

Zbigniew BIS\*

## Perspektywy wytwarzania i wykorzystania węgla z biomasy

STRESZCZENIE. W artykule zarysowano perspektywy węgla jako przyszłościowego nośnika energii, stosowanego zarówno w tradycyjnych systemach przetwarzania energii, jak również w ogniwach paliwowych. Uzasadniono konieczność waloryzacji paliw odpadowych i biomasy dla podwyższenia sprawności konwersji energii w nich zawartej. Podano przykład technologii produkcji węgla z biomasy oraz perspektywy jego zastosowania.

SŁOWA KLUCZOWE: biocarbon, ogniwa paliwowe, autotermiczna waloryzacja biomasy

### Wprowadzenie

Światowe zapotrzebowanie na energię pokrywane jest głównie poprzez produkcję ciepła i elektryczności. Z wyjątkiem niewielkiego udziału alternatywnych źródeł (np. energetyka wodna w Szwajcarii, Norwegii i Szwecji) energia elektryczna pozyskiwana jest poprzez przetwarzanie energii chemicznej zawartej w paliwach kopalnych oraz w procesie nuklearnym. Zasoby tych paliw są ograniczone, a przetwarzanie zawartej w nich energii chemicznej obciąża środowisko groźnymi, trudno usuwalnymi zanieczyszczeniami i odpadami. Z tych powodów w przyszłości większą uwagę należy poświęcić zrównoważonemu roz-

---

\* Dr hab. inż., prof. PC – Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska, Katedra Inżynierii Energii, Częstochowa; e-mail: zbis@is.pcz.czest.pl

Recenzent: prof. dr hab. inż. Eugeniusz MOKRZYCKI

wojowi alternatywnych źródeł energii, sukcesywnie zastępujących paliwa kopalne. Do czasu osiągnięcia przez nowe technologie pełnej dojrzałości przewiduje się, że węgiel (włączając do tej grupy także koks naftowy, sadzę oraz węgiel z biomasy — biocarbon [3, 4]) będzie pełnił rolę dominującego nośnika energii, tym bardziej, że światowe zasoby węgla są gigantyczne i ocenia się, że wystarczy go na co najmniej 250 lat. Czysty węgiel stosowany jako paliwo, może dostarczać dużych ilości energii z jednostki objętości (około 20 kW·h/l), znacznie przewyższających wiele znanych powszechnie nośników, szczególnie takich jak wodór — 0,0035 kW·h/l, metan — 0,011 kW·h/l, biomasa surowa (50% wilgotności) — 0,5 kW·h/l, biomasa sucha — 1,25 kW·h/l, węgiel brunatny — 3,9 kW·h/l, węgiel kamienny — 5,5 kW·h/l czy też olej opałowy — 9,8 kW·h/l.

Jakościowa zmiana form nowoczesnych nośników energii wymusza także zmiany w stosowanych technikach przetwarzania energii. W przyszłości miejsce stosowanych obecnie wielkich elektrowni zajmą małe, rozproszone źródła, stosujące technologie odpowiednie dla wymagań określonej lokalizacji. Także obecnie stosowane techniki spalania winny być stopniowo zastępowane technikami zerowej emisji, których obiecującą alternatywą są ogniwa paliwowe [1, 6, 12, 15]. Ich podstawową cechą jest wysoka sprawność przetwarzania przy niskiej emisji SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>.

Znaczącym krokiem na drodze realizacji programu zrównoważonego rozwoju alternatywnych źródeł energii jest wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii, szczególnie słońca i biomasy. Pozyskiwanie i przetwarzanie energii odnawialnej znajduje rosnące zainteresowanie w świecie, jak również w Polsce. Wśród istotnych powodów tego zainteresowania można wymienić nie tylko możliwość ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz tempa wyczerpywania zasobów paliw kopalnych, lecz także realizację celów jakie wytyczyła Unia Europejska w tym zakresie [2, 11]. Według dotychczasowych doświadczeń zdobywanych w wielu krajach, za podstawowe źródło energii odnawialnej uważa się biomasę, zauważając przy tym, że znaczący postęp w pozyskiwaniu energii z innych źródeł, jest także przewidywany w bliskim czasie [7, 8, 14].

W wielu krajach, w tym także w Polsce, realizację pozyskiwania energii z biomasy rozpoczynano od wykorzystania łatwo dostępnych i stosunkowo tanich odpadów zaliczanych do biomasy poprzez stosowne regulacje prawne. Odpady te, praktycznie bez przygotowania, współspalane są z węglem w istniejących urządzeniach energetycznych. Zasoby tego rodzaju biomasy nie są w stanie pokryć rosnącego popytu na paliwa odnawialne i w Polsce niezwłocznie należy przystąpić do tworzenia i rozwoju specjalnych upraw roślinnych przeznaczonych do energetycznego wykorzystania [9, 10, 20].

