



W jej cieniu wraca, nieśmiało podsycana epizodami smogowymi z Zakopanego czy też propozycją zakazu wjazdu do centrów miast starych, kopających samochodów, dyskusja nad koniecznością i sposobami ograniczenia tzw. niskiej emisji, oraz jej szkodliwym wpływem na zdrowie człowieka (na szczęście zima w tym roku była łaskawa i niska emisja okazała się mniej dotkliwa). Do tego wszystkiego należy dołączyć „mocne uderzenie” ze strony górników, którzy strajkując po raz kolejny, uzmysłowili nam wszystkim, że Polska węglem stoi.

nych, naszego społeczeństwa. W przeciwnym przypadku narzuci nam to wszystko Unia Europejska.

Strefy bez dymu SCA i paliwa SF

W wielu krajach, np. w Wielkiej Brytanii, wiele regionów, obszarów i stref objęto prawną regulacją, zabraniającą emitowania dymu z kominów, chyba że spalane jest autoryzowane paliwo (w szczególności tzw.

samochodów, szczególnie transportowych). Mimo że paliwa bezdymne nie emitują cząstek stałych podczas spalania, to należy pamiętać, że substancje gazowe (w tym trujące, np. CO) mogą powstawać jako uboczne produkty spalania. Wśród paliw stałych, za wzorzec paliwa bezdymnego przyjmowany jest antracyt, lecz należy pamiętać, że w konsekwencji jego spalania dochodzi do emisji podstawowego gazu szklarniowego – CO₂.

To, że paliwo bezdymne nie emituje cząstek stałych, wynika z jego fizycznej i chemicznej kompozycji. Przykładowo antracyt odróżnia się od innych węgla niską zawartością zanieczyszczeń i wysoką zawartością pierwiastka C, dochodzącą do 98%. Kolejnym wyróżnikiem jest fakt, że paliwo to nie emituje smolistych par w temperaturach niższych od temperatury zapłonu paliwa.

Skład paliw stałych

Emisja tzw. smolistych par w temperaturach niższych od temperatury zapłonu paliwa zależy więc od składu paliwa. Poza antracytem w każdym paliwie można wydzielić cztery składniki: wilgoć (*M – Moisture*), lotne części palne (*VM – Volatile Matter*), stałe części palne (*FC – Fixed Carbon*) oraz popiół (*A – Ash*). Lotne części palne *VM* tworzą się w efekcie termicznego rozkładu (ogrzewania paliwa) i zawierają całą gamę składników, w tym węglowodorów oraz heterozwiązków tlenu, azotu i siarki. Związki te ulegają spalaniu w otoczeniu ziaren paliwa lub nad jego warstwą spoczywającą na ruszycie, zatem można nazwać je paliwem gazowym. Węglem bardziej uwęglone (geologicznie starsze) zawierają więcej węglowodorów wysoko zaromatyzowanych (cechujących się wyższą temperaturą zapłonu) o wyższej wartości ciepła spalania i dłuższym czasie spalania. Z kolei części lotne węgla młodych (niżej uwęglonych), a także biomasy, zawierają więcej związków alifatycznych, alkiloaromatycznych o niższej temperaturze zapłonu. W wyniku tego proces spalania takich paliw przebiega intensywniej, ale i krócej. Stałe części palne *FC* to głównie pierwiastek C. Wilgoć *M* to woda fizycznie i chemicznie związana z paliwem, a popiół *A* to różnego rodzaju stałe substancje mineralne lub zanieczyszczenia (np. piasek, skala płonna, sole metali i niemetalu, metale ciężkie itp.). *M* i *A* łącznie stanowią balast, który nie bierze udziału w procesie spalania, lecz poddając się chemicznemu i cieplnemu oddziaływaniu procesu, utrudnia dostęp tlenu do powierzchni reakcji. Balast pochłania także ciepło wydzielane w trakcie spalania, a jeśli temperatura procesu jest dostatecznie wysoka, niektóre z substancji balastu mogą topić się i reagować ze sobą. Z takiego punktu widzenia paliwa stałe (w tym biomase)

Biowęgiel

– paliwo niskoemisyjne

Ostatnio przez kraj przetacza się kolejna fala dyskusji o odnawialnych źródłach energii (OZE), która rozgorzała w okresie finalnych prac i ostatecznego uchwalenia długo oczekiwanej ustawy o OZE.

Dla każdego oczywiste jest to, że te wymienione zagadnienia są ze sobą powiązane w wielu aspektach. Ich wspólnym mianownikiem niewątpliwie może być produkcja energii.

