

dr inż. Dariusz WIŚNIEWSKI, dr Joanna HAŁACZ,  
prof. dr hab. inż. Janusz PIECHOCKI, dr inż. Marian PIWOWARSKI

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych, Katedra Elektrotechniki i Energetyki  
ul. M. Oczapowskiego 11, 10-957 Olsztyn  
e-mail: jhalacz@uwm.edu.pl; jpt@uwm.edu.pl

# BADANIA POTENCJAŁU ENERGETYCZNEGO POZOSTAŁOŚCI POPRODUKCYJNEJ Z HODOWLI BOCZNIAKA

Streszczenie

*Niniejsze opracowanie dotyczy badań potencjału energetycznego biomasy, obecnie trzeciego co do wielkości naturalnego źródła energii na świecie. Energia zawarta w biomase jest najmniej kapitałochłonnym źródłem energii odnawialnej. Jej pozyskiwanie nie wiąże się z wprowadzaniem zanieczyszczeń do środowiska, przy okazji istnieje możliwość pozbycia się kłopotliwych odpadów poprodukcyjnych. Jednak pozyskiwanie energii z biogazu jest dzisiaj inicjatywą mało spopularyzowaną. Przedstawione w tym opracowaniu rozważania i wyniki badań mogą zachęcić potencjalnych inwestorów do zmiany tego stanu rzeczy.*

**Słowa kluczowe:** naturalne źródła energii; biomasa; potencjał energetyczny; energia odnawialna; środowisko naturalne; zanieczyszczenia; boczniak; odpady poprodukcyjne; badania laboratoryjne

## Wstęp

Biomasa stała się trzecim co do wielkości naturalnym źródłem energii na świecie. Zgodnie z definicją Unii Europejskiej, biomasa oznacza podatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, odpady i pozostałości przemysłu rolnego (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, jak również podatne na rozkład biologiczny frakcje odpadów przemysłowych i miejskich (Dyrektywa 2001/77/WE). Jako surowiec energetyczny wykorzystywana jest głównie biomasa pochodzenia roślinnego, powstała w procesie fotosyntezy.

Energia zawarta w biomase jest najmniej kapitałochłonnym źródłem energii odnawialnej. Za energetycznym wykorzystaniem biomasy przemawia nie tylko jej potencjał energetyczny, ale i efekt ekologiczny [2]. Biomasa stanowi bowiem nieszkodliwe dla środowiska, odnawialne źródło energii. Jej największą zaletą jest zerowy bilans emisji dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), uwalnianego podczas spalania, a także niższa niż w przypadku paliw kopalnych emisja dwutlenku siarki (SO<sub>2</sub>), tlenków azotu (NO<sub>x</sub>) i tlenku węgla (CO) [biomasa.org]. Podczas spalania biomasy mówi się o tzw. bilansie zerowym, ponieważ poziom emisji dwutlenku węgla do atmosfery nie przekracza ilości, jaką rośliny pobrały w fazie wzrostu [2].

Biomasa pozyskiwana z odpadów organicznych stanowi ważny element zasobów energii odnawialnej. Jest ona konsekwencją naturalnej aktywności człowieka, a z punktu widzenia ochrony środowiska istotna jest możliwość jej wykorzystania do celów energetycznych [3].

## Cel i zakres pracy

Celem badań było określenie potencjału energetycznego pozostałości poprodukcyjnej z hodowli grzyba boczniaka dla potrzeb zakładu uprawy grzybów Gudniki w Tomaszku, woj. warmińsko-mazurskie. Do badań włączono także inne produkty uboczne, takie jak słoma rzepakowa oraz pomiot z ferm drobiu, w związku z istniejącą możliwością wykorzystania ich do celów energetycznych.

## Przygotowanie do badań

Badania polegały na wyznaczeniu wartości opałowej biomasy poprodukcyjnej, która została wysuszona w suszarkach laboratoryjnych do około 10%. Wykorzystanie jej jako nośnika energii wymaga odpowiedniego kondycjonowania ze względu na wysoki poziom wilgotności i formę, w jakiej jest wykorzystywana w hodowli. Najczęściej są to kostki o wymiarach 52 x 40 x 25 cm i wadze powyżej 21 kg. Biomasa poprodukcyjna charakteryzuje się dużą wilgotnością (około 70%) ze względu na wymagania klimatyczne grzybni. Aby biomasa mogła zostać wykorzystana jako paliwo, należało obniżyć wilgotność do około 8-10%. Wyższa wilgotność wpłynęłaby ujemnie na jakość otrzymywanego paliwa ze względu na niższą wartość opałową i wzrost emisji zanieczyszczeń.