Aktualnie dostępne technologie polegające na bezpośrednim spalaniu (współspalaniu) surowej biomasy, a następnie wykorzystaniu odzyskanego ciepła w parowym cyklu *Clausius'a-Rankine'a* (CR) są i zapewne będą w najbliższym czasie dominującymi technologiami, przetwarzającymi ponad 95% energii biomasy w energię elektryczną [6].

Niniejszy artykuł przedstawia opis procesu Autotermicznej Waloryzacji Biomasy (AWP) oraz paliw odpadowych tworzących warunki dla wysokosprawnej produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

## Aktualny stan oraz perspektywy wykorzystania energii biomasy

### Spalanie wilgotnej i podsuszanej biomasy

Bezpośrednie spalanie wilgotnej (np. świeżo ściętej) biomasy dla produkcji energii elektrycznej może być zrealizowane w opanowanym układzie CR, lecz należy liczyć się w tym przypadku z zauważalnym pogorszeniem warunków spalania w komorze paleniskowej kotła oraz znaczącym wzrostem straty wylotowej, obniżających sprawność konwersji energii [4, 8, 16]. Odczuwalną poprawę warunków spalania oraz sprawności procesu konwersji energii biomasy można osiągnąć poprzez jej podsuszenie przed wprowadzeniem do kotła. Proces naturalnego suszenia nie jest zalecany [5], gdyż pozostawia zbyt dużą zawartość wilgoci (10–15%), prowadzi do utraty znaczącej ilości suchej masy (20–30%) oraz energii (5–20%).

Wilgotną biomasę najlepiej suszyć w procesie termicznym, który może być realizowany wewnątrz i na zewnątrz elektrowni [5]. W pierwszym przypadku pociętą na kawałki biomasę z upraw energetycznych można suszyć, wykorzystując parę wodną pobieraną z upustów turbiny. Ciepło przegrzanej pary wodnej może być przekazywane pośrednio (suszarki przeponowe) [5], lub bezpośrednio [20]. Procesy przekazywania ciepła pary wodnej do rozdrobnionej biomasy w trakcie ich bezpośredniego kontaktu w ciśnieniowym reaktorze zapewniają nie tylko wysoką szybkość i efektywność procesu nagrzewania elementów biomasy, lecz także umożliwiają znaczne osłabienie jej włóknistej struktury oraz częściową defibrylację [20]. Z tych powodów analizy możliwości realizacji tego rodzaju procesów termiczno-chemicznej obróbki biomasy przed wprowadzeniem jej do komory spalania kotła podlegają rosnącemu zainteresowaniu.

Realizacja procesu podsuszania biomasy poza elektrownią może być prowadzona z wykorzystaniem entalpii spalin pochodzących ze spalania części podsuszanej biomasy lub lepiej z wykorzystaniem entalpii spalin wylotowych z silnika spalinowego zasilanego „holtzgasem” lub turbiny gazowej [5]. Propozycje różnych konfiguracji zintegrowanego systemu gazowej turbiny z elektrownią opalaną biomasą, opisane i analizowane np. w [5, 6], reprezentują atrakcyjne opcje dla podwyższenia sprawności kombinowanego obiegu produkcji czystej energii elektrycznej z udziałem źródeł odnawialnych.

### Ogniwa paliwowe

Ogniwo paliwowe (FC) to wyzwanie 21 wieku. Jako realna opcja „zero-emisyjnej” produkcji energii elektrycznej, FC stanowi przedmiot wyzwania dla laboratoriów wielu znanych koncernów samochodowych oraz producentów maszyn i urządzeń energetycznych [1, 15, 17]. Jedną z istotnych barier rozwoju FC jest pozyskiwanie, magazynowanie oraz przesyłanie wodoru, które Julius Verne nazwał paliwem przyszłości.

Początkowo uważano, że zasadniczym problemem ograniczającym wykorzystanie paliw kopalnych i biomasy jako paliwa dla ogniwa paliwowego jest dominujący udział pierwiastka węgla. Z tego powodu proponowano szereg technicznych rozwiązań realizacji procesu przemiany węgla w wodór, który może być dokonany w reakcji z wodą (parą wodną), kończąca się emisją węgla jako CO<sub>2</sub>, który niestety jest podstawowym gazem szklarniowym [15, 17]. Dodatkowo sprawność tak złożonego procesu w praktyce z trudnością sięgała 60%, którą trudno uznać za konkurencyjną w porównaniu do zaawansowanych obiegów kombinowanych np. IGCC [6].

