

Stanisław Gad • Agnieszka Pawlak • Paweł Stawczyk

# MODEL SYMULACYJNY WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W PROCESIE WSPÓŁSPALANIA – UJĘCIE EKONOMICZNE I ENERGETYCZNE

---

Stanisław Gad, dr hab. inż. prof. PŚk – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Agnieszka Pawlak, mgr inż. – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Paweł Stawczyk, mgr inż. – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

adres korespondencyjny:

Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki

25-314 Kielce, Al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7

e-mail: sgad@tu.kielce.pl; a.pawlak85@gmail.com; pawle83@o2.pl

## THE SIMULATION MODEL OF ELECTRICAL ENERGY GENERATION IN THE PROCESS OF CO-FIRING – THE INCLUSION OF ECONOMIC AND ENERGETIC VIEW

**SUMMARY:** The simulation of cases is proposed for different calorific values of input fuels taken on the basis of experience of co-firing in the power industry (for Electrabel Połaniec). The model includes the economic aspects of co-burning biomass with hard coal and allows us to specify the amount of energy produced from renewable energy sources.

**KEY WORDS:** computational model, pure energy, biomass, accounting for renewable energy

---

## Wstęp

Protokół z Kioto, wprowadzony w życie w lutym 2005 roku, zainicjował rozwój produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Realizując wymagania prawne określające między innymi oddziaływanie energetyki na środowisko, Parlament Europejski przyjął Dyrektywę 2009/28/WE wspierającą wykorzystanie źródeł odnawialnych<sup>1</sup>. Pojawiła się potrzeba zwiększenia udziału produkcji energii odnawialnej.

Na 2020 rok Unia Europejska określiła cele ilościowe, zwane 3x20, a mianowicie zmniejszenie zużycia energii o 20% w porównaniu z prognozami przewidzianymi na 2020 rok dla Unii Europejskiej, zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych do 20% (polski rząd zaakceptował 15%) w całkowitym zużyciu energii oraz zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w odniesieniu do 1990 roku. W ramach realizacji celów polityki energetycznej w listopadzie 2009 przyjęto zapis celów dla polskiej energetyki Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Ponadto opracowano krajowy plan działania w sprawie energii ze źródeł odnawialnych pod nazwą Plan wykonawczy ścieżki rozwoju wykorzystania odnawialnych źródeł energii do 2020 roku (*Action Plan*), będący wypełnieniem zobowiązań zawartych w dyrektywie 2009/30/WE<sup>2</sup>. Następstwem dostosowywania przepisów krajowych stały się odpowiednie zapisy w dokumentach odnoszących się do rozwoju produkcji energii ze źródeł odnawialnych (na przykład świadectwa pochodzenia energii).

Biomasa stała się paliwem pozyskiwanym na cele energetyczne, ponieważ nie wymagała dużych nakładów inwestycyjnych na budowę układów technologicznych, będąc jednocześnie alternatywą dla paliw konwencjonalnych. Różnorodne formy spalane ekologicznego surowca (pierwotne i przetworzone) także przyczyniły się do wdrażania układów współspalania. Przeszkodą przestały być problemy zaopatrzenia i dostaw odnawialnego paliwa do dużych producentów energii.

Okolo 50% energii odnawialnej produkowanej w Polsce pochodzi z biomasy. Kluczową rolę odgrywa biomasa leśna i rolnicza. Uprawy energetyczne mają, jak na razie, niewielkie znaczenie w sektorze pozyskiwania biomasy. Istnieje konieczność wprowadzenia odpowiednich mechanizmów wsparcia, odnoszących się nie tylko do samej produkcji, ale i rynków zbytu uprawianych surowców. Uzasadnieniem rozwoju wykorzystania paliw biomasowych są realne szanse podjęcia współpracy producent – dostawca. W Polsce powierzchnia realna pod plantacje energetyczne to od 1 mln do 1,5 mln ha, która umożliwia produkcję biomasy rolnej w skali roku w zakresie od 20 mln do 30 mln ton<sup>3</sup>. Gospodarka leśna wymaga ograniczenia nadmiernego eksportu biomasy drzewnej, ponieważ następuje zakłócenie stabilności wzrostu tego surowca oraz ograniczenie dostaw do innych gałęzi przemysłu wykorzystujących drewno w swoich sektorach.

<sup>1</sup> A. Jakubiak, M. Rutkowska-Filipczak, *Biomasa – Surowiec energetyczny, instrumenty wsparcia, uwarunkowania prawne*, „Chemik, Nauka, Technika, Rynek” 2010 nr 5(64), s. 337-339.

