

WARTOŚCI CIEPLNE LIŚCI WYBRANYCH GATUNKÓW DRZEW ZBIERANYCH NA TERENACH ZABUDOWANYCH

Małgorzata Dziewanowska¹, Tomasz Dobek²

¹Katedra Technicznego Zabezpieczania Okrętów, Politechnika Szczecińska
ul. Piastów 41, 71-065 Szczecin

e-mail: Malgorzata.Dziewanowska@ps.pl

²Zakład Użytkowania Maszyn i Urządzeń Rolniczych, Akademia Rolnicza
ul. Papieża Pawła VI/3, 71-549 Szczecin

Streszczenie. W artykule przedstawiono badania dotyczące spalania liści jako jednej z możliwych metod ich zagospodarowania po zebraniu z terenów zabudowanych. W wyniku spalania możliwe jest pozyskiwanie energii z biomasy roślinnej. Zasada metody polega na wyznaczeniu potencjału cieplnego liści wybranych gatunków drzew zebranych na terenach zabudowanych metodą wg PN-EN ISO 1716. Metoda pomiaru polega na całkowitym spalaniu próbki materiału w atmosferze tlenu pod ciśnieniem w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie i na pomiarze przyrostu temperatury tej wody. Analizę przeprowadzono na liściach rozdrobnionych w luźnej postaci i w formie brykietów. Z przeprowadzonych badań wynika, że ciepło spalania jest różne dla liści różnych gatunków drzew, a liście w postaci luźnej, mają wyższy potencjał cieplny niż liście zbrykietowane. Wartość średnia ciepła spalania wyniosła $14 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ – dla liści w postaci brykietów, natomiast dla liści w postaci rozdrobnionej $15,3 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Najwyższą wartość cieplną miały liście drzew kasztanowca białego i dębu czerwonego, a najniższą lipy krymskiej i klonu srebrzystego.

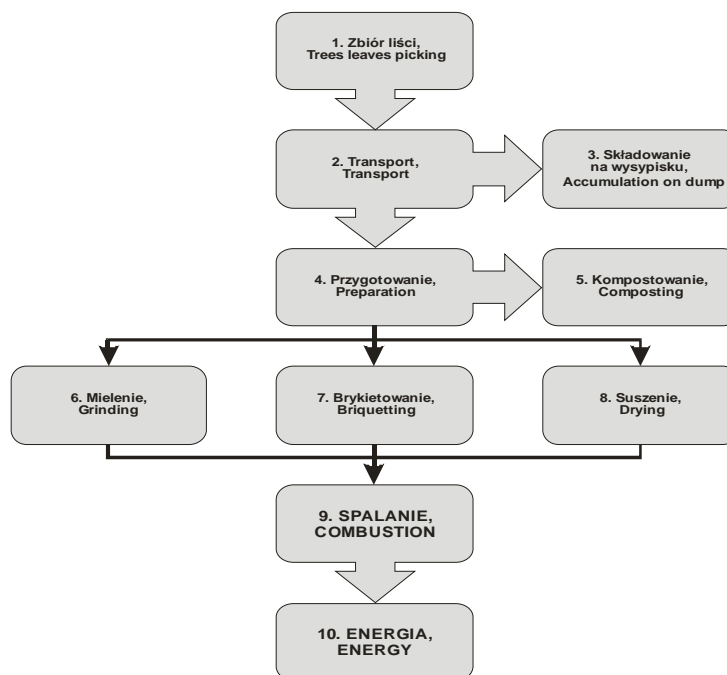
Słowa kluczowe: biomasa, liście drzew, ciepło spalania, spalanie liści

WSTĘP

Wciąż rosnące zapotrzebowanie na energię stwarza groźbę wyeksploatowania źródeł paliw konwencjonalnych. Ponadto używanie tych paliw wpływa w znacznym stopniu na degradację środowiska przyrodniczego, dlatego szuka się alternatywnych zasobów energii, m.in. biomasy. Stwarza ona szereg możliwości zagospodarowania materiału roślinnego, zwłaszcza tam, gdzie jest konieczność jego utylizacji. Przetwarzanie materiału roślinnego z przeznaczeniem na cele energetyczne następuje w różnych kierunkach. Można wytwarzać zarówno paliwa ga-

zowe (metan), paliwa płynne (oleje, alkohole), jak również szeroką gamę paliw stałych (brykiety – badane także w dalszej części artykułu, pellety).