Jednakże ostatnio pojawiła się realna propozycja ogniwa paliwowego wykorzystującego pierwiastkowy węgiel [1, 12].

## Waloryzacja biomasy i paliw odnawialnych

### Waloryzowanie biomasy

Za termodynamiczną miarę wartości energii lub „wartości” paliwa przyjmuje się maksymalną pracę możliwą do uzyskania z danego paliwa. Ocenę tą można przeprowadzić także biorąc pod uwagę maksymalną temperaturę spalania, np. adiabatyczną temperaturę spalania. Dla silnika cieplnego maksymalna możliwa sprawność jest wtedy, gdy pracuje on według obiegu *Carnota*, tzn.

$$\eta_C = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (1)$$

Sprawność wzrasta gdy wzrasta  $T_H$ , tzn. im wyższa adiabatyczna temperatura spalania, tym wyższa maksymalna sprawność teoretyczna.

Ponieważ adiabatyczna temperatura spalania zależy nie tylko od wartości opałowej paliwa, lecz także od jego składu (skład spalin stechiometrycznych zależy od składu paliwa), wartość jej silnie zmienia się z wilgotnością paliwa. Przykładowe wartości tej temperatury wynoszą odpowiednio: dla biomasy o 50% wilgoci  $T_a = 1300$  K, dla biomasy o 10% wilgoci  $T_a = 2100$  K, dla biocarbonu —  $T_a = 2700$  K.

Przyjmując wartość  $T_L = 400$  K, oraz sprawność teoretyczną przetwarzania energii biomasy o 50% zawartości wilgoci jako odniesienie, spalając biomasę podsuszoną do 10% wilgoci, podnosimy sprawność teoretyczną o 17%, natomiast spalając biocarbon — aż o 24%.

Można zatem wprowadzić nową miarę „wartości” paliwa w postaci:

$$W_d^{\text{mod}} = \frac{W_d}{m_{sw}^{\text{teor}} (\lambda = 1)} \quad [\text{kJ/kg}_{sw}] \quad (2)$$

fizycznie wyrażającą ilość ciepła powstałego ze spalania paliwa, przypadającego na 1 kg stechiometrycznych spalin wilgotnych.

Wartości tak zmodyfikowanej wartości opałowej paliwa wynoszą odpowiednio: dla biomasy 50% wilgoci —  $W_d^{\text{mod}} = 1900 \text{ kJ/kg}_{\text{sw}}$ , dla biomasy o 10% wilgoci —  $W_d^{\text{mod}} = 2700 \text{ kJ/kg}_{\text{sw}}$ , dla biocarbonu —  $W_d^{\text{mod}} = 3000 \text{ kJ/kg}_{\text{sw}}$ .

Dla porównania wartość zmodyfikowanej wartości opałowej dla węgla kamiennego wynosi około  $W_d^{\text{mod}} = 2600 \text{ kJ/kg}_{\text{sw}}$ .

### Autotermiczna waloryzacja biomasy i paliw alternatywnych — biocarbon

Wzmiankowane w poprzednim rozdziale główne działania, prowadzące do poprawy jakości energii zawartej w biomase są teoretycznie rozwiązane na świecie, zawierają jednak w dalszym ciągu pewne ograniczenia natury finansowej (realizacja wysokowydajnego suszenia dużych ilości biomasy w dużej skali i związane z tym koszty), technologicznej (opracowanie odpowiedniej metody usuwania smoły i sadzy powstałych podczas zgazowania), bądź też ekonomicznej (proces pirolizy biomasy i produkcji substytutu ropy naftowej — tzw. *bio-oil* — jest wciąż zbyt kosztowny i energochłonny). Stąd też obserwuje się dążenia do rozwijania innych technologii — np. produkcji wodoru lub innych nośników energii (np. tzw. *Solid Energy Carriers* — SEC).

