

Józef FLIZIKOWSKI¹, Tomasz TOPOLIŃSKI^{1,2}, Jan JASIŃSKI², Damian WELNOWSKI²

e-mail: fliz@utp.edu.pl

¹Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

²GORDEN sp. z o.o., Bydgoszcz

Inżynieria energomechaniczna biomasy. Cz. I: Współspalanie

Wprowadzenie

Współspalanie biomasy z węglem kamiennym powoduje często pozostawanie niespalonych części palnych zarówno w żużlu jak i popiele lotnym. Jest to ewidentna strata energetyczna, gdzie paliwo nie oddaje całości energii do układu, a przechodzi wraz z odpadami i jest nieodwracalnie tracone [Błasiak i in., 2006; Golec, 2004].

By zapobiec temu zjawisku konieczne jest zapewnienie powtarzalnego mielenia biomasy na jak najdrobniejsze frakcje stałe.

Badania w elektrociepłowniach współpalających biomasę wykazują jak duży jest wpływ uziarnienia biomasy, na końcowy udział węgla w popiele lotnym [Błasiak i in., 2006; Kasztelewicz, 2010].

Analiza energetyczna i ekonomiczna procesu współspalania biomasy musi opierać się na zyskach i stratach spowodowanych zastosowaniem biomasy jako paliwa. Dotychczasowe doświadczenia w krajowych elektrociepłowniach wskazują jednoznacznie na wyższe nakłady, koszty procesu, uwarunkowane przez:

- spadek sprawności energetycznej kotłów poddanych procesowi modernizacji do współspalania biomasy, na skutek zmian sposobu wymiany ciepła w kotle, wzrostowi wartości niedopału,
- wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną przez zainstalowane urządzenia do przygotowania i spalania biomasy (układy transportu, mielenie precyzyjne itp.),
- znaczny wzrost szlakowania komór paleniskowych pogarszających dyspozycyjność kotłów,
- Szybka korozję wysokotemperaturową powodowaną przez zawartość chloru w biomasie (głównie słoma),
- niepewność co do ceny biomasy na wolnym rynku, spowodowana dużą konkurencją na rynku i dużym rozproszeniem dostawców surowca [Kasztelewicz, 2010].

Do korzyści, zysków współspalania niewątpliwie należą:

- niższa (bilansowe zero) emisyjność szkodliwych związków SO₂, NO_x, CO₂, która pozytywnie wpływa na stan środowiska naturalnego, jak i na cenę jednostki wytworzonego ciepła (ETS);
- elastyczność procesu – podczas niedoboru biomasy kocioł może pracować na samym węglu;
- proces współspalania jest stabilizowany przez spalanie węgla [Lorenz, 2010; Popiel, 2011].

Celem zadań modernizacyjnych był opis i analiza warunków technicznych, szczególnie mikronizacji biomasy, niezbędnych do zaistnienia wysokiej efektywności energetycznej jej współspalania z węglem. Do osiągnięcia tego celu przeprowadzono postępowanie przygotowawcze obejmujące: istotę współspalania, pro optymalizacyjne koncipowanie nowej techniki mikrorozdrabniania oraz dostępność biomasy dla celów energetycznych.

Istota techniki współspalania

Istota współspalania polega na jednoczesnym spalaniu węgla i biomasy w komorze kotła i oddawaniu ciepła do instalacji. Kotły (np. OP-230) projektowane były dla spalania wyłącznie węgla kamiennego, stąd po procesie dostosowania do współspalania biomasy należy liczyć się z pewnymi ograniczeniami co do wydajności cieplnej kotła spowodowanej dostarczaniem paliwa o mniejszej wartości energetycznej [Golec, 2004; Kasztelewicz, 2010; Kruczek i in., 2005; Kryszak, 2005; Lorenz, 2010; Soliński i Jesionek., 2007; Popiel, 2011; Ściążko i in., 2006].

