POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL
2016 ✦ Tom 19 ✦ Zeszyt 4 ✦ 87–100
ISSN 1429-6675

Stefan GÓRALCZYK*, Włodzimierz MARCHENKO**, Marta KARNKOWSKA***, Robert PODGÓRZAK***

Technologia produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł

STRESZCZENIE: Tekst przedstawia technologię produkcji energii elektrycznej oraz cieplnej w kogeneracji ze zmikronizowanej biomasy odpadowej (słomy). Zastosowane rozwiązanie oparte jest na mikronizacji biomasy i uzyskaniu niezbędnego ciepła w warunkach procesowych optymalnych dla biomasy w specjalistycznej komorze spalania, która jako źródło zewnętrzne podgrzewa powietrze do wartości niezbędnych dla napędu turbiny w składzie siłowni energetycznej. Proces mikronizacji, polegający na rozdrobnieniu metodą RESS (Szybki Wzrost Nadkrytycznych Parametrów – doprowadzenie rozdrabnianego materiału do stanu, w którym następuje przekroczenie wartości oddziaływań międzycząsteczkowych) ma charakter fizyczny i w tym czasie nie zachodzą żadne reakcje chemiczne. Bezpośrednie spalanie eliminuje użycie wody. Sposób produkcji zmikronizowanej biomasy jest bezodpadowy. Biomasa zmikronizowana spala się z dużą szybkością w sposób przypominający spalanie gazów, ponieważ rośnie szybkość wydzielania się części lotnych wraz ze zmniejszaniem się rozmiaru cząstek biopaliwa. Sprawność energetyczna turbozespołu 2,5 MWe w kogeneracji przy zastosowaniu mikropaliwa w dyfuzyjnych komorach spalania turbiny (przebudowanej turbiny lotniczej) po konwersji naziemnej stanowi około 75% (porównywalna do turbiny gazowej). Poziom kosztów wytwarzania energii jest konkurencyjny wobec obecnie stosowanych paliw tradycyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: Produkcja energii z biomasy, produkcja energii elektrycznej, produkcja energii cieplnej, biomasa odpadowa, mikronizacja, kogeneracja

* Dr hab., prof. nadzw., ** Mgr inż., *** Mgr – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa.

Wprowadzenie

Niniejszy tekst przedstawia zastosowaną przez zespół naukowców z Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie technologię produkcji energii elektrycznej oraz cieplnej w kogeneracji ze zmikronizowanej biomasy odpadowej (słomy). Jedną z głównych zalet technologii jest zastosowanie mikronizacji. Proces mikronizacji polega w całości na doprowadzeniu cząstek mielonego materiału do postaci cząsteczek o średnicy < 100 mikrometrów. Dotychczas mikronizacja miała zastosowanie w branży chemicznej, farmaceutycznej i spożywczej, a w ostatnich latach również w energetyce – przede wszystkim w produkcji sorbentów i paliwa do kotłów.

