

Dr inż. Henryk Majchrzak, dr inż. Marek Ściążko, dr inż. Jarosław Zuwała<sup>1)</sup>

## Produkcja energii odnawialnej w *BOT Elektrownia Opole SA* Stan obecny i perspektywy rozwoju

Zastosowanie biomasy do wytwarzania energii odnawialnej w elektroenergetyce jest procesem, który się już rozpoczął, ale ciągle wymaga wielu działań zachęcających do jej szerokiego wdrożenia. Istotne jest dalsze przeprowadzanie zharmonizowanych przedsięwzięć organizacyjno-prawnych, które w znacznym stopniu mogą wpłynąć na rozwój tego sektora. Należy podkreślić, że jest to proces o charakterze innowacyjnym i to nie tylko ze względów techniczno-technologicznych.

Innowacyjność wynika także z działania na rzecz zrównoważonego ekorozwoju. Wyraża się to w podejściu całościowym integrującym sferę gospodarczą, przyrodniczą i społeczną, a ponadto wymaga wypracowania związków z producentami biomasy. Zwiększone zainteresowanie odnawialnymi nośnikami energii wynika z faktu, że większość zasobów na Ziemi ma charakter nieodnawialny oraz ograniczona jest także zdolność systemu przyrodniczego Ziemi do przyjmowania zanieczyszczeń. Stąd tworzone są polityczne decyzje zachęcające do oszczędnego użytkowania paliw kopalnych oraz zmniejszania emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

W rozwoju energetyki paliw odnawialnych istotna rola przypada sektorowi elektroenergetycznemu, przede wszystkim związana z tym, że:

- dostęp do energii elektrycznej warunkuje dynamikę rozwoju gospodarczego i społecznego kraju,
- wytwarzanie energii elektrycznej w coraz większym stopniu związane będzie z koniecznością zmniejszenia emisji netto związków szkodliwych do atmosfery, w tym także dwutlenku węgla.

Powyższe uwarunkowania są szczególnie ważne dla prognozowania rozwoju elektroenergetyki oraz aktywnego włączenia tego sektora do współtworzenia zasad rynku „zielonej” energii oraz dla rozwiązań prawno-organizacyjnych pozwalających efektywnie rozwijać stosowanie biomasy, zapewniając jednocześnie bezpieczeństwo energetyczne kraju. W tym zakresie niezmiernie istotne są każde nowe doświadczenia techniczno-technologiczne producentów energii odnawialnej, wytwarzanej w szczególności w dużych jednostkach wytwórczych.

Obecnie ilość biomasy w energetyce zawodowej, mimo że ciągle jeszcze stosunkowo mała, już spowodowała zakłócenia na rynku dostaw. Biorąc pod uwagę, że ważnym elementem realizacji zasady zrównoważonego rozwoju jest dalsze zwiększanie udziału odnawialnych zasobów energii w bilansie paliwowo-energetycznym, należy tworzyć perspektywy dla pozyskania oczekiwanych ilości i jakości paliw odnawialnych. Działanie takie będzie sprzyjać osiągnięciu celów założonych w polityce ekologicznej państwa w zakresie zmniejszenia emisji zanieczyszczeń wpływających na zmianę klimatu [3].

Wykorzystanie wszystkich dostępnych odnawialnych zasobów energii może ponadto zwiększyć bezpieczeństwo ekologiczne Polski poprzez decentralizację wytwarzania energii, dywersyfikację nośników energii pierwotnej i wykorzystanie lokalnych zasobów, jak również może ograniczyć szkody środowiskowe związane z wydobywaniem i spalaniem paliw kopalnych. Wzrost mocy zainstalowanej odnawialnych źródeł energii i wzrost produkcji odnawialnej energii elektrycznej został określony zarówno w „Strategii rozwoju energetyki odnawialnej” [9], Traktacie Akcesyjnym Polski do UE, jak również w Rozporządzeniu wykonawczym ministra właściwego do spraw gospodarki [8].

Z punktu widzenia producentów energii najistotniejsze są ekonomicznie uzasadnione koszty jej wytwarzania. W związku z tym, uwzględniając skalę przedsięwzięcia, najkorzystniej wytwarzać energię elektryczną w procesie współspalania bezpośredniego. Możliwość zaliczenia części energii powstającej w procesie współspalania biomasy i paliw konwencjonalnych do energii odnawialnej dla krajowych producentów energii została po raz pierwszy ujęta w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła [8]. Rozporządzenie to z dniem 1 stycznia 2005 r. zostało zastąpione nowym Rozporządzeniem w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i/lub ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii [4]. Zawiera ono zapisy wprowadzające minimalny obowiązkowy udział ilościowy zakupionej energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii lub wytworzonej we własnych odnawialnych źródłach energii i sprzedanej odbiorcom dokonującym zakupu energii elektrycznej na własne potrzeby w wykonanej całkowitej rocznej sprzedaży energii elektrycznej przez dane przedsiębiorstwo energetyczne tym odbiorcom.

<sup>1)</sup> Dr inż. Henryk Majchrzak – Dyrektor Techniczny, Członek Zarządu *BOT Elektrownia Opole SA*, dr inż. Marek Ściążko – Dyrektor Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze, dr inż. Jarosław Zuwała – zastępca Dyrektora ds. Badań i Rozwoju Kadry, Centrum Innowacji Technologicznych, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla.

Dla roku 2010 wynosi on nie mniej niż 9,0%. Należy podkreślić, że założony na tym poziomie udział odnawialnej energii elektrycznej jest możliwy do osiągnięcia głównie przy założeniu, że energia elektryczna powstająca w procesie współspalania biomasy i paliw konwencjonalnych zaliczana będzie do energii odnawialnej.

W niniejszym artykule omówiono wybrane aspekty techniczne i organizacyjne współspalania biomasy drzewnej w energetyce oraz na tym tle przedstawiono stan istniejący w zakresie produkcji energii odnawialnej w *Elektrowni Opole*.

## Uwarunkowania rozwoju energetyki odnawialnej

Oczekiwany intensywny rozwój energetyki odnawialnej wykorzystującej spalanie czy też współspalanie biomasy wymaga nowego impulsu. W szczególności, w celu zaktywizowania powiązań pomiędzy producentami biomasy a producentami energii należy potraktować priorytetowo zagadnienie rozwoju upraw roślin „energetycznych”. W związku z przystąpieniem do Unii Europejskiej oraz realizacją Narodowego Planu Rozwoju poprzez związane z nim Sektorowe Programy Operacyjne, stanowiące program wykorzystania pomocowych funduszy strukturalnych, w tym także związanych z ochroną środowiska, należałoby wykorzystać istniejące instrumenty do wzmocnienia roli energii odnawialnej w produkcji ciepła i energii elektrycznej. Wydaje się uzasadnione stworzenie zintegrowanego programu promującego rozwój obszarów wiejskich poprzez budowanie ścisłych związków z producentami energii elektrycznej. Duża rola przypada w tym zakresie samorządom lokalnym, ale również priorytet taki powinien być uznany przez odpowiednie organy administracji rządowej.