Oprócz wartości opalowej biomasy niezwykle istotna dla procesu spalania jest także jej wilgotność. Sucha biomasa spala się bardzo dobrze i powoduje stabilizację płomienia, natomiast wilgotna przesuwając ją dołożenie jądra płomienia ku górze komory paleniskowej, co jest bardzo niepożądane ze względu na emisyjność związków NO_x oraz pogorszenie wymiany cieplnej w kotle [Golec, 2004]. Dlatego przed podjęciem procesu modernizacji prowadzone były dokładne przeliczenia i modelowanie procesu spalania przy różnych udziałach biomasy w paliwie oraz rzetelne próby rozruchowe, które pozwoliły na wyciągnięcie odpowiednich wniosków prowadzących do optymalnej regulacji parametrów pracy kotła.

Dla uzyskania maksymalnej efektywności ekonomicznej konieczne jest otrzymywanie w procesie spalania popiołów o zawartości części palnych mniejszej niż 6%, które z powodzeniem mogą być odsprzedawane cementowniom do produkcji betonu komórkowego [Golec, 2004].

Założenia projektu modernizacji

Koncepcja współspalania, dla potrzeb obliczeniowych projektu modernizacji, zakłada następujące parametry [Flizikowski i Bieliński, 2013]:

- układ mielący posiadał będzie wydajność ok 45 t/h, co pozwoli na pracę kotła po modernizacji, przy 100% udziale biomasy w spalonym paliwie;
 - transport pneumatyczny pyłu biomasy będzie prowadzony za pomocą 8 linii, przy czym wydajność 1 linii wynosi 5,625 t/h. W przypadku awarii jednej z linii pozostałe 7 zostanie obciążone do ok. 6,63 t/h, co nadal pozwoli osiągnąć maksymalną wydajność 45 t/h;
 - zużycie energii elektrycznej przez urządzenia instalacji będzie wynosiło 1773 kW;
 - zużycie sprężonego powietrza (do sterowania zaworami), propanu-butanu oraz mazutu do palników i dysz OFA pozostaną na niezmiennym poziomie.
- Modernizacja kotła w kierunku współspalania węgla i biomasy pozwoli na:
- zapewnienie spełnienia przewidywanych wymagań przepisów ochrony środowiska w zakresie emisji do atmosfery,
 - ograniczenie emisji CO₂ do atmosfery,
 - uzyskanie dodatkowych przychodów z energii odnawialnych źródeł przez wprowadzenie spalania biomasy oraz poprzez sprzedaż praw majątkowych do świadectw pochodzenia energii elektrycznej z OZE (świadectwa zielone) [Błasiak i in., 2006].

Kocioł po modernizacji będzie dostosowany do spalania biomasy w ilości odpowiadającej 100% obciążeniu kotła oraz awaryjnie do spalania węgla kamiennego.

Instalacja zostanie również wyposażona w układy umożliwiające redukcję NO_x do poziomu poniżej 200 mg/Nm³. Pierwszy stopień redukcji będzie zrealizowany metodami pierwotnymi poprzez system ROFA i technologię ABACO. Jako następny stopień redukcji przewiduje się zastosowanie niekatalitycznej redukcji metodą ROTAMIX [Błasiak i in., 2006].

Spaliny ze spalania biomasy będą kierowane do istniejącego komina trójprzewodowego. Natomiast podczas pracy instalacji na węglu kamiennym oczyszczone spaliny będą wprowadzone do nowo projektowanej instalacji odsiarczania [Błasiak i in., 2006].

