; Kordylewski, W.; Mościcki, K. (2009). Zagrożenie korozją chlorkową w wyniku spalania i współspalania biomasy w kotłach. *Archiwum Spalania, Volume 9, Issue 3-4*, 181-195.
- Kowalczyk-Juśko, A. (2009a). Uciążliwa, ale bardzo atrakcyjna. *Agroenergetyka*, 4, 17-20.
- Kowalczyk-Juśko, A. (2009b). Popiół z różnych roślin energetycznych. *Proceedings of ECOpole, Volume 3, No. 1*, 159-164.
- PN-EN ISO 9831:2005. *Pasze, produkty zwierzęce, kał i mocz. Oznaczanie wartości energetycznej brutto. Metoda bomby kalorymetrycznej*.
- Świętochowski, A.; Grzybek, A.; Gutry, P. (2011). Wpływ czynników agrotechnicznych na właściwości energetyczne słomy. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1, 41-47.
- Wojciechowski, H. (2012). Słoma lokalnym surowcem energetycznym do produkcji ciepła na terenach wiejskich. *Instal – Teoria i praktyka w instalacjach*, 11.

HEAT OF COMBUSTION OF BARLEY STRAW CULTIVATED IN CONDITIONS OF A VARIABLE LEVEL OF POTASSIUM FERTILIZATION

Abstract. The objective of the research was to determine and compare values of the heat of combustion of barley straw from cultivation at two levels of potassium fertilization. The research were conducted using a calorimeter pursuant to the applicable standard PN-EN ISO 9831:2005. Based on the obtained results it was determined that moisture of barley straw and a dose of potassium used at the cultivation influenced the value of the heat of combustion of barley straw. At the moisture of 3.2 and 11.7% straw of barley which was fertilized with potassium with the dose of 150 kg·ha⁻¹ was characterized by a higher value of the heat of combustion, in comparison to the the second variant of fertilization with this component, which amounted to respectively 18.98 and 18.02 MJ·kg⁻¹. In case of barley, which was fertilized with a half lower dose of potassium, the heat of combustion of its straw, at the moisture of 3.2% was 18.3 MJ·kg⁻¹ and 17.51MJ·kg⁻¹ when the straw was of 11.7% moisture.

Key words: barley straw, heat of combustion, calorimeter method

Adres do korespondencji:

Andrzej Żabiński; e-mail: Andrzej.Zabinski@ur.krakow.pl
Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Łupaszki 6
31-198 Kraków