Program taki przyczynić się może do zwiększenia wykorzystania obszarów niezagospodarowanych dotychczas dla celów rolniczych. W związku z tym produkcja roślin przemysłowych, w szczególności przeznaczonych do produkcji energii, może w konsekwencji spowodować podniesienie efektywności ekonomicznej ich wykorzystania. Zintegrowanie działań w zakresie upraw roślin energetycznych oraz technik i technologii ich wykorzystania może zmniejszyć ilość obszarów wyłączonych z użytkowania rolniczego, zaktywizować lokalne społeczności do działalności gospodarczej i zwiększyć ilość miejsc pracy. Z punktu widzenia producentów energii istotne jest przede wszystkim zwiększenie ilości biomasy dostępnej do użytkowania w energetyce, biorąc pod uwagę oczekiwania stawiane przed nią, co do wzrastającego udziału wytworzonej energii „zielonej”. Ważna jest również poprawa stanu równowagi biologicznej lokalnych ekosystemów oraz zmniejszenie przepływów materiałowych w gospodarce poprzez wykorzystanie miejscowych surowców energetycznych.

Do priorytetowych działań, które mogą zintensyfikować związki pomiędzy energetyką a producentami paliw odnawialnych można zaliczyć:

- programowanie rozwoju technologii wytwarzania i energetycznego wykorzystania biomasy, w szczególności w aspekcie regionalnym,

- rozwój nowych technologii i uruchamianie pilotażowych obiektów produkcji biomasy, przygotowania i wykorzystania jej końcowych produktów,
- kształcenie, doradztwo oraz informatyzacja.

Stworzenie takiego programu pozwoliłoby, zgodnie z polityką ekologiczną oraz ze strategią rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce, na efektywne wytwarzanie i wykorzystanie biomasy, a przede wszystkim mogłoby zapewnić energetyce zawodowej perspektywiczne zaspokojenie potrzeb. Istnieją znaczne rozbieżności co do intensyfikacji produkcji leśnej i rolniczej, wyboru optymalnych zasobów biomasy, sposobów jej przygotowania jak i rozwiązań logistycznych organizacji dostaw do elektrowni. Zagadnienia te wykraczają znacznie poza zwykłe obowiązki producenta energii, natomiast są one związane głównie z regionalnymi uwarunkowaniami obszarowymi, a zintegrowane ich potraktowanie może być niezwykle ważne dla gospodarczego rozwoju wielu regionów.

Na szczeblu regionalnym niezbędne są analizy systemowe oceny skutków wariantowego wytwarzania i wykorzystania biomasy, a także paliw alternatywnych w całym łańcuchu technologii: od zasobów do jej produktów końcowych wraz z oczekiwanym efektem ekologicznym. Może to być podstawą do aktualizacji, weryfikacji i monitorowania państwowych, regionalnych i lokalnych programów wykorzystania odnawialnych źródeł energii i promocji rozproszonych oraz przyjaznych środowisku źródeł energii. Wynik takich analiz byłby także istotny przy podejmowaniu decyzji strategicznych w sektorze elektroenergetycznym.

Potrzebny jest rozwój krajowych technologii wytwarzania biomasy z upraw leśnych, rolniczych oraz przetwarzania biomasy na produkty końcowe, jak: ciepło, energia elektryczna i produkty specjalne. Byłaby to szansa uczestnictwa rodzimego przemysłu i nauki w realizacji celu – osiągnięcie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie paliw pierwotnych kraju, w wysokości 9%, w tym głównie wykorzystania biomasy.

Istnieje, zatem potrzeba rozwoju badań i pilotażowych wdrożeń, uzasadnionych zakupów i rozwoju licencji w zakresie np. produkcji upraw energetycznych, wytwarzania ciepła i energii elektrycznej z biomasy lub w połączeniu biomasy z paliwami konwencjonalnymi. Należy przy tym mieć na uwadze nie tylko spalanie, ale także inne technologie, jak: piroliza czy zgazowanie, szczególnie przydatne w przypadku zagospodarowania paliw alternatywnych.

Zastosowanie zasobów energii odnawialnej, w tym biomasy, w elektroenergetyce, pozwoli ponadto na zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>, co dodatkowo pozwoli przedsiębiorstwom energetycznym uczestniczyć w międzynarodowym rynku handlu emisjami. Wynika to z wdrożenia do prawa krajowego od 1 stycznia 2005 r. dyrektywy 2003/87/WE [12] ustanawiającej system handlu emisjami i mechanizm handlu uprawnieniami do emisji do powietrza gazów cieplarnianych.

W związku z wprowadzeniem nowej ustawy [12] na przedsiębiorstwa emitujące dwutlenek węgla zostały nałożone dodatkowe obowiązki, m.in. dotyczące monitoringu i weryfikacji wielkości emisji oraz gromadzenia odpowiedniej liczby uprawnień do emisji.

Z drugiej strony przedsiębiorstwa emitujące zyskały możliwość sprzedaży niewykorzystanych uprawnień innym podmiotom, w tym również zagranicznym. Działania te mają wiele wspólnego z procedurami związanymi z wprowadzaniem biomasy do spalania i uwierzytelnianiem instalacji [6], a zatem powinny być rozpatrywane przez przedsiębiorstwa energetyczne równolegle w celu skrócenia czasu i zmniejszenia nakładów na uzyskanie niezbędnych zezwoleń i limitów emisji.

## Rola biomasy w gospodarce i bariery rozwoju

Zintegrowane wsparcie rozwoju wytwarzania „zielonej” energii jest niezmiernie ważne, aby elektroenergetyka realizując swoją funkcję społeczną zaopatrywania w energię mogła wykonywać swoje obowiązki ekonomicznie i efektywnie w dłuższej perspektywie oraz tworzyć w tej dziedzinie własne know-how, które może być także aktywem polityki licencyjnej sektora.

Oddziaływanie energetyki odnawialnej przyczynia się także do realizacji wielu innych celów, a mianowicie:

- tworzenia nowych miejsc pracy,
- wspierania rozwoju terenów wiejskich,
- wykorzystania gruntów nieuprawianych na plantacje biomasy;
- wykorzystania niepełnowartościowego drewna z gospodarki leśnej,
- wykorzystania odpadów komunalnych,
- rozwoju innowacyjności gospodarki i sprzedaży krajowych rozwiązań technologicznych oraz usług konsultingowych.

