

# ASPEKT EKOLOGICZNY SPALANIA BIOMASY W KOTŁACH RUSZTOWYCH

**Autorzy: Aneta Magdziarz, Małgorzata Wilk**

**(„Rynek Energii” – nr 2/2012)**

**Słowa kluczowe:** biomasa, pelety, spalanie, zanieczyszczenie powietrza

**Streszczenie.** Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii (OZE) jest niezbędne, aby wywiązać się z wymogów jakie nakłada UE na nasz kraj, jak również wpływa na zmniejszenie wykorzystania paliw kopalnych, redukcję zanieczyszczeń do atmosfery oraz na zmniejszenie ilości odpadów. Aktualny stan zaawansowania technologii energetycznych pozwala na wykorzystanie biomasy jako jednego z podstawowych paliw alternatywnych. W prezentowanej pracy przedstawiono aspekt ekologiczny stosowania biomasy drzewnej jako paliwa w kotle energetycznym. Wykonano badania fizykochemiczne dwóch rodzajów peletów dostępnych na rynku paliw oraz przeprowadzono analizę gazowych produktów spalania. Eksperyment potwierdził niskoemisyjny charakter spalania badanych peletów.

## 1. WSTĘP

Rozwój przemysłu, wzrost produkcji, a tym samym zwiększenie zapotrzebowania na energię przyczynia się do korzystania z innych źródeł energii niż konwencjonalne (węgiel kamienny czy gaz ziemny). Zanieczyszczenie atmosfery, będące prawdopodobnie przyczyną globalnego ocieplenia klimatu, wymusza politykę propagowania alternatywnych źródeł energii, które będą mniej szkodliwy środowisku. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii stało się więc istotnym elementem przemysłu energetycznego. Stan taki narzuca Unia Europejska. Polska zobowiązała się do zużycia 7,5% energii pierwotnej pochodzącej z odnawialnych źródeł w 2010, a do roku 2020 ilość ta ma się zwiększyć do 15%. Tematyką odnawialnych źródeł energii, a w szczególności biomasą od kilku lat zainteresowane są nie tylko ośrodki naukowe w kraju i na świecie, gdzie prowadzi się liczne badania, ale również inwestorzy małych i średnich przedsiębiorstw [4, 6, 8, 10, 11, 13].

Podstawowym kierunkiem wykorzystania biomasy w Polsce jest produkcja ciepła w oparciu o bezpośrednie spalanie tego paliwa w kotłach. Kształt i wielkość paliwa wymusza zastosowanie odpowiedniego kotła [7]. Wyróżnia się następujące sposoby podawania paliwa: w paleniskach z mechanicznym załadowywaniem (spalane drewno jest w dużych kawałkach), w automatycznych kotłach (brykiety, granulki) i w kotłach z pneumatycznym zadawaniem oraz separacją sadzy kominkowej (trociny). Proces spalania biomasy odbywa się w trzech etapach. Pierwsza faza to nagrzewanie i suszenie, polega na ogrzaniu paliwa do temperatury ok. 300°C. Proces ten ma na celu głównie odparowanie wilgoci zawartej w drewnie. W kolejnym etapie następuje odgazowanie części lotnych, które ulegają bezpośredniemu spalaniu, a w trzecim etapie następuje spalanie właściwe. Proces spalania biomasy w dużych jednostkach energetycznych nie cieszy się dużym zainteresowaniem. Większym zainteresowaniem podmiotów elektroenergetyki i ciepłownictwa cieszą się technologie współspalania biomasy z węglem w istniejących kotłach energetycznych. Współspalanie uważane jest za najprostszy sposób zwiększenia produkcji energii z OZE. Wynika to ze stosunkowo niskich nakładów finansowych na modernizację (możliwość wykorzystania istniejących kotłów energetycznych) oraz ekologicznych korzyści (zmniejszenie emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> czy CO<sub>2</sub>) [8, 9, 12]. Wadą stosowania takiego spalania są aktualnie problemy związane z zapewnieniem dostępności, przechowywaniem dostatecznej ilości biomasy oraz niepewnością związaną ze stałym przyrostem biomasy. Spalanie biomasy może powodować zagrożenia i problemy eksploatacyjne. Metale alkaliczne (Na, K), jak również siarka czy chlor mogą być przyczyną korozji powierzchni kotła [2].