Zakres modernizacji kotła

Modernizacja powinna obejmować:

- aktualizację układu spalania – układu palników kotła; zastosowania dedykowanych palników do biomasy lub przerobienie istniejących, realizację pyłoprzewodów, aparatów wydmuchowych i układu pierwotnego powietrza z dmuchawami, układu powietrza wtórnego z wentylatorem wspomagającym i kanałami powietrza;
- budowę zasobnika pośredniego dla biomasy;
- budowę stacji przygotowania biomasy wraz z młynami;
- budowę układu transportu pyłu z młynów ze zbiornikiem wyrównawczym pyłu;
- budowę instalacji dozującej pył do palników;
- poprawę układu zdmuchiwaczy kotłowych;
- poprawy i przebudowy rurociągów i układów pomocniczych w celu ich dostosowania do potrzeb instalacji;
- aktualizację obrotowych podgrzewaczy powietrza;
- odnowienie aparatów kierowniczych wentylatorów spalin;
- rozbudowę instalacji zaopatrującej kocioł w wodę zasilającą;
- unowocześnienie układu odprowadzania spalin z kotła i elektrofiltru;
- rozbudowę instalacji kotła w celu redukcji NO_x w spalinach poniżej poziomu 200 mg/Nm³;
- w części budowlanej – realizację i budowę pomieszczeń, konstrukcji i fundamentów oraz kompletnego budynku dla urządzeń stacji przygotowania pyłu z biomasy, przebudowę elementów konstrukcyjnych kotła i budynku kotłowni;
- instalacje i unowocześnienia układów elektrycznych;
- instalację układu AKPIA;
- instalację urządzeń obsługi remontowej;
- instalacje sygnalizacji i zabezpieczeń ppoż. [Soliński i Jesionek, 2007].

Ze względu na charakter i zakres prac szerzej zostaną omówione tylko prace o zakresie mechanicznym, a prace budowlane i elektryczne zostaną pominięte.

Modernizacja układu spalania dotyczy zabudowy nowych palników przystosowanych do podawania biomasy do komory spalania w ilości do 100 % suchej biomasy, przy utrzymaniu wszystkich znamionowych parametrów pary lub modyfikacji istniejących palników. Liczba i konfiguracja palników musi zapewnić osiągnięcie wydajności kotła od minimum do maksimum przy spalaniu tylko biomasy, jak i przy każdym stosunku biomasy do węgla [Soliński i Jesionek, 2007].

Przyjęto, że po modernizacji kocioł powinien spełniać następujące warunki:

- podczas pracy na samym węglu musi osiągnąć parametry pary oraz wydajność identyczną jak po zakończeniu procesu naprawy;
- podczas spalania węgla z biomasą w ilości do 15% udziału energetycznego biomasy zawartość części lotnych w popiele lotnym nie przekroczy 5%, a zawartość części palnych w żużlu nie przekroczy 2%;
- dostarczone i zamontowane instalacje nie mogą spowodować ograniczenia możliwości regulowania kotła oraz nie spowodują problemów podczas rozpalenia i stabilizacji procesów spalania;
- dostarczone instalacje nie pogorszą obecnych warunków prowadzenia prac remontowo-konserwacyjnych oraz nie pogorszą parametrów technicznych, eksploatacyjnych i środowiskowych kotła oraz instalacji pomocniczych;
- instalacje do współspalania biomasy oraz instalacje do redukcji tlenków azotu w spalinach nie spowodują dodatkowego zużycia powierzchni ogrzewanych kotła głównie na skutek korozji i erozji;
- w przypadku zastosowania niekatalitycznej selektywnej metody redukcji tlenków azotu NSCR amoniakiem lub jego związkami pochodnymi, zawartość amoniaku w spalinach za kotłem nie przekroczy 5 ppm;
- całościowo zastosowane rozwiązania nie spowodują ubytku grubości ścian ekranowych kotła większego jak 0,2 mm na 8000 godzin pracy kotła;