Z punktu widzenia rozwoju energetyki odnawialnej istotne jest jej oddziaływanie na tworzenie nowych miejsc pracy. Ocenia się, że energetyka odnawialna może przynieść od 1,5 do 2 razy więcej miejsc pracy niż duże, konwencjonalne elektrownie, a 15 razy więcej niż elektrownie jądrowe. Inne szacunki mówią, że energetyka odnawialna może przynieść 5 razy więcej miejsc pracy niż sektor paliw kopalnych.

Niestety wydaje się, że rozwój tego sektora w naszym kraju napotyka ciągle szereg barier.

Najważniejsze z nich to:

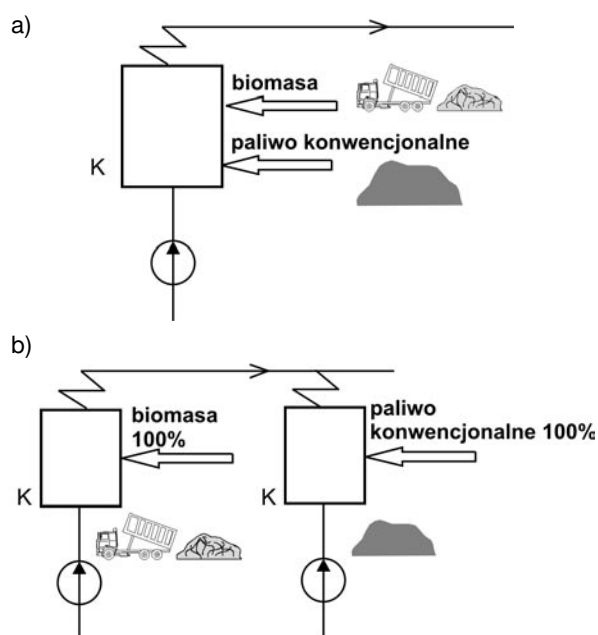
- bariera informacyjna i edukacyjna – powodująca niedocenianie roli i możliwości wykorzystania paliw odnawialnych do produkcji energii,
- bariera organizacyjna i instytucjonalna – brak jest w Polsce instytucji wspierających bezpośrednio rozwój energetyki odnawialnej,
- bariera polityczna – brak jest silnego politycznego impulsu dla wykorzystania potencjału energetyki odnawialnej,
- prawna i ekonomiczna – nie stworzono systemowej procedury wspierania ekonomicznego rozwoju energetyki odnawialnej,
- bariera współpracy – zbyt słaba współpraca występuje pomiędzy organizacjami i instytucjami zajmującymi się energetyką odnawialną jak i tymi, które mogłyby uzyskać korzyści z ich rozwoju.

Zderzenie istniejących barier rozwoju z rosnącymi oczekiwaniami poziomu produkcji „zielonej” energii elektrycznej może być w najbliższym czasie istotną przeszkodą w wypełnianiu podjętych przez krajową energetykę zobowiązań środowiskowych.

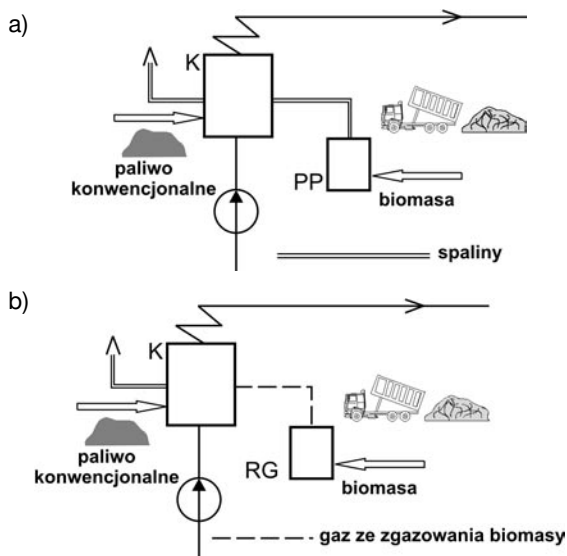
## Współspalanie biomasy i paliw konwencjonalnych w energetyce zawodowej

Zgodnie z obecnie przyjętymi zasadami produkcja energii odnawialnej w procesie współspalania biopaliw (biomasy i biogazu) i paliw konwencjonalnych w energetyce zawodowej może być prowadzona w następujących wariantach technologicznych:

- 1) współspalanie bezpośrednie – zachodzi w przypadku, kiedy do procesu spalania doprowadzany jest osobno strumień węgla i biomasy (bądź biogazu) lub gotowa mieszanka węgla i biomasy (tzw. mieszane paliwo wtórne [4]) – rysunek 1a;
- 2) współspalanie pośrednie – zachodzi w przypadkach, gdy:
  - spalanie biomasy bądź biogazu zachodzi w tzw. przedpalenisku, a ciepło powstających spalin wykorzystywane jest w komorze spalania, w której zabudowane są powierzchnie ogrzewalne bądź bezpośrednio jako czynnik grzewczy w wymiennikach ciepłowniczych – rysunek 2a;
  - zgazowanie biomasy zachodzi w gazogeneratorze, a powstający gaz jest doprowadzany do komory spalania, gdzie jest spalany w palnikach gazowych – rysunek 2b;



Rys. 1. Schemat poglądowy:  
a) współspalanie bezpośrednie,  
b) współspalanie w układzie hybrydowym



Rys. 2. Schemat poglądowy: a) kotła nadbudowanego przed paleniskiem – PP; b) kotła nadbudowanego gazogeneratorem – RG

3) współpalanie w układzie równoległym (tzw. układzie hybrydowym – rys.1b); pod pojęciem układu hybrydowego należy rozumieć układ jednostek wytwórczych pracujących na wspólny kolektor parowy oraz zużywających w procesie spalania odpowiednio biomase/biogaz i paliwa konwencjonalne; dla takiego układu współpracy jednostek kotłowych wyklucza się techniczną możliwość zasilania kotłów spalających biomase paliwami konwencjonalnymi; układy przygotowania i podawania paliwa są fizycznie niezależne (rozdzielone).

