



Andrzej Nocuń
Waldemar Ostrowski
Andrzej Rabsztyn

Mirosław Żbik
Eugeniusz Miklas
Błażej Łyp

Wytwarzanie energii odnawialnej poprzez współspalanie biomasy z paliwami podstawowymi w PKE SA



W celu osiągnięcia zawartego w Traktacie Akcesyjnym celu indykatywnego 7,5% energii wyprodukowanej w źródłach odnawialnych w roku 2010 w stosunku do całkowitej ilości energii elektrycznej wyprodukowanej w Polsce należy optymalnie wykorzystać posiadane zasoby energetyczne oraz istniejący potencjał wytwórczy. Nasza energetyka, wykorzystująca dotychczas głównie węgiel kamienny oraz brunatny, posiada znaczne możliwości wytwarzania „zielonej energii” drogą współspalania biomasy z paliwami podstawowymi w istniejących kotłach energetycznych. Stwarza to znaczne możliwości redukcji emisji CO₂.

Aspekty formalnoprawne

Wprowadzone do ustawy *Prawo energetyczne* mechanizmy zachęt w postaci „świadectw pochodzenia”, będące transpozycją dyrektywy 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych, spowodowały duży wzrost zainteresowania produkcją energii odnawialnej. Obowiązujące Rozporządzenie Ministra Gospodarki Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 maja 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła zalicza od 1 lipca 2004 r. do energii wyprodukowanej ze odnawialnych źródeł energii (OZE) energię elektryczną i ciepło wytworzoną w przypadku wspólnego, w tej samej jednostce wytwórczej, spalania biogazu lub biomasy z innymi paliwami w ilości proporcjonalnej do udziału energii chemicznej biopaliwa w całości energii chemicznej paliw spalanych w kotle.

Przedstawiony w cytowanym Rozporządzeniu wzór na obliczanie ilości energii z OZE produkowanej metodą współspalania umożliwia wyliczenie ilości tej energii na

podstawie mas wszystkich paliw wprowadzonych do kotła oraz ich wartości opałowych. Obecnie obowiązujące Rozporządzenie nie określa sposobu, w jaki należy wyznaczać wielkości wymagane we wzorze. W krajach Unii Europejskiej zaliczających energię ze współspalania biomasy do energii produkowanej w OZE takich, jak na przykład Wielka Brytania czy Holandia, rozliczanie tej energii odbywa się na podstawie danych zawartych w fakturach za dostawy biomasy weryfikowanych poprzez ważenie dostaw wagami legalizowanymi oraz wyznaczanie wartości opałowej odpowiednio uśrednionych próbek biomasy metodami fizyko-chemicznymi.

Pomiary ciągłe wartości opałowej biomasy wprowadzanej do kotła można z pewnym przybliżeniem realizować w sposób pośredni, np. poprzez ciągły pomiar wilgotności biomasy, przy założeniu, że biomasa jest w miarę jednorodna pod względem składu chemicznego i poziomu rozdrobnienia. Poważniejszym problemem technicznym jest dokładny pomiar on-line wartości opałowej strumienia węgla, szczególnie w przypadku dostaw realizowanych z różnych kopalń. Aby uniknąć niedokładności i zapewnić należytą wiarygodność rozliczeń, przygotowywane jest nowe Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy, precyzujące sposób wyliczenia energii z OZE dla różnych rodzajów współspalanej biomasy oraz różnych wariantów technicznych współspalania i różnych układów hybrydowych produkujących zieloną energię. Zgodnie z zawartą w „Rozporządzeniu” definicją biomasy, według której są to „substancje pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, które ulegają biodegradacji...”, zaliczyć można do niej zarówno zrębki czy też trociny drzewne, słomę jak również mączkę kostno-zwierzęcą.

