

Krzysztof NOWAK¹
Danuta PROSZAK-MIĄSIK²
Sławomir RABCZAK³

WPLYW WSPÓLSPALANIA BIOMASY Z WĘGLEM NA SPRAWNOŚĆ KOTŁÓW ENERGETYCZNYCH

Wzrost efektywności zastosowania paliw i energii oraz racjonalne wykorzystanie odnawialnych zasobów energii skutkuje pogorszeniem się stanu środowiska naturalnego oraz zmianami klimatycznymi. Duże możliwości ograniczania zużycia paliw kopalnych mają systemy ciepłownicze, poczynając od wytwarzania, przesyłania i dystrybucji, a kończąc na odbiorcach racjonalizujących swoje zużycie ciepła. Zobowiązania przyjęte przez Polskę (pakiet energetyczno-klimatyczny „3 x 20”) dotyczą również zwiększenia udziału paliw odnawialnych w bilansie energetycznym. Wdrażanie tych paliw umożliwia m.in. technologia współspalania węgla i biomasy w kotłach energetycznych. Proces ten nie wymaga znaczących nakładów finansowych, a dodatkowo charakteryzuje się pozytywnym efektem ekologicznym, energetycznym i ekonomicznym.

Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie korzyści i wad wynikających ze współspalania biomasy i węgla kamiennego. Zaprezentowano szczególnie ważny element, jakim jest wpływ współspalania na sprawność kotła energetycznego. Wykonano pomiary podstawowych parametrów węgla kamiennego oraz biomasy. Zbadano podstawowe parametry pracy kotła podczas współspalania mieszanki węgla kamiennego oraz biomasy w ilości 25, 50 i 70%. Na podstawie badań metodą bezpośrednią obliczono sprawność energetyczną kotła, a także określono wpływ biomasy w mieszance paliwa na sprawność kotła. Niniejsza publikacja może poszerzyć wiedzę na temat procesów cieplnych w przypadku współspalania biomasy i węgla kamiennego, a także określić wpływ składu paliwa na parametry pracy kotła oraz na emisję zanieczyszczeń gazowych w trakcie procesu spalania.

Słowa kluczowe: biomasa, węgiel kamienny, odnawialne źródła energii, współspalanie, sprawność kotła

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Krzysztof Nowak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651263, krzynow@prz.edu.pl

² Danuta Proszak-Miąsik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651699, dproszak@prz.edu.pl

³ Sławomir Rabczak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651699, rabczak@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Wzrost efektywności zastosowania paliw i energii oraz racjonalne wykorzystanie odnawialnych zasobów skutkuje pogorszeniem się stanu środowiska naturalnego oraz zmianami klimatycznymi. Wstąpienie Polski do UE narzuciło liczne zobowiązania dotyczące standardów w ochronie środowiska [10]. Zgodnie z Dyrektywą UE 2009/28/WE [3] udział energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii do 2020 roku powinien się kształtować na poziomie 20%. Osiągnięcie takich wskaźników będzie możliwe dzięki wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii (m.in. poprzez współspalanie) w procesach produkcji energii. Biopaliwa (w szerszym ujęciu definiowane jako biomasa) stanowią jeden z najważniejszych rodzajów odnawialnych źródeł energii, a ich rola jest bardzo ważna, gdyż dzięki nim w tak krótkim czasie można zrealizować wymienione zobowiązania europejskie [9].

2. Współspalanie węgla kamiennego i biomasy

Wykorzystanie biomasy jako paliwa w kotłach energetycznych bez wątpienia przynosi pozytywne efekty środowiskowe i ekonomiczne. Zwiększenie udziału tego typu energii odnawialnej w strukturze paliwowej charakteryzuje się:

- obniżeniem emisji gazów cieplarnianych,
- obniżeniem emisji ditlenku siarki i tlenków azotu,
- niskimi kosztami inwestycyjnymi przystosowania istniejących kotłów.

