

Wpływ spalania biomasy na pracę kotłów energetycznych

An influence of biomass co-firing for boilers operation

dr hab. inż. Sławomir GRĄDZIEL, mgr inż. Karol MAJEWSKI,



W KILKU SŁOWACH

Do niedawna utrzymywał się trend na współspalanie biomasy ze stałymi paliwami kopalnymi w dużych kotłach energetycznych zaprojektowanych w systemie jednopaliwowym. Eksploatacja jednostek dała szeroki wachlarz doświadczeń związanych z polepszeniem niektórych własności eksploatacyjnych, a także wystąpieniem lub przyspieszeniem pojawienia się uszkodzeń i awarii związanych ze zmianą składu mieszanki paliwowej. Mieszanka paliwowa dwu i więcej składnikowa zawierająca biomasę ma bardzo zbliżony ilościowo udział składników, jednak inny skład chemiczny. Idą za tym zmiany różnych parametrów pracy jednostek. W pracy opisany został wpływ współspalania na różne aspekty pracy kotłów energetycznych: OP-210 i OP-380 pracujących w polskich elektrowniach zawodowych.



SUMMARY

A trend to co-fire biomass with solid fossil fuels in power boilers projected to mono-fuel system maintained for the last years. Exploitations gave an experience connected with increase some of the operation parameters. Moreover co-firing of biomass contribute to occur and accelerate damages and breakdowns connected with changes of fuel mix. Fuel mix which contains a biomass has the similar qualitative composition, but different chemical composition. Above mentioned differences biomass has an influence of boilers parameters. The paper describes co-firing influence at OP-210 and OP-380 boilers operation in polish power plants.

Sławomir Grądziel, Karol Majewski
Politechnika Krakowska,
Instytut Maszyn i Urządzeń
Energetycznych

1. Porównanie własności biomasy oraz paliw podstawowych

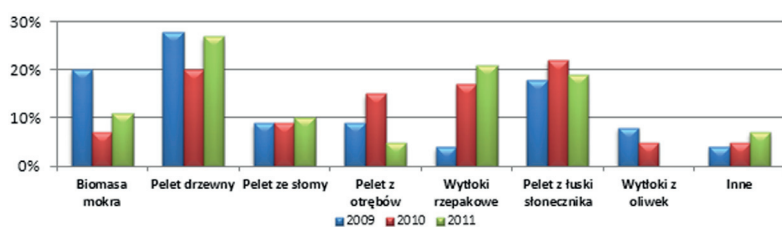
Paliwa zaliczane do biomasy należą do najstarszych ze wszystkich użytkowanych źródeł energii. Zgodnie z definicją z projektu Ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 9 października 2012r. pod tą nazwą zawierają się ulegające biodegradacji części produktów, odpady lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa, łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi,

leśnictwa i rybołówstwa oraz powiązanych z nimi działów przemysłu, w tym z chowu i hodowli ryb oraz akwakultury, a także ulegająca biodegradacji część odpadów przemysłowych i komunalnych oraz ulegająca biodegradacji część osadów ściekowych [1]. Z oszacowań wynika, że zasoby energii końcowej zmagazynowanej w postaci biomasy wynoszą w Polsce ok. 600 PJ [2]. Z powyższej definicji wynika również, że istnieje bardzo duża gama substancji, które można zaliczyć do biomasy. W energetyce zawodowej od 2005r.