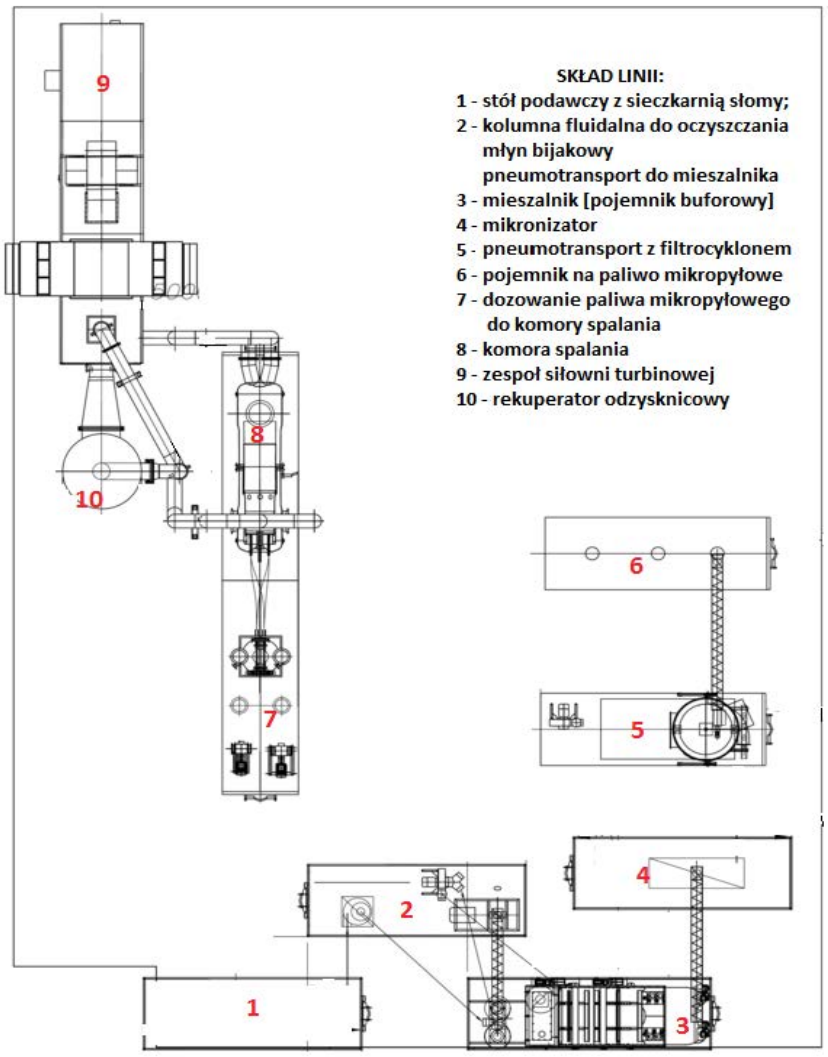
1. Opis technologii

Jakkolwiek powszechnie znany jest problem związany z zastosowaniem turbin parowych przy produkcji energii elektrycznej z biomasy w związku z dużymi stratami procesowymi i koniecznością zastosowaniem wody, której zasoby trzeba oszczędzać, jak dotąd nie pojawiły się skuteczne rozwiązania przemysłowe oparte na procesach bezpośredniego spalania paliwa z biomasy w komorach turbin w napędach do siłowni energetycznych. Bezpośrednie spalanie eliminuje użycie wody (łopatki przebudowanej turbiny lotniczej napędzane są nie parą wodną, a gorącym powietrzem) i minimalizuje straty procesowe przy produkcji ciepła niezbędnego do nagrzewania powietrza, które zasila turbinę. Gorące powietrze, które napędza turbinę, po wylocie z turbiny ma temperaturę około 400 stopni i wysoki udział tlenu, co pozwala bezpośrednio zasilać gorącym powietrzem kocioł w układzie ciepłowniczym. Możliwe jest również zastosowanie kotła odzysknicowego do podgrzewania wody. Dlatego proponowane przez zespół badawczy IMBIGS rozwiązanie jest nie tylko nowatorskie i nigdy jeszcze nie realizowane w praktyce, ale i rewolucyjne pod kątem rozwiązań i efektów.

Zastosowane rozwiązanie produkcji energii elektrycznej i cieplnej w kogeneracji oparte jest na mikronizacji biomasy ze słomy odpadowej i uzyskaniu niezbędnego ciepła w warunkach procesowych optymalnych dla biomasy w specjalistycznej komorze spalania, która jako źródło zewnętrzne podgrzewa powietrze do wartości niezbędnych dla napędu turbiny w składzie siłowni energetycznej. Surowcem do produkcji mikronizowanej biomasy jest sucha, posiekana słoma, opuszczająca linię przyjęcia biomasy.

Zmikronizowana biomasa słomy jest masą cząstek suchych, o charakterze postrzępionego włókna roślinnego, o średnim rozmiarze poniżej 100 μm. Jest paliwem stałym o konsystencji pyłu. Powierzchnia aktywna jest tysiąc razy większa od tradycyjnych mączek z drewna (średni rozmiar cząsteczki to poniżej 100 mikronów, w mączkach „pyłów z biomasy" rozmiar dochodzi

do 4000 mikronów. Z 1 cząsteczki 4000 mikronów powstaje taka ilość cząsteczek o średnim rozmiarze poniżej 100 mikronów, że powierzchnia jest ponad tysiąc razy większa (dane w korelacji z badaniami Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi), dlatego nie tylko uzyskuje ulepszony proces spalania, ale również jest paliwem łatwym do transportu i zastosowania do systemów zasilania palników w kotłach. Jako paliwo energetyczne ma dużą zawartość części lotnych, sprawiających, że spalanie tego paliwa odbywa się z wysoką efektywnością. Jednocześnie zawartość popiołu i wilgoci utrzymuje się na stałym, bardzo niskim poziomie.



Rys. 1. Schemat linii do produkcji energii elektrycznej ze zmikronizowanej biomasy w kogeneracji

Fig. 1. Scheme of line for electrical energy from micronized biomass production

Podstawowe parametry zmikronizowanej biomasy określone w badaniach prof. dr hab. Haliny Pawlak-Kruczek przedstawia tabela 1.