Porównując właściwości stosowanego w energetyce węgla kamiennego i biomasy należy stwierdzić, że jakościowo

Tabela 1

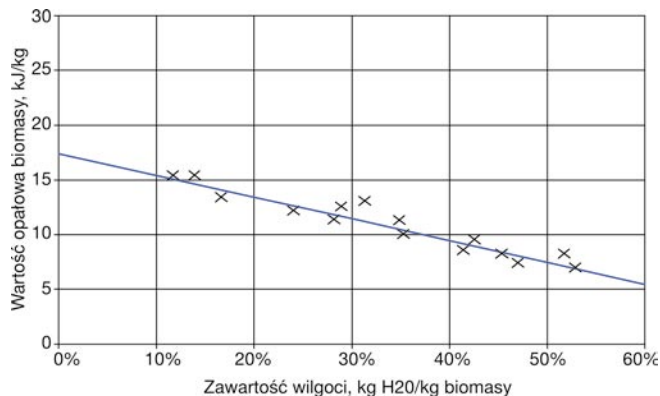
### Właściwości węgla i różnych rodzajów biomasy

Właściwość	Węgiel kamienny	Drewno leśne	Kora	Wierzba	Stoma
Popiół, %	8,5–10,9	0,4–0,5	2–3	1,1–4	5
Wilgoć*, %	6–10	5–60	45–65	40–60	17–25
Wartość opałowa, MJ/kg	26–28,3	18,5–20	18,5–23	18,4–19,2	17,4
C, %	76–87	4,8–5,2	48–52	47–51	4,5–4,7
H, %	3,5–5	6,2–6,4	5,7–6,8	5,8–6,7	5,8–6,0
N, %	0,8–1,5	0,1–0,5	0,3–0,8	0,2–0,8	0,4–0,6
O, %	2,8–11,3	38–42	24,3–40,2	40–46	40–46
S, %	0,5–3,1	pon. 0,05	pon. 0,05	0,02–0,1	0,05–0,2
Cl**, %	pon. 0,1	0,01–0,03	0,01–0,03	0,01–0,05	0,14–0,97
K**, %	0,003	0,02–0,05	0,1–0,4	0,2–0,5	0,7–1,3
Ca**, %	4–12	0,1–1,5	0,02–0,08	0,2–0,7	0,1–0,6

Uwaga: (\*) wilgoć w stanie roboczym, (\*\*) w popiele, składniki w odniesieniu do stanu suchego.

wo podstawowy skład pierwiastkowy jest taki sam. Różnice występują natomiast w udziałach poszczególnych pierwiastków i związków chemicznych. Biomasa zawiera średnio ok. czterokrotnie więcej tlenu, dwukrotnie mniej pierwiastka węgla, ale również mniej siarki i azotu. Konsekwencją tych właściwości jest wysoka zawartość części lotnych i wysoka reaktywność biomasy. Podstawowe właściwości węgla energetycznego i różnych rodzajów biomasy przedstawiono w tabeli 1.

Niekorzystną cechą biomasy jest jej wysoka i zmienna w zależności od rodzaju biomasy i okresu jej sezonowania zawartość wilgoci. Konsekwencją tych właściwości jest niższa wartość opałowa, zwłaszcza w stanie roboczym (rys. 3). Kolejną różnicą jest znacznie niższa gęstość nasypowa biomasy, z czego wynikają wyższe koszty transportu oraz wymagania dotyczące powierzchni składowisk. Jednocześnie w porównaniu z węglem, biomasa charakteryzuje się dużo wyższą zawartością związków alkalicznych, zwłaszcza potasu, wapnia i fosforu, a w przypadku słomy również wysoką zawartością chloru, co może prowadzić do wzmożonej korozji oraz powstawania agresywnych osadów w kotle podczas jej bezpośredniego spalania. Na podkreślenie zasługuje fakt addytywności wszystkich podstawowych właściwości biomasy i węgla (np. zawartość części lotnych, pierwiastka węgla itd.). Natomiast właściwości popiołu powstającego ze zmieszania węgla i biomasy są inne niż wynikałoby to z prawa addytywności. Należy ten fakt wziąć pod uwagę przy okresowym monitorowaniu kotła. Niewątpliwą zaletą biomasy, zwłaszcza drzewnej, są znacznie niższe, w porównaniu z węglem, wartości popiołu i siarki.



Rys. 3. Przykładowa zależność wartości opałowej biomasy leśnej w funkcji zawartości wilgoci (brak opisu punktów pomiarowych)

Do potencjalnych źródeł pozyskania paliw odnawialnych z grupy biomasy pierwotnej [5] zaliczyć można:

- ♦ dostawy biomasy pochodzenia leśnego;
- ♦ dostawy biomasy będącej odpadem produkcyjnym przemysłu drzewnego (np. trociny z tartaków);
- ♦ dostawy biomasy pochodzącej z upraw energetycznych, w tym również oleju rzepakowego.

Z doświadczeń zagranicznych producentów energii realizujących współpalanie nieprzetworzonej biomasy drzewnej wynika, że maksymalny promień optycalnej dostawy biomasy do obiektu energetycznego wynosi ok. 150 km, najkorzystniej jednak, jeżeli odległość ta nie przekracza 50 km.

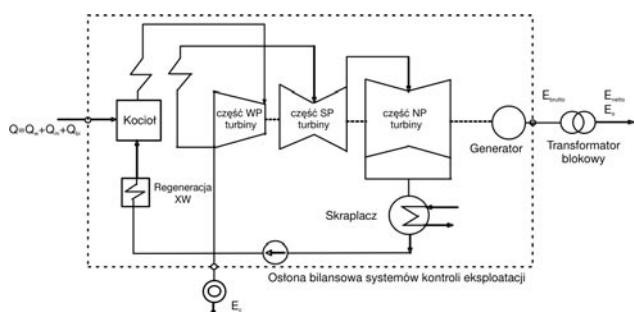


Biorąc pod uwagę wymienione ograniczenia transportowe wynikające z konieczności przewozu biomasy surowej o niskiej wartości opałowej i dużej objętości (gęstość nasypowa zrębków biomasy leśnej 200–250 kg/m<sup>3</sup>) oraz fakt, iż ograniczone możliwości logistyczne mogą często implikować niski udział surowej biomasy w mieszance paliwowej kotła, można stwierdzić, że podstawowa część biomasy powinna być dostarczana do obiektów energetycznych w formie wstępnie przetworzonej. Wydaje się, że jedną z najtańszych form ograniczenia objętości oraz podniesienia wartości opałowej biomasy może być jej podsuszenie i ewentualnie brykietowanie w rejonie pozyskania. O wprowadzeniu takich rozwiązań musi jednak decydować rachunek ekonomiczny.

## Produkcja odnawialnej energii elektrycznej w Elektrowni Opole

Elektrownia usytuowana jest na północ od ujścia rzeki Mała Panew do Odry, w pradolinie Małej Panwi, w odległości 12 km na północ od Opola. Podstawowym surowcem energetycznym dla Elektrowni jest węgiel kamienny, a pomocniczym (do uruchamiania bloków) olej opałowy. W celu wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych Elektrownia uzyskała stosowną koncesję i współspala biomasę wraz z węglem kamiennym.