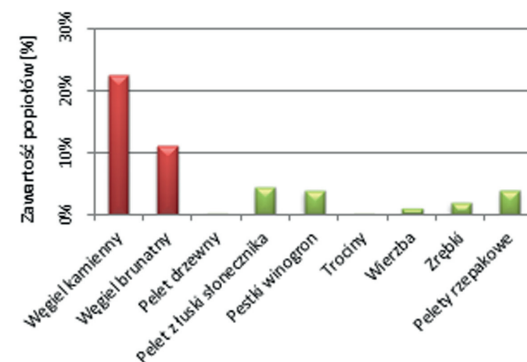
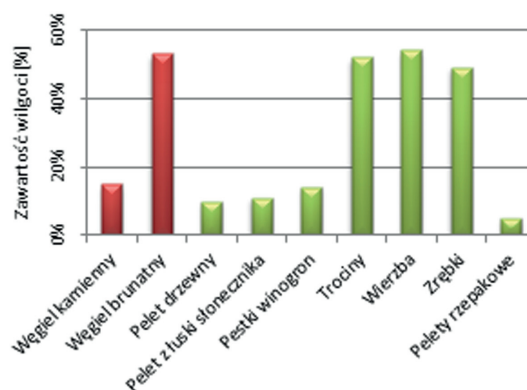
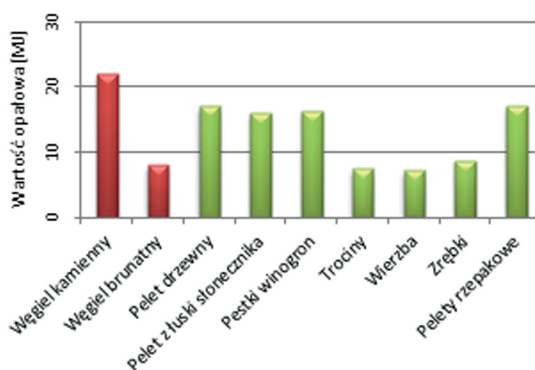
największy udział stanowiła biomasa pochodzenia roślinnego, przede wszystkim słomy zbóż, tzw. biomasa agro, biomasa pochodzenia leśnego, odpady przetwórstwa drewna oraz importowane z różnych części świata inne surowce wykorzystywane do współspalania. Na podstawie danych jednego z obecnych na polskim rynku producenta energii elektrycznej i ciepłej można wywnioskować, że stosowane paliwa alternatywne mają zróżnicowaną strukturę oraz są bardzo dobrej jakości [3] (rys. 1 i 2a).



Rys. 1. Udział poszczególnych rodzajów biomasy u jednego z producentów energii ciepłej i elektrycznej w Polsce [3]

Porównując paliwa podstawowe kotłów energetycznych (węgle kamienny i brunatny) oraz paliwa zaliczane do biomasy wynika, że ich skład ilościowy (udział poszczególnych pierwiastków) jest bardzo zbliżony. Jeżeli jednak przyrzeć się składowi chemicznemu oraz udziałowi poszczególnych pierwiastków, to zauważalne stają się różnice. Biorąc pod uwagę najważniejsze składniki, paliwa biomasowe średnio zawierają dwukrotnie mniej węgla oraz czterokrotnie więcej tlenu niż węgiel kamienny. Konsekwencją tego jest większa reaktywność oraz zawartość części lotnych w biomasie.

Kolejną różnicą pomiędzy wspomnianymi paliwami jest zawartość wilgoci (rys. 2b). Biomasa ma dużą i zmienną w zależności od wielu czynników zdolność do magazynowania wilgoci. Na wilgotność wpływ mają np.: okres zbioru, sposób składowania i transportu, sposób suszenia.



Rys. 2. Porównanie własności węgla i biomasy: a) wartość opałowa, b) zawartość wilgoci, c) zawartość popiołów

W konsekwencji paliwa te mają niższą wartość opałową. Poza obniżeniem ilości energii w jednostce paliwa pojawiają się także problemy ze stabilnością procesu spalania. Na proces spalania ma również wpływ zawartość części lotnych. W biomasie może być ich nawet czterokrotnie więcej niż w porównywanych węglach. W takim wypadku strefa płomienia przesuwa się w inne strefy kotła zmieniając warunki pracy.