TABELA 1 Parametry zmikronizowanej biomasy

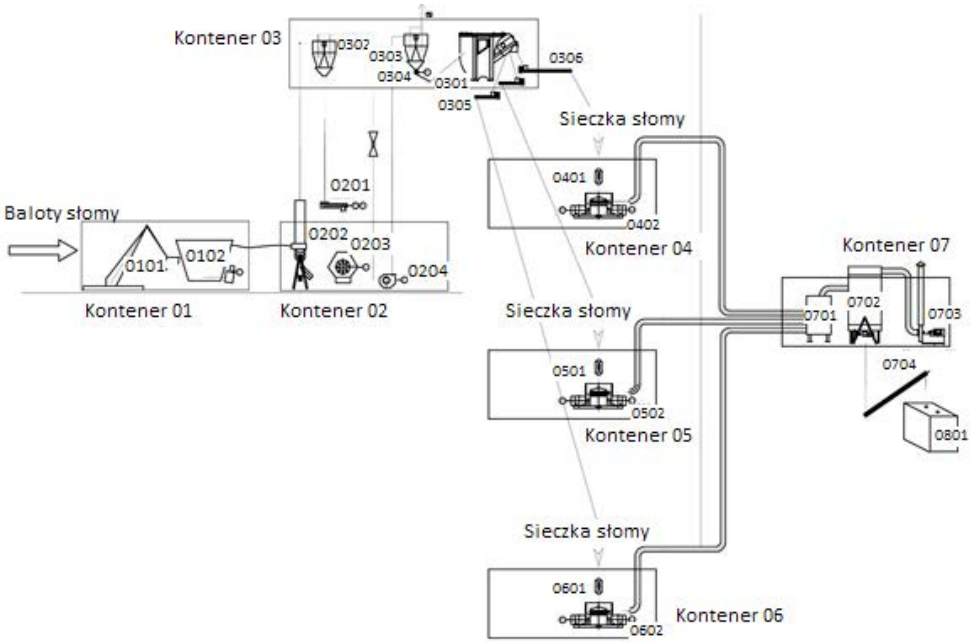
TABLE 1. Parameters of micronized biomass

Parametr	Wartość	Jednostka
Wartość opałowa	17,0–18,0	MJ/kg
Ciepło spalania	18,0–19,0	MJ/kg
Zawartość wilgoci	5	%
Zawartość popiołu	3	%
Gęstość nasypowa	250	g/l
Skład elementarny		
Węgiel	47,71	%
Wodór	6,72	%
Azot	1,0	%
Siarka	0,00	%
Chlor	0,2	%

Surowiec w postaci sieczki o długości 5–10 cm, otrzymanej na wyjściu z siekacza, oczyszczony z piasku i kamieni, trafia do młyna z sitem o otworach 6 mm. Z młyna sieczkę zmieloną do wymiaru 2–3 mm długości kanałem transportu pneumatycznego podaje się do multicyklonu. Rozprężona sieczka oddzielona od powietrza transportowego poprzez zbiornik vorteksa i zawór obrotowy spada do mieszadła kułakowego nad mikronizatorem. W mieszadle kułakowym gromadzony jest półprodukt: drobna sieczka suchej biomasy o maksymalnej długości 2–5 mm. Z mieszadła półprodukt wybiera, poprzez dolny wysyp, ślimak dozujący o regulowanej wydajności (zmiana ilości obrotów falownikiem w zależności od obciążenia silników mikronizatora), podający surowiec do separatora magnetycznego a następnie na mikronizator. W mikronizatorze surowiec trafia pomiędzy obracające się wirniki i ulega rozbiciu na drobne cząstki. Za pomocą transportu pneumatycznego uzyskany pył zostaje podany na multicyklon i oddzielony od powietrza, skierowany do silosa magazynowego przenośnikami. Gotowy produkt podawany jest dwoma przenośnikami na kontenery samowyładowcze.

2. Charakterystyka urządzeń i parametry procesu technologicznego

W opracowaniu sposobu produkowania energii elektrycznej w kogeneracji z zastosowaniem paliwa stałego wyprodukowanego przy zastosowaniu metody RESS (*Rapid Expansion of Super-*