W *Elektrowni Opole* zainstalowane są 4 bloki energetyczne o łącznej mocy osiągalnej 1532 MW (1x386 MW; 2x383 MW; 1x380 MW). Pierwszy blok oddany został do eksploatacji w 1993 roku, drugi w 1994, trzeci w 1996 roku. W 1997 roku przekazano do użytkowania czwarty blok energetyczny i cztery instalacje odsiarczania spalin metodą mokrą wapienno-gipsową. *Elektrownia Opole* jest wyposażona w komplet instalacji ochrony środowiska we wszystkich obszarach. Schemat ideowy układu cieplnego bloku energetycznego *Elektrowni Opole* przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat ideowy układu cieplnego bloku energetycznego *Elektrowni Opole*

- $Q$  – całkowita energia chemiczna paliw doprowadzonych do kotła, GJ
- $Q_w, Q_m, Q_{bi}$  – energia chemiczna węgla, mazutu i biomasy doprowadzonych do kotła, GJ
- $E_{brutto}$  – produkcja energii elektrycznej brutto, MWh
- $E_{netto}$  – produkcja energii elektrycznej netto, w tym:  $E_o$  – ilość odnawialnej energii elektrycznej, MWh,  $E_c$  – ilość wyprodukowanego ciepła (produkcja na potrzeby własne i potrzeby odbiorców lokalnych z terenu gminy Dobrzeń Wielki), GJ.

*Elektrownia Opole* jest najnowszym i pierwszym obiektem w polskiej energetyce zawodowej, w pełni odpowiadającym standardom ochrony środowiska obowiązującym w Unii Europejskiej, a wynikającym z Dyrektywy 88/609/EWG z dnia 24 listopada 1988 roku w sprawie ograniczania emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza z dużych obiektów energetycznego spalania paliw, zastąpionej Dyrektywą 2001/80/WE.

W roku 2000 kompleksowy system ochrony środowiska w *Elektrowni Opole* został uhonorowany nagrodą Ministra Środowiska „Lider Polskiej Ekologii”.

Potrzeba sprostania wymaganiom rynku, poszukiwanie nowych źródeł przychodów i poprawa rentowności *Elektrowni* były zasadniczym powodem podjęcia działań technicznych i organizacyjnych do wprowadzenia współspalania biomasy. Wysoka sprawność i dynamika pracy kotłów parowych BP-1150 stwarzały szanse osiągnięcia wyznaczonych celów. W 2003 r. podjęto decyzję o przeprowadzeniu testów bezpośredniego współspalania biomasy drzewnej z węglem kamiennym. Możliwość spalania biomasy (trocin i zrębków drzewnych) została potwierdzona pozytywnymi wynikami testów przeprowadzonych w okresie od października 2003 roku do lipca 2004 roku. Testy współspalania przeprowadzono we wszystkich blokach energetycznych elektrowni. Udział masy biomasy w mieszance podawanej do kotłów mieścił się w zakresie od 5 do 10%.

Celem przeprowadzonych testów było:

- określenie możliwości efektywnego spalania biomasy przy wykorzystaniu istniejących instalacji doprowadzenia paliwa, przygotowania pyłu węglowego i palników,
- identyfikacja ewentualnych zagrożeń związanych z mieleciem i spalaniem biomasy w mieszance z miazem węglowym,
- określenie warunków techniczno-eksploatacyjnych dla podawania biomasy przy pomocy istniejących ciągów technologicznych układu nawęglania,
- kontrola procesów transportu trocin oraz zrębków drzewnych na przenośnikach taśmowych, procesu mieszania na przesypach oraz określenie wpływu dodatku biomasy na zapylenie ciągów technologicznych,
- określenie wpływu współspalania biomasy na sprawność wytwarzania energii elektrycznej oraz na zmianę poziomu emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych do atmosfery.

W tabeli 2 przedstawiono wybrane parametry eksploatacyjne pracy bloku nr 2 elektrowni w trakcie współspalania mieszanki miazu węglowego (średni węgiel spalany w *Elektrowni*) oraz trocin drzewnych o udziale masowym 8%. Celem testu była analiza przebiegu procesu spalania w kotle energetycznym BP-1150 w dłuższym czasie. Testy prowadzono w ciągu kilku miesięcy potwierdzając możliwości stabilnego spalania biomasy.

W trakcie testów analizowano dynamikę pracy kotła przy pracujących trzech lub czterech młynach węglowych oraz pracę układu przygotowania i podawania paliwa. Na podstawie wyników testów opracowano odpowiednie instrukcje eksploatacyjne.

Tabela 2

Średnie parametry eksploatacyjne bloku nr 2 *Elektrowni Opole* w przy współspalaniu węgla i biomasy oraz przy spalaniu węgla bazowego

Wyszczególnienie	Pomiary: wartości średnie		
	trzy młyny, węgiel + 8% biomasy	cztery młyny, węgiel + 8% biomasy	trzy młyny, węgiel (bez biomasy)
Moc bloku, MW	360	360	360
Suma obrotów podajników węgla, %	37	38	34
Całkowita ilość powietrza do kotła, Nm <sup>3</sup> /h	1 040 000	1 050 000	1 000 000
Konfiguracje młynów	1,3,5	1,3,4,5	1,3,5
Parametry pary i wody			
Strumień pary przegrzanej, t/h	1100	1090	1100
Temperatura pary przegrzanej, °C	538	540	541
Ciśnienie pary przegrzanej, MPa	17,8	17,9	17,9
Suma wtysku pierwotnego S1, t/h	68	63	80
Suma wtysków pierwotnych S2 i S3, t/h	29	40	60
Ciśnienie w separatorze, MPa	18,9	19,0	19,0
Temperatura wody zasilającej, °C	251	252	250
Ciśnienie wody zasilającej, MPa	20,7	20,5	20,5
Temperatura pary wtórnej do przegrzewu, °C	336	337	336
Ciśnienie pary wtórnej z przegrzewu, MPa	4,03	4,0	3,95
Temperatura pary wtórnej z przegrzewu, °C	532	537	530
Ciśnienie pary międzystopniowej, MPa	3,80	3,77	3,75
Wtrysk wody do pary wtórnej, t/h	2	5	0
Charakterystyka pracy komory paleniskowej			
Podciśnienie w komorze paleniskowej, kPa	-0,15	-0,15	00,15
Zawartość O <sub>2</sub> w spalinach za ECO, %	3,6	3,6	3,2
Ciśnienie za wentylatorem powietrza pierwotnego WP1, kPa	5,4	5,4	5,4
Ciśnienie za wentylatorami powietrza wtórnego WP2,3, kPa	3,7	3,7	3,4
Ciśnienie w kolektorze powierza wtórnego, kPa	2,1	2,1	1,85
Ciśnienie w kolektorze powierza do młynów, kPa	4,0	3,9	4,0
Temperatura spalin za podgrzewaczem wody ECO, °C	345	335	342
Temperatura spalin wylotowych, °C	144,0	144,3	140,8
Parametry paliwa – węgiel			
Wartość opałowa, KJ/kg	20 167	22 216	20 669
Zawartość wilgoci, %	9,3	8,6	10,4
Zawartość popiołu, %	28,2	24,1	26,7
Zawartość siarki, %	0,72	0,75	0,74
Zawartość części lotnych, %	34	32	33
Zawartość części palnych w popiele, %	1,89	1,51	2,6
Zawartość części palnych w żużlu, %	4,86	1,92	5,22
Bilans cieplny kotła – wybrane parametry			
Strata kominowa, %	6,62	6,56	6,28
Strata w żużlu, %	0,11	0,03	0,11
Strata w lotnym popiele, %	0,76	0,47	0,99
Strata niezupełnego spalania, %	0,004	0,003	0,009
Strata promieniowa, %	0,42	0,42	0,42
Sprawność kotła, %	92,07	92,49	92,17
Obciążenie kotła, %	95,54	95,33	95,59