W Polsce mamy możliwość wykorzystania ogromnej ilości biomasy w postaci: słomy zbożowej (25 mln ton), drewna (20 mln m³), suchej masy osadów ściekowych (2,5 mln ton) [2,4]. Materiał roślinny może pochodzić z roślin celowo uprawianych na cele energetyczne (wierzba energetyczna, ślazier pensylwański, miskant olbrzymi, słonecznik bulwiasty, rdest sachaliński i japoński) lub stanowić materiał odpadowy np. z gospodarki komunalnej, a także mogą być to liście zbierane na terenach zabudowanych. Materiał ten wytwarzany jest samoistnie przez naturę każdego roku. Tereny zabudowane, które w okresie jesienno-zimowym są oczyszczane z opadających liści, stanowią podstawowe źródło tej biomasy. W większości materiał ten po zebraniu jest wywożony na wysypiska odpadów i tam składowany lub podlega kompostowaniu. Spalanie i pozyskiwanie na tej drodze energii to trzecia metoda zagospodarowania liści [3]. Możliwe technologie zagospodarowania liści drzew przedstawiono na rysunku 1. Celem badań było wyznaczenie wartości cieplnej liści pochodzących z różnych gatunków drzew.



Rys. 1. Możliwe technologie zagospodarowania liści drzew
Fig. 1. Possible technologies of tree leaves management

METODYKA BADAŃ

W celu określenia wartości opałowej liści różnych gatunków drzew, przeprowadzono badania wyznaczania potencjału cieplnego materiałów metodą wg PN-EN ISO 1716:2004. Metoda pomiaru polega na całkowitym spalaniu próbki materiału w atmosferze tlenu pod ciśnieniem w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie i na pomiarze przyrostu temperatury tej wody [5]. Ciepło spalania badanego materiału brutto wylicza się ze wzoru (1):

$$c_{spb} = \frac{(c_k - 4,1868 \cdot m_w) \cdot (T_m - T_o + c) - C}{m} \quad (1)$$

gdzie: c_{spb} – ciepło spalania brutto ($J \cdot g^{-1}$), c_k – równoważnik cieplny kalorymetru ($J \cdot ^\circ C^{-1}$), m_w – masa wody destylowanej wprowadzonej do kalorymetru (g), T_m – temperatura maksymalna kalorymetru ($^\circ C$), T_o – temperatura wody w kalorymetrze na początku okresu głównego ($^\circ C$), m – masa próbki, (g).

Ciepło spalania materiału wyznacza się po wyznaczeniu poprawek na dodatkowe efekty cieplne:

$$c = (t_{og} - t_{o6}) \cdot \frac{dT_k}{dt} - \frac{dT_p}{dt} \cdot t_{o6} \quad (2)$$

gdzie: c – poprawka, t_o – czas trwania okresu głównego (s), t_{o6} – czas okresu głównego, po upływie którego przyrost temperatury osiągnie wartość $0,6 \cdot \Delta T$ (s), dT_k/dt – średni gradient zmian temperatury w okresie końcowym, ($^\circ C \cdot s^{-1}$), dT_p/dt – średni gradient zmian temperatury w okresie początkowym ($^\circ C \cdot s^{-1}$).

