

CIEPŁO SPALANIA ZIARNIAKÓW ZBÓŻ O OBNIŻONYCH CECHACH JAKOŚCIOWYCH

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

Grzegorz Wcisło
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Celem podjętych badań było określenie i porównanie wartości ciepła spalania ziarna jakościowego oraz porośniętego, gatunków zbóż z podrodziny wiechlinowatych. Badania wykonano za pomocą kalorymetru zgodnie z obowiązującą normą PN-EN ISO 9831:2005. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono m.in., że największą średnią wartością ciepła spalania spośród badanych gatunków zbóż charakteryzują się ziarniaki owsa. Dotyczy to zarówno ziarna jakościowego jak i porośniętego tego gatunku, a otrzymane wartości to odpowiednio 18,62 i 18,02 MJ·kg⁻¹. Najmniejsze wartości ciepła spalania zarejestrowano natomiast dla ziarniaków pszenicy i pszenżyta. Ciepło spalania ziarna jakościowego tych gatunków wynosiło odpowiednio 17,25 i 17,24 MJ·kg⁻¹, porośniętego natomiast 17,07 i 17,01 MJ·kg⁻¹. Porównując wartości ciepła spalania ziarna jakościowego z porośniętym w obrębie każdego z badanych gatunków stwierdzono istotne różnice pod tym względem tylko w przypadku żyta i owsa. Ziarno jakościowe tych gatunków charakteryzowało się istotnie wyższymi wartościami ciepła spalania w stosunku do porośniętego. Dla ziarna jakościowego żyta wartość ta wynosiła 17,68 MJ·kg⁻¹, dla porośniętego 17,22 MJ·kg⁻¹.

Słowa kluczowe: porośnięte ziarniaki zbóż, ciepło spalania, metoda kalorymetryczna

Wstęp i cel badań

Istotnym problemem w energetyce światowej jest ograniczenie jej szkodliwego oddziaływania na środowisko przyrodnicze. Podejmowane są więc działania mające na celu poprzez regulacje prawne i instrumenty ekonomiczne, zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej i ciepła. Przykładem niech będzie uchwalona w dniu 23 kwietnia 2009 r. dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. Efektem działań przewidzianych w dyrektywie jest osiągnięcie 20% udziału energii ze źródeł odna-

wialnych w końcowym zużyciu energii brutto w Unii Europejskiej w 2020 r. (art. 3, ust. 1), przy czym cel ten został przełożony na indywidualne cele dla poszczególnych państw członkowskich i w przypadku Polski wynosi on 15%. W Polsce jednym z najbardziej obiecujących źródeł energii odnawialnej jest biomasa. Spośród wielu jej rodzajów największe znaczenie ma ta pochodzenia roślinnego. Można ją użytkować na cele energetyczne w procesach bezpośredniego spalania surowców stałych lub przetwarzać na biopaliwa ciekłe i gazowe. Do biopaliw stałych zalicza się m.in.: słomę, drewno, rośliny energetyczne, a także ziarno. Są to surowce energetyczne pierwotne [Grzybek 2003].

Wykorzystanie ziarna zbóż, głównie owsa, do celów grzewczych popularne już w niektórych krajach, np. Szwecji, wzbudza również zainteresowanie w Polsce. Ziarno ze względu na niewielkie rozmiary i dużą masę właściwą jest łatwiejsze w transporcie i magazynowaniu w porównaniu do słomy czy drewna, ponadto daje duże możliwości techniczne pełnej automatyzacji procesu zadawania paliwa do kotła. Proces spalania ziarna musi być jednak realizowany w specjalnych palnikach, wymagających dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza, a także utrzymywania innej temperatury spalania od powszechnie stosowanej przy pozostałych rodzajach biomasy [Janowicz 2006]. Dostępność takich palników nie stanowi już problemu, obecnie większość firm produkujących kotły ma w ofercie również i takie, które przystosowane są do spalania ziarna. W Polsce najbardziej uzasadnione ekonomicznie jest spalanie ziarna owsa. W przypadku pozostałych gatunków zbóż mających znacznie większe znaczenie w produkcji żywności i pasz, na cele opałowe można przeznaczyć ziarno o obniżonych cechach jakościowych, do którego m.in. zalicza się ziarno porośnięte. Porośnięcie określonej partii ziarna czyni go nieprzydatnym dla celów konsumpcyjnych jak i nasiennych. Szczególnie podatne na przedsprętne porastanie są ziarniaki pszenicy, żyta i pszenżyta [Weidner 1992]. Straty plonu zbóż spowodowane tym zjawiskiem sięgają w Polsce średnio 5-10% ogólnej produkcji, a w niektórych latach o szczególnie niekorzystnym przebiegu warunków pogodowych mogą przybierać rozmiary klęski [Czarnocki i in. 2007].