Układy pomiarowe masy i wartości opałowych dla tak różnych rodzajów biomasy różnią się bardzo od siebie i są ściśle związane z układem podawania danego biopaliwa do kotła. W przypadku mączki kostno-zwierzęcej dostarczanej do kotła układem pneumatycznym, ważenie autocystern przywożących mączkę oraz autocystern po rozładunku, jest zdecydowanie dokładniejszą metodą pomiarową masy mączki niż pomiary on-line. Wyznaczenie wartości opałowej odpowiednio uśrednionej próbki mączki metodami fizykochemicznymi jest również dokładniejsze niż ciągłe pomiary pośrednie.

Pan Andrzej Nocuń jest dyrektorem technicznym PKE SA – Elektrociepłowni Katowice.

Pan Waldemar Ostrowski jest głównym specjalistą, a Pan Błażej Łyp starszym specjalistą ds. badań i rozwoju technologii PKE SA.

Pan Andrzej Rabsztyn jest głównym inżynierem ds. wytwarzania PKE SA – EC Katowice.

Pan Mirosław Żbik jest głównym inżynierem ds. wytwarzania Elektrowni II PKE SA – El. Jaworzno III.

Pan Eugeniusz Miklas jest głównym inżynierem ds. remontów PKE SA – El. Siersza.

Przeprowadzone próby współspalania w PKE SA

Nie czekając na wyjaśnienie wszystkich wątpliwości związanych z systemem rozliczeń w wybranych elektrowniach i elektrociepłowniach PKE SA przeprowadzono próby współspalania biomasy z paliwami podstawowymi. Ze względów technicznych szczególnie predysponowane do współspalania biomasy są kotły fluidalne. Odznaczają się one m.in.:

- stosunkowo długim czasem przebywania cząstek paliwa w komorze paleniskowej umożliwiającym dokładne wypalenie biomasy o znacznie słabszym poziomie rozdrobnienia niż węgiel,
- niską temperaturą procesu spalania rzędu 750–900°C, co zapewnia minimalizację problemów ze szlakowaniem kotła,
- brakiem zespołów młynowych, co całkowicie eliminuje problemy z przemiałem biomasy oraz zagrożenia pożarem w młynach.

Uwzględniając te niewątpliwe zalety kotłów fluidalnych zdecydowano się w PKE SA na przeprowadzenie w pierwszej kolejności prób współspalania biomasy w postaci zrębków drzewnych w PKE SA – EC Katowice oraz PKE SA – Elektrowni Siersza.

Elektrociepłownia Katowice

Blok BC 100 w EC Katowice jest wyposażony w kocioł cyrkulacyjny ze złożem fluidalnym o parametrach:

- moc cieplna 352 MW
- wydajność 483 t pary/h
- temperatura pary wylotowej 540°C
- ciśnienie pary wylotowej 13,8 MPa
- sprawność 91%

Rozpatrywano trzy różne możliwości podania biomasy do kotła, a mianowicie:

- mieszanie z mułami i podawanie gotowej mieszanki za pomocą istniejącej instalacji hydraulicznej do podawania mułów,
- podanie biomasy poprzez zbiornik piasku za pomocą instalacji pneumatycznej,
- podanie biomasy ze składowiska węgla.

Ze względu na występujące ograniczenia ilościowe w podawaniu biomasy w przypadku mieszania z mułami oraz zagrożenia związane z możliwością niekontrolowanego przepływu spalin od strony komory paleniskowej do zbiornika piasku w przypadku drugim, zdecydowano się na wariant trzeci, czyli:

- wydzielenie taśmociągu, na który podawana była biomasa,
- podawanie biomasy na warstwę miazgi znajdującego się na taśmociągu,
- mieszanie i ujednorodnienie paliwa na kolejnych przesykach, co zapewniło stosunkowo dobre ujednorodnienie mieszanki kierowanej do zasobnika
- transport mieszanki układem podajników węgla poprzez kruszarkę do kotła.

