

Krzysztof NOWAK¹

WSPÓLSPALANIE BIOMASY Z WĘGLEM W KOTŁACH ENERGETYCZNYCH

Jednym z głównych elementów polityki energetycznej Polski o coraz większym znaczeniu jest wzrost efektywności wykorzystania paliw i energii. Duże możliwości ograniczenia zużycia paliw kopalnych tkwią w systemach ciepłowniczych poczynając od wytwarzania, przesyłania i dystrybucji, a kończąc na odbiorcach racjonalizujących swoje zużycie ciepła. Zobowiązania przyjęte przez Polskę dotyczą również zwiększenia udziału paliw odnawialnych w bilansie energetycznym. Jednym z rozwiązań technologicznych wdrażania tych paliw jest współspalanie 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 ogólnej charakterystyki paliw stałych i biomasy a także korzyści i wad wynikających z ich współspalania. Zaprezentowany został szczególnie ważny element, który pozwala określić efekt ekologiczny współspalania biomasy z węglem, a mianowicie wyniki badań wpływu dodatku biomasy do węgla kamiennego na emisję zanieczyszczeń gazowych zawartych w spalinach do atmosfery. Urządzenia wykorzystane do pomiarów stężeń zanieczyszczeń gazowych pozwalają na określenie ilości związków węgla, siarki i azotu oraz związków, których pomiary nie są określone żadnymi przepisami, m.in. związków chloru, wodoru, metanu, amoniaku oraz lotnych związków organicznych.

Niniejsza publikacja może poszerzyć wiedzę w zakresie procesów cieplnych w przypadku współspalania biomasy i węgla kamiennego oraz określić wpływ składu paliwa na emisję zanieczyszczeń gazowych w trakcie procesu spalania.

Słowa kluczowe: biomasa, węgiel kamienny, odnawialne źródła energii, współspalanie, stężenia zanieczyszczeń

1. Wstęp

Jednym z głównych elementów polityki energetycznej Polski jest wzrost efektywności wykorzystania paliw i energii. Wynika to m.in. z postępującego pogarszania się stanu środowiska oraz negatywnymi zmianami klimatycznymi.

¹ Autor do korespondencji: Krzysztof NOWAK, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 865 12 63, krzynow@prz.edu.pl

W systemach ciepłowniczych, począwszy od wytwarzania przesyłania i dystrybucji a kończąc na odbiorcach racjonalizujących swoje zużycie ciepła, tkwią duże możliwości ograniczające zużycie paliw kopalnych. Zobowiązania przyjęte przez Polskę (m.in. pakiet energetyczno-klimatyczny „3x20”) dotyczą również zwiększenia udziału paliw odnawialnych w bilansie energetycznym. Efekty poprawy jakości powietrza będą wynikać z wykorzystania tych paliw, które w konsekwencji spowodują zmniejszenie emisji szkodliwych substancji do atmosfery powstających w wyniku spalania tradycyjnych nośników energii [8]. Jednym z rozwiązań technologicznych wykorzystywania tych paliw w procesie produkcji energii jest współspalanie węgla i biomasy w kotłach energetycznych.

Zwiększenie udziału energii odnawialnej w strukturze paliwowej, m.in. poprzez współspalanie, powoduje przede wszystkim obniżenie emisji gazów cieplarnianych. Zastosowanie biomasy w procesie współspalania charakteryzuje się również niskimi kosztami inwestycyjnymi przystosowania istniejących kotłów (np. w przypadku kotłów WR), ma duże znaczenie dla zwiększenia bezpieczeństwa dostaw energii i wspierania rozwoju technologicznego. Współspalanie paliw konwencjonalnych i biomasy ma również ogromne znaczenie w wymiarze społecznym, wpływa na wzrost zatrudnienia i rozwój regionalny.

Zgodnie z Dyrektywą Unijną nr 2009/28/WE [1] udział energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii do 2020 roku, powinien kształtować się na poziomie 20%. Osiągnięcie takich wskaźników możliwe będzie dzięki wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii (m.in. poprzez współspalanie) w procesach produkcji energii.