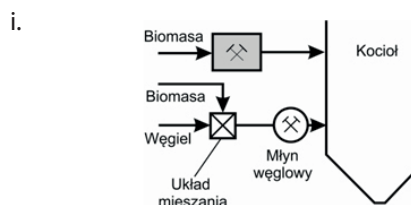
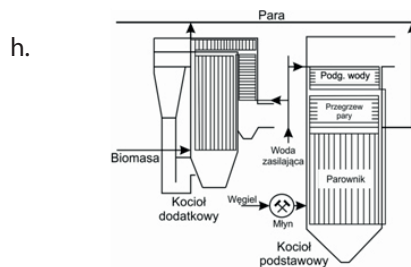
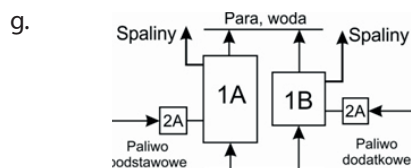
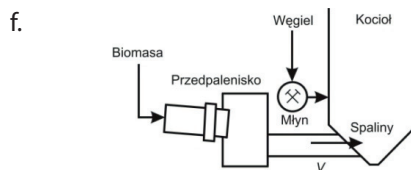
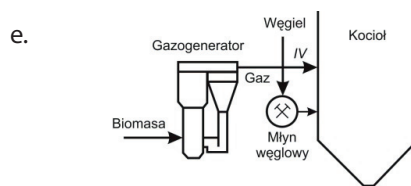
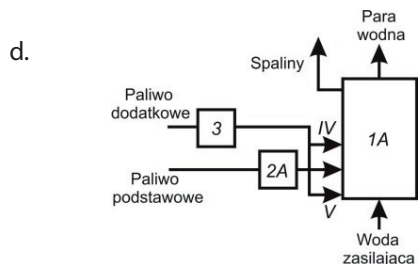
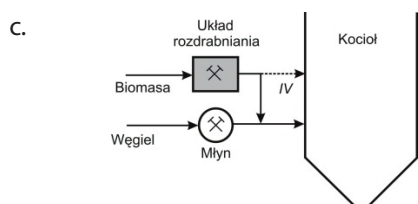
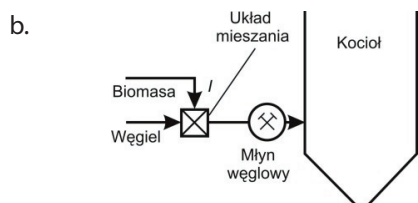
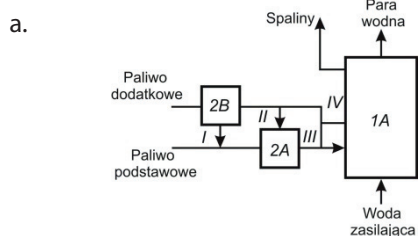
Kolejną różnicą pomiędzy węglami i biomasą jest zawartość innych pierwiastków. Biomasa zawiera znacznie wyższe stężenie metali alkalicznych, przede wszystkim sodu, które mają wpływ na powstawanie trudno usuwalnych osadów w kotle. Ponadto, obserwowana jest również wyższa zawartość wapnia i fosforu. W przypadku wykorzystania słomy zbóż obserwowana jest również podwyższona zawartość chloru, który bardzo silnie wpływa na proces korozji. Obecność siarki jest natomiast znacznie niższa niż w paliwach kopalnych. Co do obecności popiołów, notowane jest co najmniej dwukrotnie zmniejszenie ich ilości w stosunku do węgla (rys. 2c).



2. Sposoby współspalania węgla z biomasą

W zależności od typu kotła oraz rodzaju współspalanej biomasy, wyróżnić można trzy zasadnicze technologie współspalania [4]:

- Bezpośrednia – biomasa podlega wyłącznie rozdrobnieniu, ewentualnie suszeniu, po czym mieszana jest z węglem lub podawana bezpośrednio do kotła (rys.3a-c),
- Pośrednia – biomasa ulega zgazowaniu i w postaci palnego gazu podawana jest do kotła lub spalaniu w przedpalenisku i wykorzystaniu entalpii gorących spalin w wymiennikach kotłowych (rys. 3d-f),
- Równoległa – spalanie odbywa się w dedykowanych jednostkach pracujących na wspólny kolektor parowy (rys. 3g-h),
- Mieszany – wykorzystanie różnych metod wymienionych powyżej (np. rys. 3i).



Rys. 3. Technologie współspalania biomasy [4]: a, b, c) metoda bezpośrednia, d, e f) metoda pośrednia, g, h) metoda równoległa, i) metoda mieszana.

1A, 1B – kotły na paliwo podstawowe i dodatkowe,
2A, 2B – układy przygotowania paliwa podstawowego i dodatkowego,
3 – przedpalenisko
I,...,V – sposoby doprowadzenia paliwa podstawowego, dodatkowego oraz spalin.