W tabeli 2 przedstawiono zestawienie średnich wyników uzyskanych w trakcie testów, dotyczy to także właściwości stosowanego węgla. W rzeczywistości, w każdym z testów węgiel posiadał nieco inny skład, co wpływało na skład mieszanki podany w tabeli. Po przeanalizowaniu wyników testu stwierdzono, że proces współspalania mieszanki miazu węglowego z 8-procentowym udziałem masowym biomasy nie powoduje problemów eksploatacyjnych związanych z transportem i mieleniem mieszanki w młynach węglowych. Nie stwierdzono również problemów eksploatacyjnych urządzeń układu nawęglania. Przygotowywanie mieszanki miazu węglowego bezpośrednio z wagonów oraz z placów węglowych na wydzielonym składowisku operacyjnym nie budziło zastrzeżeń pod względem jakości zmieszania.

Na podstawie analizy parametrów energetycznych uzyskanych z systemu kontroli eksploatacji stwierdzono, że spalanie mieszanki miazu węglowego z udziałem trocin wpłynęło nieco na wzrost strat związanych ze stratą wylotową kotła o ok. 42 kJ/kWh. Za główną przyczynę tego zjawisko uznano niższą wartość opałową mieszanki węgla i biomasy. Podczas realizacji testu współspalania sprawność energetyczna kotła mieściła się w przedziale 92,1–92,5%, co odpowiadało przedziałowi wartości sprawności osiąganych przy spalaniu paliwa, na które zaprojektowany został kocioł.

Do podstawowego nowego układu wytwarzania energii odnawialnej w *Elektrowni Opole* zaliczyć można instalację do przygotowania i dozowania biomasy do kotłów. Instalacje blokowe przeznaczone do pracy na paliwie podstawowym – węgla kamiennym nie uległy istotnej zmianie w stosunku do wytwarzania energii konwencjonalnej. Modyfikacji podlega jedynie układ rozładunku, składowania, przygotowania (rozdrabniania) oraz podawania paliwa do kotłów pyłowych elektrowni. Na rysunku 5 przedstawiono widok operacyjnego placu składowego biomasy, z którego przenośnikiem zgrzebiowym dozowana jest ona do ciągu nawęglania.



Rys. 5. Operacyjne składowisko biomasy z ciągiem nawęglania

*Elektrownia Opole* produkuje energię elektryczną wykorzystując w procesie spalania węgiel kamienny jako paliwo podstawowe.

Trwale dopuszczalny udział masowy biomasy w mieszance z węglem kamiennym został określony na podstawie testów współspalania i dla wszystkich czterech kotłów BP-1150 został przyjęty na poziomie ok. 8% masowych, ale nie jest wykluczony wzrost tego udziału w dalszym etapie prób i badań. Udział poszczególnych jednostek wytwórczych w wytwarzaniu energii elektrycznej pochodzącej ze współspalania węgla kamiennego z biomasą będzie zależał od ich stopnia wykorzystania.

W celu dokonania podziału wielkości produkcji energii elektrycznej na część odnawialną i konwencjonalną w układzie realizującym współspalanie bezpośrednie, zastosowano bezpośrednio zależność (1) [4]:

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

gdzie:

- $E_O$  – 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, GJ,
- $M_{Bi}$  – masa biomasy lub biogazu spalona w jednostce wytwórczej, Mg,
- $M_{Kj}$  – masa paliwa innego niż biomasa lub biogaz spalonego w jednostce wytwórczej, Mg,
- $W_{Bi}$  – wartość opałowa biomasy lub biogazu spalonych w jednostce wytwórczej, MJ/Mg,
- $W_{Kj}$  – wartość opałowa paliwa konwencjonalnego 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.

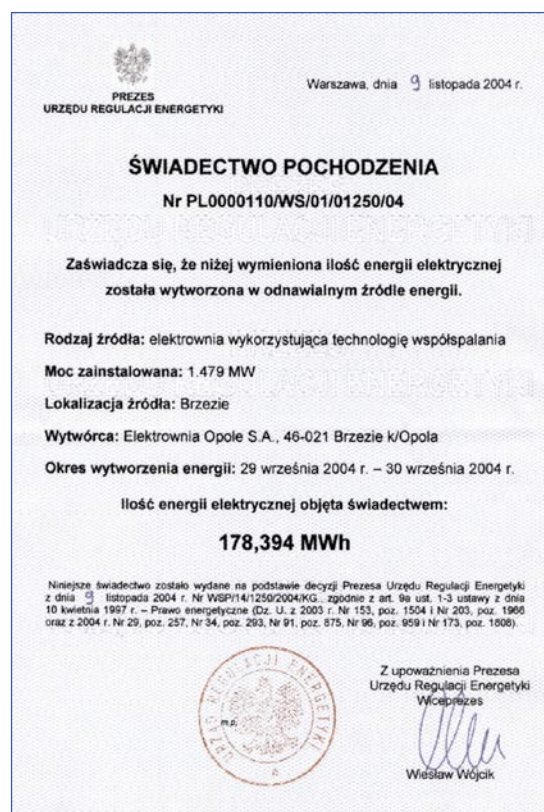
Zgodnie z zapisami [4], do obliczenia wielkości energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii należy wykorzystać „ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych w jednostce wytwórczej, w której jest spalana biomasa lub biogaz wspólnie z innymi paliwami”. Również zapisy [1] ujmują wskaźnikowy udział energii elektrycznej wytwarzanej w źródłach odnawialnych w relacji do krajowego zużycia energii elektrycznej brutto (krajowego zużycie energii elektrycznej brutto = produkcja brutto + import – eksport).

W konsekwencji, do wyznaczenia wielkości energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii należy wykorzystać wielkość produkcji energii (energii elektrycznej lub ciepła) brutto (tzn. bez uwzględnienia potrzeb własnych ciepłych bądź elektrycznych). Jednocześnie należy zwrócić uwagę, że producent energii występując o wydanie świadectw pochodzenia „zielonej energii” zobowiązany jest do potwierdzenia wielkości energii, dla jakiej występuje o świadectwo pochodzenia u operatora systemu elektroenergetycznego. Taka procedura powoduje, że status „energii zielonej” uzyskuje de facto wielkość energii netto.