2. Charakterystyka węgla kamiennego i biomasy

Pod pojęciem węgla rozumie się paliwa stałe pochodzenia naturalnego lub otrzymane sztucznie, wykorzystywane m.in. jako źródło energii cieplnej do celów przemysłowych, technicznych, gospodarczych, itp.

W zależności od zawartości pierwiastka węgla w swoim składzie, paliwa stałe można podzielić na 6 podstawowych grup:

- drewno,
- torf,
- węgiel brunatny,
- węgiel kamienny,
- antracyt,
- grafit.

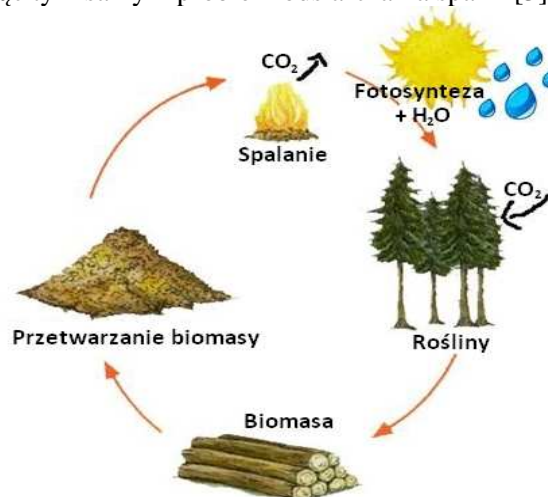
Popularnym paliwem stałym jest węgiel kamienny. Charakteryzuje się wysokim stopniem uwęglenia, a zatem wysoką zawartością pierwiastka węgla, niską zawartością wodoru, tlenu i wilgoci. Jego wartość opałowa waha się w granicach od 16,7 do około 30MJ/kg. Według raportu Państwowego Instytutu Geologicznego w Polsce zalega około 48 mln ton udokumentowanych geolo-

gicznych zasobów węgla kamiennego [2] Różne źródła szacują krajowe zasoby na 25 do 45 lat. Jest on popularnym paliwem w elektrowniach, elektrociepłowniach, hutach i fabrykach, ale jest również na szeroką skalę wykorzystywany jako paliwo do ogrzewania gospodarstw domowych. Mimo iż, węgiel kamienny jest jednym z najtańszych paliw energetycznych to podczas jego spalania do atmosfery emitowanych jest wiele szkodliwych substancji, m.in. tlenek siarki, tlenek azotu oraz ditlenek węgla powodujący efekt cieplarniany.

Biomasa to najstarsze i najszerzej współcześnie wykorzystywane odnawialne źródło energii. Stanowi trzecie co do wielkości na świecie naturalne źródło energii. Biomasa to cała istniejąca na Ziemi materia organiczna, wszystkie substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego ulegające biodegradacji.

Definicja tego paliwa jest szerokokorozumiana, według Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE biomasa to stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji [1].

Niewątpliwą zaletą spalania biomasy jest zerowy bilans emisji ditlenku węgla (CO_2), ponieważ tyle się go emituje do atmosfery, ile rośliny pobierają w procesie fotosyntezy (rys. 1). W przypadku wieloletnich roślin energetycznych (np. wierzby *Salix Virmiculis*), ilość pochłanianego CO_2 może przewyższać ilość emitowanego dwutlenku węgla. Ze względu na znikomą ilość siarki w biomasie, zastępowanie nią węgla kamiennego wpływa również na obniżenie emisji tlenków siarki, rozwiązując tym samym problem odsiarczania spalin [3].



