CHEMIA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CHEMISTRY
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
1-Ch/2010
ZESZYT 10
ROK 107
ISSUE 10
YEAR 107

ANNA DŁUGA, WŁODZIMIERZ CIESIELCZYK*

BADANIE SPALANIA WYBRANYCH RODZAJÓW BIOMASY W KOTLE PELLETSTAR BIOCONTROL

INVESTIGATION OF COMBUSTION OF SELECTED KINDS OF BIOMASS IN PELLETSTAR BIOCONTROL BOILER

Streszczenie

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań spalania suchych i wilgotnych peletów drzewnych firmy Barlinek w kotle Pelletstar BioControl. Na podstawie ogólnych zasad bilansowania energetycznego przedstawiono analizę dotyczącą zasadności suszenia wilgotnej biomasy przed spalaniem.

Słowa kluczowe: biomasa, spalanie, energia

Abstract

The results of combustion of dry and humid experimental biomass (wooden pellets) by Barlinek in a Pelletstar BioControl boiler have been presented. Taking into consideration the basic principles of energetic balance, an analysis referring to validity of drying of the humid biomass before its combustion has been presented.

Keywords: biomass, combustion, energy

* Mgr inż. Anna Długa, dr hab. inż. Włodzimierz Ciesielczyk, prof. PK, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Oznaczenia

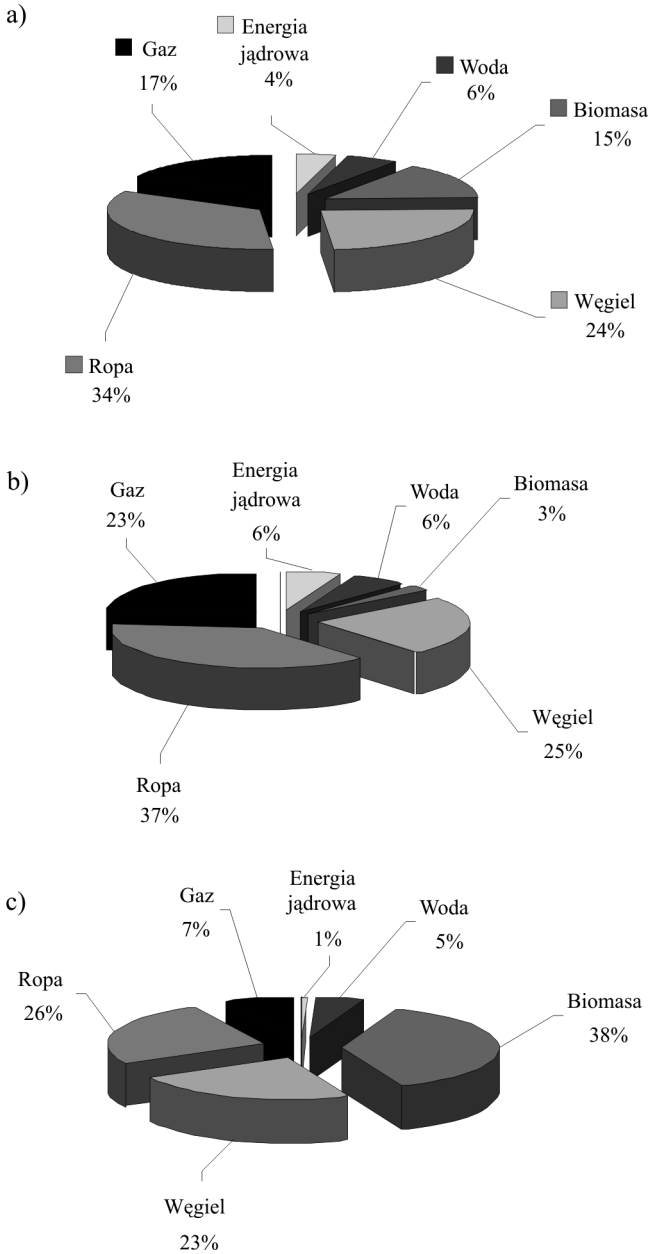
C	–	udział masowy węgla w odniesieniu do paliwa wilgotnego [kg C/kg]
G_w	–	strumień wody podgrzewanej w kotle [kg/s]
H	–	udział masowy wodoru w odniesieniu do paliwa wilgotnego, [kg H_2 /kg]
M	–	moc kotła [W]
m_{pal}	–	masa paliwa [kg]
N	–	udział masowy azotu w odniesieniu do paliwa wilgotnego [kg N_2/kg]
O	–	udział masowy tlenu w odniesieniu do paliwa wilgotnego [kg O_2/kg]
Q_{dop}	–	ilość ciepła doprowadzonego [kW]
$Q_{uż}$	–	ilość ciepła użytecznego [kW]
Q_1	–	strata niezupełnego spalania [kW]
Q_2	–	ilość ciepła wylotowego [kW]
Q_3	–	strata promieniowania [kW]
S	–	udział masowy siarki w odniesieniu do paliwa wilgotnego [kg S/kg]
t_{ot}	–	temperatura otoczenia [°C]
$t_{sp.}$	–	temperatura spalin [°C]
t_{spal}	–	temperatura spalania [°C]
W_d	–	wartość opałowa [J/kg]
$\delta E_{wyl\ ch}$	–	strata wylotowa chemiczna [–]
$\delta E_{wyl\ f}$	–	strata wylotowa fizyczna [–]
Δt	–	przyrost temperatury [–]
$\varepsilon_{wyl\ ch}$	–	względna strata wylotowa chemiczna [%]
$\varepsilon_{wyl\ f}$	–	względna strata wylotowa fizyczna [%]
η_e	–	sprawność energetyczna [%]