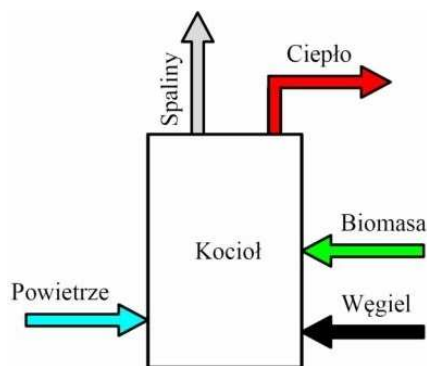
Ma ono duże znaczenie dla zwiększenia bezpieczeństwa dostaw energii i wspierania rozwoju technologicznego, a także wpływa na wzrost zatrudnienia i rozwój regionalny. W przypadku instalacji spalającej wyłącznie biomasę występuje wiele utrudnień związanych m.in. z jakością paliwa, stabilnością jego dostaw, magazynowaniem paliwa, stabilizacją procesu spalania oraz utrzymaniem sprawności na optymalnym poziomie.

Współspalanie biomasy z węglem w ciepłowniach jest rozwiązaniem korzystniejszym pod względem ekonomicznym, a utrzymanie stałych parametrów pracy kotła łatwiejsze. Węgiel jako paliwo zasadnicze stabilizuje proces spalania, kompensując okresowe zmiany jakości i ilości biomasy [12]. Koszty operacyjne oraz inwestycyjne współspalania są niższe niż w systemach opartych wyłącznie na biomase [2, 6, 12]. Mimo to nadal wiele czynników utrudnia ten proces, np. trudności logistyczne (kosztowny transport i magazynowanie biomasy) i techniczne (obróbka biomasy przed spaleniem (mielenie, suszenie, mieszanie z węglem), tworzenie się osadów na powierzchniach wymienników ciepła i elementach kotła (żużlowanie, osady sypkie, spiekanie, korozja) [1, 2, 4, 7, 8].

Większość tych utrudnień jest związana z gorszymi właściwościami biomasy w porównaniu z podstawowym paliwem, jakim jest węgiel. Biomasa ma wyższą wilgotność, która wpływa na obniżenie wartości opałowej, niższą gęstość

nasypową, posiada właściwości hydrofilowe, a jej popioły mają niską temperaturę topnienia [2]. Mimo tych wad współspalanie wydaje się najszybszą drogą prowadzącą do wykorzystania biomasy w jednostkach wytwórczych o dużych mocach, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej sprawności konwersji energii chemicznej zawartej w spalonym paliwie [13].

Pod pojęciem współspalania paliw stałych i biomasy rozumie się zespół procesów polegających na spalaniu węgla z różnego rodzaju odpowiednio dobranymi biopaliwami stałymi lub produktami pochodzącymi z ich przetwórstwa. Technologia współspalania łączy ze sobą wykorzystanie odnawialnych źródeł energii z użytkowaniem energii z paliw kopalnych [11].



Rys. 1. Przykładowa technologia współspalania biomasy i węgla w układzie bezpośrednim

Fig. 1. Co-combustion technology biomass and coal on direct system

Ze względu na stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne oraz możliwość przystosowania istniejących kotłów jedną z najczęściej stosowanych metod współspalania biomasy i węgla jest współspalanie w układzie bezpośrednim (rys. 1.) [5].

3. Badania procesów współspalania biomasy i węgla w istniejących kotłach energetycznych

Proces współspalania węgla i biomasy powinien uwzględniać wszelkie efekty techniczne (m.in. przepalenia kotłów, zatopienia rusztów, korozję wyścienników), ekologiczne (emisję zanieczyszczeń, pozostałości po spalaniu) i ekonomiczne. W związku z tym badanie procesów współspalania jest elementem niezwykle istotnym.

W niniejszej pracy zostały przeprowadzone wstępne pomiary sprawności kotła podczas współspalania mieszanek biomasy i węgla kamiennego w układzie bezpośrednim w kotle wodnym rusztowym WR-10. Pomiary wykonano dla trzech mieszanek:

- 25% biomasy i 75% węgla kamiennego,
- 50% biomasy i 50% węgla kamiennego,
- 70% biomasy i 30% węgla kamiennego.