W celu potwierdzenia użyteczności wykorzystywania biomasy drzewnej do celów energetycznych przeprowadzono badania określenia właściwości spalanych peletów i składu spalin za kotłem. Do tego celu wybrano dwa rodzaje peletów, przeprowadzono analizę fizykochemiczną ich własności oraz zanalizowano skład spalin.

## 2. EKSPERYMENT I WYNIKI BADAŃ

Praca obejmuje analizę dwóch rodzajów peletów dostępnych na rynku komercyjnym paliw (w pracy wprowadzono oznaczenie: pelet I i II). Badania wstępne obejmowały określenie podstawowych własności energetycznych, analizę składu chemicznego paliwa i popiołu. W dalszej części wykonano badania obejmujące pomiar stężenia gazów odlotowych na wylocie z komina w procesie spalania peletów.

Badane pelety drzewne są paliwem standaryzowanym, uzyskanym ze sprasowania suchych kawałków drewna lub trocin w postaci naturalnej, bez kory, pod dużym ciśnieniem, bez dodatków lepiszcza. Wymiary peletów są następujące: pelet I – średnica 8 mm i długość do 40 mm, pelet II – średnica 6 mm i długość do 35 mm.

Badania składu chemicznego peletów przeprowadzono przy pomocy analizatora firmy Leco, a zawartość popiołu, wilgoci i części lotnych wyznaczono zgodnie z obowiązującymi normami (PN-EN 14918:2010, PN-EN 14774:2010, PN-G-04516:1998).

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe własności fizykochemiczne badanych paliw (pelet I i II). Dla porównania przedstawiono również własności węgla kamiennego. tabela 2 i rysunek 1 przedstawiają analizę składu chemicznego popiołów badanych peletów.

**Tabela 1**  
Własności fizykochemiczne badanej biomasy (pelet I i II)  
i węgla kamiennego [12]

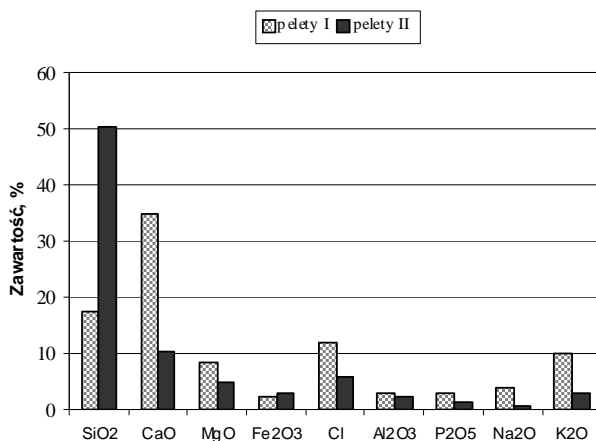
Składnik	Oznaczenie	Pelety I	Pelety II	Węgiel*
Węgiel	$C^{daf}$ , %	47,16	46,65	75-85
Wodór	$H^{daf}$ , %	4,36	4,87	4,8-5,5
Tlen	$O_d^{daf}$ , %	48,227	48,219	8,8-10
Azot	$N_d^{daf}$ , %	0,097	0,101	1,4-2,3
Siarka	$S_t^d$ , %	0,156	0,19	0,3-1,5
Części lotne	$V^{daf}$ , %	73,37	75,08	35-42
Zawartość popiołu	$A^d$ , %	2,09	1,18	5-10
Wilgoć	$W^a$ , %	10,3	9,73	2-5
Wartość opałowa	$Q_i$ , kJ/kg	14 594	14 790	21-32

