

58/2003

**Raport Badawczy**

**RB/40/2003**

**Research Report**

**Procesy termicznej konwersji  
biomasy**

**W. Ciechanowicz, P. Bartoszczuk**

**Instytut Badań Systemowych  
Polska Akademia Nauk**

**Systems Research Institute  
Polish Academy of Sciences**



# **POLSKA AKADEMIA NAUK**

## **Instytut Badań Systemowych**

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:  
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Warszawa 2003

# Procesy Termicznej Konwersji Biomasy

Wiesław Ciechanowicz, Paweł Bartoszczuk

Instytut Badań Systemowych PAN

Zgodnie z ekspertyzą Międzynarodowego Zespołu Specjalistów do Zmian Klimatu, w celu zachowania klimatu ziemskiego dla przyszłych generacji, istnieje konieczność wprowadzenia w skali globalnej nowoczesnego systemu bioenergetycznego do końca XXI wieku. Nowoczesny system to ten, który będzie efektywnie wykorzystywał biomasę jako źródło energii, a więc który będzie wykorzystywał biomasę w postaci przetworzonej. Jedną z możliwości przetwarzania biomasy to przetwarzanie chemiczne. Początkuje je konwersja termiczna. Omówienie procesów termicznej konwersji biomasy jest tematem niniejszej publikacji.

## Uwagi wstępne

Do termicznej konwersji biomasy zaliczamy procesy:

- pirolizy,
- gazyfikacji,
- spalania.

W przypadku pirolizy i gazyfikacji, ciepło stanowi czynnik inicjujący termiczną konwersję procesów. Zachodzi to zgodnie z przedstawionymi poniżej bilansami:

dla procesu pirolizy:

**biomasa + ciepło → produkt w stanie stałym + produkty w stanie lotnym,**

dla procesu gazyfikacji w zależności od ilości dostarczanego tlenu:

**biomasa + tlen + ciepło → produkt w stanie stałym + produkty w stanie lotnym**

lub

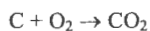
**biomasa + tlen + ciepło → produkty w stanie lotnym**

gdzie produktem w stanie stałym jest węgiel drzewny.

W przypadku procesu spalania produktem termicznej konwersji jest ciepło zgodnie z zależnością:

**biomasa + tlen → ciepło + produkty spalania.**

Gdzie reakcję spalania opisuje zależność



Korzyści wynikające z gazyfikacji biomasy to przede wszystkim możliwość substytucji paliw kopalnych, większa efektywność wykorzystywania biomasy jako pierwotnego nośnika energii. Także możliwość redukcji emisji  $CO_2$  i  $NO_x$ .

### **Właściwości termicznej konwersji biomasy**

Podstawowym parametrem charakteryzującym proces termicznej konwersji biomasy jest tak zwany wskaźnik ekwiwalentny  $\phi$ . Jest on definiowany jako stosunek dostarczonej ilości tlenu w procesie konwersji termicznej do ilości tlenu, przy której następowaloby całkowite spalanie biomasy. Całkowite spalanie biomasy w atmosferze tlenu zachodziłoby przy wskaźniku

ekwiwalentnym o wartości 1.476 (masa tlenu / masy biomasy), lub w przypadku spalania w atmosferze powietrza wskaźnik ten jako stosunek wagowy powietrze / masa biomasy przybierałby wartość 6.36.

Proces pirolizy zachodzi w nieobecności atmosfery tlenu w procesie konwersji termicznej dla  $\phi = 0$ , lub w obecności niewielkich ilości tlenu.

Gdy  $\phi = 0$  w wyniku termicznej konwersji uzyskuje się jako produkt w stanie stałym – węgiel drzewny - i lotne produkty w stanie gazowym, których głównymi składowymi są: wodór i tlenek węgla (Tablica 1).

Gdy proces konwersji termicznej zachodzi przy  $\phi = 0.25$ :

- cały węgiel uczestniczący w konwersji termicznej biomasy jest przetwarzany do gazu, a więc zachodzi proces całkowitej gazyfikacji biomasy,
- energia zawarta w gazie, jako wartość kaloryczna gazu, przypadająca na jednostkę wagową biomasy, osiąga maksimum.

W miarę gdy wartość  $\phi$  wzrasta, a więc w miarę zwiększania dopływu tlenu lub powietrza w procesie zgazowywania, maleje udział wodoru i tlenku węgla, natomiast znacznie wzrasta udział azotu.