Zmniejszanie wilgotności przebiegało dwuetapowo. W pierwszym etapie usuwano wodę kapilarną metodami mechanicznymi, w drugim etapie usuwano wodę higroskopijną metodami termicznymi. Po otrzymaniu biomasy o odpowiedniej wilgotności proces przewidywał ujednoczenie formy i zwiększenie masy w jednostce objętości biomasy poprzez brykietowanie. Brykietowanie jest zabiegiem umożliwiającym łatwą automatyzację procesu podawania paliwa, a także kilkakrotnie zmniejsza powierzchnię magazynowania i zapewnia bezpieczeństwo przed samozapłonem. Ponadto, w tej formie biomasa nie pleśnieje i nie psuje się. Wartość opałowa tak przygotowanej biomasy zależy od składników użytych do przygotowania podłoża grzybni. Najczęściej używana jest do tego słoma żytnia, pszenżytnia, pszena oraz czasami słoma kukurydziana i jęczmienna, a także ich mieszaniny. Słoma pocięta jest na sieczkę o długości 0,5-5,0 cm, często dodatkowo rozszarpywana w celu lepszego chłonięcia wilgoci. Masa grzybni po przygotowaniu nie przekracza 5% masy podłoża. Na tej podstawie można przyjąć wartość opałową biomasy po kondycjonowaniu równą wartości opałowej słomy suchej szarej, która dla różnych odmian słomy została przedstawiona w tab. 1.

Wartość opałową brykietu ze słomy szarej szacuje się na poziomie 17 MJ/kg i stanowi on doskonałe paliwo w procesach zgazowywania i spalania ze względu na niską zawartość siarki i ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> w porównaniu z węglem. Natomiast

popiół z procesów zgazowywania lub spalania może być wykorzystany jako nawóz bogaty w składniki mineralne.

Tab. 1. Wartości opałowe wybranych rodzajów słomy [4]  
Table 2. Calorific values of chosen kinds of straw [4]

Rodzaj słomy	Wartość opałowa słomy suchej MJ/kg
pszenna	17,2
żytnia	17,5
pszenżytnia	17,1
jęczmienna	17,5
kukurydziana	17,7

## Metodyka badań

### Wyznaczanie ciepła spalania

Badania pozostałości poprodukcyjnej z hodowli boczniaka oraz słomy rzepakowej i pomiotu z ferm drobiu wykonano w bombie kalorymetrycznej.

### Wyznaczenie pojemności cieplnej kalorymetru (kalibracja) w oparciu o ciepło spalania substancji wzorcowej

W bombie kalorymetrycznej umocowano pastylkę o znanej masie, wykonaną z substancji wzorcowej (kwas benzoowy,  $q_{v,p} = 26,476$  kJ/g w temp. 20°C). Do pomiaru temperatury wody w kalorymetrze wykorzystano układ, składający się z mikroprocesorowego wyświetlacza, połączonego z półprzewodnikowym czujnikiem temperatury. Po uruchomieniu mieszadła w kalorymetrze należało odczekać 5 minut, po czym w odstępach 30 sekundowych odczytywano temperaturę (10-15 odczytów). Następnie po wciśnięciu zapłonu (w celu zapalenia pastylki) kontynuowano odczyty temperatury (5-10 odczytów). Zaobserwowano wyraźny wzrost temperatury. Kolejne odczyty rozpoczęto od momentu, gdy temperatura przestała wzrastać (10-15 odczytów).

### Wyznaczenie ciepła spalania substancji

Do wyznaczenia ciepła spalania substancji w kalorymetrze, z badanych produktów (pelet słomy rzepakowej, pelet pomiotu kurzego, pelet słomy grzybni boczniaka) wykonano pastylki o masie ok. 1 g za pomocą ręcznej prasy do sporządzania pastylek. Każdy materiał reprezentowany był przez 6 próbek. Wilgotność względna badanych próbek to około  $W_w = 10\%$ . Zestawienie wyników badań ciepła spalania ( $W_i$ ) dla poszczególnych próbek oraz wartość średnią ciepła spalania dla każdego rodzaju materiału przedstawia tab. 2.

Uzyskane wartości ciepła spalania zostały następnie wykorzystane do wyznaczenia wartości opałowej biomasy z uprawy boczniaka według wzoru [1]:

$$W_o = W_t = 2454 \cdot (W_w + 9H),$$

gdzie:

$W_o$  - wartość opałowa [kJ/kg],

$W_t$  - ciepło spalania próbki paliwa [kJ/kg],

$W_w$  - wilgotność względna paliwa [kJ/kg],

H - względne występowanie wodoru w paliwie [kg/kg].