1. Wstęp

Racjonalne wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych jest jednym z najważniejszych elementów zrównoważonego rozwoju i może zapewnić ogromne korzyści ekonomiczno-energetyczne. Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie paliwowo-energetycznym świata przyczynia się do poprawy skuteczności wykorzystania i oszczędzania klasycznych surowców energetycznych, poprawy stanu środowiska, redukcji zanieczyszczeń oraz ilości produkowanych odpadów. Szacuje się, że w najbliższych latach rozwój odnawialnych źródeł energii będzie znaczny, ponieważ wiąże się z korzyściami dla społeczeństwa (m.in. ze zwiększeniem poziomu bezpieczeństwa energetycznego, nowymi miejscami pracy), jak i korzyściami ekologicznymi – przede wszystkim ograniczeniem emisji ditlenku węgla.

Przewiduje się, że do końca 2010 roku 4% energii elektrycznej w Polsce będzie pochodzić z wykorzystania biomasy. W skali lokalnej ważnym jej źródłem może być materiał z przecinek leśnych i cięć pielęgnacyjnych na terenach zielonych i w sadach. Duże znaczenie może mieć biomasa z upraw celowych (rośliny energetyczne). Szacuje się, że z 1 ha użytków rolnych zbiera się rocznie 10–20 ton biomasy, czyli równowartość 5–10 ton węgla. Rolnictwo i leśnictwo zbierają w Polsce biomasę równoważną pod względem kalorycznym 150 mln ton węgla. Można zatem stwierdzić, że jednym z najważniejszych źródeł energii odnawialnej w Polsce są odpady drzewne.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 1. Udział energii uzyskanej z biomasy w ogólnej konsumpcji energii pierwotnej: a) świat, b) kraje uprzemysłowione, c) kraje rozwijające się

Fig. 1. Energy share from biomass in general consumption of primary energy: a) world, b) industrialized country, c) developing countries

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Pozyskiwane odpady zrębkowe, zarówno z lasów, jak i z zakładów pielęgnacji zieleni miejskiej, mogą charakteryzować się wysoką wilgotnością – do 60%. W przypadku biomasy zawartość wilgoci jest kluczowa do oceny jej potencjału energetycznego.

Ważne jest, aby poszukiwać optymalnych możliwości energetycznego wykorzystania biomasy. Ważnym kierunkiem działań wydaje się poprawa jakości energii zawartej w biomasie drzewnej przez wstępne suszenie surowca. Często stosuje się wstępną obróbkę biomasy drzewnej z wykorzystaniem brykietowania lub granulowania.

Obecne wykorzystanie biomasy w celach energetycznych szacuje się na około 15% światowej produkcji energii pierwotnej. Znaczna część z tej wielkości pochodzi z krajów rozwijających się (38%), a w krajach uprzemysłowionych użytkowanie biomasy dostarcza około 3% energii. Rysunek 1 przedstawia proporcje zużycia energii pierwotnej i udział poszczególnych rodzajów energii.