Porównując biomasę drzewną i węgiel kamienny stwierdzono, że nie różnią się one składem pod względem jakościowym. Głównym składnikiem palnym w obu paliwach jest węgiel. Różnice występują natomiast pod względem ilościowym. Badane pelety zawierają ok. 47% węgla, a więc prawie dwa razy mniej niż węgiel kamienny, natomiast cztery razy więcej tlenu, mniej siarki i azotu. Taki skład wpływa na wysoką zawartość części lotnych i wysoką reaktywność analizowanej biomasy. Badana biomasa charakteryzuje się wysoką wartością opałową ok. 14,5 MJ/kg. Dużą zaletą biomasy są znacznie niższe, w porównaniu z węglem zawartości popiołu i siarki. Z peletu I otrzymano prawie dwa razy więcej popiołu niż z peletu II. Analizując skład popiołów stwierdzono, że głównymi składnikami popiołów są:

SiO<sub>2</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O i MgO (tab. 2, rys. 1). Zawartość poszczególnych tlenków w popiele jest zróżnicowana pod względem ilościowym. Charakterystyczne składniki popiołu z pelet I to duża zawartość CaO i chlorków w porównaniu z innymi składnikami, natomiast w przypadku pelet II to bardzo duża zawartość krzemionki. Metale alkaliczne, chlor i siarka uwalniane podczas procesu spalania mogą być przyczyną korozji wysokotemperaturowej, będącej podstawowym problem eksploatacji kotłów na biomasę. Oceniając oba paliwa pod względem ich korozyjności stwierdzono, że pelet I może wywoływać korozję chlorkową, a duży udział potasu w popiele z biomasy typu hemiceluloza dodatkowo może powodować zwiększenie zużycia intensyfikując korozję. Reakcja ługu z krzemionką prowadzi do otrzymania krzemianów alkalicznych, które topią się lub mięknią w temperaturze poniżej 700°C, a usiarczenie alkaliów prowadzi do osadzania się siarczanów na ścianach kotła.

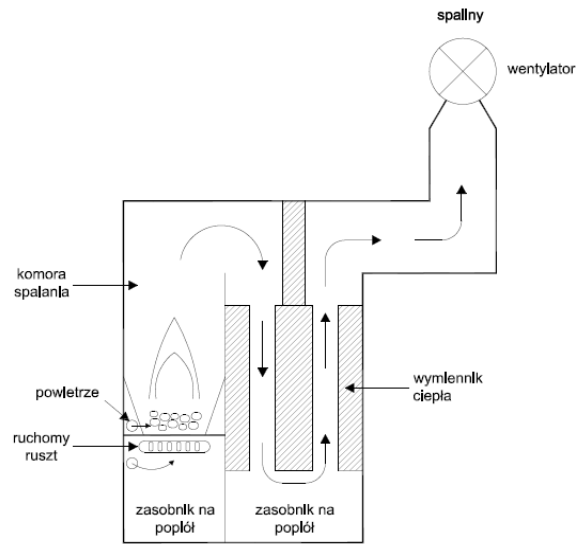
**Tabela 2**  
Skład chemiczny popiołu z pelet I i II

Składnik, %	Pelety I	Pelety II
SiO <sub>2</sub>	17,3	50,34
CaO	34,74	10,09
MgO	8,14	4,89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,27	2,65
Cl <sup>-</sup> (chlorki)	11,7	5,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,72	2,26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,94	1,25
Na <sub>2</sub> O	3,92	0,47
K <sub>2</sub> O	9,92	3