W praktyce przemysłowej jest wiele możliwych do realizacji sposobów konwersji energii z biomasy [2, 5, 6, 14, 16, 20]. Wydaje się, że interesującą opcją, oferującą — szczególnie w warunkach polskich — możliwość zasadniczej poprawy jakości energii zawartej w biomase, jest proces autotermicznej waloryzacji drogą termolizy. Umożliwia on z jednej strony usunięcie z paliwa wilgoci i zwiększenie jego gęstości energii, a także jednoczesną „destylację” części pierwiastków śladowych. Istotą tej technologii waloryzacji paliw jest także przeprowadzenie ich obróbki termicznej, aby w maksymalnym stopniu zachować sprawność termodynamiczną procesu spalania, czy też ich współspalania z węglem w kotłach energetycznych, a jednocześnie uniknąć negatywnych aspektów związanych ze współspalaniem. Technologia Autotermicznej Waloryzacji Paliw (AWP) [3, 4] pozwala znacznie ograniczyć omawiane powyżej wady bezpośredniego współspalania, poprzez wysokoefektywne suszenie tych paliw i ich przetworzenie do tzw. biocarbonu, który jest paliwem wyższej jakości i o wyższej gęstości energii. Opis realizacji procesu zawarto w [13, 18, 19]. Istota tego procesu polega na wytworzeniu takich warunków konstrukcyjno-przepływowych, aby w reaktorze AWP, gdzie realizowana jest termoliza, uzyskać — dzięki wykorzystaniu entalpii oraz prężności pary wodnej (powstałej z odparowania wilgoci) — maksymalną szybkość nagrzewania rozdrobionej biomasy do temperatury około 300°C. Dalsze nagrzewanie jest zbędne, gdyż w tych warunkach inicjowana jest reakcja egzotermiczna. Dla trwałego i pewnego utrzymania warunków przebiegu reakcji egzotermicznej

oraz maksymalizacji uzysku biocarbonu, reaktor jest tak skonstruowany, aby ograniczyć kontakt gazów pirolitycznych z karbonizatem, co umożliwia wytworzenie zarówno „pierwotnego”, jak i „wtórnego” biocarbonu, zwiększając wydajnie uzysk. Pod tym względem rozwiązanie techniczne reaktora AWP jest unikalne.

Urządzenie wyróżnia się:

- ✧ wysokim obciążeniem masowym przestrzeni reakcyjnej ( $0,5 \text{ kg}/(\text{sm}^3 \text{ reaktora})$ ),
- ✧ znaczną intensywnością wymiany ciepła, wynikającą z dużej powierzchni kontaktu paliwa z powierzchnią przepony przekazującej ciepło od spalanych gazów oraz wykorzystania entalpii skraplania pary wodnej,
- ✧ wysoką intensywnością spalania gazów palnych powstających w procesie termicznej obróbki strumienia paliwa, realizowanej w wirowej komorze spalania, zlokalizowanej w bezpośrednim sąsiedztwie reaktora,
- ✧ płynną regulacją czasu trwania procesu suszenia i termolizy.
- ✧ niskim zużyciem energii na potrzeby własne (napęd ślimaka transportującego oraz wentylatora powietrza do spalania).

W zależności od wilgotności wejściowego paliwa, dodatkowo w układzie suszenia i termolizy (suszarka i reaktor AWP) można uzyskać ciepło do zagospodarowania, zawarte w gorących spalinach opuszczających reaktor [3]. Największy efekt energetyczny oraz ekologiczny osiągnięty jest w przypadku przetwarzania paliw mocno zawilgoconych (zrębki, biomasa z upraw energetycznych i jednorocznych, itp.) oraz zanieczyszczonych chemicznie (odpady z płyt wiórowych, drewno zawierające tworzywa sztuczne, drewno zaimpregnowane, pomalowane, RDF itp.).

Stopień waloryzacji paliwa w energii zawartej w biocarbonie osiąga wartości dochodzące do 90%, a ponadto, taka realizacja procesu umożliwia pozbycie się dużej części zanieczyszczeń zawartych w paliwie (alkalia, pierwiastki śladowe itp.), poprzez ich przejście do fazy gazowej. Zależnie od potrzeb, gazy te można poddawać procesowi oczyszczania; w tym wypadku jednak wymiernym zyskiem wynikającym z zastosowania technologii AWP jest znacznie niższy koszt oczyszczania spalin w porównaniu do kosztu oczyszczania spalin powstających w kotle w wyniku realizacji „klasycznego” współspalania.

Dotychczasowe technologie suchej destylacji drewna wymagały dowiezienia drewna lub biomasy. Technologie te są bardzo uciążliwe dla środowiska, gdyż produkują gazy i smoły pogazowe, a uzysk węgla drzewnego nie przekraczał 25%. Technologia AWP jest bezodpadowa i autotermiczna.