2. Charakterystyka biomasy

Według norm Unii Europejskiej biomasa obejmuje materiał pochodzenia biologicznego ulegający biodegradacji, który jest wytwarzany na plantacjach lub jest to materiał odpadowy powstający w leśnictwie, rolnictwie itp.[1, 2, 3].

Wyróżniamy trzy formy biomasy:

- roślinna – gromadzona głównie przy produkcji i przetwarzaniu produktów roślinnych (odpady drzewne, słoma odpadowa) lub materiał hodowany w celach energetycznych (plantacja wierzby i topoli); są to tzw. energetyczne surowce pierwotne,
- zwierzęca – pochodząca z fermentacji osadów w oczyszczalni ścieków, z fermentacji odpadów organicznych na wysypiskach śmieci (tzw. gaz wysypiskowy),
- gazowa jako tzw. gaz pirolityczny,
- ciekła – biodiesel, bioetanol, metanol.

Biomasę charakteryzuje się, podając symbol, np: 14/1/0,01, co oznacza, że wartość opałowa wynosi 14 MJ/kg, zawartość popiołu 1%, a siarki 0,01%. Biomasa drzewna ma mniejszą wartość opałową niż węgiel, ale jest za to przyjazna dla środowiska, ponieważ ma mniej siarki, wydziela mniej pyłów, a CO_2 powstały z jej spalania nie zwiększa efektu cieplarnianego [3].

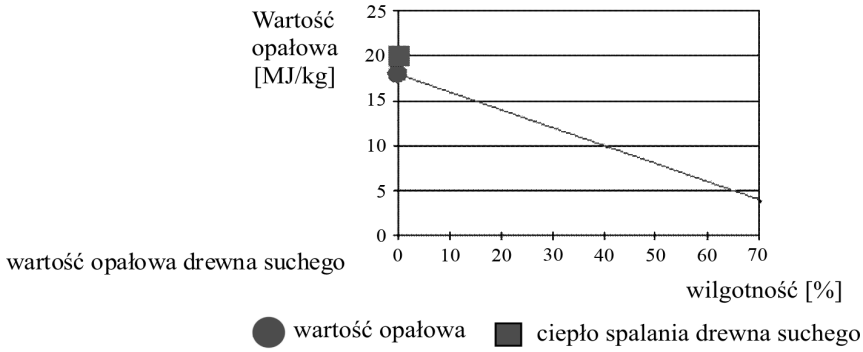
Wartość opałowa to jeden z podstawowych parametrów fizykochemicznych biopaliw stałych. Waha się od 6 do 8 MJ/kg dla biomasy wilgotnej (50–60%), do 15–17 MJ/kg dla biomasy podsuszonej (10–20%) i aż do 19 MJ/kg dla biomasy całkowicie wysuszonej.

Wartość opałowa zależy od wilgotności biomasy i zmniejsza się wraz z jej wzrostem (rys. 2). Gwałtowny spadek wartości opałowej wraz ze wzrostem wilgotności wynika głównie z malejącej zawartości suchej masy w masie całkowitej, a częściowo ze strat energii potrzebnej do odparowania większych ilości wilgoci [4, 5]. Im bardziej paliwo jest suche tym mniej energii potrzeba do odparowania wody, co oznacza, że proces jest korzystniejszy energetycznie. Z tego względu niektóre rodzaje biomasy powinny być dosuszone, aby uzyskać pożądane parametry spalania oraz określoną wartość energetyczną paliwa [6, 7].

Paliwo stałe z biomasy opartej na zrębkach pod względem właściwości ekologicznych jest korzystniejsze od węgla kamiennego (zamknięty obieg CO_2, niska zawartość siarki oraz niewielka pozostałość popiołu). Natomiast pod względem niektórych właściwości fizykochemicznych jest mniej atrakcyjne niż kopaliny. Związane jest to ze zbyt małą gęstością, co wpływa na koszty transportu i magazynowania. Wysoka wilgotność surowej biomasy oraz

BPK BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

niska koncentracja energii w jednostce objętości powodują utrudnienia w dystrybucji i jej użytkowaniu. Współcześnie coraz więcej uwagi zwraca się na uszlachetnianie biomasy stałej przez proces granulacji (peletyzacji).