Na początku wprowadzania współspalania w polskiej energetyce najczęściej stosowanym sposobem było bezpośrednio podawanie biomasy do instalacji młynowej (rys.3a). W kolejnych latach zaczęto wprowadzać mniej kłopotliwe w eksploatacji systemy podawania paliwa przedstawione na rys. 3c. Rozwiązania te stały się popularne, ponieważ nakłady inwestycyjne są znacznie niższe niż w przypadku współspalania pośredniego czy równoległego. Stosowane jest również wspomniane współspalanie mieszane, gdzie niewielki udział biomasy (do 12% udziału





masowego w całym strumieniu paliwa) podawany jest przez instalację młynową, a przez instalację bezpośredniego wtrysku biomasy podawane jest ok. 20% strumienia paliwa. W takim układzie paliwo podstawowe stanowi ok. 70% strumienia masowego. Z przeprowadzonych testów na układach mieszanych wynika, że można utrzymać stabilne warunki spalania nawet przy 50% udziale biomasy w strumieniu masowym paliwa.

3. Wpływ współspalania na poszczególne części instalacji kotłowych

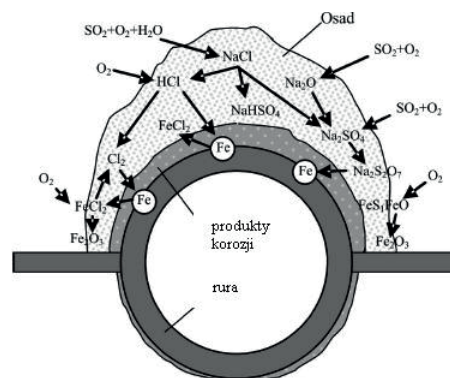
3.1 Układ przygotowania paliwa

W układach młynowych przy współspalaniu biomasy zaobserwowane zostały zwiększony pobór mocy podczas przygotowania mieszanki paliwowej oraz pogorszenie przemiału surowca. Związane jest to z odmiennymi właściwościami niż paliwo podstawowe jakim jest węgiel. Biomasa, szczególnie drzewna, bardzo często tworzy długie, trudno rozrywalne włókna, które zatykały separatory pyłu. Ponadto, niższa wartość opałowa powoduje, że strumień mieszaniny paliwowej musi być odpowiednio większy niż w przypadku samego paliwa podstawowego. W przypadku niektórych gatunków biomasy wzrost zapotrzebowania energii elektrycznej do napędu młynów wzrastał nawet o 20% w stosunku do znamionowych warunków pracy [5].

3.2 Powstawanie osadów na powierzchniach ogrzewalnych i korozja chlorowa

Odmienne skład chemiczny biomasy wpływa na powstawanie trudno usuwalnych osadów. Zwiększona zawartość sodu i potasu powoduje obniżenie temperatury mięknienia popiołów, przez co zwiększa się zagrożenie powstawania szlaki [6, 7]. Przy spalaniu samej biomasy nie zauważono wzrostu narastania osadów. Dla mieszanek paliwowych węgiel-biomasa natomiast tworzą się osady o mocnej strukturze, których tempo narastania jest bardzo duże. Warstwy osadów ograniczają wymianę ciepła, szczególnie w ciągu konwekcyjnym kotłów i przyczyniają się do wzrostu straty wylotowej kotłów. Ponadto mogą spowodować miejscowe przegrzewanie elementów ciśnieniowych. Powstawanie osadów pokazane zostało na rys. 4 i 5.

Kolejnym problemem jaki pojawia się przy współspalaniu jest zwiększone ryzyko zaistnienia korozji wysokotemperaturowej. W szczególności zjawisko pojawia się w kotłach, gdzie współspalana jest słoma zbóż. Zawartość chloru w biomacie, w zależności od jej rodzaju, może być nawet pięciokrotnie wyższa niż dla węgla kamiennego [8]. Powstałe chlorki żelaza dyfundują do powstałej na powierzchni przewodów warstwy tlenków żelaza (Fe_3O_4) osłabiając miejscowo strukturę. W wyniku tego procesu od rur potrafią odłuszczać się sporych rozmiarów płyty tlenku żelaza i w tym miejscu następuje pocienienie materiału. Przyczynia się to do zwiększenia częstotliwości rozszczelnienia instalacji w ciągu konwekcyjnym. Cały proces ulega nasileniu w połączeniu z pojawieniem się grubej warstwy osadów, powstałych w procesie współspalania, tworząc przy tym dosyć trwałą strukturą o słabej przyczepności do materiału właściwego przewodu. W przypadku oddzielenia wymienionego układu od rur, może dojść do pocienienia elementu na stosunkowo dużej powierzchni, co przyczynia się do osłabienia konstrukcji i pojawienia się nieszczelności