Biomasa dostarczana do prób charakteryzowała się następującymi parametrami:

- rodzaj biomasy – zrębki z drzew iglastych i liściastych,
- poziom rozdrobnienia – suma trzech wymiarów zgodnie z wytycznymi dostawcy kotła nie przekraczała 120 mm,
- wilgoć przemijająca od 32 – 50%,
- wilgoć całkowita od 40 – 65%,
- wilgoć higroskopijna 5,88%,
- wilgoć higroskopijna robocza 3,45%,
- popiół analityczny 0,32% – 1,5% (średni 0,63),
- popiół roboczy średnio 0,37%,
- wartość opałowa 8097– 9759 kJ/kg.

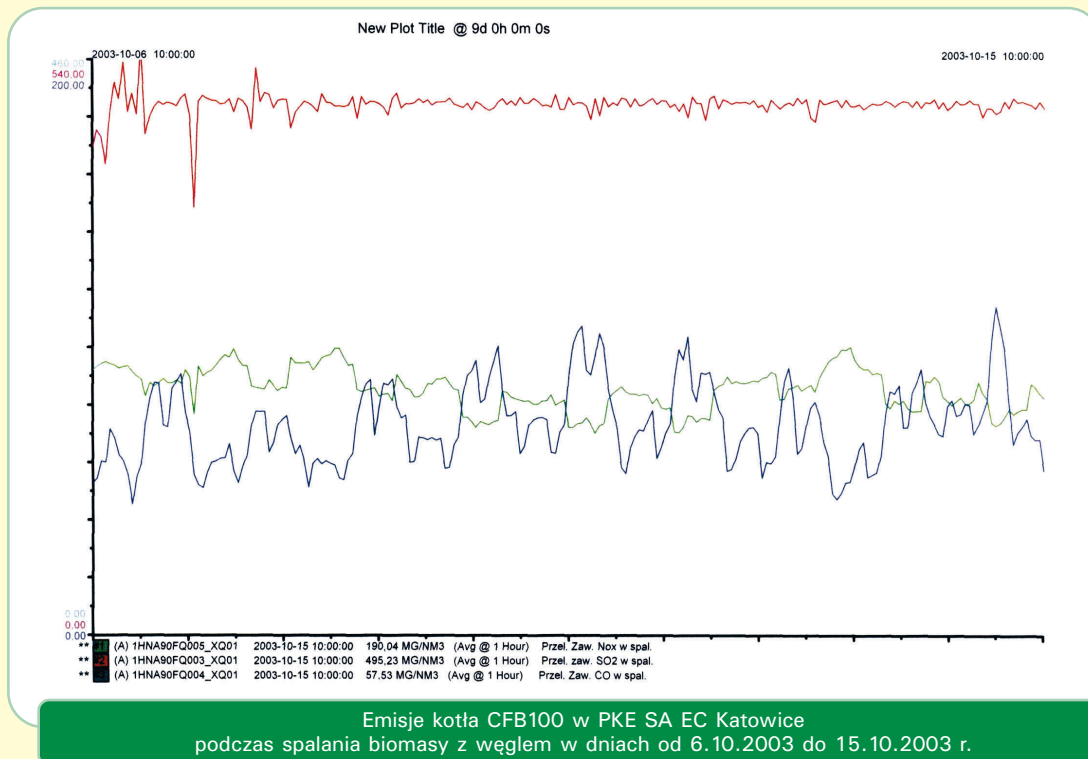
Próby rozpoczęto od podania mieszanki miazgi-biomasy na jeden zbiornik węgla. Eksperymentalnie dobierano udział biomasy w mieszance, aby uniknąć zawieszania się mieszanki w przykotłowych zbiornikach węgla. Przeprowadzono też próby zasypania jednego zbiornika samą biomasa, bez udziału miazgi węglowej. Próba ta zakończyła się niepowodzeniem ze względu na zawieszenie się biomasy w zbiorniku. Po dobraniu takiego udziału biomasy w mieszance, który zapewnił uzyskanie zadowalających wyników w zakresie opróżniania się jednego zbiornika paliwa, przeprowadzono pełne, trwające siedem dni próby współspalania. Testy prowadzono podczas normalnego ruchu elektrociepłowni, z użyciem standardowo stosowanych gatunków węgla oraz mułów węglowych. Średnie procentowe udziały poszczególnych rodzajów paliw w energii chemicznej dostarczanej do kotła podczas kolejnych dni testów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1 Udział poszczególnych paliw w energii chemicznej dostarczanej do kotła