Do wyznaczenia wartości opałowej paliwa niezbędna jest względne występowanie wodoru w paliwie. Przeprowadzone analizy pierwiastkowe różnych rodzajów słomy podają zawartość wodoru w słomie szarej 4-7% [m2] do dalszych obliczeń przyjęto wartość średnią  $H = 5,5\%$ . Na tej podstawie wyznaczono wartość opałową biomasy z uprawy boczniaka:

$$W_{o, \text{biomasy}} = 17,97 - 2454 \cdot (0,1 + 9 \cdot 0,055) = 17,97 - 1,46 = 16,5 \text{ MJ/kg.}$$

Wyznaczona wartość opałowa biomasy z uprawy boczniaka została wykorzystana do określenia potencjału energetycznego biomasy odpadowej z hodowli grzyba boczniaka.

Tab. 2. Wyniki badań ciepła spalania ( $W$ ) badanego materiału (opracowanie własne)

Table 2. Research results of heating value of tested material (own study)

Lp.	Materiał	Nr próby	Wt [MJ/kg]	Wt średnia [MJ/kg]
1.	słoma rzepakowa	1	17,12	18,29
2.		2	18,44	
3.		3	18,46	
4.		4	18,51	
5.		5	18,60	
6.		6	18,65	
7.	pomiot drobiarski	1	19,74	18,01
8.		2	16,29	
9.		3	18,59	
10.		4	19,96	
11.		5	16,81	
12.		6	16,72	
13.	biomasa z uprawy boczniaka	1	18,48	17,97
14.		2	17,22	
15.		3	17,71	
16.		4	17,21	
17.		5	19,12	
18.		6	18,09	

### Określenie potencjału energetycznego pozostałości z hodowli boczniaka

Producent boczniaka szacuje docelową ilość biomasy poprodukcyjnej z hodowli grzyba po uruchomieniu wszystkich hal produkcyjnych na poziomie około  $400 \cdot 10^3$  kg/miesiąc. Po wysuszeniu  $400 \cdot 10^3$  kg biomasy poprodukcyjnej o uwodnienie 70% do wartości około 10% otrzymamy:

$$mw_{10} = ms + mc \cdot \frac{10\%}{100\%} = 120 \cdot 10^3 \text{ kg} + 400 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 0,1 = 160 \cdot 10^3 \text{ kg}.$$

gdzie:

ms - całkowita masa sucha,

mc - masa całkowita,

$mw_{10}$  - masa po wysuszeniu do zawartości wilgoci 10%.

Proces suszenia biomasy poprodukcyjnej wymaga około 15% biomasy wysuszonej  $mw_{10}$  (według producentów suszarni bębnowych, firma Proeko), która po zmieleniu w młynie młotkowym spalana jest w ceramicznym palniku pyłowym. Stąd całkowita dostępna ilość biomasy suchej:

$$mwc_{10} = mw_{10} \cdot \left(1 - \frac{15\%}{100\%}\right) = 136 \cdot 10^3 \text{ kg}.$$

Energia dostępnej biomasy po wysuszeniu wynosi:

$$E_c = WO_{biomasy} \cdot mwc_{10} = 16,5 MJ / kg \cdot 136 \cdot 10^3 kg = 2244 GJ,$$

gdzie:

$E_c$  - energia całkowita biomasy po wysuszeniu do wilgotności 10%,

$WO_{biomasy}$  - wartość opałowa biomasy o wilgotności około 10%.

W wyniku analizy stwierdzono, że możliwe jest uzyskanie z biomasy poprodukcyjnej z hodowli grzyba bocznika 2244 GJ energii odnawialnej, co odpowiada  $93 \cdot 10^3$  kg węgla o kaloryczności 24 MJ/kg.

### Analiza kosztów

Przeprowadzona analiza potencjału energetycznego biomasy poprodukcyjnej z hodowli bocznika pozwoliła oszacować:

- ilość biomasy suchej z produkcji grzyba bocznika na poziomie  $1632 \cdot 10^3$  kg/rok,
- średnią wartość opałową biomasy 16,5 MJ/kg.