Celem podjętych badań było określenie i porównanie wartości ciepła spalania ziarna jakościowego i porośniętego zbóż z podrodziny wiechlinowatych. Oznaczenie ciepła spalania stanowi podstawę oceny jakości paliwa jako surowca energetycznego.

Material i metodyka

Material do badań pochodził z doświadczenia polowego założonego metodą losowanych bloków w czterech powtórzeniach. Doświadczenie prowadzono na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego należącej do kompleksu żyniego dobrego. Przedplonem była gorczyca biała. Badaniami objęto ziarniaki jakościowe i porośnięte następujących gatunków zbóż:

- pszenica ozima odmiany *Wydma*,
- żyto odmiany *Kier*,
- pszenżyto ozime odmiany *Moderato*,
- jęczmień jary odmiany *Bies*,
- owies odmiany *Furman*,

Badania prowadzono przy wilgotności 11%.

Zjawisko porastania ziarna zasymulowano w warunkach laboratoryjnych. Ziarno kiełkowane na szalkach Petriego na bibule filtracyjnej zwilżonej wodą destylowaną przez okres 72 godzin. Skiełkowane ziarno suszono następnie w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 30°C, kontrolując jego wilgotność metodą suszarkowo-wagową. W podobny sposób uzyskiwano odpowiednią wilgotność ziarna jakościowego.

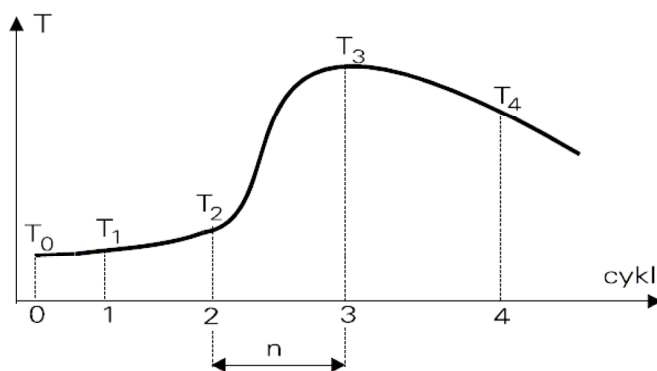
Ciepło spalania ziarniaków oznaczano za pomocą kalorymetru KL-10 zgodnie z obowiązującą normą PN-EN ISO 9831:2005.

Pomiar polegał na całkowitym spaleniu próbek ziarna o masie 1g (+/-0,0002) w atmosferze tlenu pod ciśnieniem 2,8 MPa w bombie kalorymetrycznej, zanurzonej w wodzie o objętości 2,7 dm³, w naczyniu kalorymetrycznym i wyznaczeniu przyrostu temperatury tej wody. Do zapłonu próbki zastosowano drut oporowy z kantalalu.

Kalorymetr działa na zasadzie pomiaru charakterystycznych temperatur bilansu cieplnego układu: bomba kalorymetryczna ze spalonym paliwem i naczynie kalorymetryczne z wodą.

Praca kalorymetru podzielona jest na 5 cykli (rys. 1):

- 0 – Włączenie kalorymetru i ustabilizowanie temperatury wewnątrz kalorymetru.
- 1 – Rejestracja temperatury T_1 i odmierzenie odcinka czasu równego 5 minut.
- 2 – Rejestracja temperatury T_2 i zapłon próbki paliwa w bombie kalorymetrycznej. Czas trwania n- minut tj. do osiągnięcia temperatury maksymalnej.
- 3 – Rejestracja temperatury T_3 (maksymalnej) i odmierzenie kolejnego odcinka czasu równego 5 minut.
- 4 – Rejestracja temperatury T_4 i zakończenie pracy.