Rys. 1. Obieg ditlenku węgla w procesie spalania biomasy

Fig. 1. Carbon dioxide circulation in the combustion of biomass

Do celów energetycznych poszukiwane są następujące postacie biomasy [4]:

- drewno odpadowe w leśnictwie i przemyśle drzewnym oraz odpadowe opakowania drewniane,
- słoma – zbożowa, z roślin oleistych lub strączkowych oraz siano;
- plony z plantacji roślin energetycznych,
- odpady organiczne, gnojowica, osady ściekowe, osady ściekowe w przemyśle celulozowo-papierniczym, makulatura, odpady organiczne z cukrowni, roszarni lnu; gorzelnii; browarów; itp.,
- biopaliwa płynne do celów transportowych, np. oleje roślinne, biodiesel, bioetanol z gorzelnii i agorafinerii,
- biogaz z gnojowicy, osadów ściekowych i składowisk komunalnych.

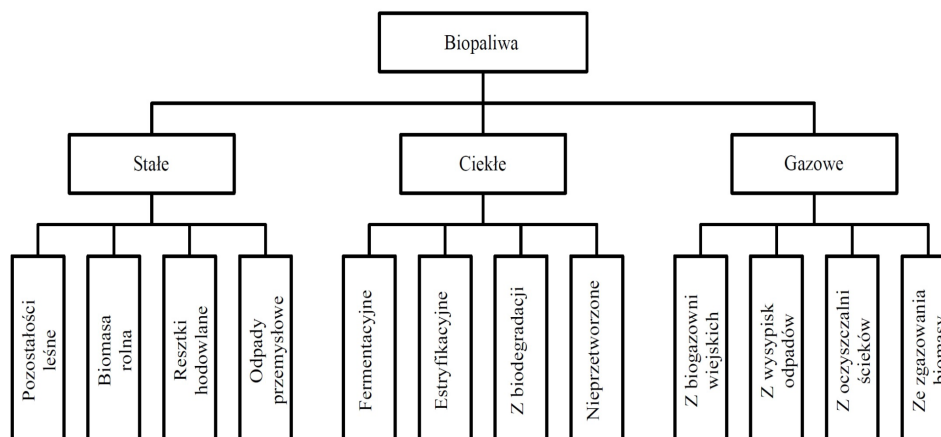
Pomimo korzystnych efektów ekologicznych, ekonomicznych i społecznych, stosowanie biomasy jako paliwa stwarza wiele problemów technicznych, z których najważniejsze to [4, 5, 6]:

- wysoka i w wielu przypadkach zmienna wilgotność powodująca trudności ze stabilizacją procesu spalania,
- niewielka gęstość biomasy, wpływająca na utrudnienia w transporcie, magazynowaniu i dozowaniu do paleniska ,a także przebieg i stabilność procesu spalania,
- wysoka zawartość części lotnych, powodująca szybki i trudny do kontroli przebieg procesu spalania,
- w porównaniu do konwencjonalnych paliw stosunkowo niskie ciepło spalania na jednostkę masy,
- skład chemiczny (obecność takich pierwiastków, jak tlen, azot, chlor) i często jego duża niejednorodność może prowadzić do emitowania w procesie spalania chlorowodoru, dioksyn i furanów.

W wyniku mechanicznego, termicznego lub chemicznego przetworzenia biomasy uzyskuje się biopaliwo, które w następnej kolejności może być wykorzystane w energetyce, komunikacji, rolnictwie, budownictwie i przemyśle. Przetworzona biomasa w biopaliwo nabywa wiele pozytywnych cech, takich jak [7]:

- zwiększenie koncentracji energii,
- ujednorodnienie,
- usunięcie odorów,
- zwiększenie udziałów pożądanych składników,
- pozbycie się składników szkodliwych lub balastowych.

Na rys. 2 przedstawiony został podział biopaliw ze względu na stan skupienia.



Rys. 2. Podział biopaliw ze względu na stan skupienia, na podstawie [7]

Fig. 2. Division of biofuels considering the physical state, based on [7]

Biopaliwo w wyniku konwersji zawartej w nim energii chemicznej można przetworzyć na energię cieplną, elektryczną lub mechaniczną.

