



Otrzymano: 31 lipca 2017  
Zaakceptowano: 10 listopada 2017  
Udostępniono online: 15 listopada 2017

## Ekologiczne aspekty stosowania biomasy roślinnej na przykładzie pelletu sosnowego i łuski słonecznika

### Ecological aspects of the use of plant biomass on the example of pine pellets and sunflower husks

Wojciech MAŁEK

Katedra Pieców Przemysłowych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Politechnika Częstochowska, al. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa, Polska

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono aspekty ekologiczne stosowania biomasy roślinnej na przykładzie pelletu sosnowego i łuski słonecznika. W pierwszej części opisano sposób jej przechowywania oraz zagrożenia jakie płyną z jej magazynowania. Następnie zbadano i porównano wartości opałowe, ciepło spalania, emisję gazów do atmosfery, wilgoć oraz popiół badanych rodzajów biomasy.

**Słowa kluczowe:** biomasa, ekologia, ciepło spalania, paliwa odnawialne

**Abstract:** The article presents the ecological aspects of the use of plant biomass on the example of pine pellets and sunflower husks. The first part describes how to store it and how it is stored in warehouses. The calorific values, combustion heat, gaseous emissions, humidity, and ash of the biomass types examined were then examined and compared.

**Keywords:** biomass, ecology, combustion heat, renewable fuels

#### 1. Wstęp

Rozwój cywilizacyjny wiąże się z powstaniem wielu nowych zagrożeń. Eksploatowanie złóż paliw kopalnianych i zasobów mineralnych powoduje degradację części środowiska naturalnego, co może przyczynić się do katastrofy ekologicznej. Istotnym aspektem mogącym naruszyć bezpieczeństwo ekologiczne Ziemi jest fakt, iż paliwa kopalne stają się źródłem konfliktów zbrojnych. Alternatywą i wyjściem z tego rodzaju sytuacji jest wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, których ludzkość zaczyna szukać z coraz większym skutkiem.

Świadomość powolnego obumierania naszej planety zaczyna trafiać do większości jej mieszkańców. W tym celu podpisywane są nowe traktaty zobowiązujące kraje do ochrony środowiska i zabezpieczania go dla przyszłych pokoleń. Kolejnym krokiem jest wdrażanie nowych technologii, które mają na celu ograniczenie emisji niebezpiecznych gazów i związków do atmosfery. Coraz więcej przedsiębiorstw i domów jednorodzinnych rezygnuje ze spalania tradycyjnych paliw kopalnianych, inwestując w nowoczesne kotły do spalania biomasy lub w kotły o wyższej sprawności. Są one proste w eksploatacji, bardzo często bezobsługowe, mają odpowiednie zasobniki na paliwo, wytwarzają mało popiołu i są bezpieczne dla otoczenia, ponieważ proces spalania w kotle jest zamknięty i kontrolowany przez układy elektroniczne sterujące pracą kotła [1–6].

#### 2. Charakterystyka biomasy na przykładzie pelletu sosnowego

Pellet sosnowy jest to sprasowany odpad drzewny powstały z wiórów, trocin i zrębków z drewna sosnowego. Po-

wstaje w tartakach oraz w przemyśle drzewnym, takim jak stolarstwo. Firmy zajmujące się obróbką drewna wykorzystują odpady drewnopochodne do produkcji pelletu, a wprowadzanie na rynek tego rodzaju biomasy staje się celowe, ponieważ zwiększa się zapotrzebowanie na tego rodzaju paliwa w sektorze rynku energetyki.

W przemyśle drzewnym do produkcji stosuje się dużo drewna sosnowego, a wprowadzanie na rynek tego rodzaju biomasy staje się coraz bardziej opłacalne, ponieważ są odbiorcy tego rodzaju paliwa na rynku. Świadomość ludzi i postęp technologiczny sprawia, że pellety zyskują coraz większą liczbę zwolenników, a koszty eksploatacji kotłów grzewczych są znacznie niższe od tradycyjnych kotłów opalanych paliwami kopalnymi. Spalanie paliw z biomasy (pelletów) posiada wiele zalet, takich jak:

- odnawialność surowca,
- brak dodatkowej emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery, ponieważ jest emitowane tyle tlenu węgla, ile roślina pobrała w wyniku fotosyntezy – tzw. „zerowy” bilans CO<sub>2</sub>,
- popiół z biomasy ma skład mineralny odpowiadający składnikom nawozu,
- produkcja biomasy prowadzi do rozwoju rolnictwa i leśnictwa oraz ogranicza bezrobocie na obszarach rolnych i leśnych [2, 3].