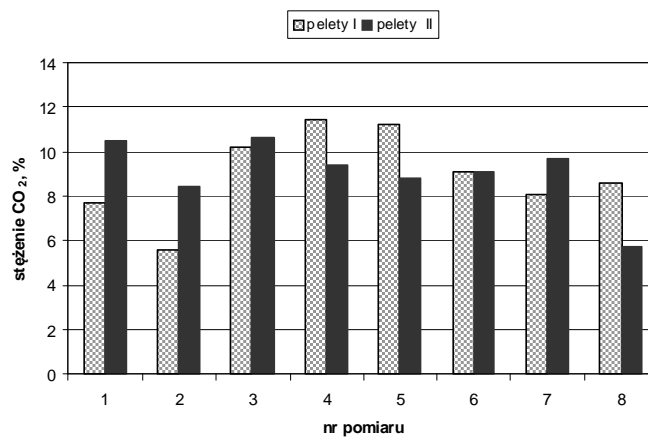


**Rys. 1.** Skład chemiczny popiołu z peletów I i II

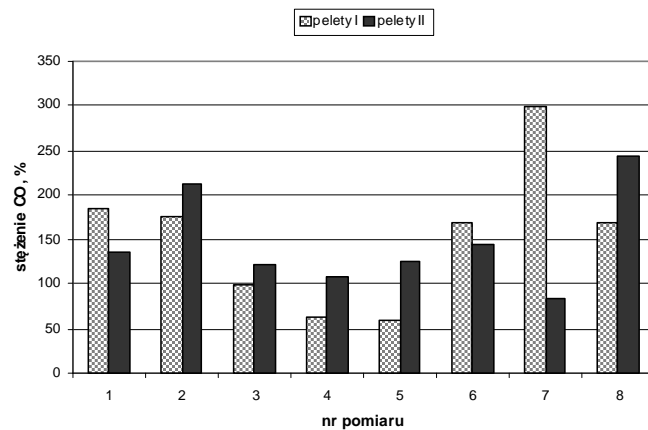
Proces spalania przeprowadzono w kotle do spalania peletów (rys. 2). Do zasobnika znajdującego się przy kotle podawano każdorazowo ok. 5 kg peletów danego rodzaju, paliwo podawane było za pomocą mechanizmu ślimakowego. Zapłon następował poprzez nadmuch ciepłego powietrza do komory spalania. W podstawie palnika oraz jego górnej części, znajdują się dysze doprowadzające powietrze do spalania. Palnik kotła na pelety, dzięki swej skomplikowanej konstrukcji, umożliwia prowadzenie spalania z wysoką sprawnością, w szerokim zakresie mocy, w sposób płynny. Aby palnik mógł pracować zgodnie z oczekiwaniami, dostarczone paliwo musi być odpowiedniej jakości. Szczególnie dotyczy to zawartości substancji mineralnych, które nie ulegną spalaniu. Kocioł wyposażony był w sondę lambda, za pomocą, której korygowany był nadmiar powietrza potrzebny do poprawnego prowadzenia procesu spalania.



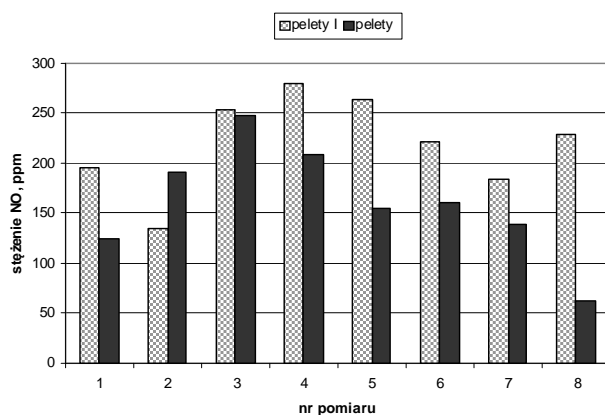
Rys. 2. Schemat kotła do spalania peletów