## Biocarbon jako paliwo

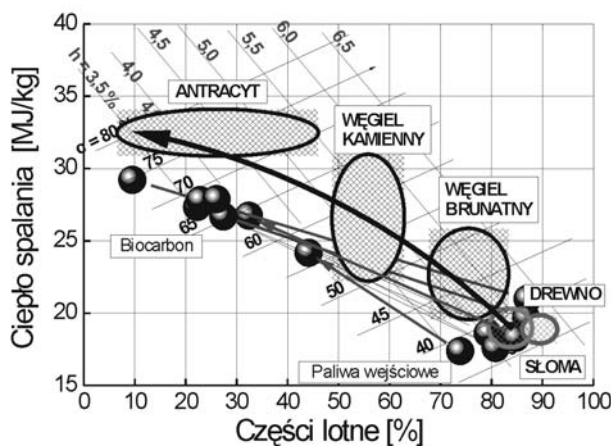
Otrzymany w procesie AWP biocarbon jest paliwem o wysokiej wartości opałowej (średnio w stanie roboczym 25–30 MJ/kg), wysokiej (>80%) zawartości pierwiastka węgla oraz znikomej wilgotności (<1%). Jego właściwości fizyczne zbliżone są do węgla. Z  $1 \text{ m}^3$  suchych odpadów drzewnych o masie 560 kg otrzymuje się 150–230 kg biocarbonu, co sta-

nowi 0,26–0,5 kg biocarbonu/kg such. odp.drewna lub 150–230 kg biocarbonu/m<sup>3</sup> such. odp. drewna lub 3,75–5 GJ/m<sup>3</sup> such. odp.drewna. Przyjmując wartość opałową drewna suchego 14 500 kJ/kg, otrzymamy na wejściu 8,12 GJ/m<sup>3</sup> such. odp.drewna, ciepło zawarte w spalinach około 0,8 GJ/m<sup>3</sup> such. odp.drewna. 1m<sup>3</sup> biocarbonu ma masę 135–220 kg oraz gęstość energii 4,5–5,5 GJ/m<sup>3</sup> biocarbonu. Zawartość np. siarki nie przekracza 0,1%, natomiast części lotnych — 25%. Produkt zawiera ponadto znacznie obniżoną zawartość szeregu innych substancji niepożądanych (np. rtęć, chlor i inne). Wygląd biocarbonu otrzymanego w pilotażowej póltechnicznej instalacji AWP na Politechnice Częstochowskiej, przedstawiono na na rysunku 1, zaś na rysunku 2 pokazano schematycznie przebieg procesu tworzenia się biocarbonu na tle różnych paliw.



Rys. 1. Biocarbon uzyskany w wyniku autotermicznej waloryzacji paliwa

Fig. 1. The biocarbon produced with the autothermal fuel upgrading process



Rys. 2. Zmiany ciepła spalania oraz zawartości substancji lotnych podczas wybranych procesów tworzenia się biocarbonu

Fig. 2. Variations of the high heating value and volatiles content for some chosen processes of biocarbon production

Technologia produkcji biocarbonu daje możliwość takiego przetwarzania różnorodnej biomasy (w tym z produkcji rolnej, np. z upraw roślin jednorocznych), która każdorazowo daje produkt możliwy do bezpośredniego spalania zarówno w kotłach fluidalnych, jak i pyłowych, czego niestety nie zapewniają inne technologie (np. brykietowania lub peletowania). Zastosowanie technologii AWP pozwala także na osiągnięcie wymiernych korzyści energetycznych i ekologicznych poprzez tworzenie na bazie urządzeń pracujących według tej technologii sieci gniazd energetycznych, przetwarzających biomasę w miejscu jej produkcji. Uzyskany biocarbon może być następnie transportowany do elektrowni lub innych użytkowników paliw, powodując obniżenie kosztów ich transportu.

## Perspektywy zastosowania biocarbonu

Uzyskany biocarbon może być wykorzystany także w bardziej zaawansowanych, wysokosprawnych, i przyszłościowych technologiach produkcji energii elektrycznej z energii biomasy. Wyselekcjonowane rodzaje odpadów drzewnych, szczególnie o niskiej zawartości popiołu, (np. wióry, trociny tartaczne oraz wierzba energetyczna) mogą stanowić surowiec do produkcji drobnomielonego biocarbonu wykorzystywanego do napędu turbin spalinowych lub silników tłokowych [3, 18, 19, 20] w skojarzonych układach produkcji energii elektrycznej i ciepła. Przewaga takiego sposobu wykorzystania energii biomasy nad gazem otrzymany w procesach zgazowania jest oczywista — odpada kosztowny i trudny technicznie, proces oczyszczania gazu z zanieczyszczeń stałych oraz smoły. Jeśli biocarbon pozyskiwany będzie z biomasy o niskiej zawartości popiołu, proces oczyszczania spalin z zanieczyszczeń stałych także nie będzie konieczny.