Rys. 2. Schemat technologiczny linii – zespół paliwowy

Fig. 2. Technological scheme of line – fuel unit

critical Solutions – Szybki Wzrost Nadkrytycznych Parametrów) zostały zachowane parametry procesowe konieczne do spełnienia warunków zasilania turbiny oraz poziom kosztów wytwarzania konkurencyjny wobec obecnie stosowanych paliw tradycyjnych. Metoda RESS polega na doprowadzeniu rozdrabnianego materiału do stanu, w którym następuje przekroczenie wartości oddziaływań międzycząsteczkowych. Uzyskuje się to poprzez wprowadzenie materiału w przestrzeń pomiędzy dwoma wirującymi rotorami o specjalnej konstrukcji. Zawirowania powietrza występujące w przestrzeni międzyrotorowej mają kształt współosiowych torusów wirujących z bardzo dużymi prędkościami w przeciwne strony. Podczas przekraczania przez kolejno po sobie następujące strefy graniczne torusów materiał poddany jest przeciwnie skierowanym siłom rozciągania i ściskania z jednoczesnym skręcaniem w przeciwne strony. W bardzo krótkim czasie (< 0,001 s) cząstka taka wpada w rezonans tak silny, że następuje jednoczesne zjawisko implo- i eksplozji prowadzące do rozerwania na cząsteczki o wielkości średniej poniżej 50 mikronów. Proces mikronizacji, polegający na rozdrobnieniu metodą RESS ma charakter fizyczny i w tym czasie nie zachodzą żadne reakcje chemiczne. Tym samym nie potrzeba żadnych katalizatorów, ani też nie powstają żadne produkty uboczne. W związku z gwałtownym odparowaniem, w wyniku wytworzonego wskutek powstałego przy rozerwaniu włókien biomasy ciepła, wraz z wodą wydziela się wśród innych składników zalegających w przestrzeni pomiędzywłókiennej również chlor, który natychmiast ulega wiązaniu reaktywnemu z powietrzem. Dlatego produkt wyjściowy posiada lepszy skład jakościowo-ilościowy pod kątem cech procesowych spalania niż materiał poddany rozdrobnieniu innym sposobem.

W zastosowanym rozwiązaniu ogromny nacisk położono na bezpieczeństwo i ochronę środowiska. Sposób produkcji zmikronizowanej biomasy jest bezodpadowy. Brak zanieczyszczenia powietrza uzyskuje się dzięki użyciu nowoczesnych i wysoko efektywnych filtrów tkaninowych. Dla zmniejszenia emisji hałasu wszystkie urządzenia, będące emiterami, są umieszczone w osłonie ekranów akustycznych dobieranych *in-situ*. Układ technologiczny zbudowany jest w taki sposób, aby zminimalizować zagrożenie pożarowe. Poza brakiem miejsc z otwartym dostępem do elementów z wysoką temperaturą, mogącą spowodować zapłon, mikropył jest transportowany w układzie zamkniętym z odpowiednim uziemieniem, a zbiornik buforowy do zasilania turbiny jest załadowywany z hermetycznie zamkniętego hakowego kontenera magazynowo-transportowego, którego konstrukcja eliminuje zagrożenie zapłonem.

TABELA 2. Określenie zagrożeń ze strony czynników technologicznych

TABLE 2. Determination of threats coming from technological factors

Działanie toksyczne	nie
Podwyższone ciśnienie	nie
Podwyższona temperatura	tak
Zagrożenie wybuchem	nie
Zagrożenie środowiska	nie
Działanie korodujące	nie
Zagrożenie pożarem	tak
Inne zagrożenia	nie występują

3. Wyniki badań procesu

Wyniki przeprowadzonych badań nad próbkami zmikronizowanej biomasy ze słomy odpadowej wykazały, że biodegradowalność utrzymuje się na poziomie 100%, a udział odpowiednio hemicelulozy, celulozy i ligniny wynosi odpowiednio 31, 41 i 8%. Wykonano również analizy składu biomasy elementarnej i technicznej – oznaczenie zawartości wilgoci, popiołu, części lotnych i ciepła spalania przeliczono na wartości opałowe, analizy chemiczne składu popiołów otrzymanych z paliwa, a także określono temperatury charakterystyczne popiołu w atmosferze utleniającej i redukcyjnej (temperatura spiekania, mięknięcia, topnienia, płynięcia). Spalanie zmikronizowanego paliwa odbywa się w wąskim zakresie temperatur i z dużą szybkością – tym większą, o ile wyższa jest szybkość nagrzewu – a zmiana szybkości spalania między fazą gazową a stałą jest nieznaczna. Emisja NO_x ze spalania zmikronizowanego paliwa jest na względnie niskim poziomie, poziom emisji SO_2 jest bardzo niski w granicach 50 ppm, co wynika z niewielkiej zawartości siarki. Biomasa zmikronizowana spala się z dużą szybkością w sposób przy-

pominający spalanie gazów, ponieważ rośnie szybkość wydzielania się części lotnych wraz ze zmniejszaniem się rozmiaru cząstek biopaliwa.