Dzień	Udział paliw w energii chemicznej, %		
	biomasa	muł	węgiel
1	1,45	26,79	71,76
2	3,16	26,90	69,93
3	5,14	26,82	68,05
4	4,45	27,44	68,11
5	4,50	27,66	67,85
6	5,13	22,85	72,02
7	4,06	23,45	72,50

Podsumowując wyniki przeprowadzonych prób stwierdzić można, że:

- podawanie mieszaniny biomasy z węglem ciągami nawęglania, poprzez kruszarkę do zasobnika, odbywało się bez jakichkolwiek problemów,
- mieszanina trafiająca do zasobnika była jednorodna,
- spalanie odbywało się stabilnie,
- mierzone i rejestrowane przez system pomiarowy EC Katowice poziomy emisji pyłu jak również gazowych składników spalin, tj. SO₂, NO_x i CO w trakcie przeprowadzania prób nie odbiegały od wartości uzyskiwanych podczas normalnej eksploatacji kotła przy spalaniu mułu i miazgi węglowej (por. rys. 1),



Emisje kotła CFB100 w PKE SA EC Katowice podczas spalania biomasy z węglem w dniach od 6.10.2003 do 15.10.2003 r.

- na podstawie prowadzonych pomiarów własności fizykochemicznych popiołów dennego i lotnego nie stwierdzono istotnych różnic w stosunku do popiołów powstających podczas normalnej eksploatacji kotła,
- podczas inspekcji kruszarki po nawęgleniu mieszanką biomasowo-miałową nie stwierdzono w niej żadnych uszkodzeń ani zjawisk odbiegających od normy,
- podczas pracy zbiornika z udziałem biomasy 10% (energetycznie) w zasobniku tworzyły się nawisy, miały miejsce przedmuchy od strony kotła oraz zaniki w podawaniu paliwa do kotła spowodowane zawieszaniem się biomasy w zbiorniku węgla,
- przy energetycznym udziale biomasy wynoszącym 5,13% całkowitej energii chemicznej paliwa osiągnięto stabilny proces podawania mieszanki do kotła, spalanie dla takiego udziału biomasy w paliwie oraz praca układów podawania mieszanki do kotła odbywały się bez zastrzeżeń,
- nie stwierdzono przekroczeń ani niedotrzymań parametrów eksploatacyjnych bloku.

W próbach uczestniczyli również specjaliści reprezentujący dostawców kotła, z którymi uzgodniono program testów. Uzyskane wyniki w pełni potwierdziły wyrażoną wcześniej opinię projektantów, iż sam kocioł w *EC Katowice* (nie uwzględniając ograniczeń po stronie układu podawania paliwa) może bez modyfikacji spalać nawet znacznie większe od uzyskanych 5% wartości energetycznej strumienia paliwa ilości biomasy bez zagrożeń po stronie dyspozycyjności i dotrzymania parametrów eksploatacyjnych.

Elektrownia Siersza

Podobne wyniki prób w zakresie współspalania z paliwem podstawowym zrębek drzewnych uzyskano w *Elektrowni Siersza*.

Elektrownia jest wyposażona w kocioł cyrkulacyjny ze złożem fluidalnym typu OFz-425 o parametrach:

- moc cieplna 336 MW,
- wydajność 425 tpar/h
- temperatura pary wylotowej 560°C
- ciśnienie pary wylotowej 16,1 MPa
- sprawność 91%

Do prób użyto biomasy charakteryzującej się następującymi parametrami:

- rodzaj biomasy zrębki drzewne z drzew iglastych i liściastych
- rozdrobnienie granulacja < 120 mm (suma wymiarów długość + szerokość + wysokość)
- wartość opałowa 6200–8000 kJ/kg
- wilgoć całkowita 50–60%
- popiół roboczy średnio 0,7%

Mieszanie zrębków realizowano podając na taśmociąg jedną ładowarką węgiel, a drugą, z odrębnego składowiska, zrębki. W celu ograniczenia ilości podawanych zrębków i uzyskania właściwej proporcji zdemontowano co drugi czerpak w ładowarce podającej zrębki.