<sup>2</sup> Ibidem, s. 338.

<sup>3</sup> W. Mazurkiewicz, *Biomasa w kontraktach terminowych. Nowy Dynamiczny Gracz na TGE*, dostęp: [www.tge.pl](http://www.tge.pl) [data wejścia: 21-09-2011].

## 1. Założenia modelowe

### 1.1. Wskaźnik jednostkowego zużycia energii

Zbudowany model symulacyjny wytwarzania energii elektrycznej pozwala obserwować zmiany z zakresu od 0 do 100% udziału masowego biomasy w spalanej mieszance. Na potrzeby modelu i dostępnych parametrów doświadczonych współspalania zamiast sprawności energetycznej użyto wielkości zwanej jednostkowym zużyciem energii (wielkość odwrotna do sprawności energetycznej). W elektrowni ciepłej często stosuje się pojęcie jednostkowego zużycia energii przez całą elektrownię<sup>4</sup>. Termin ten oznacza stosunek energii chemicznej doprowadzonej w paliwie do kotła do energii elektrycznej oddawanej przez prądnicę i wyrażany jest w GJ/MWh. Jak przedstawiono w tabeli 1, im niższy jest wskaźnik jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa, tym wyższa sprawność. W praktyce oznacza to możliwość wyprodukowania 1 MWh z niższej energii chemicznej paliwa.

Tabela 1  
Zależność sprawności od wskaźnika wytwarzania energii

Wskaźnik jednostkowego zużycia energii [GJ/MWh]	9,6	9,5	9,4	9,3	9,2	9,1
Sprawność wytwarzania energii elektrycznej brutto	0,375	0,379	0,383	0,387	0,391	0,395

Źródło: opracowanie własne.

### 1.2. Wybór szczególnego punktu udziału masowego biomasy

Paliwa biomasowe pochodzenia roślinnego stwarzają problem obniżenia sprawności urządzeń rozdrabniających. Jest to związane z dużą zawartością wody w surowcu. Wilgoć jest przenoszona w mieszaninie pyłowo-powietrznej, powoduje obniżenie temperatury w młynie i jednocześnie ma wpływ na proces spalania. Biomasa o niskiej wilgotności przyspiesza i stabilizuje zapłon, a ta z dużą zawartością wilgoci przyczynia się do przesunięcia jądra płomienia do górnej części komory paleniskowej<sup>5</sup>. Na stabilność procesu spalania ma także wpływ zawartość części lotnych w ekologicznym paliwie. Części lotne określają przebieg początkowej fazy spalania. Proces ten jest stabilny przy wysokiej zawartości części lotnych, gwarantując łatwy zapłon i szybkie spalanie.

Niestety, wyniki analiz chemicznych pokazują, że odnawialne surowce energetyczne zawierają szkodliwe pierwiastki, takie jak chlor, fluor czy siarka, które przyczyniają się do tworzenia korodujących osadów na przegrzewaczach pary i innych elementach ogrzewanych. Zmniejsza się przez to zatem skuteczność

<sup>4</sup> J. Marecki, *Podstawy przemian energetycznych*, WNT, Warszawa 1995, s. 22-23.

<sup>5</sup> M. Ściążko, J. Zuwała, A. Sobolewski, *Przewodnik metodyczny procedury bilansowania i rozliczania energii wytwarzanej w procesach współspalania*, Wyd. Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Towarzystwa Gospodarczego Polskie Elektrownie, Warszawa – Zabrze 2007, s. 36-37.

wymiany ciepła. Skład chemiczny paliw biomasowych wiąże się z niższymi temperaturami topienia popiołu z biomasy niż popiołu z węgla (już przy 800°C).

Praktyki pokazują, że koniecznym posunięciem stał się dobór optymalnej pracy i warunków eksploatacyjnych dla istniejących instalacji elektrowni, a więc odpowiedniego udziału biomasy w całkowitej mieszance. Ilość zielonego paliwa podawanego do kotła ingeruje w pracę zespołu młynowego, pracę kotła<sup>6</sup>, modyfikuje konwersję energii chemicznej, a związki chloru i siarki przyspieszają korozję wysokotemperaturową. Wielkość udziału różnych rodzajów biomasy w mieszance paliwowej przyczynia się także do zmian właściwości ubocznych produktów współspalania węgla z biopaliwami (między innymi popiołu lotnego). Aby uzyskać popiół lotny o jakości zgodnej z wymaganiami normy PN-EN 450-1, określającej wymagania jakościowe popiołu lotnego wykorzystywanego do produkcji betonu, maksymalny udział materiałów roślinnych, jak wióry drzewne, słoma, łupiny i inne włókna roślinne w mieszance z węglem, nie powinien przekraczać 20%<sup>7</sup>. Informacje na temat maksymalnego udziału innych rodzajów biomasy i odpadów biodegradowalnych w mieszankach z węglem kamiennym, który umożliwi uzyskanie popiołu odpowiedniej jakości, można znaleźć w artykule S. Stelmacha i R. Wasilewskiego.