C – poprawka związana z zyskami lub stratami ciepła innymi niż spowodowane przez płaszcz wody [J].

$$C = m_{dr} \cdot c_{spd} + m_2 \cdot c_{sp2} + m_3 \cdot c_{sp3} \quad (3)$$

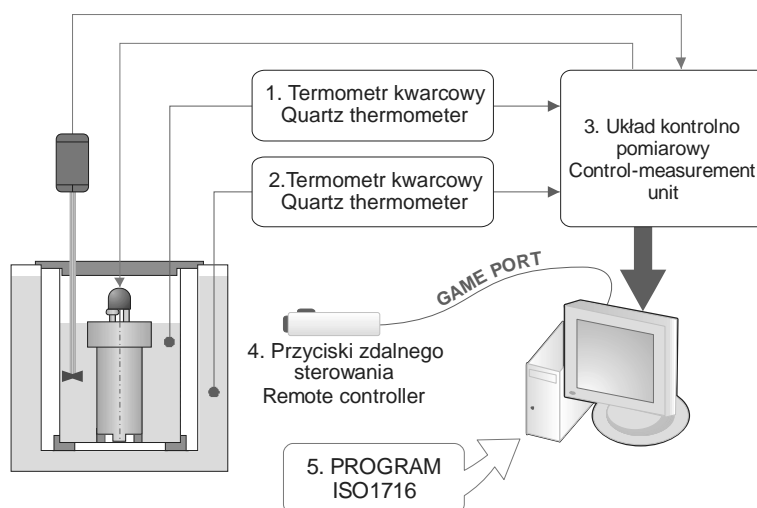
gdzie: m_{dr} – masa drutu zapalającego spalonego podczas badania (g), c_{spd} – ciepło spalania drutu zapalającego ($J \cdot g^{-1}$), m_2 – masa dodatkowego materiału cieplnego (g), c_{sp2} – ciepło spalania dodatkowego materiału cieplnego ($J \cdot g^{-1}$).

Ciepło spalania badanego materiału netto (wartość opałowa) jest to różnica wartości cieplnej brutto i ukrytego ciepła parowania wody. Jej wartość przedstawia zależność (4):

$$c_{spn} = c_{spb} - Q_{wo} \quad (4)$$

gdzie: Q_{wo} – ukryte ciepło parowania wody ($J \cdot g^{-1}$)

Schemat stanowiska do wyznaczania potencjału cieplnego metodą wg PN ISO 1716: 2004 przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska do wyznaczenia potencjału cieplnego metodą wg PN-EN ISO 1716:2004 [5]

Fig. 2. Schematic of test station for determination of combustion heat potential according to the method referred to in the standard PN-EN ISO 1716:2004 [5]

Badania przeprowadzono na liściach 12 gatunków drzew. Masa zebranego materiału mieściła się w przedziale od 4 kg do 9,6 kg. Przed przystąpieniem do pomiarów liście zostały poddane suszeniu w pomieszczeniu o temperaturze około 20°C przez okres około dwóch miesięcy, ponieważ ich wilgotność względna wynosiła ok. 60%. Masa wysuszonych liści wahała się w granicach od 2 kg do 4,6 kg. Wilgotność względna po wysuszeniu wynosiła ok. 15%. Próbkę liści w zależności od stosowanej metody pomiarowej były badane w stanie zmielonym oraz w formie brykietów. Za pomocą metody PN-EN ISO 1716: 2004 wyznaczono ciepło spalania netto (wartość opałową), czyli różnicę wartości cieplnej brutto i ukrytego ciepła parowania wody.

WYNIKI BADAŃ

W celu określenia wartości cieplnej liści, zbierano próbki w okresie listopada i grudnia 2003 roku z terenów lewobrzeżnej części Szczecina. Następnie przygotowano próbki w dwóch postaciach czyli: w formie rozdrobnionej oraz zbrykietowanej. Z przeprowadzonych badań wynika, że ciepło spalania jest różne dla liści różnych gatunków drzew. Uzyskane wartości cieplne badanych liści różnych gatunków drzew przedstawiono w tabeli 1.