Metodologia ta, określająca wielkości wytwarzanej oraz wprowadzanej do sieci energii elektrycznej „zielonej”, wymaga doprecyzowania. Zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia w aspekcie określonych w Rozporządzeniu surowych wymagań ilościowych dla wytwarzanej w Polsce „zielonej” energii elektrycznej.

Dokładne rozliczenie wytworzonej energii „zielonej” wymagało wdrożenia w Elektrowni odpowiedniego systemu analiz właściwości fizykochemicznych biomasy, zintegrowania wyników z istniejącym układem sterowania i kontroli pracy bloków, monitoringu i archiwizacji danych. Wynika to z zapisów rozporządzenia [4], które stanowią (§5), że: „oznaczanie właściwości fizykochemicznych paliw powinno się odbywać zgodnie z właściwymi Polskimi Normami [...] W przypadku braku norm [...] dla danego rodzaju zużywanego paliwa, oznaczanie właściwości fizykochemicznych tego paliwa powinno odbywać się zgodnie z procedurą badawczą uwierzytelnioną (walidowaną) w rozumieniu Polskich Norm określających wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”.

Uwzględniając fakt, że dotychczas nie opracowano norm polskich ani europejskich dotyczących metod badania właściwości biomasy do celów energetycznych, badania właściwości energetycznych biomasy w *Elektrowni Opole* są wykonywane na podstawie akredytowanych procedur opracowanych w ramach zorganizowanej przez Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla (ICHPW) Ogólnokrajowej Sieci Laboratoriów Nadzorowanych LABIOMEN.



Rys. 6. Świadectwo pochodzenia wydane dla *Elektrowni Opole* za pierwszą dostawę energii „zielonej”



Procedury te są zwalidowane przez zastosowanie odpowiednich przyrządów i narzędzi badawczych, statystyczną analizę błędów oraz akredytowane w Polskim Centrum Akredytacji. Jednym z członków-założycieli sieci LABIOMEN jest także *Elektrownia Opole*. Sieć liczy obecnie 14 uczestników (laboratoria świadczące usługi na rzecz przedsiębiorstw energetycznych), których udział w sieci gwarantuje jednolitość stosowanych metod badawczych oraz porównywalność wyników.

Na podstawie przedłożonej dokumentacji uwierzytelniającej oraz opinii o przygotowaniu instalacji i procedur rozliczeń energii odnawialnej dla *Elektrowni Opole* [10], we wrześniu 2004 r. Urząd Regulacji Energetyki rozszerzył posiadaną przez *Elektrownię* koncesję na wytwarzanie energii elektrycznej o nowe paliwo w postaci biomasy drzewnej. *Elektrownia Opole SA* uzyskała koncesję na produkcję energii odnawialnej w procesie współspalania biomasy w postaci trocin i zrębków drzewnych z węglem kamiennym, a w następstwie zostało wydane odpowiednie świadectwo pochodzenia (rys. 6). Na podstawie uzyskanych wyników eksploatacyjnych współspalania biomasy można ocenić, że roczna zdolność produkcji energii elektrycznej „zielonej” wynosi ok. 250 tys. MWh.

Biorąc pod uwagę przyszłe zabezpieczenie dostaw biomasy *Elektrownia Opole* we współpracy z Ośrodkiem Doradztwa Rolniczego w Łosiu rozpoczęła proces zakładania plantacji wierzby energetycznej na 36 hektarach terenu awaryjnego składowiska popiołów „Groszowice” (rys. 7).



Rys. 7. Teren przeznaczony na plantację wierzby energetycznej

*Elektrownia* zawarła umowę z Gospodarstwem Pomocniczym Wojewódzkiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Łosiu (obecnie Opolskim Ośrodkiem Doradztwa Rolniczego) na współpracę w zakresie prac doradczych, wdrożeniowych i doświadczalnych na zakładanej przez *elektrownię* plantacji wierzby energetycznej. Sadzonki z tej plantacji *elektrownia* zamierza przekazać na warunkach komercyjnych tym plantatorom, którzy zdecydują się na zawarcie długoterminnych umów na dostawę biomasy do spalania w kotłach energetycznych. Szacuje się, że plon z 1 ha wyniesie 15–20 Mg suchej masy (przyjmuje się zmienność plonu  $\pm 5$  Mg/ha/rok) przy wartości opałowej suchej masy – 18 000 kJ/kg. Przewidywany okres eksploatacji plantacji wierzby energetycznej wynosi 25 lat, a pierwszy zbiór wierzby oczekiwany jest po czterech latach od założenia plantacji.

## Uwarunkowania technologiczne oraz prawno-organizacyjne w zakresie współspalania paliw alternatywnych i odpadowych z paliwami konwencjonalnymi

Według Dyrektywy 2001/77/EC z 27.09.2001 termin „biomasa” oznacza podatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, odpady i pozostałości z przemysłu rolnego (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, jak również podatne na rozkład biologiczny frakcje odpadów przemysłowych i miejskich. Aktualny stan prawny jest jednoznaczny jedynie w odniesieniu do wymagań stawianych dla energetycznego wykorzystania biomasy drzewnej pierwotnej, czyli niezawierającej jakichkolwiek zanieczyszczeń wynikających z innych procesów przetwórczych.

Analizując kierunki rozwoju związane ze zwiększeniem udziału biomasy w wytwarzaniu energii elektrycznej oraz uwzględniając zapisy wymienionej Dyrektywy należy w pierwszym rzędzie wziąć pod uwagę mączkę zwierzęcą [2, 11] i osady ściekowe, które mogą wzbogacić zasoby biomasy przeznaczonej do energetycznego wykorzystania. Szacuje się, że w ciągu najbliższych lat ilość wytworzonej mączki zwierzęcej może wynieść ok. 80 tys. ton rocznie, a osadów ściekowych ok. 700 tys. ton. Dodatkowo należy uwzględnić wydzielone frakcje odpadów komunalnych, które przetworzone mogą stanowić również źródło energii chemicznej odnawialnej kategorizowanej jako paliwa alternatywne.

Biorąc pod uwagę zarówno rosnące zapotrzebowanie na biomasę w energetyce, jak również uwarunkowania techniczno-organizacyjne, jakie towarzyszą wprowadzaniu nowych paliw, należy stworzyć odpowiednie procedury dopuszczeniowe jak i eksploatacyjne dla nowej grupy paliw, które mogą być stosowane w energetyce. Zagadnienie jest być może atrakcyjne dla producentów energii z powodu poprawy efektywności ekonomicznej wynikającej z zagospodarowania potencjalnych odpadów zaliczanych do paliw odnawialnych, ale także niesie za sobą konieczność zaostrzenia wymagań eksploatacyjnych z uwagi na potencjalne zagrożenia erozyjno-korozyjne, które dotychczas nie zostały odpowiednio zidentyfikowane. W celu ich zdefiniowania niezbędne jest ciągłe gromadzenie doświadczeń eksploatacyjnych związanych w szczególności ze współspalaniem różnego rodzaju biomas oraz ich wymiana pomiędzy producentami energii.