#### 3. Przechowywanie biomasy

Biomasa jako paliwo energetyczne może być magazynowane w różny sposób. Przechowywanie tego paliwa i dobór odpowiednich metod składowania zależy od rodzaju surowca z jakiego została wytworzona lub przetworzona. Do najbardziej pospolitych metod przechowywania biomasy należą:

- składowanie na hałdach,

Adres e-mail: [malek.wojciech@wip.pcz.pl](mailto:malek.wojciech@wip.pcz.pl)

- przechowywanie w silosach,
- składowanie w zasobnikach,
- przechowywanie w zadaszonych budynkach,
- przechowywanie poukładanej biomasy na wolnym powietrzu.

Najczęściej na hałdach składowane są wióry z obróbki drewna (sosny), trociny i zrębki [4].

### 3.1. Zagrożenia związane ze składowaniem biomasy na hałdach

Jednym z niebezpiecznych zjawisk, jakie mogą powstać w trakcie przechowywania i magazynowania biomasy jest jej samozapłon. Do samozapłonu może dojść pod wpływem wielu czynników chemicznych, biologicznych i fizycznych. Oddziaływanie to nasila się, gdy odpady drzewne są świeże, wilgotne i narażone na opady atmosferyczne oraz na wpływ wysokich temperatur wywołanych przez promienie słoneczne.

W dużych hałdach wyróżnia się trzy strefy warstwy. Najistotniejszym czynnikiem, jaki je różni jest temperatura i wilgotność. W warstwie zewnętrznej dużą rolę odgrywają czynniki atmosferyczne charakteryzujące się wysokimi wahaniami temperatur i stopniem nasłonecznienia tej warstwy. W warstwie zewnętrznej proces parowania przebiega samorzutnie bez żadnych problemów. Kolejna głębsza warstwa jest cieńsza niż warstwa zewnętrzna. charakteryzuje się dość dużą gęstością. Biomasa jest tam ściśnięta, tworzy zbitą konsystencję o utrudnionym przepływie powietrza. Warstwa ta tworzy izolację pomiędzy dwoma warstwami: warstwą zewnętrzną, a warstwą wewnętrzną hałdy.

Trzecią warstwę stanowią najgłębiej zalegające cząstki biomasy. Warstwa ta cechuje się największą temperaturą i największą grubością w hałdzie. W zależności od wielkości hałd każda z nich jest narażona na czynniki zewnętrzne jak i wewnętrzne. Czynniki zewnętrznymi są: różnica temperatur, opady atmosferyczne oraz pora roku, w której dane paliwo jest składowane. Natomiast do czynników wewnętrznych należy granulacja biomasy, stopień wilgotności biomasy oraz czynniki biologiczne rozkładu. Na biomasę najintensywniej działają czynniki wewnętrzne w stadium świeżości. Gdy biomasa jest świeża, nie odparowana i wilgotna, skutkuje to wysokimi temperaturami wewnątrz hałdy, fermentacją substancji organicznych i emisją metanu, który jest łatwo palnym i wybuchowym gazem [3, 4].

### 3.2. Przechowywanie pelletu

Jedną z najważniejszych właściwości pelletu jest stopień zawilgocenia. Dlatego przed wyborem miejsca składowania należy zapewnić takie, które jest suche i naturalnie wentylowane. Zdecydowanie najlepiej w tym przypadku sprawdzi się kotłownia lub pomieszczenia jej towarzyszące. W takich miejscach granulki nie tracą swoich walorów użytkowych. Ale i tu konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności. Jeśli kotłownia jest na parterze lub w piwnicy, konieczne jest ułożenie worków na palecie lub deskach. Rozwiązanie takie uchroni pellet przed absorbowaniem wilgoci z podłoża. Gdy zawilgocenie przekracza określone wartości przyjęte w normie, spada wartość opałowa i ciepło spalania pelletu. Z tego powodu wszelkie wiaty czy nieocieplone garaże niestety nie nadają się do przechowywania worków. Biomasa w formie pelletu w magazynach przechowywana jest w workach co ogranicza

możliwość wystąpienia samozapłonu takiego rodzaju biopaliwa.

Składowanie biomasy w formie pelletu poprawia bezpieczeństwo, ponieważ minimalizuje zagrożenia związane z przechowywaniem biomasy w magazynach lub domowych kotłowniach [3, 4].

## 4. Nowoczesne kotły na biomasę

Kotły na biomasę są tanim i ekologicznym źródłem energii. Sukces ekonomiczny zależy od doboru odpowiedniego kotła do typu biomasy dostępnej w danym regionie. Najważniejsze cechy biomasy przy doborze kotła to: wilgotność paliwa, granulacja, rodzaj biomasy. Rozróżnia się kotły na paliwo suche – do 30% wilgotności oraz na paliwo mokre o wilgotności powyżej 30%. Mokra biomasa nie będzie się dopalała w kotle zaprojektowanym na biomasę suchą (spadnie znacząco sprawność). Natomiast spalając biomasę suchą w kotle zaprojektowanym do spalania mokrej biomasy można uzyskać bardzo wysokie temperatury, które niekorzystnie będą wpływały na procesy zachodzące w palenisku: m.in. duża emisja  $\text{NO}_x$ , topnienie popiołu, niszczenie komory spalania [5].