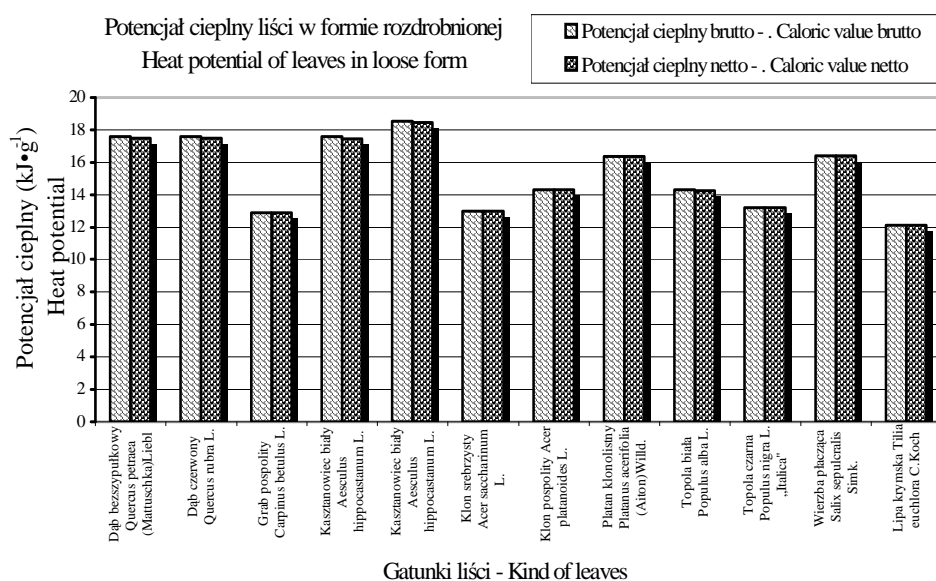
Tabela 1. Uzyskane wartości cieplne liści różnych gatunków drzew
Table 1. Calorific values measured for leaves of various tree species

Gatunek drzewa – Tree species	Ciepło spalania liści Calorific value of leaves	
	brykiety briquette (kJ·g ⁻¹)	rozdrobione shredded leaves (kJ·g ⁻¹)
Dąb bezszypułkowy (<i>Quercus petraea</i> (Mattuschka)Liebl.)	17,0	17,6
Dąb czerwony (<i>Quercus rubra</i> L.)	17,5	17,6
Grab pospolity (<i>Carpinus betulus</i> L.)	11,8	12,8
Kasztanowiec biały I (<i>Aesculus hippocastanum</i> L.)	15,4	17,4
Kasztanowiec biały II (<i>Aesculus hippocastanum</i> L.)	15,7	18,4
Klon srebrzysty (<i>Acer saccharinum</i> L.)	10,7	13,0
Klon pospolity (<i>Acer platanoides</i> L.)	13,0	14,3
Platan klonolistny (<i>Platanus acerifolia</i> (Aiton)Willd.)	12,4	16,4
Topola biała (<i>Populus alba</i> L.)	12,6	14,3
Topola czarna (<i>Populus nigra</i> L.)	14,0	13,2
Wierzba płacząca (<i>Salix sepulcralis</i> Simk.)	16,0	16,4
Lipa krymska (<i>Tilia euchlora</i> C.Koch)	12,0	12,0
Wartość średnia (Mean value)	14,0	15,3

Najniższymi wartościami cieplnymi charakteryzowały się liście klonu srebrzystego (10,7 kJ·g⁻¹ w postaci brykietu i 13 kJ·g⁻¹ w postaci rozdrobnionej), grabu pospolitego (11,8 kJ·g⁻¹ w postaci brykietu i 12,8 kJ·g⁻¹ w postaci rozdrobnionej) oraz lipy krymskiej (12 kJ·g⁻¹ w postaci brykietu i 12,1 kJ·g⁻¹ w postaci rozdrobnionej). Natomiast najwyższymi wartościami cieplnym charakteryzowały