Współspalanie paliw odnawialnych innych niż biomas drzewna, będących w swej istocie paliwami alternatywnymi, często o nieustabilizowanym składzie, z paliwami konwencjonalnymi powinno być poprzedzone szczegółową analizą techniczno-ekonomiczną oraz analizą formalnoprawną [7].

## Podsumowanie i wnioski

Uwzględnienie faktu, że ważnym elementem realizacji zasady zrównoważonego rozwoju jest dalsze zwiększanie udziału odnawialnych zasobów energii w bilansie paliwowo-energetycznym, prowadzi do wniosku, że trzeba przewidywać



konieczność pozyskiwania w energetyce zawodowej znacznych ilości paliw odnawialnych odpowiedniej jakości. Wymaga to współdziałania zarówno producentów biomasy jak i energii oraz silnego wsparcia administracji publicznej poprzez stworzenie programu rozwoju upraw energetycznych. Pozwoliłoby on zgodnie z polityką ekologiczną oraz ze strategią rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce na efektywne wytwarzanie i wykorzystanie biomasy, a przede wszystkim mogłoby zapewnić energetyce zawodowej perspektywiczne zaspokojenie potrzeb. Zagadnienia te wykraczają znacznie poza zwykłe obowiązki producenta energii, natomiast są one związane głównie z regionalnymi uwarunkowaniami obszarowymi, a zintegrowane ich potraktowanie ważne dla gospodarczego rozwoju wielu regionów.

Dyrektywa w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych stanowi m.in., że: „...w celu ułatwienia handlu energią elektryczną wytwarzaną z odnawialnych źródeł energii i udostępnienia konsumentowi przejrzystych kryteriów wyboru między energią elektryczną wytwarzaną z odnawialnych źródeł energii i energią elektryczną wytwarzaną z odnawialnych źródeł energii, gwarancja pochodzenia takiej energii elektrycznej jest konieczna [...]. Ważne jest, aby wszystkie formy energii elektrycznej produkowanej z odnawialnych źródeł energii były zaopatrzone w gwarancje pochodzenia...”.

Gwarancja pochodzenia, oprócz wyszczególnienia sposobu produkcji energii odnawialnej w źródłach oraz określenia daty i miejsca produkcji służy zapewnieniu producentom energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii możliwości wykazania, że w rozumieniu Dyrektywy 2001/77/WE, sprzedawana przez nich energia elektryczna jest wytwarzana z odnawialnych zasobów.

Pochodzenie odnawialnej energii elektrycznej wytwarzanej w procesie współspalania biomasy i węgla kamiennego w *Elektrowni Opole* jest na bieżąco potwierdzane przez Prezesa URE gwarancjami jej pochodzenia i odbywa się na podstawie obiektywnych i przejrzystych kryteriów. Efektem finalnym procedury dokumentowania pochodzenia odnawialnej energii elektrycznej jest wydanie „Świadectw pochodzenia”.

Wartością ilości energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii jest odpowiednia „ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych w jednostce wytwórczej, w której jest spalana biomasa lub biogaz wspólnie z innymi paliwami”, co odpowiada również zapisom zawartym do Dyrektywy 2001/77/WE. W konsekwencji, do wyznaczenia wielkości energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii należy wykorzystać wielkość produkcji energii (energii elektrycznej lub ciepła) brutto. Natomiast producent energii uzyskuje de facto u operatora systemu elektroenergetycznego potwierdzenie wartości netto. W związku z tym, metodologia określania wielkości wytwarzanej oraz wprowadzanej do sieci elektroenergetycznej energii elektrycznej „zielonej” wymaga doprecyzowania. Zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia w aspekcie surowych wymagań ilościowych dla wytwarzanej w Polsce całkowitej „zielonej” energii elektrycznej.

Możliwość wykorzystywania innych paliw odnawialnych (mączka zwierzęca, osady ściekowe, wydzielone frakcje odpadów komunalnych) dla celów energetycznych została zauważona w wielu krajach Unii Europejskiej (m.in. Austria, Niemcy, Dania).

Należy jednak podkreślić, że warunkiem uznania energii wytworzonej w procesie współspalania tych paliw za energię odnawialną mogą być w niektórych przypadkach dodatkowe wymagania uwzględniające analizę ich oddziaływania na środowisko w czasie transportu i składowania. W wymienionych krajach stworzono skuteczne regulacje prawne pozwalające na utylizację odpadów dla celów energetycznych. Takie podejście jest konieczne dla zapewnienia efektywnego rozwoju energetyki odnawialnej.

## LITERATURA

- [1] Dyrektywa 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych
- [2] Karcz H., Kozakiewicz A.: Technologia termicznej utylizacji mączki mięsno-kostnej. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Monitoring środowiska przyrodniczego ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania biomasy w energetyce”. Połaniec-Baranów Sandomierski, 21 października 2004
- [3] Polityka ekologiczna Państwa na lata 2003–2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007–2010. Uchwała Sejmu RP z 8 maja 2003 r. (M. P. z 18 czerwca 2003 r. Nr 33, poz. 433)
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 9 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 267/2656/2004)
- [5] Propozycje procedur rozliczania energii ze źródeł odnawialnych – Przewodnik metodyczny TGPE, Tom I
- [6] Propozycje procedury certyfikowania instalacji do rozliczeń handlowych energii ze źródeł odnawialnych – Przewodnik metodyczny TGPE, Tom II
- [7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów (Dz. U. 37 – 2664 – Poz. 339)
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki 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 (Dz. U. 104/971/2003)
- [9] Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej. Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2000/2001
- [10] Zuwała J.: Analiza zgodności instalacji i procedur produkcji oraz rozliczeń handlowych energii ze źródeł odnawialnych w *Elektrowni Opole SA* z wytycznymi przewodników metodycznych TGPE. Opracowanie Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze, lipiec 2004
- [11] Zuwała J.: Dokumentacja uwierzytelniająca instalacji do produkcji energii odnawialnej oraz procedury rozliczeń w *Południowym Koncernie Energetycznym SA – Elektrownia Jaworzno III – Elektrownia II*. Opracowanie Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze, grudzień 2004
- [12] Ustawa z dnia 22 grudnia 2004 r. o handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. 2004, Nr 281, Poz. 2784)