Podczas prób zrealizowano różne warianty zasilania kotła mieszaniną węgla i zrębków, podając:

- same zrębki do jednego z czterech bunkrów,
- mieszaninę węgla i zrębków do jednego z czterech bunkrów,
- mieszaninę węgla i zrębków do dwóch bunkrów dostarczających paliwo na jedną stronę kotła,
- mieszaninę węgla i zrębków do dwóch bunkrów dostarczających paliwo na dwie strony kotła.

Zmieniano w dużym zakresie udział energii ze zrębków w energii chemicznej doprowadzanej do kotła. W związku z występującymi problemami zawieszania się zrębków na kratkach separacyjnych umieszczonych nad bunkrem, konieczne okazało się tymczasowe ich zdemontowanie na czas prowadzenia prób.

Podsumowanie wyników pięciodniowych prób:

- podczas przeprowadzonych testów nie stwierdzono żadnych negatywnych zjawisk wpływających na ewentualne pogorszenie parametrów uzyskiwanych przez kocioł,
- podczas przeglądu kotła po wykonanych próbach nie zauważono negatywnych skutków, zarówno jeśli chodzi o czystość powierzchni ogrzewalnych, jak również w zakresie stanu technicznego podajników węgla, włącznie z podajnikami celkowymi,
- nie można podawać samych zrębek do zasobnika przykotłowego ze względu na zawieszanie się ich w zasobniku, jak również na występujące przedmuchy z układu podajników węgla,
- w kotle OFz-425 można spalać do 10% wartości energetycznej strumienia biomasy biomasy w stosunku do wartości opałowej całego paliwa wprowadzonego do kotła, jednak warunkiem uzyskania takiego udziału jest budowa osobnej linii podawania biomasy,
- dla prowadzenia współspalania biomasy w sposób ciągły konieczne będzie przeprowadzenie optymalizacji pracy kotła dla danej mieszanki paliwowej i wprowadzenie innych nastaw w układach automatycznej regulacji, np. dla UAR ilości powietrza do kotła.

Dostawca kotła, którego przedstawiciel uczestniczył w prowadzonych próbach, w pełni potwierdził te wnioski z zastrzeżeniem, że pełną ocenę skutków współspalania biomasy z węglem i mułem węglowym i jej długotrwały wpływ na kocioł można będzie przedstawić po dłuższym okresie prowadzenia współspalania.

Elektrownia Jaworzno III //

W PKE SA Elektrowni Jaworzno III//II przeprowadzono próby współspalania z paliwem podstawowym mączki kostno zwierzęcej.

Testy odbyły się na bloku energetycznym wyposażonym w kocioł cyrkulacyjny ze złożem fluidalnym o parametrach:

- moc cieplna 180 MW;
- wydajność 260 tpar/h;
- temperatura pary wylotowej 54 °C;
- ciśnienie pary wylotowej 13,7 MPa;
- sprawność 91%.

Podczas prób współspalano z paliwami podstawowymi mączkę kostno-zwierzęcą o następujących parametrach:

- zawartość wodoru, % 4–5,
- zawartość siarki, % 0,4–0,6,
- zawartość popiołu, % 25–30,
- wilgotność całkowita, % 1,2–2,5,
- wartość opałowa, MJ/kg 17,5–20.

Mączka była przywożona w autocysternach i rozładowywana pneumatycznie do wykorzystanego tymczasowo w tym celu zbiornika materiału inertnego, skąd przez podajnik celkowy transportem pneumatycznym była kierowana do strumienia węgla bezpośrednio przed kotłem.