## 5. Skład chemiczny biomasy roślinnej

W roślinach, z których pozyskuje się biomasę, występują substancje organiczne, które składają się z czterech podstawowych pierwiastków chemicznych, takich jak: węgiel (C), wodór ( $\text{H}_2$ ), tlen ( $\text{O}_2$ ) i azot ( $\text{N}_2$ ). Pierwiastki te tworzą złożone substancje organiczne, takie jak: celuloza, glukoza, hemiceluloza oraz ligniny. Związki te znajdują się w łodygach roślin, które stanowią główną masę całej rośliny. W drewnie kawałkowym udział procentowy czterech głównych pierwiastków rozkłada się następująco: 49.6% węgla, 6.3% wodoru, 44.2% tlenu oraz zawartość azotu znajduje się na poziomie około 0.12% [8].

## 6. Spalanie biomasy i jej produkty

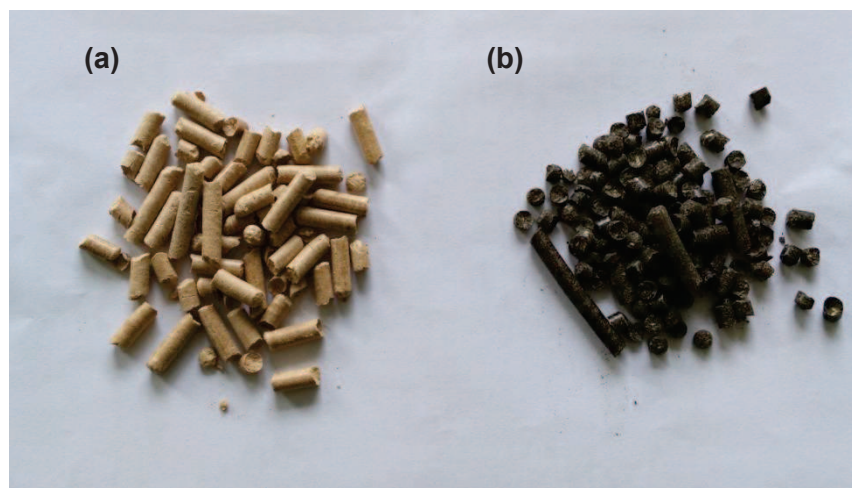
Spalanie jest to proces, w którym zachodzi szybkie utlenianie, gdzie wytwarza się bardzo duża ilość ciepła. Produktami spalania danego paliwa są części lotne oraz części stałe (popiół). Natomiast do części lotnych zalicza się następujące gazy takie jak:

- tlenek węgla ( $\text{CO}$ ),
- ditlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ),
- tlenki azotu ( $\text{NO}$  i  $\text{NO}_2$ ),
- wodę w postaci pary wodnej ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Ponadto w składzie biomasy może występować chlor (Cl), który w spalinach może prowadzić do powstania chlorowodoru (HCl). Kwas ten negatywnie wpływa na elementy stalowe kotła, powodując korozję i niszczenie elementów kotła [7, 8].

## 7. Wilgoć oraz zawartość popiołu z pelletu sosnowego i łuski słonecznika

Pomiar wilgotności powietrzno suchej pelletu sosnowego oraz pelletu z łuski słonecznika przeprowadzono metodą polegającą na suszeniu sproszkowanej odważki biomasy. Następnie suszenie odbyło się w atmosferze powietrza w temperaturze od  $105^\circ\text{C}$  do  $110^\circ\text{C}$  w czasie jednej godziny. Zawartość wilgoci w próbce paliwa oblicza się z zależności:



Rysunek 1. Widok badanych próbek: (a) pellet z sosny, (b) pellet z łuski słonecznika.

$$W_h = \frac{m_{n1} - m_{n2}}{m_{n1} - m_{n3}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $m_{n1}$  – masa naczynka z naważką przed suszeniem [g],  
 $m_{n2}$  – masa naczynka z naważką po suszeniu [g],  $m_{n3}$  – masa naczynka [g].

Następnym krokiem badań było określenie zawartości popiołu z badanych próbek za pomocą pieca mufłowego. Próbki te były podgrzewane w temperaturze około 800°C przez 35 minut. Zawartość popiołu obliczono z zależności podanej w Równaniu 2, a wyniki obliczeń przedstawiono w Tabeli 1.

$$A_a = \frac{m_{t3} - m_{t1}}{m_{t2} - m_{t1}} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie:  $m_{t1}$  – masa wyprażonego tygielka [g],  $m_{t2}$  – masa tygielka z naważką [g],  $m_{t3}$  – masa tygielka z popiołem [g].