Na tym tle, zamysłem autora jest odniesienie się do co najmniej dwóch aspektów – ograniczenia emisji CO₂ oraz innych substancji toksycznych przy stosowaniu paliw stałych, zarówno różnych rodzajów biomasy, jak i węgla. Redukcja emisji CO₂ to głównie obowiązek wynikający z realizacji konsekwentnej polityki UE w zakresie ochrony klimatu. Natomiast pilna potrzeba ograniczenia emisji zanieczyszczeń emitowanych z kominów urządzeń, w których zachodzą procesy spalania tych paliw, to kwestia związana ze zdrowiem mieszkańców w bezpośrednim sąsiedztwie tych najbardziej „dymiących”. Wiele krajów europejskich ma już za sobą trud rozwiązywania tego problemu przez odpowiednie regulacje prawne i technologie. Nie ma potrzeby poszukiwania nowych rozwiązań w tym zakresie. Trzeba umiejętnie skorzystać z tych, które sprawdziły się gdzieś indziej, szczególnie w krajach, których energetyka komunalna tradycyjnie oparta była na paliwach stałych (np. w Wielkiej Brytanii i Niemczech). Trzeba zapoznać się ze stosowanymi tam definicjami takich pojęć jak: Smoke Control Areas SCA czy też Smokeless Fuels SF i odpowiednio dostosować je do warunków, szczególnie ekonomicz-

smokeless fuels) albo używane są dozwolone odpowiednimi przepisami urządzenia do spalania (palniki, kotły lub piece). Autoryzowane paliwa (w tym *smokeless fuels*) to głównie: antracyt i semiantracyt, koks i półkoks, węgiel drzewny (*charcoal*), gaz, węgle chude, oraz urotropina (paliwo turystyczne).

Nieautoryzowane paliwa, do których zaliczane jest także drewno, mogą być spalane w odpowiednio do tego przystosowanych urządzeniach, w tzw. exempt appliances.

Powszechnie za paliwa bezdymne (*smokeless fuels*) uważa się te substancje palne, które spalają się bez widocznego dymu. Dym (wg Wikipedii) to układ koloidalny, w którym ośrodkiem rozpraszającym jest gaz, a cząstki koloidalne są cząstkami stałymi. Odnosząc tę definicję do procesów spalania paliw, dymem będzie zawiesina bardzo drobnych cząstek stałych w spalinach. Dym, obok mgły, jest jedną z postaci gazozolu, w tym najczęściej występującej jego odmiany – aerozolu. Na terenach zurbanizowanych wraz z mgłą może tworzyć się smog. Dym kojarzony jest głównie ze spalaniem paliw stałych, ponieważ paliwa gazowe nie zawierają substancji zdolnych do jego tworzenia, podobnie jak paliwa płynne, lecz w przypadku tych ostatnich zdarza się, że nieodpowiednia organizacja ich spalania może prowadzić do powstawania sadzy (np. czarny dym wydobywający się z rur wydechowych



możemy traktować jako heterogeniczną mieszaninę paliw gazowych oraz węgla z większą lub mniejszą domieszką zanieczyszczeń. Należy zaznaczyć, że ta heterogeniczność mieszaniny objawia się dopiero wtedy, gdy takie paliwa zaczniemy ogrzewać (proces pirolizy w komorze spalania kotła).

Oprócz wymienionych składników paliwa, ważną rolę odgrywają też siarka i chlor. Obecność siarki w spalonym paliwie ma niekorzystny wpływ na środowisko naturalne oraz na elementy konstrukcyjne kotłów. W wyniku utleniania siarki zawartej w paliwie powstaje ditlenek siarki SO_2 . Ilość powstającego SO_2 jest wprost proporcjonalna do zawartości siarki w paliwie, oczywiście przy zbliżonej zawartości popiołu i jego składzie, zwłaszcza jeżeli chodzi o udział Ca i Mg (składniki te powodują związanie części siarki w popiele). Obecność tego produktu spalania nie jest groźna dla materiału kotła do momentu, gdy nie wejdzie on w reakcję z parą wodną, tworząc kwasy siarkowy i siarkawy. Kwasy te mają silne właściwości korozyjne w stosunku do stalowych elementów konstrukcyjnych. Kwasy powstaną wówczas, gdy temperatura spalin obniży się poniżej temperatury kwasowego punktu rosy. Generalnie następuje to na końcowych elementach powierzchni ogrzewalnej kotła na drodze spalin kocioł – instalacja oczyszczania spalin – komin. Należy jednak zauważyć, że przy dużej zawartości siarki może występować zjawisko korozji systemu transportującego paliwo. Mając na uwadze aktualne oraz planowane do wdrożenia dopuszczalne uregulowania prawne, należy liczyć się z perspektywą drastycznego ograniczenia dopuszczalnego poziomu emisji siarki. Chlor jest ważnym pierwiastkiem także z punktu widzenia bezpieczeństwa technicznego instalacji oraz ochrony środowiska. Jego źródłem są przede wszystkim składniki substancji mineralnej paliwa. Jest on szczególnie korozyjny względem stali w wysokiej temperaturze.