Jedną z wielu interesujących propozycji zastosowania biocarbonu są instalacje wyposażone w kotły z Ciśnieniowymi Paleniskami Fluidalnymi (CPF). Instalacje te wprowadzono w celu poprawy sprawności elektrowni opalanych węglem [6]. Gorące spaliny pochodzące ze spalania węgla w palenisku fluidalnym pracującym pod ciśnieniem napędzają turbinę spalinową, natomiast para wodna produkowana w tym kotle przesyłana jest do turbiny parowej. Taka kombinacja turbin gazowych i parowych daje w efekcie wysoką sprawność tego kombinowanego systemu. Projekt Tidd, pierwszy demonstracyjny układ o mocy 70 MW z kotłem CPF zrealizowany w 1995 roku w Stanach Zjednoczonych w Brilliant (Ohio), wykazał praktyczną możliwość osiągnięcia sprawności około 40%.

ABB Carbon z siedzibą w Finspong (Szwecja) od 1986 roku zrealizował pięć elektrowni z cyklami kombinowanymi opartymi o kotły CPF o mocy około 80 MW, tworząc bazę danych dla budowy systemu o mocy 350 MW. Amerykański *Department of Energy* (DOE) wspólnie z Foster Wheeler Development Corporation (FW) opracował zaawansowany system z kotłem CPF, który pozwala osiągać sprawności przetwarzania energii rzędu 45–50%.

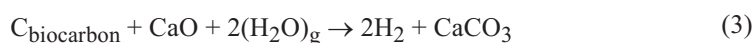
Biomasa może być współspalana z węglem w paleniskach kotłów CPF lub wykorzystywana poprzez częściowe zgazowywanie oraz przetwarzanie karbonizatu w Karbonizerze



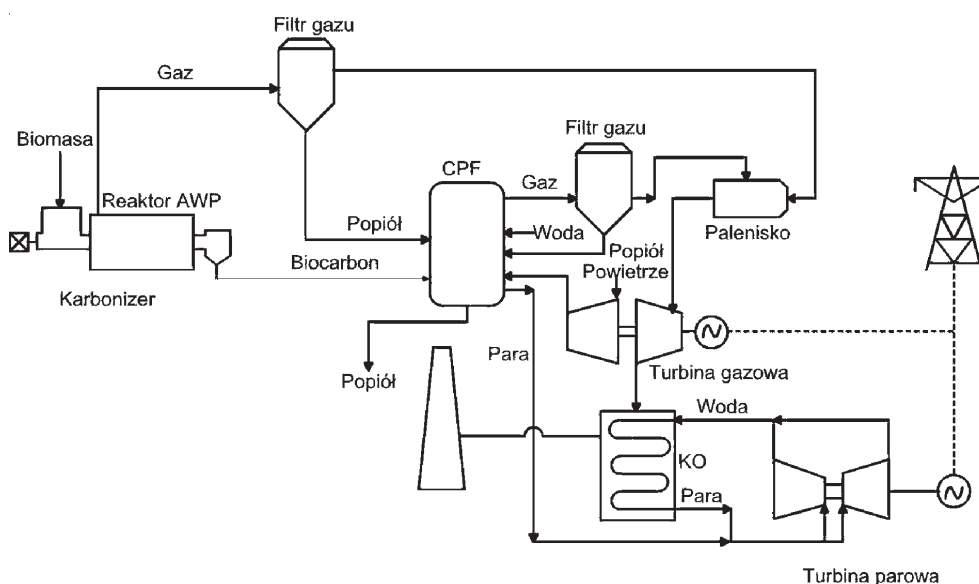
zaawansowanego systemu DOE-FW. Skala ilości przetwarzanej biomasy w takich układach jest ograniczona nie tylko dostępnością biomasy w obszarze uzasadniającym jej ekonomiczne pozyskiwanie i transport lecz także przeładunkiem, magazynowaniem oraz dozowaniem wilgotnej biomasy do kotła pracującego pod ciśnieniem.

Zastąpienie biomasy biocarbonem nie tylko uprości system przygotowania i zasilania kotła w paliwo, zmniejszy koszty i problemy logistyczne zaopatrzenia takiej elektrowni w biomasę, lecz także ograniczy koszty odsiarczania oraz zagospodarowania stałych produktów spalania oraz oczyszczania gorących gazów spalinowych, które stanowią jedną z istotnych barier rozwoju systemów kombinowanych. Schemat systemu DOE-FW zasilanego biocarbonem, przedstawiono na rysunku 3.

