

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 biomasie 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 biomasie 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 (CO₂), uwalnianego podczas spalania, a także niższa niż w przypadku paliw kopalnych emisja dwutlenku siarki (SO₂), tlenków azotu (NO_x) 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 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 CO₂ 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_t) 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.: Ogniwu 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