Powoduje tzw. aktywne utlenianie metalu, niszczące ochronną warstwę tlenków, występujących w kotłach pyłowych. Jest też składnikiem powstających depozytów w trakcie spalania paliwa o dużej zawartości związków metali alkalicznych, zwłaszcza potasu, niszczących powierzchnie wymiany ciepła w instalacjach spalania. Natomiast jeżeli obok chloru w paliwie znajduje się duża ilość metali alkalicznych, zwłaszcza potasu, istnieje zagrożenie tworzenia się depozytów/osadów na powierzchni wymiany ciepła oraz zużłowania (zlepiania się, szlakowania) warstwy spalanego paliwa. Należy także podkreślić, że obecność chloru w paliwie stałym spalany w warunkach niedostatecznej temperatury spalania części lotnych i odpowiednio długiego czasu przebywania mieszanki reakcyjnej w strefie utleniania przyczyni się do powstawania dioksyn (PCDD/Fs).

Przy tej samej wartości opalowej paliwa większy udział VM to mniejszy udział FC, co przyczynia się do skrócenia czasu spalania. Wówczas też zapłon paliwa następuje szybciej, a długi płomień powoduje wzrost natężenia wymiany ciepła drogą promieniowania. Cecha ta jest bardzo ważna w przypadku, gdy chcemy uzyskiwać maksymalne obciążenia cieplne objętości komory paleniskowej, np. w kotłach energetycznych. Natomiast w przypadku małych kotłów, w tym centralnego ogrzewania, powoduje to, że paliwa te są mało przydatne. Zbyt niska zawartość części lotnych prowadzi do wydłużenia procesu spalania, który w dużej mierze musi przebiegać w oparciu o powolne reakcje FC z tlenem. Zbyt niska zawartość części lotnych może prowadzić do wzrostu strat niecałkowitego spalania (niespalony węgiel w popiele). Stosowanie paliwa o zbyt wysokiej zawartości części lotnych, wyższej niż wymagane przez zastosowane rozwiązanie technologiczne instalacji, powodować będzie wzrost straty wylotowej oraz tworzenie się bardzo wielu substancji szkodliwych,

w tym cząstek stałych (PM_{1-10} , sadzy, aerozoli itp.). Cząstki te, jak już wspomniano, tworzą dym. Biorąc pod uwagę to wszystko, zrozumiałe jest, dlaczego skład paliw autoryzowanych i bezdymnych ograniczono do tak wąskiej grupy paliw i nie ma w nich węgla energetycznych (płomiennych), a szczególnie biomasy.

Biowęgiel definicje

Biowęgiel (ang. *Biochar*; *Biocoal*), wg Wikipedii, nazywany także karbonizatem, biokarbonem, agrikarbonem, tofykatem – to substancja o właściwościach zbliżonych do węgla drzewnego, uzyskiwana w procesie pirolizy/zgazowania/termolizy z roślin energetycznych, odpadów leśnych, biomasy rolniczej, odpadów z przetwórstwa rolnospożywczego. Produkt ten może być wykorzystywany jako paliwo odnawialne, w rolnictwie w celu poprawy właściwości gleby oraz w ochronie środowiska do usuwania zanieczyszczeń z roztworów wodnych, gazów procesowych oraz remediacji gleb z zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych, a także zwiększania właściwości sorpcyjnych gleby w celu ochrony wód podziemnych i zatrzymania składników biogenicznych^{1,2}.

Podczas procesu pirolizy/zgazowania oprócz biowęgla/karbonizatu uzyskuje się gazy o dużej wartości energetycznej, które mogą być wykorzystane do produkcji paliw płynnych (synteza chemiczna), bezpośrednio spalane w kotłach, a po oczyszczeniu – w silnikach wewnętrznego spalania. W procesie termolizy pozyskiwane są biowęgiel oraz gorące gazy spalinowe, powstające w efekcie spalania gazów wylewnych w celu utrzymania procesu w temperaturze 200-300°C. Dlatego też proces termolizy biomasy jest autotermiczny, natomiast realizacja procesu pirolizy wymaga dostarczenia ciepła z zewnątrz. W związku z tym termoliza jest znacznie tańsza i technicznie łatwiejsza do przeprowadzenia. Biowęgiel w żadnym razie nie stanowi mieszaniny biomasy i węgla. Produkt, chociaż zbliżony do węgla drzewnego, różni się od niego, gdyż do powstania tego pierwszego dochodzi, gdy temperatura, w której przeprowadza się pirolizę, przekroczy 350°C.

Podsumowując, uwęglanie to swego rodzaju wysokotemperaturowy proces suszenia biomasy, spełniający dwie, a może nawet trzy istotne funkcje: usuwanie wilgoci, a wraz z nią części lotnych substancji (szczególnie o niskiej masie cząsteczkowej), zwiększenie udziału cząstek węglowodorowych, co nadaje produktowi właściwości hydrofobowe, oraz „oczyszczanie” biomasy odpadowej, w większym lub mniejszym stopniu zanieczyszczonej szkodliwymi substancjami chemicznymi (Hg, Cl, S itp.). Wszystko



Fot. 1. Wpływ dodatku biowęgla na wzrost kukurydzy. Badania KIE PCZ



to powoduje wzrost odporności na działanie mikroobów oraz zwiększenie kruchości produktu (ułatwione rozdrabnianie).