Spalaną biomasą były zrębki drzewne pochodzące z zakładów meblowych. Kocioł pracował ze stałym obciążeniem cieplnym wynoszącym 2,15 MW. Badania parametrów węgla kamiennego i biomasy (rys. 2.) wykonano za pomocą kalorymetru Parr 6300.



Rys. 2. Przykład badanej próbki węgla kamiennego i biomasy

Fig. 2. Sample of coal and biomass

Celem badań było określenie wpływu spalanej mieszanki paliw w kotle węglowym na sprawność energetyczną kotła. Przebadano następujące parametry:

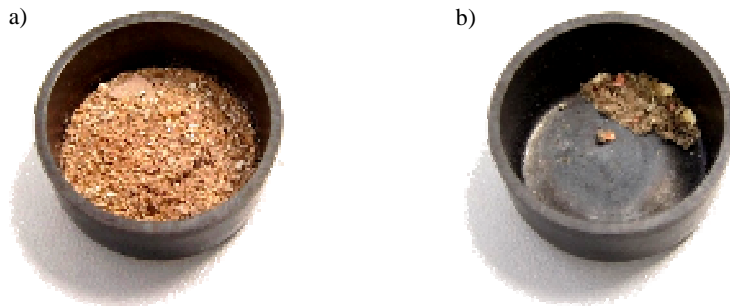
- sprawność energetyczną kotła,
- ciepło spalania paliw,
- wartość opałową paliw,
- zawartość wilgoci, wodoru i popiołów w paliwie.

Tabela 1. Podstawowe parametry węgla kamiennego i biomasy

Table 1. Basic parameters of coal and biomass

Dane	Węgiel kamienny	Biomasa
Ciepło spalania	24 537 kJ/kg	18 264 kJ/kg
Wartość opałowa	20 899 kJ/kg	14 023 kJ/kg
Zawartość wilgoci	13,91%	19,61%
Zawartość wodoru	4,45%	5,09%
Zawartość popiołu	13,21%	5,09%

Na podstawie danych zawartych w tab. 1. można zauważyć, że ciepło spalania biomasy jest niższe o ok. 25% w porównaniu z węglem kamiennym i wynosi odpowiednio 18,3 oraz 24,5 MJ/kg. Wartość opałowa biomasy wynosi 14 MJ/kg, węgla kamiennego zaś ok. 20,9 MJ/kg. Na wielkości te w znacznej mierze wpływa zawartość wilgoci w poszczególnych paliwach (im jest ona wyższa, tym niższe są właściwości energetyczne). Zawartości wodoru w obu paliwach są zbliżone i wynoszą 4,45 oraz 5,09% odpowiednio dla węgla i biomasy. Węgiel charakteryzuje się dużo wyższą zawartością popiołu (13,21%), tj. 2,5-krotnie wyższą niż w przypadku biomasy (5,09%), co można zauważyć na rys. 3.



Rys. 3. Zawartość popiołów w węglu kamiennym (a) i biomase (b)

Fig. 3. The quantity of ash in coal (a) and biomass (b)

Sprawność kotła wyznaczono metodą bezpośrednią według wzoru [5]:

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c_w \cdot (T_z - T_p)}{B \cdot Q_j} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie: \dot{m} – strumień wody przepływającej przez kocioł [kg/s],
 T_z – temperatura wody za kotłem [K],
 T_p – temperatura wody zasilającej kocioł [K],
 c_w – średnie ciepło właściwe wody [kJ/(kg·K)],
 Q_j – wartość opałowa paliwa w stanie roboczym [kJ/kg],
 B – strumień spalane go paliwa [kg/s].