Rys. 4. Powstawanie osadów na powierzchniach ogrzewalnych



Rys. 5. Osady na powierzchniach ogrzewalnych przy współspalaniu biomasy





Rys. 6. Korozja wysokotemperaturowa na elementach ciśnieniowych kotła

w elementach ciśnieniowych.

3.3 Sprawność procesu spalania oraz emisja zanieczyszczeń

Współspalanie biomasy ma duży wpływ na proces spalania paliwa w kotle, szczególnie jest to związane z wysoką zawartością części lotnych oraz z wilgotnością mieszanki paliwowej. Wilgotność w znaczący sposób wpływa na stabilność płomienia, jego temperaturę i umiejscowienie w komorze paleniskowej lub przesunięciu na inne strefy kotła. Wzrost zawartości wilgoci wpływa również na wzrost emisji CO oraz NOx.

Przesunięcie strefy płomienia ma wpływ na zmianę warunków wymiany ciepła zachodzącej nie tylko w komorze paleniskowej, ale również w ciągu konwekcyjnym. Może to powodować zwiększenie obciążenia cieplnego na przegrzewaczach pary, co prowadzi do zwiększenia ilości wody wtryskowej. Zapobieganie temu procesowi związane jest z dobrym rozdrobnieniem biomasy oraz jej odpowiednim wysuszeniem.

Jak zostało wspomniane wcześniej, w pewnych warunkach, szczególnie przy dużej wilgotności paliwa, może dojść do zwiększenia emisji tlenu węgla oraz tlenków azotu. Gdy stosowana jest biomasa wysokiej jakości oraz o niskiej zawartości wilgoci, emisyjność wymienionych substancji ulega obniżeniu. Ponadto, zwiększona zawartość tlenu wapnia oraz zmniejszona zawartość siarki w biomase przyczyniają się do obniżenia emisji tlenków siarki. Dużą zaletą współspalania jest zmniejszona emisja pyłów

do atmosfery. Biomasa zawiera znacznie mniejszą ilość popiołów w stosunku do paliw podstawowych. Najczęściej wymienianą zaletą współspalania jest obniżenie emisji ditlenku węgla do atmosfery. Związane jest to z wykorzystaniem zamkniętego obiegu CO₂ w przyrodzie – emitowane CO₂ jest wykorzystywane w procesie wzrostu roślin.

4. Doświadczenie ze współspalaniem na kotłach OP-210 oraz OP-380

Zostały przeprowadzone obserwacje pracy kotłów OP-210 i OP-380 przy współspalaniu biomasy. Projektowe dane wymienionych jednostek zawiera tabela 1.

Typ kotła	OP-210	OP-380
	Z naturalną cyrkulacją	Z naturalną cyrkulacją
Rodzaj paleniska	Tangencjalne	Tangencjalne
Max. wydajność trwała	210 [t/h]	380 [t/h]
Temperatura pary świeżej	540 [°C]	540 [°C]
Ciśnienie pary świeżej	9,93 [MPa]	13,9 [MPa]
Temperatura pary wtórnej	-	540 [°C]
Ciśnienie pary wtórnej	-	2,65 [MPa]
Temperatura wody zasilającej	215 [°C]	227 [°C]
Sprawność obliczeniowa kotła	90%	91%
Rodzaj paliwa	Węgiel kamienny	Węgiel kamienny
Wartość opałowa	19 [MJ/kg]	21 [MJ/kg]

Tabela 1. Projektowe parametry kotłów OP-380 [9] i OP-210 [10].