Spalanie paliw stałych

Bezpośrednie spalanie paliw stałych, w tym węgla, biomasy oraz otrzymanego z niej biowęgla, można traktować jako technologie dojrzałe. Spalanie węgla lub mieszanin węgla i biomasy w trakcie prowadzonego do niedawna na szeroką skalę współspalania zapewniało jedynie efekt ekonomiczny spowodowany dopłatami. Poza tym stwierdzono obniżenie sprawności kotła oraz problemy z tworzeniem się trudno usuwalnych osadów na powierzchniach ogrzewalnych kotłów. Potwierdziły to liczne badania nad współspalaniem węgla i biomasy w dużych kotłach energetycznych, wykonane przez zespół Katedry Inżynierii Energii Politechniki Częstochowskiej (KIE PCz)^{3,4,17}. Ustalono m.in., że podczas trwania tego procesu w kotle musi być spalana dodatkowa ilość węgla (większa od tej, która wynika z udziału ciepłego strumienia biomasy w strumieniu paliwa zasilającym kocioł) w celu wygenerowania ciepła potrzebnego do odparowania wody zawartej w biomase oraz pokrycia strat związanych z wyższą temperaturą spalin opuszczających komorę spalania, spowodowaną m.in. zwiększonym zanieczyszczeniem powierzchni ogrzewalnych. Obniża się tym samym sprawność kotła, a w związku z tym warto zapytać o faktycznie unikniętą emisję CO₂. Czy rzeczywiście można ją rozliczać tylko wg ilości spalanej biomasy? A co z emisją CO₂ ze spalania paliwa w pojazdach transportujących wraz z biomasą wodę do elektrowni?

Problematyka tworzenia się osadów w kotłach spalających paliwa stałe jest znana. Wiele badań odpowiedzialnością za ich powstawanie obarcza tworzenie się i emisję drobnych (koloidalnych), nieorganicznych cząsteczek (PM – *Particulate Matter*). Ultra-drobne PM inicjują gromadzenie się osadów i korozję elementów powierzchni wymiany ciepła w kotle. Emisja PM wpływa także znacząco na pogorszenie stanu zdrowia ludzi oraz środowiska. Unoszą one z paleniska szereg pierwiastków i substancji agresywnych chemicznie, w tym także kancerogeny (np. WWA).

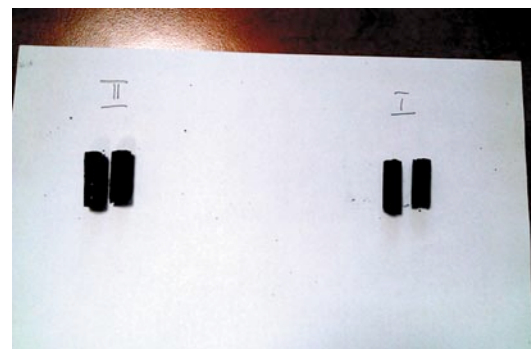
Substancje tego rodzaju nie tylko wchodzią a skład PM, lecz także znakomicie są absorbowane na ich mocno rozwiniętej powierzchni, szczególnie gdy w spalinach znajdują się cząsteczki pary wodnej, alkalia oraz substancje smoliste „wynoszone” z paliwa (szczególnie z surowej biomasy) w trakcie procesu jego suszenia (wspomniane smoliste pary). Nie tylko w w/w powodów bezpośrednie spalanie surowej biomasy

nie jest więc zalecane – należy uwzględnić także jej małą gęstość oraz niską wartość opałową, zdegradowana m.in. wysoką zawartością wilgoci. Uzysk biowęgla, w zależności od rodzaju biomasy i warunków prowadzenia procesu, to 27-37%. Większość związków alkalicznych (głównie Na, K, Mg, Ca, P) pozostaje w biowęglu w 70-100%². Szczególnie cenna z punktu widzenia późniejszego wykorzystania biowęgla jako polepszacza gleby jest pozostałość 100% fosforu – pierwiastka życia. Równie cenna, tym razem z punktu widzenia wykorzystania biowęgla jako paliwa, jest tylko 2-20% pozostałość chloru oraz znacząca redukcja emisji PM₁ podczas spalania biowęgla (a także zawartości w tych cząstkach Na, K i Cl) z dominującym udziałem PM_{0,1}, jako efektu usunięcia części lotnych oraz chloru z surowej biomasy. Wyniki te potwierdzają wcześniejsze tezy, że spalanie części lotnych (zawierających nieorganiczne składniki), które jest dominującym procesem podczas spalania biomasy, to główny winowajca emisji PM₁.

Propozycje naukowców – uwęglanie

Mając powyższe na uwadze, w KIE Pz już dawno postulowano wprowadzenie innej strategii spalania/współspalania biomasy, proponując jej uwęglanie^{2,8,10-13}. Pierwszy patent dotyczący urządzenia do ciągłego uwęglania trocin i innych rozdrobnionych odpadów przemysłu drzewnego powstał w 1990 r.⁵. Od tego czasu technologia ta była stale rozwijana, pojawiły się kolejne patenty⁹ i jednocześnie na świecie i w Polsce wzrosło zainteresowanie biomasą do produkcji energii. Ale niestety głównie w ramach współspalania, z którego powoli Polska ma się wycofywać, a przynajmniej ograniczać jego stosowanie.