Rys. 2. Zależność wartości opałowej od wilgotności

Fig. 2. Dependence of calorific value on humidity

Pelety to stałe paliwo z biomasy, wygodne w użyciu zarówno w gospodarstwach domowych, jak i zakładach przemysłowych i lokalnych ciepłowniach. Produkcja polega na poddaniu biomasy suszeniu, mieleniu i prasowaniu. Pelety są jednym z najtańszych rodzajów paliw występujących na rynku. W stosunku do oleju opałowego koszty jednostki ciepła są niższe o połowę. W stosunku do pozostałych paliw koszty są niższe o około 30%.

Pelety są paliwem przyjaznym dla środowiska i jednocześnie łatwym w transporcie, magazynowaniu i dystrybucji. Charakteryzują się niską zawartością wilgoci (8–12%), popiołów (0,5%), wysoką wartością opałową (16,5–17,5 MJ/kg). Ich spalanie nie powoduje dodatkowej emisji ditlenku węgla i substancji szkodliwych dla środowiska, a produkcja przyczynia się do zmniejszenia problemu zagospodarowania odpadów [8, 9, 10].

Wszystkie zjawiska zachodzące w przyrodzie oraz procesy energetyczne realizowane w technice są nieodwracalne. Każda nieodwracalność wiążę się ze zmniejszeniem ekonomiczności procesu. Dlatego tym zjawiskom towarzyszy obniżenie wartości energii (w sensie ekonomicznym), a nie jej utrata [11, 12, 13].

Bilans energetyczny, oparty na zasadzie zachowania energii, jest powszechnie stosowany do badania przebiegu procesu. Jest on podstawą do obliczenia sprawności energetycznej. Tworzy się ułamek, którego licznik stanowią składniki bilansu określające użyteczny efekt procesu, natomiast mianownik tworzą składniki określające nakłady wykorzystane do podtrzymania przebiegu procesu [14].

Analiza sprawności procesu spalania wybranego rodzaju biomasy w zależności od wilgotności materiału kierowanego do procesu jest przedmiotem niniejszego opracowania.

3. Badania doświadczalne

Celem badań było opracowanie energooszczędnej metody spalania wybranych rodzajów biomasy. Pomiary przeprowadzono w firmie HERZ w Wieliczce. Wykorzystano kocioł

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

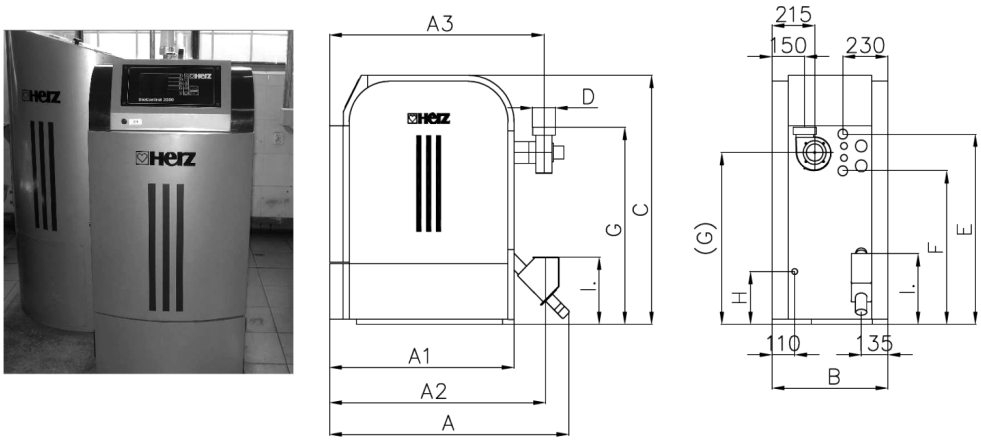
Pelletstar o mocy 22 kW sterowany za pomocą sterownika BioControl 3000 (rys. 3). Tego typu kotły stanowią grupę urządzeń do automatycznego spalania biomasy w postaci peletu i zrębków drzewnych. Paliwo było gromadzone w zabudowanym zasobniku i podawane do paleniska podajnikiem ślimakowym. Dodatkowymi elementami wchodzącymi w skład aparatury kontrolno-pomiarowej były: analizator spalin Vario Plus, licznik ciepła ze zintegrowanym ciepłomierzem ultradźwiękowym oraz wilgotnościomierz służący do pomiaru wilgotności i temperatury powietrza atmosferycznego.