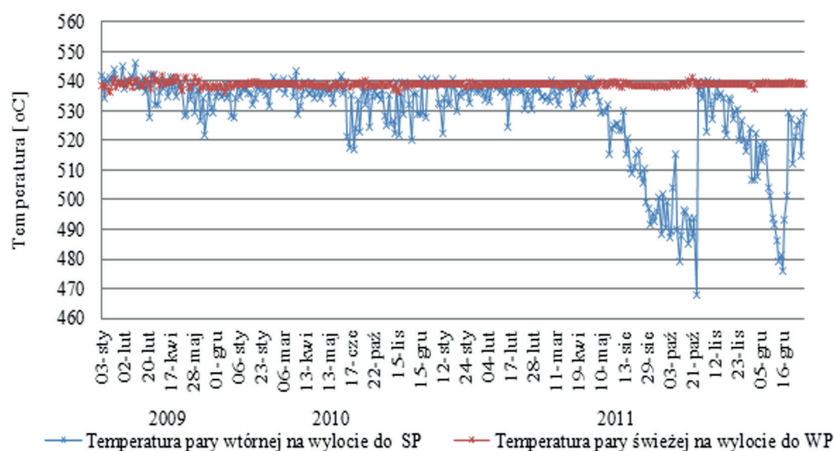
4.1. Wpływ współspalania na pracę kotła OP-380

Kocioł OP-380 jest kotłem opromieniowanym, dwuciągowym, jednowalczakowym z naturalnym obiegiem wody. Paliwo podstawowe stanowi pył węgla kamiennego. Ściany komory paleniskowej, międzyciągu oraz górnej części drugiego ciągu stanowią ściany szczelne membranowe. Jednostka została przystosowana do współspalania biomasy poprzez modyfikację instalacji podawania paliwa w układ bezpośredniego wtrysku biomasy. Wspomniana modyfi-

LITERATURA

- [1]. Projekt Ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 09.10.2012.
- [2]. Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce do roku 2020, Opracowanie wykonano na zlecenie Departamentu Energetyki Ministerstwa Gospodarki na podstawie umowy nr II/100/P/7501/07/DE z dn. 15.10.2007.
- [3]. A. Kutrzeba, Dostawy biomasy w ramach Grupy EDF w Polsce, Forum Biomasy, 22-23.03.2012, Ostrołęka.
- [4]. M. Pawlik, F. Strzelczyk, Elektrownie, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2009.
- [5]. J. Zuwała, K. Głód, K. Mroczek, Wpływ dodatku wybranych gatunków biomasy na parametry pracy instalacji młynowej kotła OP-650, materiały Międzynarodowej Konferencji Technologii Kotłowych 2006.
- [6]. M. Ściążko, J. Zuwała, M. Pronobis, Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową, Energetyka, marzec 2006.
- [7]. P. Bukowski, Analiza opłacalności stosowania biopaliw w energetyce, opracowanie zrealizowane w ramach projektu „Siła wiedzy”.
- [8]. T. Fulczyk, E. Głowacki, Problemy eksploatacyjne elektrofiltrów i instalacji odsiarczania spalin związane ze współspalaniem biomasy, Energetyka, czerwiec 2010.
- [9]. Strona internetowa RAFAKO S.A. (<http://rafako.com.pl>).
- [10]. P. Orłowski, Kotły parowe, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1972.
- [11]. K. Witkowski, Wpływ spalania biomasy na proces szlakowania na przykładzie kotła OP-380, praca dyplomowa, 2011.
- [12]. M. Pronobis, Modernizacja kotłów energetycznych, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002.

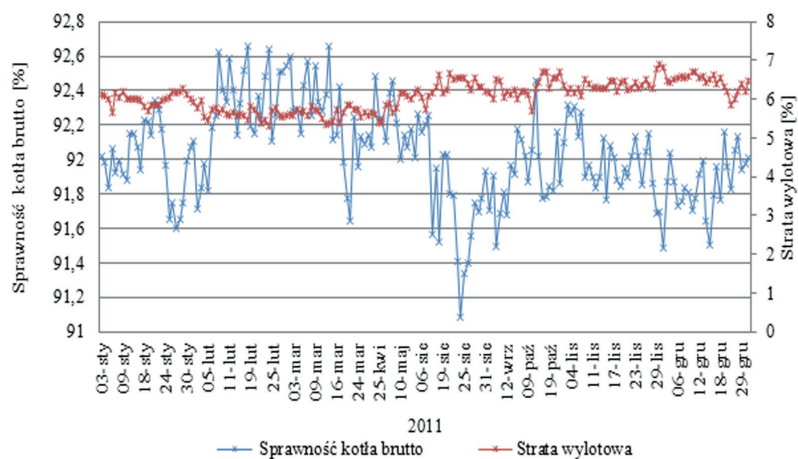




Rys. 7. Zmiana temperatury pary wodnej w czasie pracy kotła [11]

kacja pozwala również na podawanie biomasy poprzez układ młynowy.