3. Współspalanie węgla kamiennego i biomasy

Racjonalne wykorzystanie odnawialnych zasobów energii odnawialnej jest jednym z ważniejszych elementów zrównoważonego rozwoju Polski.

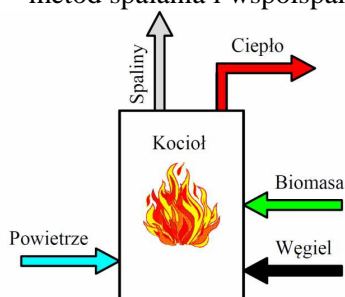
Stopień wykorzystania źródeł energii odnawialnej (w tym biomasy) jest uzależniony od wielkości zasobów oraz technologii przetwarzania.

Dużym zainteresowaniem wśród producentów energii cieplnej i elektrycznej cieszą się technologie umożliwiające współspalanie biomasy z węglem. Proces ten może się odbywać w już istniejących kotłach energetycznych. Rozwiązanie to 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 [9].

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 przetworstwa. Technologia współspalania łączy ze sobą wykorzystanie odnawialnych źródeł energii z użytkowaniem energii z paliw kopalnych. Proces współspalania może być realizowany w kilku wariantach technologicznych:

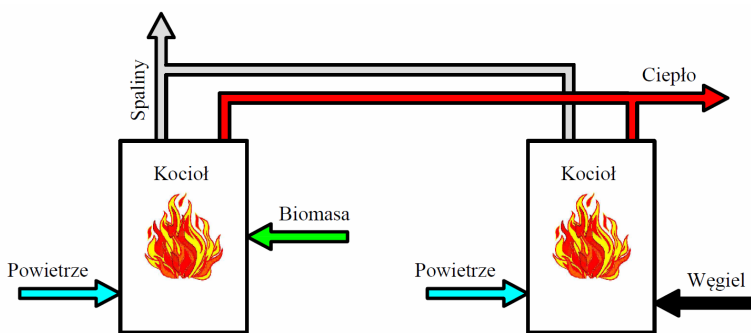
- współspalania w układzie bezpośrednim (rys. 3) – podczas procesu spalania doprowadzany jest strumień węgla i biomasy lub ich odpowiednia mieszanka,

- współspalania w układzie równoległym (rys. 4) – węgiel i biomasa spalane są w osobnych komorach spalania z zachowaniem indywidualnych wymogów odnośnie procesu spalania,
- współspalania pośredniego w przedpalenisku (rys. 5) – biomasa spalana jest w przedpalenisku, skąd wytworzone ciepło w postaci spalin doprowadzane jest do głównej komory spalania,
- współspalania pośredniego poprzedzonego zgazowaniem (rys. 6) – biomasa poddana jest procesowi zgazowania, otrzymany gaz zostaje doprowadzony i spalany w głównej komorze spalania,
- technologie mieszane współspalania (rys. 7) – jest to kombinacja różnych metod spalania i współspalania biomasy oraz węgla.



Rys. 3. Przykładowa technologia współspalania biomasy i węgla w układzie bezpośrednim

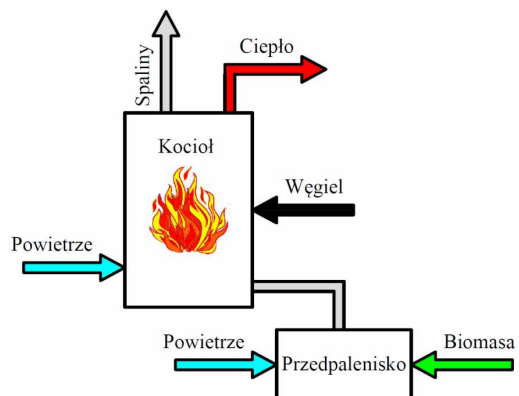
Rys. 3. Co-combustion technology biomass and coal on direct system



Rys. 4. Przykładowa technologia współspalania biomasy i węgla w układzie równoległym