Pierwsze trzy wielkości zostały odczytane z szafy sterowniczej kotła energetycznego. Wartość opałowa poszczególnych paliw i ich mieszanek wyznaczono na podstawie własnych pomiarów. Strumień spalane go paliwa obliczono ze wzoru (2) z uwzględnieniem prędkości poruszające go się rusztu, a tym samym długości po pewnym czasie, szerokości paliwa na ruszcie, grubości warstwy i gęstości spalane go paliwa:

$$B = \frac{l \cdot b \cdot h}{t} \cdot \rho \quad [\text{kg/s}] \quad (2)$$

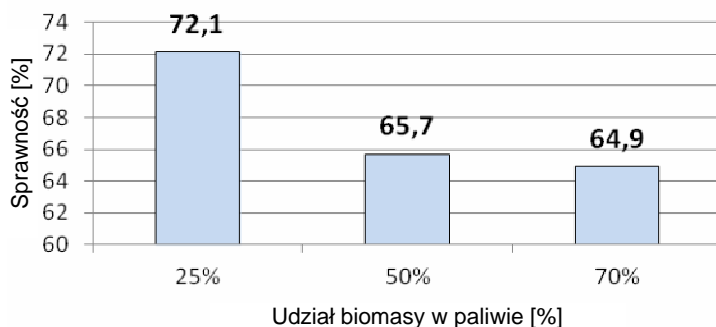
gdzie: l – długość warstwy spalane go paliwa [m],
 b – szerokość warstwy spalane go paliwa [m],
 h – wysokość warstwy spalane go paliwa [m],
 t – czas pomiaru strumienia spalane go paliwa [s],
 ρ – gęstość spalane go paliwa [kg/m³].

Tabela 2. Dane wejściowe dla spalanej mieszanki 25, 50, 70% biomasy i węgla kamiennego

Table 2. Data input for a mixture of 25, 50, 70% biomass and coal

Dane wejściowe	Symbol	Wartość dla mieszanki [%]		
		25	50	70
Strumień wody przepływającej przez kocioł [kg/s]	\dot{m}	21,4	20,47	26,67
Średnie ciepło właściwe wody [kJ/(kg·K)]	c_w	4,19	4,19	4,19
Temperatura wody za kotłem [°C]	T_z	90,5	92,4	84,1
Temperatura wody zasilającej kocioł [°C]	T_p	66,5	67,3	64,9
Wartość opałowa mieszanki biomasy (25%) i węgla (75%) [kJ/kg]	Q_j	19180	17461	16085
Długość warstwy paliwa [m]	l	2,28	2,28	2,28
Szerokość warstwy paliwa [m]	b	2,25	2,25	2,25
Wysokość warstwy paliwa [m]	h	0,15	0,15	0,15
Czas pomiaru strumienia paliwa [h]	t	1	1	1
Gęstość spalanego paliwa [kg/m ³]	ρ	725	675	615
Strumień spalanego paliwa [kg/s]	B	0,77	0,77	0,77

Na podstawie wzorów (1) i (2) oraz danych wejściowych podanych w tab. 2. obliczono sprawność energetyczną kotła dla mieszanek 25, 50, i 70% biomasy, dopełnionego węglem kamiennym. Otrzymane wyniki sprawności kotła podczas pracy na każdej z mieszanek przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Sprawność kotła WR-10 podczas spalania 25, 50 i 70% mieszanki biomasy i węgla kamiennego

Fig. 4. Efficiency of the WR-10 boiler, during combustion of 25, 50 and 70% of a mixture of coal and biomass

Wraz ze wzrostem udziału biomasy w mieszance spalanego paliwa można zaobserwować niepożądany efekt technologiczny, tj. spadek parametrów pracy kotła, co wpływa na jego sprawność (rys. 4.). W przypadku 25% biomasy w spalanej mieszance sprawność energetyczna kotła wynosi ok. 72%. Efektem

zwiększenia udziału biomasy w mieszance do 50% jest spadek sprawności kotła do 65,7%. Udział 70% biomasy w spalanej mieszance skutkuje dalszym spadkiem sprawności do 64,9%. W związku z tym efektem wzrostu udziału biomasy w spalanej paliwie jest spadek sprawności energetycznej kotła.