Obserwacje pracy kotła OP-380 dokonane zostały w jednej z polskich elektrowni w okresie 2011r. W pierwszym kwartale, aż do przestoju remontowego na przełomie marca i kwietnia, biomasa podawana została przez instalację bezpośredniego wtrysku i stanowiła między 17-23% udziału masowego paliwa. W tym okresie nie zostały zauważone nadmierne ilości zanieczyszczeń na powierzchniach ogrzewalnych kotła. Z rys. 7 wynika, że temperatury czynnika kierowanego na część wysoko i niskoprężną turbiny oscylowały w granicach parametrów projektowych kotła. Dla porównania pokazane zostały lata wcześniejsze, gdzie nie było wykorzystywanej instalacji bezpośredniego wtrysku biomasy.



Rys. 8. Przebieg sprawności brutto oraz straty wylotowej kotła w 2011r. [11]

W drugiej połowie kwietnia nastąpiło planowane wyłączenie kotła i związane z nim przeprowadzenie oględzin. Zostały wyczyszczone również powierzchnie ogrzewalne. Po ponownym włączeniu do ruchu współpalana była biomasa, stanowiąc od 29-30% udziału masowego w mieszance. Ponadto, dodatkowe paliwo podawane było również za pośrednictwem młynów węglowych. W następstwie współpalania zauważone zostało szybkie narastanie osadów na powierzchniach ogrzewalnych, szczególnie w strefie międzyciągu oraz na przegrzewaczach ciągu konwekcyjnego. Jak widać na rys. 7 nastąpiło obniżenie temperatury czynnika kierowanego na część średnioprężną turbiny – różnica w stosunku do parametrów projektowych wynosiła nawet 70 [°C]. W tym kresie obniżeniu uległa sprawność brutto jednostki oraz wzrosła strata wylotowa (rys. 8).

Podczas współpalania biomasy we wspomnianych ilościach doszło do sześciu nieplanowanych odstawień kotła, spowodowanych awariami rur przegrzewaczy. Pojawiły się oznaki znacznej erozji, pęknięcia na powierzchniach rur, a w rezultacie nieszczelności instalacji.

4.2 Doświadczenia ze współpalaniem na kotle OP-210

W jednej z polskich elektrowni eksploatującej kocioł OP-210 współpalano biomasę od 2005r. Spalanie biomasy opierało się na częściowym mieszanii paliwa przed młynem węglowym i dodatkowym układzie bezpośredniego wtrysku. W początkowym okresie biomasa stanowiła 5% i ten udział był systematycznie zwiększany do osiągnięcia 30% udziału masowego w strumieniu paliwa. Tak wysoki udział biomasy w strumieniu masowym można było osiągnąć poprzez zastosowanie układu mieszanego pokazanego na rys. 3i. Ponadto w opisywanym kotle zainstalowany został system LNCFS (Low NOx Concentring Firing System) [12], który pozwala na rozdzielanie strug powietrza wtórnego i mieszanki pyłowo-powietrznej w przekroju poprzecznym komory paleniskowej. Odpowiednie strumienie kierowane są współbieżnie wzglę-



dem siebie. Pozwala to na utworzenie wiru bogatego w paliwo wewnątrz oraz otaczającą warstwę powietrza wtórnego. Ponad palnikami głównymi znajdują się również dysze OFA.

Zastosowanie powyżej opisanego układu pozwoliło w znacznym stopniu na zmniejszenie intensywności szlakowania i korozji ekranów komory paleniskowej. Przeprowadzone zostały badania grubości elementów ogrzewanych w parowniku oraz przegrzewaczach i nie stwierdzono ponadnormatywnych ubytków materiału.