Bazując na dostępnej literaturze, badaniach własnych, doświadczeniach i testach elektrowni stosujących współspalanie, szczególną uwagę poświęcono analizie 20% udziału masowego biomasy. W przypadku kotłów zaprojektowanych do spalania węgla udział „zielonego” paliwa może osiągnąć poziom 20% pod względem energetycznym<sup>8</sup>. Ponadto, biorąc pod uwagę opłaty za wprowadzenie szkodliwych substancji do środowiska (tlenki azotu, tlenki węgla, dwutlenki siarki), najniższe kwoty uzyskano dla mieszanki z 20% udziałem masowym biopaliwa<sup>9</sup>.

### 1.3. Zakres zmienności wartości kalorycznych i cen paliw wsadowych

W opracowanym modelu obliczeniowym przyjęto zmienną wartość opałową biomasy i węgla kamiennego. Zgodnie z analizami Zakładów Pomiarowo-Badawczych Energetyki „ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o. oraz szerokiego przeglądu danych literaturowych wartość kaloryczną biomasy określono w przedziale od 6 do 20 GJ/Mg, węgla natomiast od 18 do 29 GJ/Mg. Ceny paliw również zdefiniowano jako wielkości modulowane, zależne od dostawcy, w przypadku węgla równe od 12 do 15 PLN/GJ, biomasy 20-32 PLN/GJ, mazutu 30-38 PLN/GJ.

<sup>6</sup> M. Lamch, *O czym pamiętać, mieszając węgiel z biomasą*, „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 2009 nr 7,8, s. 93.

<sup>7</sup> S. Stelmach, R. Wasilewski, *Uboczne produkty współspalania biomasy z węglem w świetle wymagań normy PN-EN 450-1*, „Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów” 2008 nr 2(42), s. 54-63.

<sup>8</sup> P. Wójcik, *W Kozienicach palą biomasą*, „Środowisko” 2007 nr 18(354), s. 26.

<sup>9</sup> S. Gad, A. Pawlak, *Ekonomiczne efekty stosowania współspalania biomasy z węglem kamiennym*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2011 nr 2(87), s. 259.

## 2. Wpływ regulacji wartości opałowej na koszt mieszanki

Model procesu wytwarzania energii elektrycznej umożliwia regulację wartości opałowej paliw wsadowych. Na pokrycie zadanego zapotrzebowania na energię elektryczną wymagana jest odpowiednia energia chemiczna paliwa. Wyższa wartość kaloryczna oznacza zmniejszenie ilości spalane go węgla, jak i biomasy. Biorąc pod uwagę fakt, że wartość energetyczna ściśle związana jest z wilgotnością<sup>10</sup>, a więc i masą paliwa, a z punktu widzenia transportu i magazynowania zmienna pozostaje objętość biomasy, jak i koncentracja energii w surowcu, ceny podawane przez kontrahentów współpracujących z producentami energii wyrażane są w PLN/GJ. Na potrzeby modelu ceny biopaliwa, węgla, jak i mazutu zostały przeliczone na PLN/Mg.

Logiczne wydaje się stwierdzenie, że im wyższa wartość opałowa paliwa, przy zachowanej stałej cenie za GJ, tym niższy jest koszt mieszanki za wytworzenie 1MWh. Istotne pozostaje pytanie, czy wzrost wartości energetycznej ekologicznych nośników energii spowoduje spadek kosztu mieszanki (PLN/MWh). Rysunek 1 przedstawia zmiany kosztu całkowitego paliwa w PLN/MWh dla różnych wartości opałowych węgla i biomasy.