W związku z faktem, że to paliwo zastępcze ma nieprzyjemny zapach, a także jego używanie jest objęte szczególnymi obostrzeniami przepisów weterynaryjnych, nawet tymczasowy układ podawania mączki do kotła zastosowany do prób musiał zapewnić pełną hermetyczność.

Aby w pełni zabezpieczyć się w przypadku awarii węży rozładowniczych przed wydostaniem się mączki na zewnątrz podczas rozładunku cysterny, całe stanowisko rozładownicze zostało obudowane szczelnym namiotem foliowym. Na wszelki wypadek pracownicy nadzorujący rozładunek zostali też wyposażeni w szczelne kombinezony, okulary i maski przeciwpyłowe.

Po wykonaniu niezbędnych testów i wynikających z nich wyników modyfikacji pneumatycznego układu transportowego przystąpiono do prób współspalania. Zgodnie z obowiązującymi przepisami dotyczącymi termicznej utylizacji mączki kostnej układ spalania powinien zapewnić odpowiednio długi czas przebywania cząsteczki w kotle oraz temperaturę spalania nie niższą niż 850 °C. Warunki te spełnia kocioł fluidalny dzięki zastosowaniu złoża cyrkulacyjnego. Układ testowy został także wyposażony w wyłączanie podawania mączki do kotła w przypadku spadku temperatury w złożu fluidalnym poniżej wartości dopuszczalnej określonej przepisami.

Pomimo że mączka kostno-zwierzęca jest współspalana z węglem w elektrowniach państw Unii Europejskiej, m. in. niemieckich i austriackich, do prób zastosowano szczególne środki ostrożności, w tym pełne opomiarowanie emisji substancji szkodliwych do atmosfery, włącznie z zawartością furanów, TOC i dioxyn.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2 Wyniki pomiarów emisji substancji szkodliwych do atmosfery

Wyszczególnienie	K-2 z mączką
Dioksyny i furany	0,031 ngTEQ/m ³
TOC	0,98 mg/m ³ USR
HF	1,52 mg/m ³ USR
Cd + Tl	7,65E-06 mg/m ³ USR
Hg	nie wykryto
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,0047 mg/m ³ USR
Siarczany w emitowanym pyłe	21450 µg/g

Zawartość dioksyn i furanów stanowi 31% – podczas współspalania – wartości standardu emisyjnego, który wynosi 0,1 ngTEQ/m³. W przypadku TOC, HF oraz metali ciężkich zanotowano spadek ich zawartości w spalinach i emitowanym popiele lotnym.

Poniżej przedstawiono standardy emisyjne z instalacji spalania paliw, dla źródeł nowych, w myśl §6.2, załącznik nr 2 do rozporządzenia „W sprawie standardów emisyjnych z instalacji”.

Zanieczyszczenie	Wymiar	Standard emisyjny	Średnia wartość z pomiarów
Pył	mg/m ³ _{USF}	100	2,8
SO ₂	mg/m ³ _{USF}	715	537
NO ₂	mg/m ³ _{USF}	500	250
CO*	mg/m ³ _{USF}	310*	25

* CO został wyłączony z regulacji zawartych w rozporządzeniu, podana wielkość 310 jest wartością gwarantowaną przez dostawcę kotła CFB OF-260

Jak widać w chwili obecnej nie ma żadnego zagrożenia niedotrzymania wartości standardów emisyjnych, jeśli potraktujemy docelową instalację jako „zwykłą” instalację spalania paliw.