Pierwszą polską firmą prywatną, która zainteresowała się wdrożeniem technologii uwęglania w tamtym czasie była Filud Kooperacja z Sędziszowa. Obecnie przedsiębiorstwo to nazywa się FLUID S.A i za kilka miesięcy uruchomi pionierski zakład produkujący biowęgiel na dużą skalę 16 000 ton rocznie). Po 2000 r. doświadczenia z rozwoju produkcji zielonej energii z biomasy doprowadziły do powstania technologii torfikacji, będącej swoistą odmianą procesu uwęglania. Oba procesy bazują na prażeniu, a różnią się jedynie wartościami temperatur, w których są prowadzone. Reaktor wdrażany w zakładach firmy FLUD zapewnia łatwość regulacji warunków termicznych, aby możliwa była płynna zmiana stopnia uwęglania (od torfikacji do głębokiego uwęglania). Od 2005 r. do prac nad rozwojem technologii uwęglania biomasy włączył Południowy



Fot. 2. Widok peletów biowęglowo-węglowych

Koncern Energetyczny (obecnie Tauron), wnosząc istotny wkład w opracowanie ekonomicznej opłacalności stosowania biowęgla. Niestety, mimo pozytywnych rezultatów tej współpracy, dalsze działania zostały zahamowane z powodu nieuznania przez Urząd Regulacji Energetyki biowęgla za paliwo odnawialne, co jest oczywistym absurdem, także na tle rozwiązań legislacyjnych na świecie.

W KIE PCz nieustannie pracuje się nad poszerzeniem wiedzy na temat biowęgla. Ostatnio ukazała się monografia² podsumowująca te wysiłki. Aktualnie uwagę skupiono na trzech zagadnieniach, którymi są:

- zastosowanie biowęgla do zasilania węglowych ogniw paliwowych (WOP)^{6,7}
- wykorzystanie biowęgla jako polepszacza gleby oraz czynnika do sekwestracji CO₂^{8,16}.
- opracowanie technologii produkcji niskoemisyjnych paliw biokomponentowych na bazie biowęgla, węgla oraz dodatków (sorbenty plus lepiszcze).

WOP jest perspektywiczną technologią wysokosprawnego wytwarzania prądu elektrycznego z węgla z pominięciem procesu jego spalania (a tym samym towarzyszącej mu emisji zanieczyszczeń). Niska zawartość popiołu oraz rozwinięta powierzchnia biowęgla sprzyja utrzymaniu dużej szybkości reakcji elektrochemicznych^{1,6,7}.

Na świecie coraz częściej mówi się o zmianie idei z *cut to burn* na *cut and char*, co w wolnym tłumaczeniu oznacza: „zamiast ścinać by spalić, ścinaj i uwęglaj”. Otóż ścinając oraz spalając biomasę, zarówno leśną, jak i agro, pozbawiamy ziemię pierwiastka węgla, który przedostawał się do niej z resztek biomasy uprawowej, obornika oraz z próchnięjących (nie gnijących) resztek drzew i gałęzi w lesie.

Jeśli zawartość węgla w glebie spadnie poniżej 26 Mg C/ha, ziemia staje się jałowa i wymaga rekultywacji. Jeśli rozdrobniony biowęgiel, „nasycony” uprzednio odpowiednimi nawozami sztucznymi, zdeponujemy w ziemi, to stanie się ona nie tylko niezwykle urodzajną, łatwo zatrzymującą wodę glebą (fot. 1) (czarnoziem), lecz także osiągnie się prostą i tanią, ekologiczną i trwałą sekwe-



stracę CO₂, w przeciwieństwie do generującej dodatkową emisję CO₂ i koszty sekwestracji w głębokich pokładach geologicznych o nieprzewidywalnych dla przyszłych pokoleń skutkach.

Atomy węgla w molekułach biowęgla są silnie ze sobą powiązane, co czyni je odpornymi na atak mikroorganizmów i dekompozycję (mineralizację), będącą jego następstwem. Natomiast węgiel zawarty w większości substancji organicznych (np. próchnicy) bardzo szybko (w okresie 1-5 lat) ulega mineralizacji w glebie, powodującej powrót tego pierwiastka z powrotem do atmosfery jako CO₂. Zatem biowęgiel cechuje się dużym potencjałem stabilizacji i magazynowania pierwiastka węgla w glebie, co jest doskonałym i tanim sposobem nie tylko na usuwanie CO₂ z powietrza, lecz także na trwałą jego sekwestrację poza atmosferą. Ostatnie badania radiologiczne potwierdzają, że biowęgiel pochodzący z pożarów lasów sprzed 10 000 lat nadal znajduje się w ziemi^{1,14,15}. Analizy prowadzone na australijskiej sawannie wykazały, że średni czas pozostawania biowęgla w glebie mieści się w granicach 1000-2000 lat¹. Adekwatny do czasu połowicznego rozpadu pierwiastków radioaktywnych czas rozkładu biowęgla ze spalania lasów w zachodniej Kanadzie szacowany jest na ponad 6000 lat^{1,14}. Znacznie krótszy, liczony w setkach lat, okres połowicznego rozkładu biowęgla pochodzącego z samowypalania się traw zaobserwowano na rosyjskich stepach i sawannach Zimbabwe^{1,14,15}. Skróce-