### 2.1. Studium przypadku

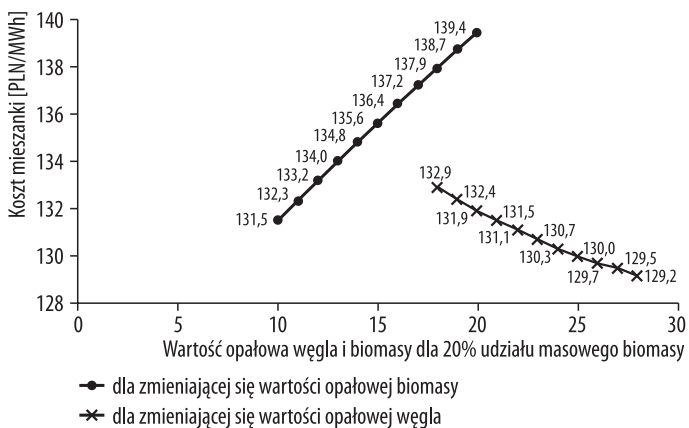
Rozpatrując przykład 20% masowego udziału biomasy i kaloryczności „zielonego” paliwa na poziomie 10 GJ/Mg, masa węgla potrzebna na pokrycie ustalonego zapotrzebowania wynosi 90,62 Mg, a biomasy 22,65 Mg. W przypadku wzrostu wartości opałowej biopaliwa do 11GJ/Mg masa węgla zmniejszyła się do 89,66 Mg, a biomasy do 22,42 Mg. Zatem masa węgla spadła o 0,96 Mg, biomasy o 0,23 Mg. Uwzględniając, że cena węgla pozostaje stała w obydwóch sytuacjach i wynosi 273 PLN/ Mg, uzyskuje się zmniejszenie opłaty za węgiel o 262,08 PLN. Wyższa kaloryczność biomasy pozwala oszczędzić na ilości biopaliwa 0,23 Mg, czyli  $0,23 \cdot 253$  (cena biomasy w PLN/Mg), a więc 58,19 PLN. Ponieważ ze wzrostem równoważnika energetycznego czystego paliwa rośnie cena za Mg, z 230 PLN/Mg na 253 PLN/Mg, koszt biomasy wzrasta do poziomu 515,66 PLN ( $22,42 \text{ Mg} \cdot 23 \text{ PLN/Mg}$ ). Wobec tego bilans kosztów przedstawia się jako  $515,66 \text{ PLN} - 262,08 \text{ PLN} - 58,19 \text{ PLN} = 195,39 \text{ PLN}$ . Wzrost wartości opałowej czystego paliwa o zaledwie 1 GJ/Mg oznacza co prawda większą zawartość energii w surowcu, jednakże jednocześnie nieporównywalnie szybszy wzrost ceny biomasy za Mg.

Przeprowadzona symulacja pozwala odpowiedzieć na postawione wyżej pytanie oraz dowodzi, że pomimo wzrostu wartości kalorycznej biomasy rośnie koszt mieszanki w PLN za wyprodukowanie MWh. Jeśli chodzi o wzrost wartości energetycznej konwencjonalnego źródła energii, można zaobserwować, że jest on równoznaczny ze spadkiem kosztu mieszanki paliwowej za MWh.

<sup>10</sup> E. Bulewicz, W. Kordylewski, S. Słupek, R. Miller, A. Wanik, w: *Spalanie i Paliwa*, red. W. Kordylewski, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001, s. 396-397.

Rysunek 1

Koszt mieszanki dla różnych wartości opałów węgl i biomasy [PLN/MWh]



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2

Wpływ cen paliw na koszt mieszanki paliwowej

Cena węgla [PLN/GJ]	Cena biomasy [PLN/GJ]	Koszt mieszanki dla 20% udziału biomasy [PLN/MWh]
dla regulowanych cen węgla		
13	23	131,5
14		139,7
15		148
16		156,3
17		164,5
18		172,8
19		181,1
20		189,4
dla regulowanych cen biomasy		
13	23	131,5
	24	132,4
	25	133,4
	26	134,4
	27	135,4
	28	136,4
	29	137,4
	30	138,3

Źródło: opracowanie własne.

Dla 20% udziału biomasy w paliwie dokonano również obserwacji wpływu zmian cen węgla i cen biomasy na koszt wyprodukowania MWh. Wybrane wyniki analizy zaprezentowano w tabeli 2. Porównując obydwie sytuacje, należy stwierdzić, że szybkość narastania kosztu mieszanki jest większa dla wzrastającej ceny węgla niż dla zwiększającej się ceny czystego nośnika energii. Taki wniosek pozwala określić producentowi energii wpływ czynnika wsadu paliwowego na ekonomię stosowania danego paliwa. Może pomóc w podjęciu decyzji dotyczącej zakupu biomasy o wyższej cenie za GJ.