Badania i analizy, w wyniku których pozyskano dane przedstawione w tabelach 3,4,5 i 6 oraz na rysunku 3 wykonane zostały przez prof. dr. hab. H. Pawlak-Kruczek zgodnie z obowiązującymi normami:

- PN-91/G-04510 – Paliwa Stałe: Symbole i współczynniki przeliczeniowe.
- PN-80/G-04511 / EN14774-1:2010 – Paliwa Stałe: Oznaczanie zawartości wilgoci.
- PN-80/G-04512 /EN14775:2000 – Paliwa Stałe: Oznaczanie zawartości popiołu metodą wagową.
- PN-81/G-04516 /EN15148:2000 – Paliwa stałe: Oznaczenie zawartości części lotnych.
- PN-G-0456 – Paliwa stałe: Oznaczenie zawartości wilgoci, części lotnych oraz popiołu analizatorem automatycznym.
- PN-G-04571/EN15104:2011 – wyznaczenie CHN całkowitej lub popiołowej w analizatorze automatycznym, Metoda detekcji IR.
- PN-G-04584/EN15289:2011 – wyznaczenie siarki całkowitej lub popiołowej w analizatorze automatycznym, Metoda detekcji IR.
- CEN/TS 15370-1:2007 – temperatury charakterystyczne popiołu – metoda mikroskopowa – fotograficzna.
- EN 15149 – ponadto wykonano badania rozkładu ziarnowego mikronizowanej słomy metoda dyfrakcji laserowej.

Indeks szlakowania, współczynnik zanieczyszczania i współczynnik lepkości żużla wyznaczono zgodnie z normami PN-G-04571/EN15104:2011 i CEN/TS 15370-1:2007

TABELA 3. Analiza techniczna w odniesieniu do masy roboczej biomasy i elementarna w odniesieniu do suchej masy bezpopiołowej

TABLE 3. Technical analysis in relation to the operating mass of biomass and elemental analysis in relation to the ash-free dry mass

Typ biomasy	Analiza techniczna [%]						Analiza elementarna [%]				
	W_t^r	A^r	FC	V^r	Q_s^r Mj/kg	Q_i^r Mj/kg	C^{daf}	H^{daf}	O^{daf}	N^{daf}	S^{daf}
Słoma mikronizowana – średnia próba	5,88	2,98	13,18	77,96	18,01	16,72	49,86	5,96	43,77	0,41	0

TABELA 4. Skład tlenkowy substancji mineralnej biomasy

TABLE 4. Oxide composition of biomass mineral substance

Składnik	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Fe_2O	Al_2O_3	Mn_3O_4	SO_3	Si
Udział	3,40	2,30	0,78	26,30	1,40	1,30	0,29	0	69,91

TABELA 5. Skład tlenkowy mikronizowanej słomy

TABLE 5. Oxide composition of micronized straw

Skład chemiczny	1 – zmikronizowana słoma	2 – zmikronizowana słoma	3- słoma
Temperatura spopielenia	600°C	600°C	550°C
SiO_2 i części nierozpuszczalne	67,34	66,19	64,17
Al_2O_3	1,00	1,33	1,24
Fe_2O_3	0,99	0,83	1,53
Mn_3O_4	0,32	0,26	0,13
TiO_2	0,01	0,05	0,04
CaO	2,79	3,49	3,39
MgO	1,19	2,83	2,34
Na_2O	0,58	0,00	0,78
K_2O	25,79	25,03	26,38
SO_3	0,00	0,00	0,00
Indeks szlakowania	0,46	0,48	0,53
Współczynnik zanieczyszczania	12,09	11,92	14,28
Współczynnik lepkości żużla	93,23	90,26	89,84

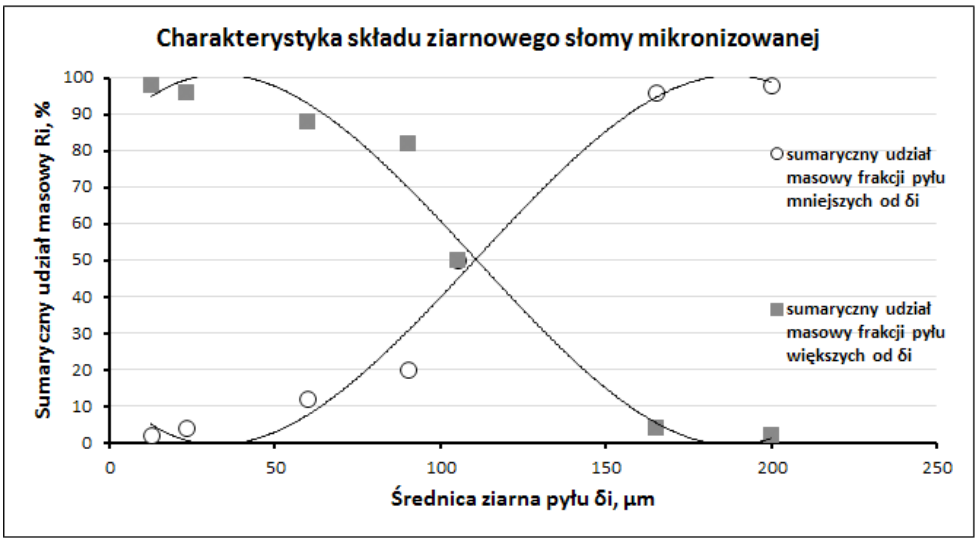
TABELA 6. Temperatury charakterystyczne popiołu z mikronizowanej słomy