co udowodniła firma FLUID. Dzięki temu jednocześnie niweluje się skutki kryzysu klimatycznego, energetycznego, żywnościowego i wodnego. Technologia produkcji biowęgla może też być bazą do tworzenia sieci prosumenckich rejonów agroenergetycznych (PRA). W zależności od rozmiarów reaktorów do termolizy, taki typ biomasy może być z powodzeniem wykorzystany do alternatywnej produkcji ciepła i energii elektrycznej na potrzeby rodzinnych gospodarstw, komercyjnych i przemysłowych zakładów oraz lokalnych społeczności. W sieci PRA mogą być z powodzeniem wykorzystywane odpady rolnicze – przeważnie bezwartościowe, lecz kosztowne w utylizacji (koniecznej z powodu zanieczyszczenia środowiska gazami gnilnymi – w tym metanem, gazem o ponad 90-krotnie większym potencjale cieplarnianym niż CO₂) substancje odpadowe z produkcji rolnej, które mogą być wartościowym surowcem do produkcji biowęgla.

Przetwarzanie biomasy z ujemną emisją CO₂

Podczas przetwarzania biomasy w reaktorze firmy FLUID powstaje nie tylko wartościowy bioprodukt – biowęgiel, lecz także gazy palne (metan, tlenek węgla itp.) oraz biooleje. Jednoczesne spalanie tych trzech składników podczas bezpośredniego spalania biomasy w komorze paleniskowej

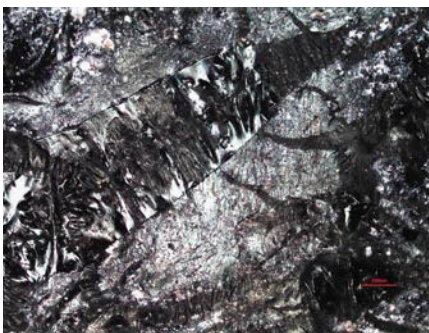
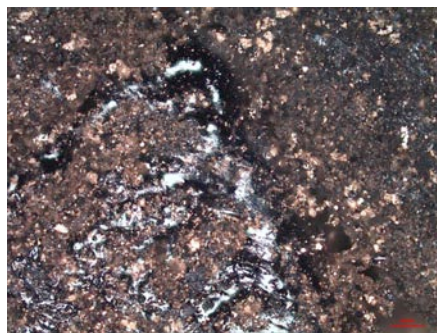
emisję gazów cieplarnianych innych niż CO₂ do minimum. Ciepło wytworzone w efekcie spalania tych paliw wykorzystywane jest do podsuszania biomasy oraz utrzymania stabilnych warunków termolizy, natomiast nadwyżka entalpii spalin wykorzystywana jest do produkcji elektryczności i ciepła/chłodu. W najbliższym czasie przewiduje się wdrożenie instalacji do wychwytywania CO₂ ze spalin z wykorzystaniem ogólnodostępnej wody. Tak pozyskany CO₂ w połączeniu z wodą amoniakalną stanowi wartościowy nawóz azotowy, trwale deponowany w porowatym biowęgłu. W ten sposób instalacja firmy FLUID będzie produkowała biowęgiel oraz odnawialną energię elektryczną i ciepło z zachowaniem warunków niskiej emisji zanieczyszczeń oraz ujemnej emisji CO₂, której certyfikaty mogą być sprzedawane na rynku handlu emisjami.

Według szacunków KIE PCz¹⁸, łączna sekwestracja (a właściwie biosekwestracja) CO₂, obejmująca produkcję odnawialnej energii elektrycznej (bez ciepła produkowanego w skojarzeniu), produkcji nawozów z wykorzystaniem wychwyconego CO₂ ze spalin reaktora termolizy, wyeliminowania stosowania wapna palonego itd., może wynieść co najmniej 315 Mg CO₂ na każdy 1 ha ziemi, w której zdeponujemy biowęgiel. Ocena ilości składowanego biowęgla jest łatwa, a cena certyfikatu unikniętej emisji CO₂ to dodatkowy zysk dla PRA. Czy sekwestracja CO₂ przy użyciu biowęgla doczeka się stosownych zapisów legislacyjnych? Na świecie wszystko wskazuje, że już niedługo, gdyż międzynarodowe organizacje z całego świata (niestety, z wyjątkiem Polski) skupione w IBI (International Biochar Initiative) pod egidą ONZ bardzo intensywnie nad tym pracują.