### 3. Rozliczanie energii elektrycznej wytworzonej z odnawialnego źródła energii

W celu określenia ilości energii elektrycznej wytworzonej w procesie współspalania stosuje się rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 roku<sup>11</sup> oraz rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 roku<sup>12</sup>. Zgodnie z nim jednostce wytwórczej, w której są spalane biomasa lub biogaz wspólnie z innymi paliwami, do energii wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii zalicza się część energii elektrycznej lub ciepła odpowiadającą udziałowi energii chemicznej paliwa zużywanego do wytwarzania energii, obliczaną na podstawie rzeczywistych wartości opałowych tych paliw. Energię elektryczną kwalifikuje się do energii wytworzonej z odnawialnych źródeł energii według formuły:

$$E_{OZE} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Bi} \cdot W_{Bi}}{\sum_{i=1}^n M_{Bi} \cdot W_{Bi} + \sum_{j=1}^m M_{Kj} \cdot W_{Kj}} \cdot E, \quad (1)$$

gdzie:

- $E_{OZE}$  – ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii [MWh lub GJ],
- $E$  – ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych w jednostce wytwórczej, w której jest spalana biomasa lub biogaz wspólnie z innymi paliwami [MWh lub GJ],
- $M_{Bi}$  – masa biomasy lub biogazu spalane w jednostce wytwórczej [Mg],

<sup>11</sup> Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, Dz. U. nr 156, poz. 969.

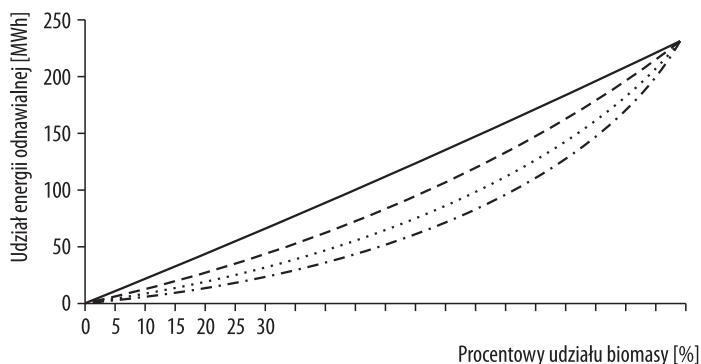
<sup>12</sup> Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, Dz. U. nr 34, poz. 182.

- $M_{Kj}$  – masa paliwa innego niż biomasa lub biogaz spalone w jednostce wytwórczej [Mg],  
 $W_{Bi}$  – wartość opałowa biomasy lub biogazu spalonego w jednostce wytwórczej [MJ/Mg],  
 $W_{Kj}$  – wartość opałowa paliwa innego niż biomasa lub biogaz spalonego w jednostce wytwórczej [MJ/Mg],  
 $n$  – liczba rodzajów biomasy lub biogazu spalonych w jednostce wytwórczej,  
 $m$  – liczba rodzajów paliw innych niż biomasa lub biogaz spalonych w jednostce wytwórczej.

Udział energii odnawialnej w produkcji brutto według opisanej procedury bilansowania zobrazowano na rysunku 2. Im niższa jest wartość opałowa biomasy, tym mniejszy udział energii odnawialnej w produkcji brutto, przy zachowanym stałym udziale procentowym biomasy. W zakresie od około 65% masowego udziału biomasy stromość narastania udziału niekonwencjonalnej energii w produkcji brutto jest większa dla mniejszej wartości kalorycznej ekologicznego paliwa. Wraz ze wzrostem wartości energetycznej biomasy charakterystyki udziału energii odnawialnej w całkowitej produkcji zbliżają się do przebiegu liniowego, co oznacza, że w nadmienionym zakresie udziału masowego biopaliwa w mieszance następuje szybszy wzrost produkcji „zielonej” energii dla niższych równoważników energetycznych ekologicznych surowców. Niestety, rozpatrywany zakres udziału biomasy nie jest stosowany w procesach współspalania ze względu na niekorzystne właściwości fizykochemiczne odnawialnego nośnika energii. Ponadto, pomimo znaczącej stromości narastania udziału czystej energii w produkcji, niezmienna pozostaje wyższa produkcja MWh dla większej wartości opałowej biomasy.

Rysunek 2

Udział energii odnawialnej w produkcji brutto dla różnych wartości kalorycznych biomasy



Źródło: opracowanie własne.