TABLE 6. Typical temperatures of ash from micronized straw

	Średnia z 50 przebadanych próbek	
Charakterystyczne temperatury topliwości popiołu [°C]	atmosfera utleniająca	atmosfera redukująca
Temperatura spiekania / temperatura skurczu, SST [°C]	710	760 (±15)
Temperatura mięknięcia / temperatura deformacji, DT [°C]	920	890 (±10)
Temperatura topnienia / temperatura półkuli, HT [°C]	1130	1070 (±10)
Temperatura płynięcia, FT [°C]	1210	1190 (±10)

4. Analiza wyników i uzyskane rezultaty

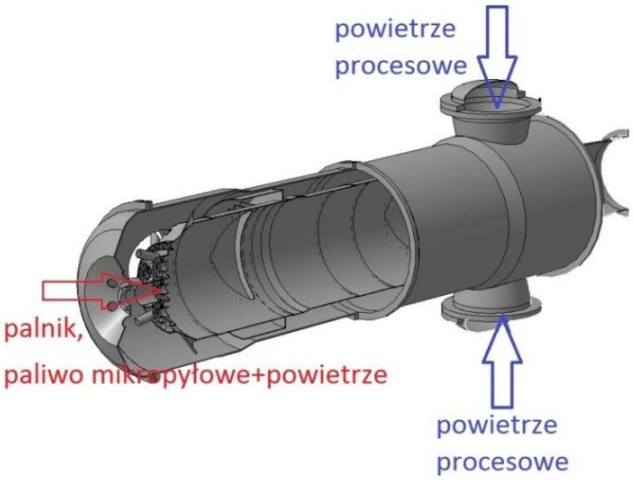
Najważniejszym warunkiem procesowym jest wielkość i rodzaj cząstki popiołu w gazach zasilających turbinę i brak niedopalonej biomasy celem zapobiegania palenia w strefie łopatek. Następnie ogromne znaczenie ma temperatura spalin i gazów wylotowych (w których pozostają mikrocząsteczki popiołu z biomasy), aby nie powstawał efekt „zaklejania" popiołem elementów turbiny, co może prowadzić do zniszczenia łopatek.



Rys. 3. Analiza frakcyjna biomasy

Fig. 3. Frational analysis of biomass

Stabilizacja temperatury gazów i powietrza napędzających turbinę w wysokości wystarczającej dla jej pracy została uzyskana dzięki zastosowaniu dyfuzyjnej komory spalania przedstawionej na poniższym rysunku.



Rys. 4. Model dyfuzyjnej komory spalania

Fig. 4. Model of diffusion combustion chamber

Zastosowanie prezentowanego opracowania nie byłoby możliwe bez uzyskania odpowiedniego poziomu kosztu wytwarzania mikronizowanego paliwa z biomasy w wysokości zbliżonej do kosztu produkcji peletu, co powoduje jego konkurencyjność wobec paliw tradycyjnych, ta-

kich jak gaz ziemny, olej i LPG. W odniesieniu do węgla konkurencyjnym czynnikiem jest brak emisji szkodliwych substancji.

Sprawność energetyczną turbozespołu 2,5 MWe w kogeneracji przy zastosowaniu mikropaliwa w dyfuzyjnych komarach spalania turbiny typu lotniczej po konwersji naziemnej stanowi około 75% (porównywalna do turbiny gazowej). Tradycyjnie, przy zastosowaniu turbiny parowej i przy wykorzystaniu peletu drzewnego nie przekracza 60%. Koszt wytwarzania energii pod warunkiem wykorzystania produktu odpadowego jako surowca do paliwa (wszelkiego rodzaju wytłoki suszone pochodzące z przetwórstwa oraz łuski zbożowe) przedstawia poniższa tabela. Dane, które zostały opracowane przez firmę BIOPOWER, można porównać z danymi opracowanymi przez firmę BEST Systemy Grzewcze.