Źródło: Kalorymetr KL-10 automatyczny, instrukcja obsługi

Rys. 1. Przykładowy przebieg procesu pomiaru kalorymetrycznego
Fig. 1. An exemplary course of the calorimeter measurement process



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Stanowisko do badań kalorymetrycznych
Fig. 2. A calorimeter research stand

Ciepło spalania próbki paliwa było obliczane automatycznie wg wewnętrznego programu urządzenia przy użyciu następującego wzoru [Kalorymetr KL-10 automatyczny instrukcja obsługi]:

$$Q_s = K (T_3 - T_2 - k) \quad (1)$$

gdzie:

- K – stała kalorymetru [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$],
- T_2, T_3 – charakterystyczne temperatury bilansu [K],
- k – poprawka na wymianę ciepła kalorymetru z otoczeniem,

$$k = 0,5 [0,2 (T_2 - T_1) + 0,2 (T_4 - T_3)] + 0,2 (n - 1) (T_4 - T_3) \quad (2)$$

gdzie:

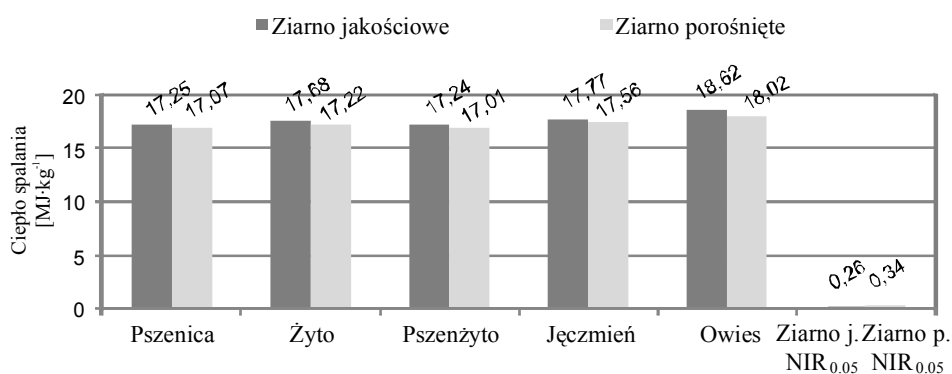
- n – liczba minut w cyklu nr 2 (okresu głównego),
- T_1, T_4 – charakterystyczne temperatury bilansu [K].

Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji wykorzystując program Statistica 9. Dla otrzymanych wyników przeprowadzono analizę wariancji, w przypadku istnienia różnic statystycznie istotnych zastosowano test NIR (najmniejszych istotnych różnic) dla poziomu istotności 0,05.

Wyniki badań i ich analiza

Przeprowadzone badania wykazały, że wartości ciepła spalania ziarniaków zbóż wykazują istotne statystycznie zróżnicowanie w zależności od gatunku, dotyczy to zarówno ziarna jakościowego jak i porośniętego.

Wartości ciepła spalania ziarniaków jakościowych [Żabiński i in. 2011] zawierają się w przedziale od 17,22 do 18,62 MJ·kg⁻¹ skielkowanych natomiast od 17,01 do 18,02 MJ·kg⁻¹. Największą wartością ciepła spalania charakteryzowały się ziarniaki owsa dla obu wariantów jakości badanego ziarna rys. 3. Wysoka kaloryczności ziarniaków owsa wynika przede wszystkim z dużej zawartości w nich tłuszczu, średnio około 4,8% najwyższej spośród badanych gatunków zbóż [Jasińska, Kotecki 2003]. Zaletą ziarniaków owsa jako biomasy opalowej jak wskazują badania Mólki i Łapczyńskiej [2011] jest również bardzo niska zawartość popiołu, około 2,37%. Tworzenie osadów na powierzchniach ogrzewalnych, które powstają w wyniku osadzania się cząstek stałych i kropeł tworzących lotny popiół jest jednym z dwóch oprócz korozyjnego działania gazowych składników spalin, źródeł korozji wysokotemperaturowej związanej ze spalaniem lub współspalaniem biomasy w kotłach [Hardy i in. 2009].