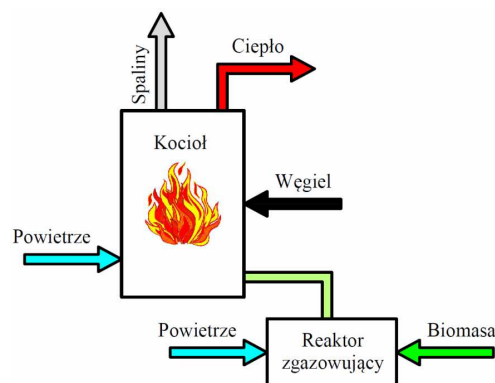
Fig. 4. Co-combustion technology biomass and coal on parallel system

Ze względu na stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne oraz możliwość przystosowania istniejących kotłów, najpopularniejszymi metodami współspalania biomasy i węgla jest współspalanie w układzie bezpośrednim i równoległym.



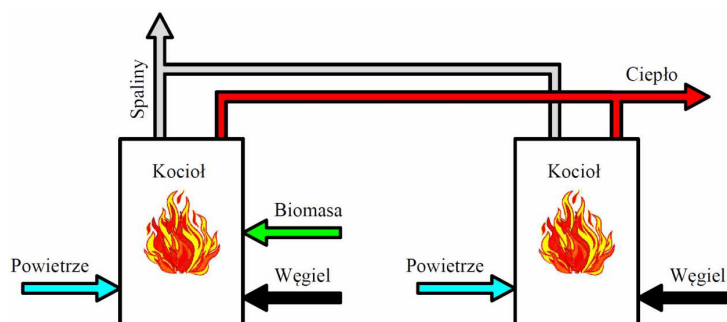
Rys. 5. Przykładowa technologia współspalania pośredniego biomasy i węgla w przedpalenisku

Fig. 5. Indirect co-combustion technology biomass and coal on dutch oven



Rys. 6. Przykładowa technologia pośredniego współspalania węgla i biomasy poprzedzone zgazowaniem

Fig. 6. Indirect co-combustion technology coal and biomass preceded by gasification



Rys. 7. Przykładowa technologia mieszane spalania oraz współspalania biomasy i węgla

Fig. 7. Mixed combustion and co-combustion technology coal and biomass

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

Konstrukcja węglowych kotłów energetycznych to rezultat ponad stu lat badań i doświadczeń eksploatacyjnych spalania węgla [7]. Prowadzony w nich proces współspalania węgla i biomasy nie może odbywać się w sposób mimowolny, a musi uwzględniać wszelkie efekty techniczne (m.in.: przepalenia kotłów, zatarcia rusztów, korozję wymienników) jak i efekty ekologiczne i ekonomiczne. W związku z powyższym, badania procesów współspalania są bardzo ważne.

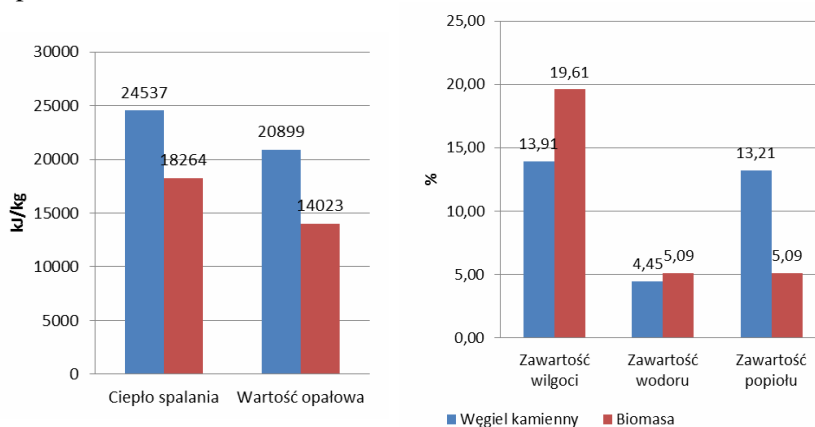
W niniejszej pracy zostały przedstawione przeprowadzone wstępne badania współspalania różnych mieszanek biomasy i węgla kamiennego w układzie bezpośrednim w kotle wodnym rusztowym WR-10. Spalaną biomasą były zrębki drzewne pochodzące z zakładów meblowych.