TABELA 7. Koszt produkcji energii przy wykorzystaniu technologii wytwarzania energii elektrycznej oraz cieplnej z biomasy odpadowej – słomy (firma BIOPOWER)

TABLE 7. The cost of energy production using the technology of generating electricity and heat from waste biomass – straw (BIOPOWER company)

Koszt biomasy odpadowej	18,1 PLN/MWh
Inne koszty	142,8 PLN/MWh
Całkowity koszt netto bez akcyzy	160,9 PLN/MWh
Zestawienie kosztów energii i ciepła (w stosunku 2:1) bez uwzględnienia akcyzy na energię elektryczną	
Koszt energii	245,4 PLN/MWh
Koszt energii cieplnej	34,1 PLN/GJ
Koszt energii elektrycznej i cieplnej z uwględnieniem akcyzy	
Koszt energii elektrycznej (w tym 20 PLN/MWh akcyzy)	265,4 PLN/MWh
Koszt energii cieplnej	34,1 PLN/GJ

Nakład inwestycyjny do 1 MWe w elektrociepłowni typu kogeneracyjnego (produkującej energię z biomasy) stanowił w 2013 roku według Ministerstwa Rozwoju – jako wartość indeksowania – 14 mln PLN („Koszty instalacji 1 MW mocy dla różnych źródeł energii odnawialnych"). Przy zastosowaniu omawianej w niniejszym tekście technologii koszt inwestycyjny nie powinien przekroczyć 8 mln PLN. Ponadto, rozwiązanie charakteryzuje się takimi zaletami, jak możliwość utylizacji niezagospodarowanych inaczej odpadów porolniczych; bezodpadowość samej technologii oznacza brak dodatkowych kosztów utylizacji, możliwość uzyskania dopłat z tytułu produkcji energii z OZE. Zastosowanie tego rozwiązania umożliwia również bezpieczeństwo energetyczne i zrównoważony charakter gospodarki w ramach małych jednostek zakładowych (2 MWe). Zakłada się, że najlepsze efekty osiągane będą w zakładach przemysłu spożywczego, dysponujących zbędną biomasą (wytłoki owocowe, młóto browarniane, łuski itp.), które w procesie produkcyjnym wykorzystują zarówno prąd, jak i ciepło.

W chwili obecnej nie są znane rozwiązania oparte na zastosowaniu biomasy stałej jako paliwa w postaci zmikronizowanego pyłu (poniżej 100 mkm) do zasilania silników, w tym turbin energetycznych. Dlatego też utrudnione jest porównanie metody zastosowanej przez naukow-

TABELA 8. Koszt uzyskania 1 GJ energii cieplnej – stan na 04.07.2016 w PLN netto (firma BEST)

TABLE 8. The cost of obtaining 1 GJ of heat energy – as at 04.07.2016 in PLN net (BEST company)

Miał węglowy (65%) 517 PLN/t, 23 000 kJ/kg	34,58
Olej opałowy ciężki C3 (85%) 1 630 PLN/t,41 800 kJ/kg	45,88
GZ-50 (92%) 1,65 PLN/m^3, 36 000 kJ/m^3	49,82
Pelet (80%) 816 PLN/t, 19 500 kJ/kg	52,31
LPG (92%) 2 177 PLN/t, 45 220 kJ/kg	52,33
LNG (92%) 2 434 PLN/t, 48 180 kJ/kg	54,91
WAR (92%) 2 148 PLN/t, 41 000 kJ/kg	56,95
Olej opałowy EKO-C (85%) 2 265 PLN/t, 41 500 kJ/kg	64,21
Olej opałowy lekki (92%) 2 527 PLN/t, 42 000 kJ/kg	65,4
Propan (92%) 2 766 PLN/t, 45 640 kJ/kg	65,87

Rys. 4. Model linii technologicznej produkcji energii elektrycznej ze zmikronizowanej biomasy

Fig. 4. Model of technology line of energy from micronized biomass production

ców z IMBIGS z innymi. Jednakże korzyści procesowe, ekonomiczne i ekologiczne wdrożenia prezentowanej technologii są oczywiste i wielokrotnie zostały podkreślone przez fachowców z dziedziny ochrony środowiska i branży rolniczej. Poza zoptymalizowaniem bilansu energetycznego w ramach energetyki prosumenckiej i optymalnym wykorzystaniem jako OZE zasobów energetycznych opartych na zasobach lokalnych (odpadowa biomasa rolna), opracowanie ma ogromny rynkowy potencjał, w tym eksportowy. Znanym faktem jest, że w krajach Południowej Azji (Indonezja, Malezja, Filipiny i inne) rocznie w wyniku działalności gospodarczej powstaje około 80 mln ton odpadowej biomasy, która poza wszystkim powoduje zanieczyszczenie środowiska naturalnego.