- kocioł po modernizacji pozwoli na produkowanie pary technologicznej o parametrach standardowych, w całym zakresie współspalania biomasy – do 100% udziału energetycznego biomasy w spalanej paliwie oraz osiągnięcie standardową wydajność i inne parametry pracy [Soliński i Jesionek, 2007];
- modernizacja gwarantując utrzymanie parametrów pracy współspalania biomasy na poziomie 0–100% powinna wykorzystywać nowoczesne metody sterowania procesem spalania wewnątrz komory paleniskowej (np. uzyskać zakładany efekt z instalacją ROFA[®]). System ten oparty jest na dyszach generujących strumienie powietrza o dużych prędkościach, które powodują rotacyjny przepływ materiału w komorze spalania, zwłaszcza w górnej jej części. Zawirowania te poprawiają rozkład temperatur gazów, co zapewnia równomierną wymianę ciepła, lepsze dopalanie paliwa oraz mniejszą emisję CO₂ [Lorenz, 2010; Soliński i Jesionek, 2007; Ściżko i in., 2006];
- turbulentne warunki powstałe w strefie spalania sprzyjają spalaniu biomasy, a także kontroli emisji tlenków NO_x poprzez zastosowanie roztworów mocznika i amoniaku. ROTAMIX jest technologią pozwalającą precyzyjnie dawkować chemikalia w strefę spalania, a przez to redukować emisję szkodliwych tlenków NO_x. Technologia ta służy do selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR) [Flizikowski i Bieliński, 2013];
- średni skład chemiczny węgla przyjęty do obliczeń podano w tab. 1;

Tab. 1. Skład chemiczny węgla przyjęty do obliczeń [Flizikowski i Bieliński, 2013]

Skład chemiczny węgla		
C	%	64,06
H	%	4,01
O	%	6,43
N	%	1,06
S	%	0,75
Cl	%	0,10
H ₂ O	%	6,37
Wartość opałowa średnia	KJ/kg	25.535

- każdy z palników zostanie zabezpieczony ze względu na brak pyłu w zasilającym kanale oraz ze względu na zanik płomienia poprzez zamknięcie zaworu odcinającego, co ma zapobiec cofnięciu się płomienia do instalacji przygotowania biomasy [Flizikowski i Bieliński, 2013].

Komputerowy system sterowania po aktualizacji oprogramowania będzie pozwalał na:

- automatyczne sterowanie procesem,
- przetwarzanie i archiwizowanie danych procesowych,
- wizualizację obecnych stanów urządzeń i monitorowania procesów zachodzących w instalacjach,
- diagnostykę powstałych usterek,
- komunikację i wymianę danych z innymi systemami.

Podsumowanie

Zmiany wprowadzone podczas procesu modernizacji mogą w znacznym stopniu wpłynąć na proces eksploatacji kotła. Jednak rodzaj spalanej paliwa (węgiel, biomasa, lub węgiel i biomasa w dowolnym stosunku wagowym) nie powinien zwiększać ilości wytwarzanych szkodliwych tlenków. By temu sprostać kocioł musi być wyposażony w instalację redukcji związków NO_x oraz w nowoczesny system sterowania i monitorowania procesu spalania.

Właściwości biomasy (głównie duża wilgotność oraz zawartość chloru) powodują problemy w trakcie jej spalania. Ilość energii wytworzona z jednostki objętości jest stosunkowo mała przy porównaniu z jednostką objętości węgla kamiennego. Jednakże biomasa jako odnawialne źródło energii wytwarza porównywalne ilości spalin, które zużyła podczas procesu rośnięcia, wobec czego traktowana jest jako zero emisyjna.