Kocioł pracował ze stałym obciążeniem cieplnym, wynoszącym 2 MW. Procesowi spalania poddano mieszankę 25%, 50% oraz 70% biomasy i węgla kamiennego. Sprawność kotła została wyznaczona metodą bezpośrednią. Badania podstawowych parametrów węgla kamiennego i biomasy wykonano według norm za pomocą kalorymetru Parr 6300.

Stężenia zanieczyszczeń w gazach spalinowych przeprowadzono zgodnie z normami przy użyciu nowoczesnego wieloparametrowego analizatora gazów Gasmat DX-4000 oraz analizatora lotnych związków organicznych J.U.M OVF-3000.

Celem badań było określenie wpływu spalanej mieszanki paliw w kotle węglowym na zmianę sprawności, parametrów pracy kotła oraz efekty środowiskowe. Przebadano następujące parametry:

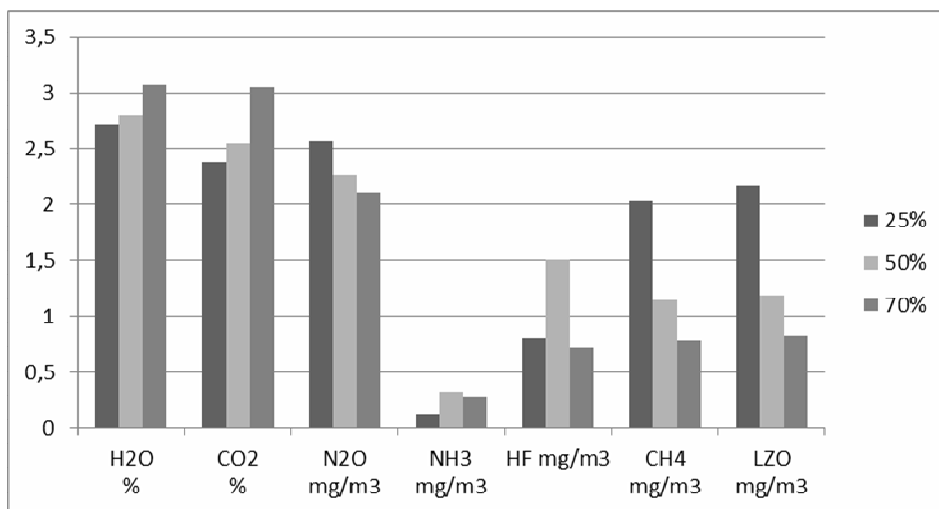
- podstawowe parametry paliw,
- stężenia zanieczyszczeń gazowych,
- moc kotła,
- sprawność kotła.



Rys. 8. Podstawowe parametry węgla kamiennego i biomasy

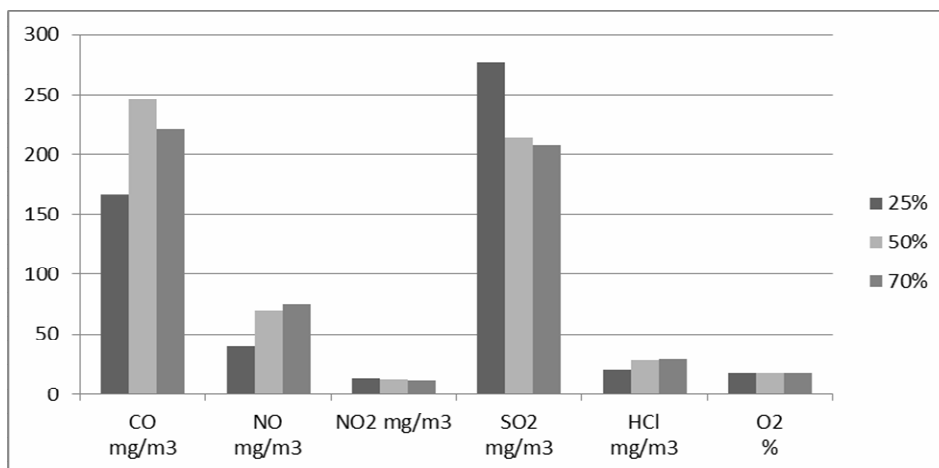
Fig. 8. Basic parameters of coal and biomass