Produkcja paliw biokompozytowych

Na zakończenie warto poruszyć jakże ważny dla czystości najbliższego nam środowiska problem ograniczenia, a najlepiej wyeliminowania tzw. niskiej emisji, czyli emisji pochodzącej ze spalania taniego węgla, często niskiej jakości, w paleniskach pieców centralnego ogrzewania w domkach jednorodzinnych oraz gospodarstwach wiejskich.

Jak już wspomniano, biowęgiel produkowany z biomasy znacznie poprawi jej status jako paliwa niskoemisyjnego. Po pierwsze, FR dla tego paliwa z wyjściowej wartości 0,2-0,7 (typowej dla surowej biomasy) wzrośnie do co najmniej 2-3 (zbliżonej do węgla). Biomasa, szczególnie agrobiomasa, poddawana procesowi autotermicznej (bez potrzeby spalania węgla kamiennego) waloryzacji w instalacji firmy FLUID, znacząco przesu-



Fot. 3. Zdjęcia mikroskopowe przełomów brykietu niskoemisyjnego paliwa biokompozytowego wytworzonego w oparciu o proponowaną technologię. Badania KIE PCz

nie czasu przebywania biowęgla w tych ostatnich regionach następuje raczej w wyniku intensywnej erozji gleby niż wskutek przyspieszonej mineralizacji. Z punktu widzenia trwałej sekwestracji przyjmuje się, że wystarczającym okresem czasu byłoby 1000 lat.

Biowęgiel w produkcji energii

Biowęgiel ma też inną zaletę – podczas jego produkowania można dodatkowo wytwarzać energię elektryczną i ciepło,

kotła, oprócz „zerowej” emisji CO₂ (powstaje tyle CO₂, ile rośliny zaabsorbowały, by wzrosnąć), ze względu na zróżnicowane wymagania fizykochemiczne, generuje znaczne ilości gazów o wiele silniej wpływających na efekt cieplarniany niż CO₂ (N₂O, niespalone węglowodory itp.). Większość prekursorów emisji tych gazów podczas termolizy jest zatrzymywanych w biowęgłu i rozpada się wskutek działania temperatury do elementarnych substancji². W reaktorze firmy FLUID w warunkach silnego zawirowania gazy palne i biooleje są bardzo intensywnie i wielostopniowo spalane, co ogranicza



nie się na osi wskaźnika *FR*, przechodząc ze zbioru paliw trudnych do zbioru paliw standardowych. Podczas tej długiej drogi wartość *FR* wzrasta o rząd wielkości, a czas, w którym ta zmiana następuje, jest krótki i wynosi od 2 do 4 minut. Po drugie, wydatnie zwiększa się potencjał redukcji emisji CO₂ takiego paliwa z ok. 80 kg CO₂/GJ dla suchej biomasy do ponad 95 kg CO₂/GJ dla biowęgla, co wykazał Instytut Freseniusa (Berlin, Niemcy), a jeszcze bardziej wzrasta gęstość energii – z 10,5 GJ/m³ do 15,5 GJ/m³, co ma duże znaczenie w transporcie.

Opisane właściwości biowęgla oraz potwierdzone cechy procesu termolizy skłoniły pracowników KIE PCz do opracowania

za najczystsza i najbardziej efektywną energetycznie formę spalania paliw.

Konkluzja

Zawarte w niniejszym artykule rozważania oraz informacje, zdaniem autora, powinny przyczynić się do lepszego zrozumienia przez uczestników rynku energii, a szczególnie prosumentów, istoty biowęgla jako rzeczywiście polskiego paliwa niskoemisyjnego, będącego owocem polskiej myśli naukowo-technicznej, doskonalonej w trudzie rzetelnej i długotrwałej współpracy nauki i przemysłu. Biowęgiel nie jest produktem bezużytecznego procesu uwęglania



Fot. 4. Proces spalania paliwa brykietów niskoemisyjnego paliwa biokompozytowego

we współpracy z firmą FLUID, polskimi kopalniami oraz dostawcami sorbentów, technologii produkcji biokompozytowego paliwa, tworzonego na bazie różnych udziałów biowęgla i węgla kamiennego z odpowiednimi dodatkami. Pierwsze rezultaty, zobrazowane na fotografii 2, są obiecujące, szczególnie, jeśli chodzi o ograniczenie emisji zanieczyszczeń gazowych (CO, NO_x, Cl, SO₂, Hg) oraz PM.

Takie nowe paliwo bezdymne, spełniające wymienione kryteria paliwa autoryzowanego (*smokeless fuel*), z powodzeniem może być stosowane w regionach bez dymu (*Smoke Control Areas*). Dla tworzenia takiego paliwa została opracowana nowa technologia w której z wyjściowej mieszaniny węgla i biomasy (po uprzednim ustabilizowaniu ich składu ziarnowego) z odpowiednimi dodatkami tworzy się pelety/brykiety fot. 2

Poprawia się także morfologia nowego paliwa, co przedstawiono na fotografii 3. Należy oczekiwać, że widoczne wtrącenia porowatego biowęgla ułatwią dyfuzję tlenu podczas spalania takiego peletu/brykietu, a widoczne intruzje dodatków zwiążą substancje szkodliwe, eliminując ich emisję.