## Podsumowanie

Zamodelowany proces produkcji energii elektrycznej z użyciem odnawialnego źródła energii, jakim jest biomasa, pozwala na obserwację zmian kosztów mieszanki za Mg i MWh, koniecznej na pokrycie ustalonych potrzeb produkcji. Stwarza możliwość posługiwania się zmiennymi cenami paliw, wartościami opałowymi nośników energii, zapotrzebowaniem na produkcję, wskaźnikiem jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa oraz procentowym udziałem biomasy. Ilość ciepła wydzielona przy spalaniu jednostki masy surowca zależy od rodzaju substancji energetycznej i jest większa dla drewna liściastego niż iglastego<sup>13</sup>. Dlatego też tak ważnym czynnikiem w modelu pozostaje regulacja wartości opałowej spalnego materiału. Koszt wytworzenia ciepła także zależy od typu stosowanego paliwa; dla drewna opałowego wynosi około 0,10 PLN/kWh, dla gazu ziemnego 0,21 PLN/kWh, oleju opałowego 0,37 PLN/kWh, pelet 0,21 PLN/kWh, a węgla kamiennego 0,08 PLN/kWh, co pokazuje, że spalanie drewna jest jednym z najtańszych sposobów uzyskania energii cieplnej<sup>14</sup>. Jednakże w celu zachowania zrównoważonej gospodarki użytkowania biomasy pochodzenia leśnego regulacje prawne wprowadzają obligatoryjne udziały wagowe agrobiomasy w całej ilości biomasy.

Słabe i mocne strony współspalania biomasy na skalę przemysłową powodują, że ten sposób wykorzystania źródeł odnawialnych ma zwolenników, jak i przeciwników. Wprowadzenie produkcji energii elektrycznej z biomasy w szeregi energetyki zawodowej wymaga poznania warunków pracy danej instalacji. Problematyczna pozostaje kwestia zagrożeń wynikających ze stosowania współspalania węgla kamiennego z niekonwencjonalnymi paliwami. Poddawanie obróbce, magazynowanie i transport materiałów palnych stwarza ryzyko występowania zagrożenia wybuchowego.

Według ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne, art. 9a, określającej system wsparcia w postaci zielonych certyfikatów, przedsiębiorstwo energetyczne wytwarzające i sprzedające energię elektryczną jest zobowiązane do uzyskania i przedstawienia do umorzenia prezesowi Urzędu Regulacji Energetyki świadectwa pochodzenia lub do uiszczenia opłaty zastępczej, obliczonej na podstawie jednostkowej opłaty zastępczej (aktualizowanej corocznie) oraz różnicy pomiędzy ilością energii elektrycznej wynikającej z obowiązku uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia w danym roku a ilością energii wynikającej ze świadectw pochodzenia, które przedsiębiorstwo przedstawiło do umorzenia w danym roku<sup>15</sup>. Tym samym przedsiębiorstwo energetyczne jest zobligowane do wykonania opłaty zastępczej, jeżeli nie wyprodukuje odpowiedniej ilości energii elektrycznej w odnawialnym źródle energii ze świadectwem pochodzenia. Aby zasygnalizować rząd wielkości, w 2009 roku jednostko-

<sup>13</sup> J. Stacharska-Targosz, *Rynek energii*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010, s. 89.

<sup>14</sup> Ibidem, s. 92.

<sup>15</sup> R. Błażejewska, *Współspalanie biomasy z węglem kamiennym w Elektrowni Połaniec S.A. – Grupa GDF SUEZ Energia Polska*, Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków 2008/2009, s. 18-19.

wa opłata zastępcza wynosiła 258,89 PLN/MWh<sup>16</sup>. W związku z powyższym procedura bilansowania w modelu pozwala określić ilość energii wytworzonej podczas współspalania, która może być zakwalifikowana do energii pochodzącej z odnawialnego źródła energii.



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika  
Świętokrzyska

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego**

Publikacja współfinansowana przez Unię Europejską  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego  
Projekt pt. „Program Rozwojowy Potencjału Dydaktycznego  
Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach: kształcenie na miarę sukcesu”  
Program Operacyjny Kapitał Ludzki Priorytet IV Działanie 4.1 Poddziałanie 4.1.1  
Umowa UDA-POKL.04.01.01-00-175/08-02  
Politechnika Świętokrzyska 25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

<sup>16</sup> Ibidem, s. 19.