Na podstawie powyższych wykresów (rys. 8) można zauważyć, iż ciepło spalania biomasy jest niższe o około 25%, a wartość opałowa o ponad 30% w porównaniu do węgla kamiennego. Wynika to m. in. ze znacznie wyższej zawartości wilgoci w biomasy. Zawartości wodoru w obu paliwach są zbliżone. Węgiel charakteryzuje się dużo wyższą zawartością popiołu, tj. 2,5 krotnie wyższą niż w przypadku biomasy.



Rys. 9. Wielkości stężeń zanieczyszczeń z procesów spalania 25%, 50% i 70% mieszanki biomasy i węgla kamiennego

Fig. 9. Concentration levels of pollutants from combustion of 25%, 50% and 70% blends of biomass and coal



Rys. 10. Wielkości stężeń zanieczyszczeń z procesów spalania 25%, 50% i 70% mieszanki biomasy i węgla kamiennego

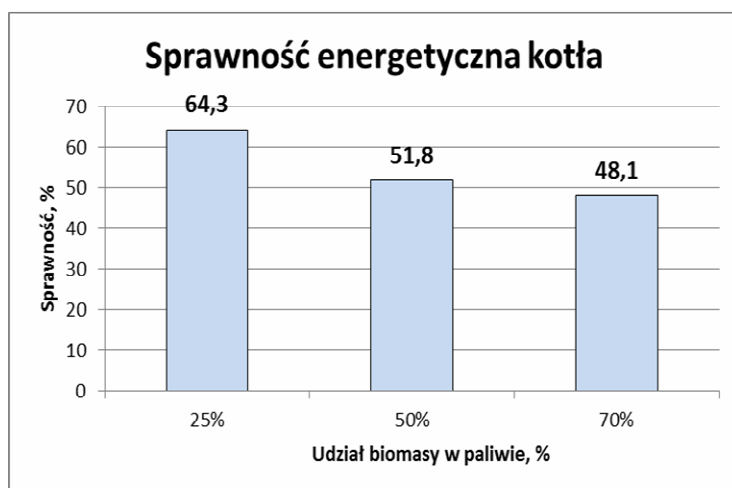
Fig. 10. Concentration levels of pollutants from combustion of 25%, 50% and 70% blends of biomass and coal

Na powyższych wykresach (rys. 9, rys. 10) przedstawione zostały wstępne wyniki badań otrzymane w procesie współspalania 25%, 50% i 70% mieszanki biomasy oraz węgla kamiennego. Charakter zmian zachowany jest dla większości analizowanych zanieczyszczeń. Wraz ze wzrostem udziału biomasy w całkowitej masie spalanego paliwa, maleje stężenie podtlenku azotu (N_2O), ditlenku azotu (NO_2), metanu (CH_4), lotnych związków organicznych (LZO), ditlenku siarki (SO_2) oraz tlenu (O_2). Pozostałe stężenia zanieczyszczeń rosną lub charakter ich jest zmienny.

Niewątpliwą zaletą współspalania biomasy jest znaczna redukcja szkodliwych zanieczyszczeń, takich jak: ditlenek siarki, podtlenek azotu i ditlenek azotu co można zauważyć na wykresach (rys. 9, rys. 10). Wraz ze zwiększaniem udziału biomasy w spalanej paliwie wielkości stężeń tych związków maleją.