Z energetycznego punktu widzenia mączka mięsno-kostna jest atrakcyjnym paliwem alternatywnym i może być współspalana z węglem w kotłach fluidalnych, przy czym:

- wyniki analiz chemicznych popiołów lotnego i dennego nie różnią się przy porównaniu ich dla samego węgla i przy współspalaniu mączki,
- wyniki pomiarów stężenia emisji pyłowej i gazowej również nie wykazują istotnych różnic pomiędzy spalaniem samego węgla i współspalaniem mączki mięsno-kostnej,
- z uwagi na dużą zawartość tłuszczu w mączce mięsno-kostnej nie zaleca się stosowania transportu pneumatycznego,
- ze względu na ostre wymagania sanitarno-weterynaryjne proces transportu mączki musi być tak zorganizowany, aby ograniczyć do minimum kontakt z pracownikami,
- ze względu na intensywny i nieprzyjemny zapach zbiornik magazynowy i instalacja transportowa muszą zapewnić odpowiednią szczelność,

Ekonomiczne aspekty wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych z biomasy drzewnej oraz mączki kostno-zwierzęcej

Dostępna na rynku biomasa drzewna jest paliwem droższym od węgla, a szczególnie od tych gatunków węgla, które są spalane w kotłach fluidalnych. Koszt 1GJ energii chemicznej tej biomasy w zależności od źródła pochodzenia i odległości, z jakiej jest transportowana do elektrowni wynosi od 1,3 do 2,5 razy więcej niż koszt 1GJ energii chemicznej z mialu węglowego. Jeszcze bardziej niekorzystnie przedstawia się porównanie kosztów 1 GJ z biomasy z kosztami 1 GJ energii chemicznej z mułów węglowych. Współspalanie biomasy wymaga rozwiązania problemów logistycznych, wiążących się z jej dużą objętością i zawartością wody.

Poważnym wyzwaniem jest także dłuższe magazynowanie gotowych zrębków ze względu na niebezpieczeństwo podnoszenia się temperatury wewnątrz pryzmy i zachodzące w niej reakcje chemiczne. Do celów rozliczeniowych konieczne jest opracowanie i wdrożenie procedur pomiarowych ilości i wartości opalowej spalanej biomasy. Pomimo tych wszystkich wad jest to jeden z najbardziej konkurencyjnych ekonomicznie sposobów produkcji energii odnawialnej, ze względu na stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne, które trzeba ponieść na modernizację kotłów i związanych z nimi układów.

Przeprowadzone próby dowodzą, że w przypadku kotłów fluidalnych dla współspalania biomasy w ilości 5 do 8% wartości energetycznej całkowitego strumienia paliwa nie są konieczne zmiany konstrukcyjne w istniejących obiektach. Wykorzystanie istniejącego potencjału kotłów fluidalnych w PKE SA może zapewnić około 60 MW mocy elektrycznej zainstalowanej ze źródeł odnawialnych przy konkurencyjnym poziomie nakładów inwestycyjnych w stosunku do innych nowych źródeł OZE. Barię może okazać się jednak pozyskanie wymaganej ilości biomasy z rynku.

W przypadku współspalania mączki kostno-zwierzęcej z paliwami podstawowymi w kotłach fluidalnych konieczne są określone działania inwestycyjne oraz podpisanie umów na dostawy tego paliwa. Wprowadzony niedawno zakaz skarmiania bydła mączką kostno-zwierzęcą przyczynił się do oczekiwanej zmiany cenowej tego produktu na rynku.

Podsumowanie

PKE SA jest przygotowany pod względem technicznym do wytwarzania energii odnawialnej poprzez współspalanie biomasy z paliwami podstawowymi. Wykonane próby potwierdziły, że zarówno w przypadku biomasy drzewnej jak i mączki kostno-zwierzęcej produkowana w ten sposób energia z OZE jest wytwarzana z zachowaniem ostrych wymagań dotyczących emisji substancji szkodliwych do atmosfery, spełnia także wymagania ustawy o odpadach.

Jest to konkurencyjny ekonomicznie sposób produkcji energii odnawialnej, wymaga jednak jak najszybszego ustalenia procedur rozliczania energii odnawialnej. Niezbędnym warunkiem do rozpoczęcia produkcji z OZE jest uzyskiwanie przychodów z tej energii, które pokryją dodatkowe koszty jej wytwarzania.