Daje to potencjał energetyczny około 26 928 GJ/rok. Przy obecnej cenie zakupu przez energetykę zawodową 1 GJ energii odnawialnej (zielonej) na poziomie 25 zł można oszacować zysk brutto ( $Z_b$ ) z uzyskanej energii biomasy poprodukcyjnej z hodowli bocznika na poziomie:

$$Z_b = 26\,928 \text{ GJ/rok} \cdot 25 \text{ zł/GJ} = 673\,200 \text{ zł/rok.}$$

Zysk brutto należy jednak pomniejszyć o koszty stałe poniesione na wyprodukowanie peletu z wysuszonej biomasy. Głównymi składnikami kosztów stałych są:

- Zużycie mediów, a głównie energii elektrycznej ( $E_e$ ) (ok. 100 kWh /  $1 \cdot 10^3$  kg peletu).

Do obliczeń kosztów energii elektrycznej przyjęto dane dla standardowej taryfy, według której koszt 1 kWh wynosi 0,55 zł (koszt energii 0,24 zł, opłata systemowa zmienna 0,09 zł, opłata przesyłowa 0,22 zł). Stąd koszty energii elektrycznej wyniosły 89 760 zł/rok:

$$E_e = 1632/\text{rok} \cdot 55 \text{ zł} = 89\,760 \text{ zł/rok.}$$

- Koszty zatrudnienia ( $K_z$ ) (praca jednozmianowa, 3 osoby na zmianę).

Przyjmując minimalny całkowity koszt zatrudnienia pracownika w roku 2010 na poziomie 1560,39 zł, dla trzech

pracowników obsługujących linię produkcyjną peletu wynoszą one 56174 zł rocznie.

- Koszty zmienne ( $K_{zm}$ ), których główny składnik stanowią wymiany eksploatacyjne i naprawy linii produkcyjnej peletu.

Głównym kosztem eksploatacyjnym w linii produkcyjnej peletu są koszty wymiany matryc granuladora, płaszczy rolek oraz rolek. Dla granuladora pierścieniowego o wydajności  $1 \cdot 10^3$  kg/h koszt wymiany matrycy rolek kształtuje się na poziomie 20 000 zł. Średni czas pracy matrycy to około 1 400 godzin. Przy pracy jedno zmianowej matryca umożliwia produkcję przez 8 miesięcy. Stąd koszt głównych wymian eksploatacyjnych wynosi 30 000 zł w ciągu roku.

Podsumowując: zysk netto ( $Z_n$ ) po odliczeniu głównych kosztów stałych i zmiennych można oszacować na poziomie:

$$Z_n = Z_b - E_e - K_z - K_{zm} = 673\,200 \text{ zł} - 89\,760 \text{ zł} - 56\,174 \text{ zł} - 30\,000 \text{ zł} = 497\,266 \text{ zł}$$

Natomiast ostatecznie wartość brutto energii uzyskanej z biomasy wynosi 776 000 zł:

Wartość brutto = ilość GJ energii x cena za 1GJ = 776 000 zł.

### Podsumowanie

Powyższa analiza stanowi punkt wyjściowy do budowy prototypowej modelowej niekomercyjnej instalacji przetwarzania biomasy poprodukcyjnej z hodowli grzyba bocznika w procesie kogeneracji.

Instalacja taka jest przedsięwzięciem niezwykle korzystnym gdyż przyczyni się do:

- maksymalnego zredukowania odpadów poprodukcyjnych,
- znaczącego zmniejszenia zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska,
- uzyskania dodatkowych środków finansowych ze sprzedaży energii odnawialnej,
- obniżenia kosztów własnych produkcji.

### Bibliografia

- [1] Domański M.: Drewno jako materiał energetyczny. Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2007.
- [2] <http://www.portfel.pl/pdf/art2290> (14.03.2011).
- [3] Piechocki J., Neugebauer M., Sołowiej P.: Ogniwo paliwowe źródłem energii w gospodarstwie rolnym. Inżynieria Rolnicza, 2010, nr 3.
- [4] Wandrasz J., Wandrasz A.: Paliwa formowalne. Warszawa: Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” sp. z o.o., 2006.

## EXAMINATION OF THE ENERGY POTENTIAL OF OYSTER MUSHROOM POST-PRODUCTION WASTE

### Summary

*This study involves examination of the energy potential of biomass, currently the third largest source of natural energy in the world. Biomass energy is the least capital-consuming source of renewable energy. It is obtained with no pollution of the environment, at the same time enabling clear-out some post-production waste. Although the production of biogas energy is currently not very popular, the results of this study may encourage potential investors to change this situation.*

**Key words:** natural energy sources; biomass; energy potential; renewable energy; natural environment; pollutants; oyster mushroom; industrial waste; laboratory experimentation