Rys. 3. Stężenie CO<sub>2</sub> w gazach odlotowych



Rys. 4. Stężenie CO w gazach odlotowych



**Rys. 5.** Stężenie NO w gazach odlotowych

Po ustaleniu się stałych warunków procesu wykonano analizę składu spalin ( $\text{CO}_2$ , CO i  $\text{NO}_x$ ). Skład spalin mierzono za pomocą analizatora gazów Testo 350. Sonda pomiarowa była umieszczona w przewodzie kominowym w odległości ok. 2 m od komory spalania. Na podstawie przeprowadzonych badań sporządzono wykresy przedstawiające stężenia badanych zanieczyszczeń gazowych powstałych w procesie spalania peletów (rys. 3-5 wyniki badań z 8 serii pomiarowych).

### 3. WNIOSKI

Podstawowe zanieczyszczenia gazowe emitowane do atmosfery podczas spalania biomasy to  $\text{NO}_x$ , CO, węglowodory. Głównym produktem spalania biomasy jest  $\text{CO}_2$  powstający w wyniku utleniania związków zawierających węgiel. Stężenie dwutlenku węgla  $\text{CO}_2$  w spalinach wynosiło od 6 – 11% w trakcie wykonywanych pomiarów. Średnie stężenie  $\text{CO}_2$  dla peletu I wynosiło 9,18%, a dla peletu II 8,82%. Uzyskane wartości stężeń  $\text{CO}_2$  w spalinach są prawidłowe dla prowadzonego procesu (obliczeniowa wartość stężenia  $\text{CO}_2$  w spalinach suchych wynosi 10,3%), nie uzyskano jednak powtarzalności wyników w poszczególnych seriach pomiarowych. Emitowany do atmosfery  $\text{CO}_2$  jest częściowo asymilowany przez florę i pochłaniany przez wody, a reszta rozprzestrzenia się w atmosferze ziemskiej.

Stężenie tlenku węgla CO wynosiło od 50 do 200 ppm (rys. 4). W przeliczeniu na  $\text{mg}/\text{m}^3$  jest to około 57 – 230  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Podaje się, że podczas spalania drewna z palenisk emitowany jest tlenek węgla, typowo w zakresie 100 – 1000  $\text{mg}/\text{m}^3$  [5]. Duża emisja CO może być spowodowana niezupełnym spalaniem oraz złą organizacją procesu. W celu odpowiedniego wypalenia biomasy w paleniskach rusztowych stosuje się stosunek nadmiaru powietrza większy niż 1,5 (w badanym procesie stosunek nadmiaru powietrza wynosił ok. 2). Stwierdzono, że badany kocioł na biomase drzewną spełnia założone wymagania ekologiczne.

Podczas spalania biomasy drzewnej emitowane są również  $\text{NO}_x$  (ok. 90% NO i 10  $\text{NO}_2$ ). Udział azotu paliwowego ( $N_F$ ) jest niewielki. Badane pelety zawierały 0,1% azotu w składzie chemicznym. W przypadku spalin z peletów I uzyskano wyższe stężenie NO, średnia wartość wynosiła 220 ppm, a dla peletów II – 170 ppm (rys. 5). Wartości te odpowiadają odpowiednio stężeniu: 270  $\text{mg}/\text{m}^3$  i 208  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Dane literaturowe podają zróżnicowane wartości stężeń  $\text{NO}_x$  w spalinach od 170 do 920  $\text{mg}/\text{m}^3$  w zależności od stosowanego rodzaju paliwa i typu paleniska [5]. Uzyskane wyniki pomiarów znajdują się więc w dolnym zakresie stężeń  $\text{NO}_x$  uzyskiwanych w procesach spalania paliw.