Wnioski

Współspalanie biomasy z węglem ma znaczący wpływ na pracę kotłów energetycznych. Już niewielki udział biomasy w strumieniu paliwa pokazuje, że zmieniają się warunki pracy jednostek energetycznych. Mają tutaj duże znaczenie wilgotność oraz rodzaj współspalanej biomasy. Wspomniane własności mają szczególnie duży wpływ na stabilność procesu spalania, a także zmianę składu spalin i popiołów.

Przy niewielkich udziałach biomasy (do 12%) wyraźnie można zauważyć obniżenie emisji pyłów oraz związków siarki. Jednocześnie, na analizowanych jednostkach nie zauważa się znaczącego przyspieszenia procesu szlakowania i osadzania się zanieczyszczeń na powierzchniach ogrzewalnych. Powyżej 12% masowego udziału biomasy w składzie mieszanki, zauważalne jest przyspieszenie powstawania niekorzystnych zjawisk jak szlakowanie, przyspieszenie erozji, pojawienie się ognisk korozji. Wzrost udziału biomasy w strumieniu paliwa powyżej 30%, zwiększa ryzyko pojawienia się szkodliwych zjawisk, a w rezultacie częstszych nieplanowanych odstawień kotła z ruchu w celu usunięcia awarii i czyszczenia powierzchni ogrzewalnych.

Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że na bezawaryjną pracę kotła wpływ ma nie tylko rodzaj spalanej biomasy i jej udział masowy, ale również sposób i rodzaj doprowadzenia paliwa do komory paleniskowej.

Thermal Ceramics Polska działająca na rynku polskim od 1999 roku oferuje swoim klientom pełną gamę lekkich, energooszczędnych, wysokiej jakości materiałów ogniotrwałych. Morgan Thermal Ceramics posiada oddziały sprzedaży w ponad 40 krajach na świecie produkując swoje wyroby w bez mała 30 z nich.

Procesy termiczne stosowane są obecnie w prawie wszystkich gałęziach przemysłu. Są one niezbędne przy produkcji i obróbce stali, aluminium i innych metali nieżelaznych, szkła, ceramiki, tworzyw sztucznych oraz produktów petrochemicznych. W procesach tych osiągane są temperatury do 1800 °C, często w ekstremalnych warunkach fizycznych.

Firma Thermal Ceramics Polska w oparciu o doświadczenie i zaplecze ponad 160 firm na świecie należących do wspólnej rodziny Morgan Crucible jest partnerem w dostawie kompleksowych rozwiązań na które składają się:

- wiedza techniczna i doświadczenie +
- opracowania projektowe +
- dobór materiałów +
- prefabrykacja +
- pomoc w instalacji +
- serwis

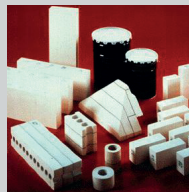
Standardowe grupy produktów oferowanych przez Thermal Ceramics Polska

Wysokotemperaturowe włókna szklane typu SUPERWOOL o temperaturze klasyfikacyjnej do 1300 °C oraz

Włókna Ceramiczne o temperaturze klasyfikacyjnej do 1600 °C

Lekkie prostki i kształtki ogniotrwałe do 1790 °C

Betony izolacyjne i ogniotrwałe do 1800 °C



Thermal Ceramics Polska Sp. z o. o.
ul. Towarowa 9, 44 – 100 Gliwice
tel.: 32 30531 13, 30531 14; faks 32 30531 15;
tel.kom.: 604 507351, 602 251351
polska.tc@morganplc.com

www.morganthermalceramics.com



APAG Sp. z o.o.
PRZEMYSŁOWE INSTALACJE GAZOWE

PIECE PRZEMYSŁOWE OPALANE GAZEM:

- piece komorowe
- piece z wysuwnym trzonem
- piece przepychowe
- małe piece kuzienne
- piece badawcze i specjalne

Piece są wyposażone
w palniki klasyczne
i rekuperacyjne.

Objętość pieców: 0,5 do 30 m³

Temperatury procesowe:
400-1300°C

61-139 Poznań, ul. Jana Pawła II nr 14
tel.: (61) 872 00 56 i 65 70 555
telefaks: (61) 87 50 164
e-mail: biuro@apag.com.pl



www.apag.com.pl