Spalanie takiego paliwa będzie więc pozbawione dymu i emisji szkodliwych gazów wskutek tego, że ograniczona ilość części lotnych spalanych w porach rozgrzanego koksów sprowadzi warunki spalania takiego paliwa do warunków spalania bezpłomieniowego (fot. 4), które jest uważane

biomasy, np. słomy, którą przecież można bezpośrednio przyorać na polu. Perspektywy zastosowania i wykorzystania biowęgla są niezwykle obiecujące, o czym można przeczytać w licznych publikacjach. Ponadto rozwija się międzynarodowa sieć instytucji, które biowęgiel nie tylko mają w nazwie, lecz zajmują się jego wszechstronnym wykorzystaniem w rolnictwie, technice oraz życiu codziennym. Autor niniejszego opracowania ma także nadzieję, że nazwa „biowęgiel” nie będzie kojarzona z mieszaniną surowej biomasy z węglem, gdyż taka mieszanina w żadnym razie podczas spalania nie może być niskoemisyjna, a pozyskana z niej energia energią odnawialną

Źródła

1. Lehmann J., Joseph S. 2009, Biochar for Environmental Management Science and Technology, Earthscan.
2. Kobylecki R., Środowiskowe aspekty termolizy biomasy, *Monografia nr 290*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2014, ISBN 978-83-7193-612-8, ISSN 0860-5017.
3. Kobylecki R., *The possibility to cofire lignite with hard coal and biomass – operational experiences from a large-scale CFBC*, „Rynek Energii”, nr 6 (97) 2011, p. 151-155, ISSN 1425-5960.
4. Kobylecki R., Bis Z., *Wpływ Dodatku Biomasy na Parametry Eksploatacyjne i Zachowanie się Kotła Dużej Mocy z Cyrkulacyjną Warstwą Fluidalną*, Prace Naukowe Poli-

techniki Śląskiej, z.16 tom 2, Gliwice, 2006, p. 127-135, ISBN 83-918568-4-4.

5. Patent nr 285657, Piec do wytwarzania rozdrobnionego węgla drzewnego, 1990.

6. Kacprzak A., Kobylecki R., Bis Z., *Influence of temperature and composition of NaOH-KOH and NaOH-LiOH electrolytes on the performance of a direct carbon fuel cell*, „Journal of Power Sources”, 239 (2013), 409-414, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2013.03.159.

7. Kacprzak A., Kobylecki R., Włodarczyk R., Bis Z., *The effect of fuel type on the performance of a direct carbon fuel cell with molten alkaline electrolyte*, „Journal of Power Sources”, 255 (2014), 179-186. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.012.

8. Kobylecki R., Ścisłowska M., Bis Z., *Carbonization of Biomass – an Efficient Tool to Decrease the Emission of CO₂*, „Archives of Thermodynamics” vol. 34(2013) no. 3, 185-195.

9. Patent nr 207595 na wynalazek „Paliwo alternatywne do silników wewnętrznego spalania, turbin spalinowych oraz urządzeń energetycznych”, nr zgłoszenia P371832, 2011.

10. Kobylecki R., Bis Z., Nowak W., *Paliwo z Biomasy i Paliw Alternatywnych*, „Czysta Energia” 3/2005, ISSN 1643-126X, 23-25.

11. Kobylecki R., Bis Z., *Biocarbon – Efektywna Konwersja Energii ze Źródeł Odnawialnych*, „Energetyka”, czerwiec 2006, p. 57-58, ISSN 0013-7294.

12. Kobylecki R., Bis Z., *Autotermiczna Termoliza Jako Efektywna Technologia Produkcji Czystych i Wysokoenergetycznych Paliw*, „Archiwum Spalania”, vol. 6, nr 1-4, 2006, p. 114-119, ISSN 1641-8549.

13. Kobylecki R., Tchórz J., Bis Z., *Densification of Biomass Energy for Large Scale Co-Combustion*, mat. 9th International Conference on Circulating Fluidized Beds CFB-9 in conjunction with 4th Int. VGB Workshop, Hamburg, Germany, 13–16 May, 2008, ISBN 978-3-930400-57-7.

14. Lehmann J., Rillig M., Thies J., Masiello C., Hockaday W., Crowley D. 2011, Biochar effects on soil biota - A review, *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 9, 1812–1836.

15. McLaren D. 2012, A comparative global assessment of potential negative emissions technologies, *Process Safety and Environmental Protection*, 90, 6, 489-500.

16. Zgłoszenie patentowe P411185, Polepszacz gleby i sposób wytwarzania polepszacza gleby, 2015.

17. Bis Z., *Kotły fluidalne – teoria i praktyka*, Częstochowa 2010.

18. Bis Z., *Biowęgiel – powrót do przeszłości, szansa dla przyszłości*. „Czysta Energia”. 2012 (6). s. 28–31

prof. dr hab. inż. Zbigniew Bis
Katedra Inżynierii Energii,
Politechnika Częstochowska