#### 4. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynika, że paliwo z biomasy w postaci peletów może być bardzo wydajnym i mało szkodliwym dla środowiska źródłem energii. Wysoka wartość opałowa (15 MJ/ kg) przy niskiej zawartości wilgoci daje możliwość wykorzystania badanych peletów w procesie spalania. Niska emisja gazowych zanieczyszczeń stawia biomasę w grupie paliw ekologicznych, które obniżają globalną emisję zanieczyszczeń wprowadzanych do atmosfery w procesach spalania. Aktualnie na rynku komercyjnym działa już wiele kotłów do spalania peletów o mocy od kilkunastu do kilkuset kilowatów. Zastosowanie biomasy do celów energetycznych stwarza możliwości rozwoju małej przedsiębiorczości ze względu na duże zapotrzebowanie na pelety.

Praca w części finansowana w ramach Programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Juventus Plus” nr 0231/T02/2010/70

#### LITERATURA

- [1] Dzik T., Mięso R.: Wytwarzanie i spalanie paliw z biomasy pochodzenia roślinnego w małej i mikro skali. Szkoła Ochrony i Inżynierii Środowiska im. W. Goetla, Monografie, Kraków 2005.
- [2] Hardy T., Kordylewski W., Mościcki K.: Zagrożenie korozją chlorkową w wyniku spalania i współspalania biomasy w kotłach. *Archiwum Spalania* 2009, vol. 9, nr 3-4, ss. 181-195.
- [3] Kajda-Szcześniak M., Wandrasz J.W.: Wpływ dodatku tworzywa sztucznego w procesie formowania brykietów ze słomy na ich właściwości termiczne. *Ochrona Środowiska* 2010, vol. 32, nr 4, ss. 27-30.
- [4] Kastanaki E., Vamvuka D.: A comparative reactivity and kinetic study on the combustion of coal-biomass char blends. *Fuel* 2006, Vol. 85 ss.. 1186-1193.
- [5] Kordylewski W.: Spalanie i paliwa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [6] Liang X. H., Kozinski J. A.: Numerical modeling of combustion and pyrolysis of cellulosic biomass in thermogravimetric systems. *Fuel* 2000, Vol. 79, ss. 1477-1486.
- [7] Mokrzycki E., Mirowski T.: Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi, AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2005.
- [8] Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M.: Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce. Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Politechniki Śląskiej, Zabrze 2007.
- [9] Szecówka L.: Ekologiczny efekt wykorzystania biomasy w procesie współspalania. *Hutnik – wiadomości hutnicze* 2006, nr6, ss. 294-298.
- [10] Wandrasz A. J.: Ocena właściwości emisyjnych paliw z odpadów. *Ochrona Środowiska* 2003, vol. 25, nr 1, ss. 39-42.
- [11] Wandrasz J.W., Król D.: Kontrola procesu termicznej przeróbki odpadów. *Ochrona Środowiska* 1999, vol. 21, nr 2, ss. 41-46.
- [12] Wilk R.K., Sarnowski T.: Współspalanie węgla z biomasą w ujęciu technologii spalania. *Archiwum Spalania* 2009, vol. 9, nr 3-4, ss. 197-211.
- [13] Williams A., Pourkashanian M., Jones J.M.: Combustion of pulverized coal and biomass. *Progress in Energy and Combustion Science* 2001, Vol. 27, No 6, ss. 587-610.

## **ECOLOGICAL ASPECT OF BIOMASS COMBUSTION IN GRATE BOILER**

**Key words:** biomass, biomass combustion, exhaust gases

**Summary.** Application of renewable energy sources is necessary to fulfill the UE requirements concerning Poland, as well it have an effect on the reduction of fossil fuel utilization, air pollution or decrease of wastes. Present state of energy technology allows to use the biomass as renewable energy source. Paper presents wood pellets as ecological fuel use to combustion process in boilers. The elementary composition of two kinds commercially available biomasses were carried out. The exhaust gases from combustion process of biomass were investigated. The experimental data have confirmed the low-emission character of biomass combustion process.

**Aneta Magdziarz**, dr, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, e-mail: amagdzia@metal.agh.edu.pl.

**Małgorzata Wilk**, dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, e-mail: mwilk@metal.agh.edu.pl.