W badaniach wykorzystano pelety drzewne firmy Barlinek (tabela 1) o wilgotności 6,2% i 14%.

Eksperyment rozpoczęto od załadowania zasobnika paliwem o wilgotności 6,2%. Proces spalania prowadzony był aż do całkowitego spalenia załadowanego peletu.

Zakres badań obejmował pomiary składu spalin (analizator Vario Plus), pomiary ilości energii (ciepłomierz Multical) oraz odczyty wskazań temperatur ze sterownika.

Tę samą procedurę wykonano dla paliwa o wilgotności 14%. Analizowane procesy były prowadzone przy wykorzystaniu maksymalnej mocy kotła.



Moc grzewcza [kW]	21,9
Wymiary [mm]	
A Długość całkowita	1315
A1 Długość obudowy	940
A2 Długość – środek głowicy napełniającej	1120
A3 Długość – środek czopucha	1030
B Szerokość	590
C Wysokość	1268
D Średnica czopucha	130
E Zasilanie (1^{II}) wysokość	991
F Powrót (1^{II}) wysokość	801
G Wysokość do krawędzi czopucha	1025
(G) Wysokość do środka czopucha	900
I Wysokość zbiornika stokera	435
H Króciec spustowy napełniający 1/2^{II}	264
Masa kotła [kg]	310

Rys. 3. Schemat stanowiska i charakterystyka kotła Pelletstar BioControl 3000 do spalania biomasy

Fig. 3. Scheme of workplace and characteristic of Pelletstar BioControl 3000 boiler for biomass combustion

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tabela 1

Właściwości peletów drzewnych

Pelety drzewne		
Właściwości		
Masa m_{pal} [kg]	5	5
Wilgotność w [%]	6,2	14
Średnica d [mm]]	8	8
Wartość opałowa W_d [kJ/kg]	19 483	15 640
N [% wag.]	0,05	0,15
C [% wag.]	50	45,96
O [% wag.]	39,4	35,02
H [% wag.]	4,3	4,7
S [% wag.]	0,03	0,17

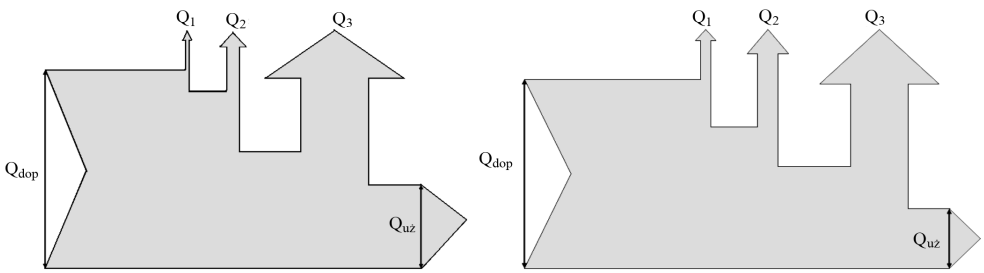
4. Dyskusja wyników

W tabeli 2 przedstawiono parametry procesowe charakterystyczne dla wykonanego eksperymentu. Na rysunku 4, stosując wykresy pasmowe, przedstawiono bilans energii w kotle.

Z analizy otrzymanych danych wynika, że efektywność energetyczna i ekologiczna procesu spalania zależy od właściwości paliwa. Wysoka wilgotność paliwa wiąże się ze zmniejszeniem jego wartości opałowej i zwiększeniem ilości ciepła, jaką należy dostarczyć na odparowanie większej ilości wody.

Spalanie paliwa wilgotnego jest nie tylko mało efektywne, ale wręcz szkodliwe dla środowiska, ze względu na zwiększoną emisję spalin. Dodatkowo wiąże się to ze zwiększeniem strat wynikających z niezupełnego spalania oraz zmniejszeniem ilości ciepła użytecznego przekazywanego do czynnika obiegowego.