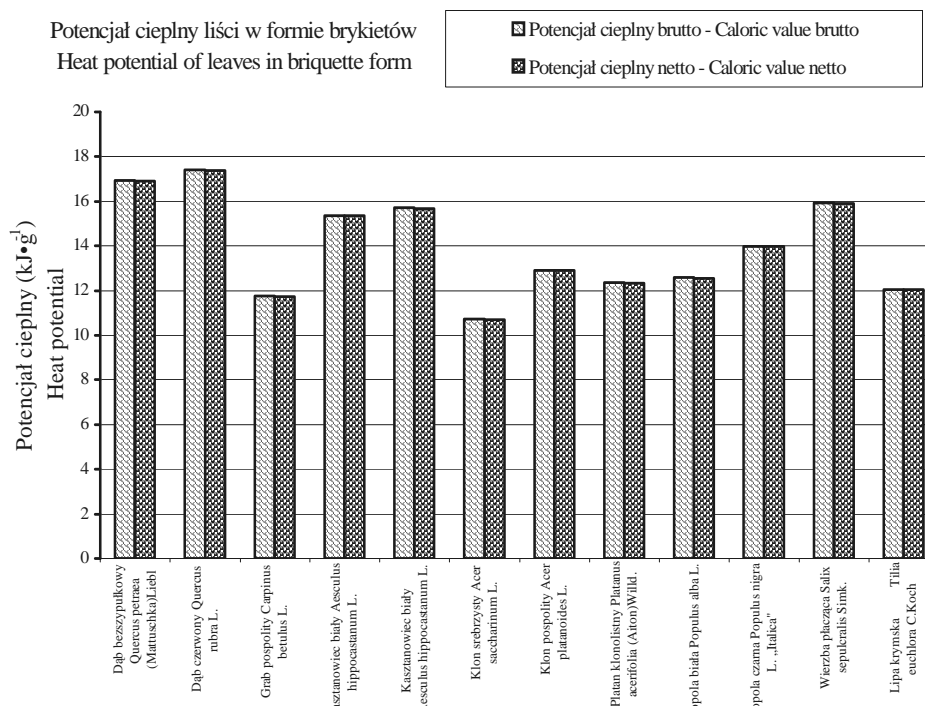
się liście dębu czerwonego ($17,5 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ w postaci brykietu i $17,6 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ w postaci rozdrobnionej) oraz dębu bezszypułkowego ($17 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ w postaci brykietu i $17,6 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ w postaci rozdrobnionej). Największe różnice dla liści w postaci brykietu, wystąpiły w przypadku liści dębu czerwonego i lipy krymskiej, gdzie wartość cieplna dębu czerwonego była wyższą o 62,7% w stosunku do klonu srebrnego, natomiast dla liści występujących w postaci rozdrobnionej największe różnice wystąpiły między lipą krymską, a dębem bezszypułkowym i dębem czerwonym, gdzie dla dębu wartość cieplna liści była wyższa o 45,7%. Różnice uzyskanego ciepła spalania dla badanych liści w postaci rozdrobnionej i zbrykietowanej wynikają z dostępności tlenu podczas spalania do całego materiału w bombie kalorymetrycznej. W przypadku liści zbrykietowanych struktura materiału była bardziej zwarta i dostęp tlenu był utrudniony w porównaniu z liśćmi rozdrobnionymi. Wartości cieplne liści przedstawiono w tabeli 1.

Wilgotność względna liści po wysuszeniu wahała się w granicach 10-15% liści. Taka wilgotność nie powoduje widocznych różnic między wartością cieplną brutto i netto, co przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Przedstawiono na nich wartość potencjału cieplnego dla liści rozdrobnionych i zbrykietowanych porównując wartość cieplną brutto i netto spalanych liści.



Rys. 3. Wartość cieplna liści rozdrobnionych wyznaczana metodą wg PN EN ISO 1716:2004

Fig. 3. Calorific value of shredded leaves according to the method referred to in PN EN ISO 1716:2004



Rys. 4. Wartość cieplna liści w formie brykietów wyznaczana metodą wg PN EN ISO 1716:2004
Fig. 4. Caloric value of leaves formed in briquettes according to the method referred to in PN EN ISO 1716:2004