4. Wnioski

W odniesieniu do ustaw oraz zobowiązań przyjętych przez Polskę celowe jest podjęcie badań związanych z oceną wpływu stosowania biomasy jako dodatku do paliw kopalnych. Na podstawie informacji zawartych w literaturze oraz własnych badań i analiz podczas wyboru mieszanki należy rozważyć aspekt technologiczny, a mianowicie wpływ mieszanki na parametry pracy kotła oraz jego sprawność. Opierając się na otrzymanych wynikach badań, można założyć że wraz ze wzrostem biomasy w mieszance zmniejsza się sprawność energetyczna kotła.

W celu dokładniejszego zbadania wpływu spalanej mieszanki na sprawność kotła należałoby przeprowadzić szereg badań obejmujących pracę kotła w procesie spalania mieszanek biomasy oraz węgla kamiennego przy różnych obciążeniach cieplnych kotła. Podjęte badania i analizy mogą być pomocne w określeniu optymalnej zawartości biomasy w paliwie, przy której sprawność wytwarzania będzie najwyższa.

Literatura

- [1] Baxter L.: Biomass-coal co-combustion: Opportunity for affordable renewable energy. *Fuel*, no 84, 2005.
- [2] Cocker-Maciejewska A.: Obróbka wstępna biomasy na potrzeby systemów energetycznych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, z. 30, 2007.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- [4] EUBION (European Bioenergy Networks). ALTENER. Biomass co-firing – an efficient way to reduce greenhouse gas emissions, 2001.
- [5] Fodemski T.R.: *Pomiary cieplne. Część II: Badania cieplne maszyn i urządzeń*. WNT, Warszawa 2001.
- [6] International Energy Agency: Clean Coal Centre. *Fuels for biomass cofiring*, 2005.
- [7] Jarvinen T., Alakangas E. (VTT Energy): *Cofiring of biomass – evaluation of fuel procurement and handling in selected existing plants and exchange of information (COFIRING)*. Altener Programme, 2001.
- [8] Karki J.: *The performance and operation economics of co-fired biomass boilers*. Bioenergy in Wood Industry, 2005.
- [9] Lewandowski W.M., Ryms M.: *Biopaliwa – proekologiczne źródła odnawialne*. WNT, Warszawa 2013.

- [10] Miąsik M., Czarnota J., Tomaszek J.A.: Emisja gazów cieplarnianych z obiektów oczyszczalni ścieków. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, JCEEA, t. XXX, z. 60, Rzeszów 2013.
- [11] Nowak K.: Współspalanie biomasy z węglem w kotłach energetycznych. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, t. XXXI, z. 61 (3/II/2014), s. 379-390.
- [12] Ricketts B.: Technology status review of waste/biomass co-gasification with coal. *Ichem 5th European Gasification Conference*, 2002.
- [13] Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M.: Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową. *Oficyna Wydawnicza Energia*, 2006.

CO-COMBUSTION BIOMASS AND CARBON AND BOILER EFFICIENCY

Summary

The result of the deteriorating condition of the environment and climate change is to increase the efficient use of fuel and energy and the rational use of renewable energy resources. Great potential for reducing consumption of fossil fuels stuck in heating systems ranging from generation, transmission and distribution and ending with the recipients rationalize their consumption of heat. Obligations assumed by Poland also apply to increase the share of renewable fuels in the energy balance. One of the technological solutions implementation of these fossil fuels is co-combustion coal and biomass in power boilers. This process does not require significant financial investment and further characterized by the positive effect of ecological, energy and economic.

The purpose of this publication is to present the advantages and disadvantages arising from their co-combustion. In paper shows a particularly important element of the impact of co-firing on boiler efficiency. basic parameters of coal and biomass and performance of the boiler during co-firing mixtures of coal and biomass in an amount of 25%, 50% and 70% have been examined. Basis on the result was calculated in direct method energy efficiency of the boiler. Pre-determined effect of the amount of biomass in the fuel mix on the efficiency of the boiler. This publication may expand the knowledge of thermal processes in the case of co-combustion biomass and coal and determine the impact of fuel composition on the emission of gaseous pollutants during the combustion process.

Keywords: biomass, coal, renewable energy, co-combustion, boiler efficiency

Przestano do redakcji: 04.10.2014 r.

Przyjęto do druku: 02.12.2014 r.

DOI:10.7862/rb.2014.133