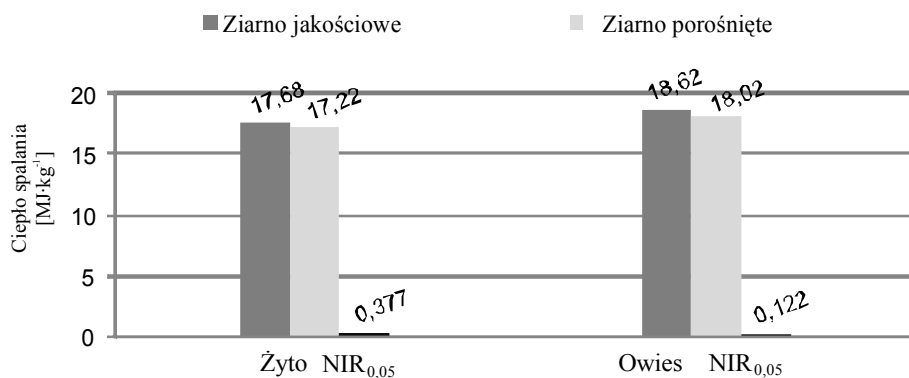


Źródło: obliczenia własne

Rys. 3. Wartości ciepła spalania ziarniaków jakościowych i porośniętych w obrębie poszczególnych gatunków

Fig. 3. The heat of combustion values of the quality and the sprout caryopses within particular varieties

Porównując wartości ciepła spalania ziarna jakościowego z porośniętym w obrębie każdego z badanych gatunków stwierdzono istotne różnice pod tym względem tylko w przypadku żyta i owsa. Ziarno jakościowe tych gatunków charakteryzowało się istotnie wyższymi wartościami ciepła spalania w stosunku do porośniętego (rys.4). W warunkach polowych porastanie ziarna owsa występuje raczej rzadko, bardziej powszechnym niekorzystnym zjawiskiem dotyczącym tego zboża jest natomiast osypywanie. Żyto natomiast wyróżnia się wyjątkową podatnością na porastanie. W naszym kraju z reguły co kilka lat występuje zjawisko masowego porastania tego zboża, powodujące duże straty jakościowe. Wskutek porastania następują zmiany właściwości fizycznych ziarna (wzrost objętości, zmniejszenie sypkości) jak też składu chemicznego (zawartość węglowodanów, białek). Silne porośnięcie ziarniaków żyta wpływa niekorzystnie na wartość przemiałową ziarna (m.in. zniżenie wyciągu mąki jasnej) oraz zwiększa zapotrzebowanie energii w procesie jego rozdrabniania [Gąsiorowski 1994]. Przemiał porośniętego ziarna żyta skutkuje zalepianiem rowków na walcach młynków i trudnościami z rozdrabnianiem [Dziki 2006].



Źródło: obliczenia własne

Rys. 4. Wartości istotnych różnic dotyczących ciepła spalania ziarna jakościowego i porośniętego badanych gatunków

Fig. 4. Values of significant differences concerning the heat of combustion of the quality and the sprout seed of the examined varieties

Wnioski

1. Największą wartością ciepła spalania charakteryzowały się ziarniaki owsa a najmniejszą pszenicy i pszenżyta. Dotyczy to zarówno ziarna jakościowego jak i porośniętego. W przypadku jakościowego ziarna owsa ciepło spalania wynosiło 18,62 MJ·kg⁻¹, a ziarna porośniętego 18,02 MJ·kg⁻¹. Ciepło spalania ziarna jakościowego pszenicy i pszenżyta wynosiło odpowiednio 17,25 i 17,24 MJ·kg⁻¹, porośniętego natomiast 17,07 i 17,01 MJ·kg⁻¹.
2. Porośnięte ziarniaki żyta i owsa odznaczały się istotnie mniejszą wartością ciepła spalania w stosunku do ich jakościowych odpowiedników. Dla ziarna jakościowego żyta wartość ta wynosiła 17,68 MJ·kg⁻¹, dla porośniętego 17,22 MJ·kg⁻¹. W przypadku owsa wartości te wynosiły odpowiednio 18,62 i 18,02 MJ·kg⁻¹.
3. Jakościowe ziarno pszenicy, pszenżyta i jęczmienia nie wykazywało statystycznie istotnych różnic pod względem wartości ciepła spalania w stosunku do ziarna porośniętego.