Szerokie spektrum możliwości energetycznego wykorzystania biocarbonu jest możliwość produkcji wodoru przy zerowej emisji CO<sub>2</sub>. Takie możliwości dają zintegrowany proces wytwarzania biocarbonu, a następnie zgazowania go przegrzaną parą wodną z absorpcją CO<sub>2</sub> za pomocą CaO według poniższej reakcji



możliwej do zrealizowania w umiarkowanych warunkach technicznych; ciśnienie 0,6 MPa, temperatura 650°C, molowy stosunek Ca/C = 2. Węglan wapnia uzyskany w procesie może być wykorzystany do odsiarczania spalin w kotle energetycznym, stanowiącym integralny element nowoczesnego systemu produkcji energii elektrycznej i paliw.



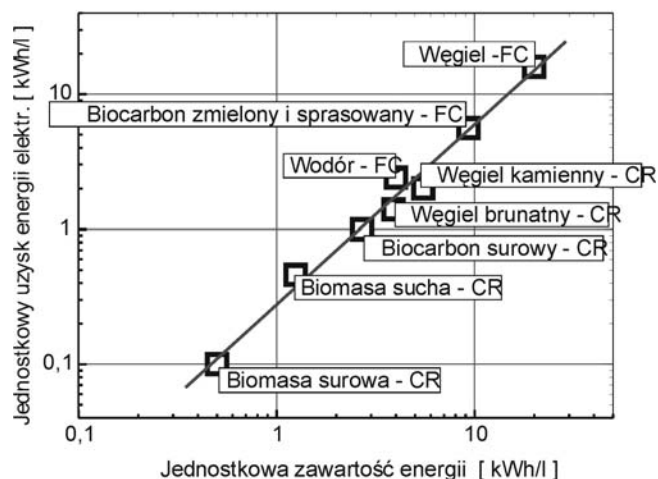
Rys. 3. Schemat zaawansowanego układu kombinowanego DOE-FW z kotłem z CPF oraz Karbonizerem

Fig. 3. Schematic of the advanced combined PFBC-Carbonizer DOE-FW system

Techniczne korzyści z zastosowania biocarbonu zamiast biomasy dla produkcji energii elektrycznej można ująć następująco:

- ✧ niska gęstość oraz wysoka zawartość wilgoci w drewnie oraz odpadach rolniczych zwiększa koszty transportu oraz ogranicza praktyczne możliwości zwiększenia udziału biomasy przy współpalaniu. Biocarbon ma gęstość energii oraz właściwości transportowe i przeładunkowe podobne do węgla i może być tanio transportowany z miejsc jego wytwarzania do elektrowni;
- ✧ całoroczna produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem biomasy wymaga składowania znacznych objętości świeżej biomasy. Składowanie jest kosztowne i często problematyczne;
- ✧ składowanie, przeładunek, przygotowanie oraz dozowanie biocarbonu do kotła może odbywać się przy wykorzystaniu tych samych instalacji jak dla węgla. Jeśli źródła alternatywnej biomasy są dostępne, biocarbon może być produkowany w ciągłym procesie, co minimalizuje problemy składowania;
- ✧ biomasa z różnych źródeł ma zróżnicowane własności fizyczne co pociąga za sobą konieczność stosowania specjalistycznego wyposażenia dla różnych procesów jej przetwarzania. Biocarbon z różnych źródeł biomasy może być produkowany w tym samym urządzeniu.

W ten sposób rola węgla jako głównego, przyszłościowego stałego nośnika energii (SEC) wydaje się niekwestionowana, co potwierdza zestawienie widoczne na rysunku 4, pokazujące zależność potencjalnego uzysku energii elektrycznej z 1 litra paliwa z uwzględnieniem sprawności procesu jej wytwarzania.



Rys. 4. Zależność uzysku energii elektrycznej z różnych paliw z uwzględnieniem sprawności procesów przetwarzania; FC — ogniwo paliwowe, CR — parowy obieg Clausius'a-Rankine'a

Fig. 4. Electric energy yield from various fuels (process efficiency included)  
FC — fuel cell, CR — classical Rankine cycle