Efektywne spalanie wymaga odpowiedniej ilości tlenu, odpowiednio wysokiej temperatury i czasu trwania, pozwalającego na całkowite dopalenie substancji lotnych [15–22].



Rys. 4. Wykres Sankey'a – bilans energii w kotle: a) paliwo o wilgotności 6,2%, b) paliwo o wilgotności 14%

Fig.4. Sankey diagram – energy balance in a boiler: a) approximate fuel moisture content of 6,2%, b) approximate fuel moisture content of 14%

Zmniejszenie zawartości wilgoci w analizowanym paliwie z 14% do 6,2% (rys. 4) wyraźnie poprawia wszystkie wskaźniki jakościowe procesu (tab. 2).

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tabela 2

Zestawienie parametrów procesowych

		Minimalne zapełnienie kotła	
		Wilgotność w [%]	
		6,2	14
	m_{pal} [kg]	5	5
	czas [s]	3600	3600
	$t_{spal.}$ [°C]	403,0952	350
	t_{sp} [°C]	145,0476	135
	t_{ot} [°C]	20	20
	M [kW]	22	22
Skład paliwa	N [% wag.]	0,05	0,15
	C [% wag.]	50	45,96
	O [% wag.]	39,4	35,02
	H [% wag.]	4,3	4,7
	S [% wag.]	0,03	0,17
	W_d [kJ/kg]	19483	15640
Skład spalin	CO [% obj.]	0,07256	0,08
	NO [% obj.]	0,005245	0,008
	O_2 [% obj.]	16,435	15,435
	CO_2 [% obj.]	4,44	6,44
	SO_2 [% obj.]	0,00002	0,00004
	CH_4 [% obj.]	0,00000588	0,000008
	N_2 [% obj.]	79,047	78,037
	G_w [kg/s]	0,223	0,181
	Δt [deg]	11,324	10
	$Q_{uż}$ [kW]	10,65	7,605
	Q_{dop} [kW]	–89,87	–86,936
	Q_2 [kW]	2,097	2,95
	Q_1 [kW]	0,059	0,075
	Q_3 [kW]	14,614	11,477
	η_e [%]	39,356	35,011
	$\delta E_{wyl\ f}$ [kJ/kg]	1696	3043
	$\delta E_{wyl\ ch}$ [kJ/kg]	42,63	54,032
	$\varepsilon_{wyl\ f}$ [%]	8,703	19,458
	$\varepsilon_{wyl\ ch}$ [%]	0,219	0,345

5. Wnioski

Przeprowadzona analiza teoretyczno-doświadczalna zagadnienia upoważnia do stwierdzenia, że uzasadnione jest suszenie biomasy surowej przed jej użyciem do celów energetycznych.

1. Biomasa do celów energetycznych może być wykorzystana w postaci stałej, ciekłej lub gazowej. Biomasę stałą pozyskuje się obecnie z odpadów leśnych i rolniczych,

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

przemysłu drzewnego oraz zakładów zieleni miejskiej. W przyszłości poważnym uzupełnieniem bilansu biomasy na rynku energetycznym mogą być plantacje roślin energetycznych.

2. Energetyczne użytkowanie biomasy niesie ze sobą wiele korzystnych efektów ekonomicznych, społecznych i ekologicznych. Emisja do atmosfery poszczególnych zanieczyszczeń jest znacznie niższa niż podczas spalania węgla. Następuje zmniejszenie emisji SO_2, co łagodzi problem odsiarczania spalin. Poza tym biomasa jest jednym z najważniejszych elementów zrównoważonego rozwoju.
3. W praktyce wykorzystanie biomasy do celów energetycznych niesie ze sobą również wiele problemów technicznych, które wynikają przede wszystkim z wysokiej zawartości wilgoci w surowej biomasie, która wpływa negatywnie na efektywność spalania, oraz zbyt małej gęstości utrudniającej magazynowanie, transport i dozowanie paliwa do paleniska oraz wpływającej na przebieg i stabilność procesu spalania. Problemy te rozwiązuje się przez zwiększenie gęstości biomasy na drodze brykietowania lub granulacji oraz stosowania odpowiednich konstrukcji urządzeń kotłowych. Stosuje się także (zgodnie z Dyrektywami UE) współspalanie biomasy z węglem.
4. Analiza procesu spalania rozdrobnionej biomasy jest kontynuowana z zastosowaniem bilansowania egzergetycznego instalacji.