Bibliografia

- Czarnecki S., Starczewski J., Garwacka A. (2007): Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na skłonność do porastania ziarna pszenicy jarej. *Acta Agrophysica*, 10(3), 533-541.
- Dziki D. (2006): Wpływ porośnięcia ziarna żyta na energochłonność rozdrabniania. *Inżynieria Rolnicza*, 5(80), 149-156.
- Gąsiorowski H. (1994): *Żyto – chemia i technologia*. PWRiL, Poznań, ISBN: 83-09-01609-3, 189.
- Grzybek A. (2003): Kierunki zagospodarowania biomasy na cele energetyczne. *Wieś Jutra*, 9(62), 10-11.

- Hardy T., Kordylewski W., Mościcki K.** (2009): Zagrożenie korozją chlorkową w wyniku spalania i współspalania biomasy w kotłach. *Archiwum Spalania*, Vol.9, 3-4.
- Janowicz L.** (2006): Ciepło z ziarna. *Agroenergetyka*, 1(15), 39-41.
- Jasińska Z., Kotecki A.** (2003): Szczegółowa uprawa roślin. T.1. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, ISBN 83-89198-16-X tom I, 38.
- Mólka J., Łapczyńska - Kordon B.** (2011): Właściwości energetyczne wybranych gatunków biomasy. *Inżynieria Rolnicza*, 6(131), 141-156.
- Weidner S.** (1992): Przedsprężne porastanie ziarniaków zbóż i jego regulacja. *Post. Nauk Roln.*, 5/6, 89-104.
- Żabiński A., Sadowska U., Wcisło G.** (2011): Ciepło spalania ziarniaków zbóż z podrodziny wiechlinowatych. *Inżynieria Rolnicza*, 5 (130), 307-312.
- Kalorymetr KL-10 automatyczny. Producent PPHU Precyzja – Instrukcja obsługi.
Polska Norma PN-EN ISO 9831:2005 Pasze, produkty zwierzęce, kał i mocz. Oznaczanie wartości energetycznej brutto. Metoda bomby kalorymetrycznej.

HEAT OF COMBUSTION OF GRAINS CARYOPSES OF LOWERED QUALITY PROPERTIES

Abstract. The purpose of the research was to determine and compare values of the heat of combustion of the quality and the sprout seed, grain varieties belonging to a sub-variety of graminæ. The research was conducted using the calorimeter pursuant to the applicable standard PN-EN ISO 9831:2005. Based on the obtained results it was stated, inter alia, that oat caryopses are characterised by the highest mean value of the heat of combustion among the examined grain varieties. It concerns both the quality seed as well as the sprout seed of this variety and the obtained values are respectively 18.62 and 18.02 MJ·kg⁻¹. Whereas, the lowest values of the heat of combustion were recorded for wheat and triticale caryopses. The heat of combustion of the quality seed of these varieties was respectively 17.25 and 17.24 MJ·kg⁻¹, while the sprout seed was 17.07 and 17.01 MJ·kg⁻¹. While comparing values of the heat of combustion of the quality seed with the sprout seed within each of the examined varieties, significant differences were noticed in case of rye and oat. The quality seed of these varieties was characterised by significantly higher values of the heat of combustion in relation to the sprout seed. For the quality seed of rye, this value was 17,68 MJ·kg⁻¹, for the sprout seed 17,22 MJ·kg⁻¹.

Key words: sprout grain caryopses, the heat of combustion, calorimeter method

Adres do korespondencji:

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