Podsumowanie i wnioski

1. Pierwsza technologia produkcji energii wykorzystująca zmikronizowaną biomasę, powierzchni aktywnej 1000 razy większej niż w przypadku rozdrobnionej biomasy drzewnej.
2. Proces mikronizacji, polegający na rozdrobnieniu metodą RESS ma charakter fizyczny i w tym czasie nie zachodzą żadne reakcje chemiczne. Tym samym nie potrzeba żadnych katalizatorów, ani też nie powstają żadne produkty uboczne.
3. Sposób produkcji zmikronizowanej biomasy jest bezodpadowy. Brak zanieczyszczenia powietrza uzyskuje się dzięki użyciu nowoczesnych i wysoko efektywnych filtrów tkaninowych.
4. Biomasa zmikronizowana spala się z dużą szybkością w sposób przypominający spalanie gazów, ponieważ rośnie szybkość wydzielania się części lotnych wraz ze zmniejszaniem się rozmiaru cząstek biopaliwa.
5. Sprawność energetyczna turbozespołu 2,5 MWe w kogeneracji przy zastosowaniu mikropaliwa w dyfuzyjnych komorach spalania turbiny (przebudowanej turbiny lotniczej) po konwersji naziemnej stanowi około 75% (porównywalna do turbiny gazowej).
6. Koszty są zdecydowanie niższe niż przy wykorzystaniu innych źródeł odnawialnych (energia wiatrowa, słoneczna itd.) i wynoszą około 8 000 000 złotych za 1 MW mocy średniej – wartość porównywalna z węglem kamiennym.
7. Możliwości stosowania jako paliwa innej biomasy, w tym: wytłotki owocowe (min. 70 000 ton suchej masy rocznie); łuska owsiana (min. 280 000 ton suchej masy rocznie); młóto browarniane (min. 150 000 ton suchej masy rocznie).

Literatura

BARTNIK, R. i BARTNIK, B. 2014. *Rachunek ekonomiczny w energetyce.* WNT, Warszawa.
KŘÍŽ, J. 2014. Ekonomika Vybraných Projektů Firmy Ekol. *Technická Konference Ekol*, Brno.

SOWIŃSKI i in. 2016 – SOWIŃSKI, J., PYDYCH, T., TOMASZEWSKI, R. i WACHTARCZYK, A. 2016. OZE na rynku energii elektrycznej. *Rynek Energii*.

VASSILEV i in. 2013 – VASSILEV, S., BAXTER, D., ANDERSEN, L. i VASSILEVA, C. 2013. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification, *Fuel* Vol. 105.

Koszt uzyskania 1 MWh energii cieplnej: stan na 4.07.2016, Strona internetowa firmy BEST, 2016 [Online] Dostępne w: http://www.best.systemy-grzewcze.pl/pdf/PL2.PDF [Dostęp: 04.07.2016].

Koszty instalacji odnawialnych źródeł energii (OZE), Strona internetowa Narodowego Centrum Badań Jądrowych, 2013 [Online] Dostępne w: http://www.ncbj.edu.pl/koszty-energii/koszty-instalacji-odnawialnych-zrodel-energii-oze [Dostęp: 04.07.2016].

Stefan GÓRALCZYK, Włodzimierz MARCHENKO, Marta KARNKOWSKA, Robert PODGÓRZAK

Technology of electrical energy production from renewable sources

Abstract

The text presents the technology for production of electrical energy and heat in cogeneration from micronized waste biomass (straw). The applied solution is based on micronization of biomass and obtaining the necessary heat under process conditions optimal for biomass in dedicated combustion chamber that as the external source heats the air to the values needed to drive the turbine in the energy plant. The micronization, involving grinding with RESS (Rapid Expansion of Supercritical Solution – bringing the material to the state of exceeding the values of intermolecular forces) method, is a physical proces and there are not any chemical reactions occuring. Direct combustion eliminates the use of water. A process for micronized biomass production is waste-free. Micronized biomass is combusted at high speed in a manner reminiscent of the gas combustion because it increases the speed of volatile components emission while biofuels particle size decreasing. Energy efficiency of the turbine set 2,5 MW in cogeneration with using microfuel in diffusion combustion chambers of turbine (adapted air turbine) after the conversion is about 75% (comparable to the gas turbine). The level of costs of energy production is competitive with traditional fuels currently used.

KEYWORDS: energy production from biomass, production of electricity, production of heat, biomass waste, micronization, cogeneration