Literatura

[1] Tytko R., *Odnawialne źródła energii. Wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Deka, Kraków 2008.

[2] Karwasz Z., *Biomasa jako źródło wytwarzania energii odnawialnej w Polsce*, Czysta Energia, 7-8/2007, s. 16-17.

[3] Lewandowski W.M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, wydanie IV, WNT, Warszawa 2007.

[4] Wisz J., Matwiejew A., *Biomasa- badania w laboratorium w aspekcie przydatności do energetycznego spalania*, [online: dostęp 2.10.2008]. Dostępny w internecie: http://www.systemyogrzewania.pl/technologie/technologie.asp?id_artykulu=493

[5] Katalog firmy HERZ, *Wykorzystanie biopaliw stałych w ogrzewnictwie*.

[6] *Właściwości biomasy jako paliwa,* [online: dostęp 8.10.2008]. Dostępny w internecie: http://www.biomasa.org/index.php?d=artykul&kat=51&art=47.

[7] Niedziółka I., Zuchniarz A., *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, [online: dostęp 2.10.2008]. Dostępny w internecie: http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Motrol8a/Niedziolka.pdf.

[8] *Rodzaje biomasy*, [online: dostęp 8.10.2008]. Dostępny w internecie: http://www.biomasa.org/index.php?d=artykul&kat=50&art=46.

[9] *Brykiet drzewny*, [online: dostęp 8.10.2008]. Dostępny w internecie: http://www.biomasa.org/index.php?d=artykul&kat=55&art=51.

[10] *Drewno i słoma. Właściwości i technologie spalania*, Poradnik, Gdańsk 2005, [online: dostęp 25.10.2008]. Dostępny w internecie: http://bape.top100.net.pl/LinkClick.aspx?fileticket=GsJSAvHh0oI%3D&tabid=90&mid=550.

[11] Szargut J., *Wpływ ogrzania powietrza na starty egzergii przy spalaniu*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 104, Energetyka, z.14, 1964, s. 35-50.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[12] S z a r g u t J., *Bilans egzergetyczny procesów cieplnych*, Energetyka przemysłowa 9 (1961), nr 3, s. 73-79.
[13] S z a r g u t J., *O praktycznym znaczeniu egzergii*, Energetyka przemysłowa 10 (1962), nr 11, s. 373.
[14] S z a r g u t J., P e t e l a R., *Egzergia*, WNT, Warszawa 1965.
[15] P e t e l a R., *Gospodarka cieplna*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1971.
[16] S z a r g u t J., *Pojęcie egzergii w odróżnieniu od energii i możliwości praktycznego stosowania egzergii*, Energetyka przemysłowa 10 (1962), nr 11, s. 374-378.
[17] *Analiza spalin i kontrola spalania*, [online: dostęp 17.04.2009]. Dostępny w internecie: http://www.2itam.pl/it/pliki/do_pobrania/materialy_dydaktyczne/m_grzelczak/analiza_spalin.pdf.
[18] *Bilans energii kotła ORG-32*, [online: dostęp 10.05.2009]. Dostępny w internecie: http://www.itc.polsl.pl/szapajko/www_itc_pliki/gospodarka/BE_ORG32.pdf.
[19] *Określenie składników bilansu energii dla kotła kondensacyjnego opalanego gazem ziemnym*, [online: dostęp 10.05.2009]. Dostępny w internecie: http://www.itc.polsl.pl/newitc/files/studenci/laboratorium/techniki_cieplnej/Cw-7_OkreslSkladniBilansu.pdf.
[20] *Spalanie – poprawione i uzupełnione o paliwa gazowe*, [online: dostęp 10.05.2009]. Dostępny w internecie: http://www.termodynamika.pwr.wroc.pl/files/SPALANIE.pdf.
[21] *Optymalizacja procesów cieplnych*, [online: dostęp 10.05.2009]. Dostępny w internecie: http://www.imc.pcz.czest.pl/instytut/pl/3/3.8/materialy/opc/opc_1.pdf.
[22] D ł u g a A., *Spalanie wybranych rodzajów biomasy*, Praca magisterska, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Krakowskiej, Kraków 2009.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