LITERATURA

- Błasiak W., Moberg G., Grimbrandt J., 2006. *Redukcja tlenków azotu oraz optymalizacja spalania w komorach kotłów za pomocą asymetrycznego systemu podawania powietrza wtórnego*. 10. Międzynarodowa Konferencja Technik Grzewczych, Goteborg
- Flizikowski J., 2011. *Micro- and Nano-energy grinding*. PANSTANFORD Publishing, Singapore (ISBN-10 9814303534)
- Flizikowski J., Bieliński K., 2013: *Technology and energy sources monitoring. Control, Efficiency and Optimization*. IGI Global, USA, (ISBN 978-1-4666-2664-5)
- Głód K., Rysiawa K., 2008. *Współspalanie biomasy*, Instytut chemicznej przeróbki węgla. XV Wiosenne spotkanie Ciepłowników, Zakopane
- Golec T., 2004. Współspalanie biomasy w kotłach energetycznych, *Energetyka*, nr 7-8, 437-445
- Kasztelawicz Z., 2010. *Węgiel brunatny optymalnym paliwem dla polskiej energetyki w I połowie XXI, czyli 10 atutów branży węgla brunatnego*, Wyd. AGH, Warszawa
- Kruczek S., Skrzypczak G., Muraszkowski R., 2007. Spalanie i współspalanie biomasy z paliwami kopalnymi, *Czysta Energia*, 68, nr 6
- Kryszak J., 2005. *Wykorzystywanie biomasy dla pozyskiwania energii odnawialnej*, Wyd. Akad. Roln., Poznań
- Laurov Z., 2003. *Ekologiczne uwarunkowania pozyskiwania biomasy cele energetyczne w leśnictwie* [w:] *Możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne*. Konferencja naukowo-techniczna, Malinówka
- Lorenz U., 2010. *Gospodarka węglem kamiennym energetycznym*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków
- Popiel P.: Wpływ współspalania biomasy z pyłem węglowym na stratę niedopału, *Pr. Inst. Elektrotechn., Pol. Lubelskiej* z. 249
- Soliński I., Jesionek J., 2007. *Efekty ekologiczne współspalania biomasy z węglem kamiennym*, Warsztaty: Współspalanie biomasy i termiczna utylizacja odpadów w energetyce, Kraków
- Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M., 2006. Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową, *Energetyka i Ekologia*, nr 3, 207-220
- Zawada J. (red), 2005. *Wprowadzenie do mechaniki maszynowych procesów kruszenia*. Wyd. ITE, Radom – Warszawa
- Badania finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w latach 2010-2013 jako projekt rozwojowy i UDA-PO-IG.01.04.00-04-003/11-00.***

Redakcja zaprasza do odwiedzenia stron internetowych pod adresami:
<http://inzynieria-aparatura-chemiczna.pl>
<http://chemical-engineering-equipment.eu>

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE

INŻYNIERIA I APARATURA CHEMICZNA

ukazuje się od 1961 roku

Czasopismo jest poświęcone problemom obliczeń procesowych i zagadnieniom projektowo-konstrukcyjnym aparatury i urządzeń stosowanych w przemysłach przetwórczych, w tym szczególnie w przemyśle chemicznym, petrochemicznym, rolno-spożywczym, jak również w energetyce, gospodarce komunalnej i w ochronie środowiska.

Przeznaczone jest zarówno dla pracowników badawczych, projektantów, konstruktorów, jak i dla menadżerów oraz inżynierów ruchomych.

W czasopiśmie publikowane są artykuły o szerokim spektrum tematycznym, obejmującym problematykę procesów i operacji jednostkowych inżynierii chemicznej, bio- i nanotechnologie, inżynierię biomedyczną, recykling, bezpieczeństwo procesowe oraz obliczenia i projektowanie aparatów w aspekcie poprawy wydajności, lepszego wykorzystania surowców, oszczędności energii i ochrony środowiska.

Publikowane prace są recenzowane przez specjalistów. Autorzy artykułów opublikowanych w „Inżynierii i Aparaturze Chemicznej” uzyskują 5 punktów (od 17.09.2012) do oceny parametrycznej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Czasopismo jest regularnie abstraktowane w CAS (Chemical Abstracts Service – a division of the American Chemical Society, Columbus, Ohio, USA) i jest indeksowane na platformie SciFinder®:

<http://www.cas.org/products/scifindr/index.html>

w Bazie Polskich Czasopism Technicznych – BazTech:

<http://baztech.icm.edu.pl/wysz.html>

a także w bazie tekstów naukowych elektronicznych i drukowanych:

<http://scholar.google.com>