## 8. Badania eksperymentalne procesu spalania wybranych gatunków biomasy

W ramach przeprowadzonych badań wykonano następujące pomiary wartości energetycznych dla pelletu sosnowego i pelletu z łuski słonecznika (Rysunek 1) w stanie roboczym takich jak: wartość opałową, ciepło spalania, emisję gazów, wilgoć oraz zawartość popiołu.

W pierwszym etapie badań oznaczono ciepło spalania i wartość opałową. Ciepło spalania analizowanych paliw oznaczano za pomocą kalorymetru KL-12Mn. Pomiar polegał na całkowitym spalaniu próbki paliwa w atmosferze tlenu pod ciśnieniem w bombie kalorymetrycznej [7, 8].

W Tabeli 1 zestawiono średnie wyniki pomiarów zawartości popiołu, wilgoci oraz ciepła spalania, wartości opałowej



Rysunek 2. Widok kotła grzewczego mini BIO.

oraz stężenia NO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> dla badanych próbek pelletu sosnowego i łuski słonecznika w stanie roboczym. Wyniki obejmują średnie wartości z kilku pomiarów tych parametrów dla każdego z biopaliw. Badania te przeprowadzono na kotle przedstawionym na Rysunku 2, analizę spalin wykonano analizatorem MRU Vario Plus IV pokazanym na Rysunku 3.

Tabela 1. Zestawienie średnich wartości wyników z przeprowadzonych badań.

Lp.	Rodzaj pelletu	Średnia zawartość popiołu [%]	Średnia zawartość wilgoci [%]	Ciepło spalania [J/kg]	Wartość opałowa [J/kg]	Stężenie NO [ppm]	Stężenie NO <sub>x</sub> [ppm]	Stężenie CO <sub>2</sub> [%]
1	Pellet sosnowy	0.59	5.53	18.767	17.518	372	391	6.20
2	Pellet z łuski słonecznika	4.09	9.42	18.524	17.270	194	204	5.84



Rysunek 3. Widok analizatora spalin MRU Vario Plus IV.

## 9. Podsumowanie

Badane biopaliwa można wykorzystywać w kotłach małej mocy, ponieważ posiadają dużą wartość opałową i ciepło spalania.

Podczas spalania tego typu paliw powstaje mało popiołu i może być on wykorzystany jako nawóz do roślin, ponieważ nie zawiera szkodliwych związków, takich jak metale ciężkie czy tlenki metali. Pellet sosnowy oraz pellet z łuski słonecznika posiada odpowiednie parametry jako paliwo energetyczne.

Z badań wynika, że badany pellet sosnowy posiada małą wilgoć, utrzymującą się w granicach od 5% do 6%, natomiast w peliecie z łuski słonecznika wilgoć utrzymuje się na poziomie około 10%. Eksploatacja kotłów grzewczych na tego rodzaju paliwa jest mało pracochłonna, ponieważ zapelniony zasobnik do pełna wystarcza od tygodnia do dwóch tygodni ogrzewania domu jednorodzinnego.

Producenci kotłów opalanych pelletem sosnowym podają, że po całorocznej eksploatacji kotła zostaje minimalna ilość popiołu [2–7].

## Literatura

- [1] R. Sierżęga, S. Leszczyński, *II Konferencja Energia-Ekologia-Etyka*, Kraków, 2004, nr 12, s. 950–952.
- [2] K. Piotrowski, T. Wiltowski, K. Mondal, *Czysta Energia*, **2004**, 10, 16–19.
- [3] W.M. Lewandowski, *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*, WNT, Warszawa, **2002**.
- [4] A. Grzybek, *Ekologia i Technika*, **2002**, 10, 99–105.
- [5] G. Wiśniewski, *Aktualna sytuacja na krajowym rynku energetyki odnawialnej i perspektywy jego rozwoju do 2020 r. w świetle najnowszego pakietu energetycznego UE*, *Energy Finance*, „Energy Finance 2007 – Inwestycje w sektorze energetycznym”, Warszawa, 14.05.2007.
- [6] Strategia rozwoju energetyki odnawialnej, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2000. Realizacja obowiązku wynikającego z Rezolucji sejmiku Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 8 lipca 1999 r. w sprawie wzrostu wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych <http://www.waze.pl/documents/legislacje/strategie/StrategiaOZE dla Polski 2000.pdf>.
- [7] W. Małek, *Bezpieczeństwo środowiska w aspekcie spalania biomasy w kotłach grzewczych*, *Praca magisterska*, Politechnika Częstochowska, Częstochowa, **2017**.
- [8] S. Suski, *Elektroenergetyka*, **2008**, 7, 536–539.