Porównując uzyskane wyniki z wartością cieplną drewna, węgla kamiennego, słomy, siana oraz wierzby energetycznej, to wartość średnia dla liści (w postaci brykietów i liści rozdrobnionych) była wyższa od wartości cieplnej węgla brunatnego ($7,8 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$), torfu ($12,8 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$), siana ($13,2 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) oraz słomy żółtej ($14,3 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$), natomiast wyższą wartością cieplną charakteryzowały się gaz ziemny ($48 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$), trzcina pospolita ($24,9 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) oraz węgiel kamienny ($20,9 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

WNIOSKI

1. Wartość cieplna liści różnych gatunków drzew była różna i wahała się od $10,7 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (liście klonu srebrzystego w postaci brykietów) do $18,4 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (liście kasztanowca białego w postaci liści rozdrobnionych).

2. Wartość cieplna liści ($15,3 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) jest porównywalna z wartością cieplną drewna, węgla kamiennego, słomy, siana, wierzby energetycznej itp., natomiast przewyższa swą wartością energetyczną torf i węgiel brunatny.

3. Największą wartość cieplną z badanych liści różnych gatunków drzew mają: dęby i kasztanowce (ok. $16,9 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ – $18,4 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

4. Wartość cieplna liści sprasowanych jest mniejsza niż liści rozdrobnionych. Dla liści w postaci brykietów średnia wartość cieplna wyniosła $14 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, natomiast dla liści w postaci rozdrobnionej średnia wartość cieplna wyniosła $15,3 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, wynika to ze struktury spalanych liści na co ma wpływ dostęp tlenu w bombie kalorymetrycznej.

5. Wilgotność względna liści w granicach 10-15% nie powoduje widocznych różnic między wartością cieplną brutto i netto.

PIŚMIENNICTWO

1. **Duer I.:** Możliwości pozyskiwania energii z biomasy roślinnej. *Fragmenta Agronomica* 2, 1993.
2. **Kowalik T.:** Druga Sejmowa Przygoda Energii Odnawialnej. *Biuletyn Polskiego Klubu Ekologicznego*, 12, 1998.
3. **Lewandowski W.:** Proekologiczne źródła energii odnawialnej. Wydaw. WNT Warszawa, 2001.
4. **Mokrzycki E., Olkusiński T., Szurlej A., Skoczek A., Mirowski T.:** Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi. Wydaw. AGH w Krakowie, 2005.
5. **Sychta Z., Sychta K.:** Wyznaczanie potencjału cieplnego materiałów metodą wg ISO 1716: 2004. Szczecin, 2005.

MEASUREMENTS OF COMBUSTION HEAT OF LEAVES OF VARIOUS TREE SPECIES COLLECTED IN BUILT-UP AREAS

Małgorzata Dziewanowska¹, Tomasz Dobek²

¹Chair of Technical Security Ships, Technical University of Szczecin
ul. Piastów 41, 71-065 Szczecin
e-mail: Małgorzata.Dziewanowska@ps.pl

²Department of Agricultural Machinery Operation, Agricultural University
ul. Papieża Pawła VI/3, 71-549 Szczecin

Abstract. The article describes the results of combustion tests of tree leaves as one of the possible methods of their management after they have been collected from built-up areas. As a result of combustion it is possible to recycle/gain energy from the plant biomass. The clue of the method is based on the estimation of calorific value of material for leaves of chosen tree species from built-up areas according to the method regulated by the standard PN-EN ISO 1716. The method of measurement lies in complete combustion of a specified mass of material inside an atmosphere of oxygen under pressure in the Calorimeter Bomb in stirred water bath and measurement of water temperature increases. The analysis was performed on samples of shredded leaves or of leaves formed into briquettes. The tests proved that the heat of combustion was different for leaves of various tree types and that leaves in loose shredded form have a higher calorific value of material than those formed into briquettes. The average value of heat of combustion reached 14 kJ g^{-1} for leaves formed into briquettes and for $15,3 \text{ kJ g}^{-1}$ for loose shredded leaves. The highest calorific value of material was recorded for leaves of white chestnut and those of red oak, and the lowest for leaves of lime-tree and maple.

Key words: biomass, leaves of trees, heat of combustion, combustion of tree leaves