## Literatura

- [1] ACRES G.J.K., 2001 — Recent Advances in Fuel Cell Technology and its Applications. *Journal of Power Sources* 100, 60.
- [2] BIS Z., 2003 — Polska energetyka przed nowymi wyzwaniami ekologicznymi. Materiały Konferencji „Proekologiczne osiągnięcia w nauce i technice”. Toruń.
- [3] BIS Z., NOWAK W., 2004 — Autotermiczna waloryzacja biomasy i odpadów dla współspalania w kotłach energetycznych. Materiały Konferencji „Współspalanie biomasy i paliw odpadowych w kotłach energetycznych”. Zakopane.
- [4] BIS Z., KOBYLECKI R., NOWAK W., 2005 — Paliwo z biomasy i paliw alternatywnych, *Czysta Energia*, 3, (41), 23.
- [5] CARAPELUCCI R., 2002 — Power Generation Using Dedicated Woody Crops: Thermodynamic and Economics of Integrated Plants. *Renewable Energy* 27, 143.
- [6] CHMIELNIAK T.J., 2004 — Technologie energetyczne. Gliwice, WPŚ.
- [7] HOOGWIK M., FAAIJA A., Van Den Broek R., Berndes G., Gielen D., Turkenburg W., 2003 — Exploration of the Ranges of the Global Potential of Biomass for Energy. *Biomass & Bioenergy* 25,119.
- [8] HUGHES E., 2000 — Biomass Cofiring: Economics, Policy and Opportunities. *Biomass & Bioenergy*, 19,457.
- [9] TYMOWSKI H., 2003 — W PKE bezinwestycyjnie możemy spalać do 5% biomasy. *Czysta Energia*, sierpień.8
- [10] TYMOWSKI H., 2005 — 24 MWe „zielonej energii” z PKE. *Czysta Energia*, 3, (41),8.
- [11] JAWORSKI W., 2003–2004 — Materiały Ministerstwa Ochrony Środowiska,.
- [12] KATKANENI S., YUH C., ABENS S., FAROOQUE M., 2002 — The Direct Carbonate Fuel Cell Technology: Advances in Multi-Fuel Processing and Internal Reforming. *Catalysis Today* 77, 99.
- [13] KOBYLECKI R., BIS Z., 2003 — Aspekty współspalania paliw alternatywnych z węglem w kotłach fluidalnych — szansa czy zagrożenie? *Gospodarka Paliwami i Energią* 2, 2.
- [14] KRUCZEK H., MILLER R., TATAREK A., 2003 — Spalanie i współspalanie biomasy — korzyści i zagrożenia. *Gospodarka Paliwami i Energią* 3, 13.
- [15] LOBACHYOV K.V., RICHTER H.J., 1997 — High Efficiency Coal-Fired Power Plant of the Future. *Energy Convers. Mgmt.* 38, 15–17, 1693
- [16] POSKROBKO S., ŁACH J., 2003 — Efektywność pracy kotła rusztowego opalanego biomasą. Materiały konferencji Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej. Warszawa, z. 23, 289
- [17] SOUNG C., 2002 — Fuel Processing for Low-Temperature and High — Temperature Fuel Cells. Challenges, and Opportunities for Sustainable Development in the 21<sup>st</sup> Century. *Catalysis Today*, 77, 17.
- [18] Zgłoszenie do UP RP P363789, 2003 — Sposób i urządzenie do autotermicznej waloryzacji paliw odpadowych i biomasy, zwłaszcza do czystej produkcji energii elektrycznej i ciepła.
- [19] Zgłoszenie do UP RP P364889, 2004 — Sposób produkcji energii elektrycznej i ciepła z paliw, paliw odpadowych oraz biomasy.
- [20] Opracowanie wewnętrzne PKE, grudzień 2004 — Wykorzystanie biomasy do produkcji energii elektrycznej w PKE.

Zbigniew BIS

## Perspectives to produce and use carbon from biomass

### Abstract

Based on the perspectives to use coal as a fuel for heat and power production and taking into considerations the 'dirty issues' associated with conventional technologies of the production of power from coal, it has been shown that sustainable development strategy can be realized based on the energy conversion from biomass fuels. Results of the initial biomass and coal cocombustion tests, conducted in PC and FBC boilers have led to the conclusion that those actions are rather expensive, mainly due to cost of the biomass fuel and increase of the outlet loss, as well as the need to invest additional financial means for separate biomass feeding systems. High cost of the biomass energy requires biomass upgrading in order to minimize the outlet loss and unify the chemical and physical properties of the fuel. Those goals can be achieved with the use of the technology of autothermal fuel upgrading (AWP) described in this paper. The biocarbon produced with the AWP technology may be widely used, e.g. for zero-emission production of hydrogen, or as a fuel for combined cycles or direct carbon fuel cells (DCFC). The DCFC creates a real opportunity to convert the energy from biomass with high efficiency (roughly 70%) and zero-emission.

KEY WORDS: biocarbon, fuel cells, autothermal upgrading of fuels