Na wykresie (rys. 9), można zaobserwować wzrost stężeń ditlenku węgla (CO_2) wraz ze zwiększającym się udziałem biomasy. W rzeczywistości jednak wielkości emitowana do atmosfery jest w ogólnym bilansie zerowa, gdyż biomasa uwalnia do atmosfery równoważną ilość jaką była w stanie przyswoić w procesie fotosyntezy.

Wraz ze wzrostem udziału biomasy w mieszance spalanego paliwa oprócz pozytywnych aspektów środowiskowych, można zaobserwować negatywny efekt technologiczny, tj. spadek parametrów pracy kotła co wpływa na jego sprawność (rys. 11). W przypadku 25% biomasy w spalanej mieszance sprawność energetyczna kotła wynosi około 64%. Zwiększenie udziału biomasy do 70% skutkuje spadkiem sprawności do około 48%.



Rys. 11. Sprawność kotła WR-10, podczas spalania 25%, 50% i 70% mieszanki biomasy i węgla kamiennego

Fig. 11. Efficiency of the WR-10 boiler, during combustion of 25%, 50% and 70% of a mixture of coal and biomass

5. Wnioski

W odniesieniu do ustaw oraz zobowiązań przyjętych przez Polskę celem jest podjęcie badań mających na celu ocenę wpływu stosowania biomasy jako dodatku do paliw kopalnych.

Na podstawie informacji zawartych w literaturze oraz własnych badań i analiz, podczas wyboru mieszanki należy rozważyć dwa aspekty, środowiskowy i sprawnościowy. Wraz ze wzrostem biomasy w mieszance zmniejsza się stężenie gazów cieplarnianych, niektórych związków azotu, siarki i węglodorów co jednak negatywnie odbija się na sprawność kotła.

Podjęte badania i analizy mogą być pomocne w określeniu optymalnej wartości biomasy w paliwie, przy której sprawność wytwarzania ciepła będzie najlepsza, a stężenia zanieczyszczeń najniższe.

Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca
- [2] Gawlik L, Węgiel kamienny energetyczny - perspektywy rozwoju w świetle priorytetów środowiskowych, IGSMiE PAN — Wydawnictwo, Kraków 2011
- [3] Kubica K., Spalanie biomasy i jej współspalanie z węglem – techniki, korzyści i bariery
- [4] Głodek E., Spalanie i współspalanie biomasy – poradnik, Opole 2010
- [5] Werther J., Saenger M., Hartge E.-U., Ogada T., Siagi Z., Combustion of agricultural residues, Progress in Energy and Combustion Science, 26, 2000
- [6] Balatinecz J.J., The potential of densification in biomass utilisation, w: Cote WA, editor: Biomass utilization, London, Plenum Press, pp.1 81-189, 1983
- [7] Lewandowski Witold M., Ryms M., Biopaliwa – proekologiczne źródła odnawialne, Wydawnictwo WNT, 2013
- [8] Proszak-Miąsik D., Nowak K., Rabczak S., Wykorzystanie energii słonecznej jako jednego z czynników poprawiających jakość powietrza, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXX, z. 60, Rzeszów 2013
- [9] 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 IN ENERGETIC BOILERS

Summary

One of the main elements of the Polish energy policy is to increase the fuel efficiency and power. Great potential for reducing consumption of fossil fuels stuck in heating systems ranging from generation, transmission and distribution and ending with the 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 general characteristics of solid fuels and biomass as well as the advantages and disadvantages arising from their co-combustion. Presented a particularly important element, which allows to determine the effect of ecological co-firing of biomass with coal, namely the results of the effect of addition of biomass to coal on the emission of gaseous pollutants to the atmosphere. Device used to measure the concentrations of gaseous pollutants allow determining the amount of carbon, sulfur and nitrogen compounds, which measurement is not defined any rules, including chlorine compounds, hydrogen, methane, ammonia and volatile organic compounds. 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, pollutant concentrations

DOI:10.7862/rb.2014.104

Przesłano do redakcji: 26.11.2014 r.

Przyjęto do druku: 18.12.2014 r.