Sumaryczna wartość kaloryczna produktów zgazowywania przybiera największą wartość dla  $\phi = 0$ . Największą wartość kaloryczną produktów lotnych zgazowywania uzyskuje się dla  $\phi = 0.25$ .

Wartość wskaźnika ekwiwalentnego większa lub równa 1 jest typowa dla procesu spalania.

Tablica 1. Skład (w % moli) produktów lotnych gazyfikacji biomasy dla różnych wartości wskaźnika ekwiwalentnego.

Składowe gazu	$\phi = 0$	$\phi = 0.20$	$\phi = 0.25$	$\phi = 0.40$	$\phi = 0.60$	$\phi = 0.80$	$\phi = 1.00$
H <sub>2</sub>	0.45	0.30	<b>0.24</b>	0.13	0.05	0.025	0.00
CO	0.20	0.32	<b>0.33</b>	0.27	0.16	0.075	0.02
CH <sub>4</sub>	0.05	0.01	<b>0.00</b>	0.00	0.00	0.00	0.00
CO <sub>2</sub>	0.15	0.04	<b>0.03</b>	0.07	0.08	0.12	0.16
H <sub>2</sub> O	0.15	0.03	<b>0.02</b>	0.05	0.12	0.13	0.12
N <sub>2</sub>	0.00	0.03	<b>0.38</b>	0.48	0.58	0.65	0.70

Tablica 2. Wartości kaloryczne produktów konwersji termicznej biomasy w atmosferze tlenu i powietrza.

Wartość kaloryczna W MJ/kg biomasy	$\phi=0$	$\phi=0.1$	$\phi=0.2$	$\phi=0.25$	$\phi=0.3$	$\phi=0.4$	$\phi=0.6$	$\phi=0.8$
<b>Zgazowanie w atmosferze tlenu</b>								
Węgla drzewnego	10.8	6.2	1.8	<b>0.0</b>	0.0	0.0	0.0	.0
Gazu	9.0	13.2	17.0	<b>19.0</b>	17.0	15.3	13.0	11.0
Sumarycznie	19.8	19.4	18.8	<b>19.0</b>	17.0	15.3	13.0	11.0
<b>Zgazowanie w atmosferze powietrza</b>								
Węgla drzewnego	10.8	6.8	3.0					
Gazu	9.0	12.2	15.2	<b>17.2</b>	17.0	15.0	10.0	5.0
Sumarycznie	19.8	19.0	18.2	<b>17.2</b>	17.0	15.0	10.0	5.0

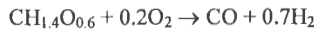
### Proces pirolizy

Proces pirolizy może:

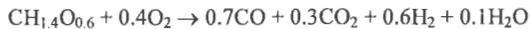
- zachodzić powolnie, w temperaturze 350 °C ,którego produktem jest **węgiel drzewny i produkty gazowe,**
- przebiegać szybko przy temperaturze znacznie powyżej 350 0C, dając jako produkty **węgiel drzewny, produkty ciekłe i gazowe.**

### Proces gazyfikacji

Proces gazyfikacji mokrej i suchej biomasy znacznie różni się. W przypadku gazyfikacji suchej biomasy proces przebiega zgodnie z reakcją



W przypadku mokrej biomasy reakcja zgazowywania ma postać



Oznacza to, że zmniejszając wilgotność biomasy zmniejsza się zapotrzebowanie na tlen, gdyż nie produkuje się dodatkowo dwutlenku węgla i wody, więcej produkuje się wodoru i tlenku węgla.

Dla gazu uzyskiwanego poprzez gazyfikację biomasy relacja  $\text{H}_2 : \text{CO}$  wynosi 1 : 1. Około 30 % energii zawartej w zgazowywanej biomacie jest wykorzystywana jako energia procesu zgazowywania.

## Uwagi

Omawiane zagadnienie termicznej konwersji biomasy jest istotne z punktu widzenia opracowania:

- technologii zgazowywania biomasy, która stanowiłaby produkcję gazu zasilającego ogniwa ceramiczne,
- technologii produkcji gazu syntezowego wykorzystywanego w produkcji metanolu.

W obydwóch przypadkach produkty zgazowania muszą być pozbawione wszelkich nieczystości, co jest piętą Achilleśską gazyfikacji biomasy, nie tylko ze względu na fakt, że te nieczystości są rakotwórcze.

Z punktu widzenia produkcji gazu syntezowego najbardziej właściwą technologią zgazowywania biomasy jest technologia stosująca dwuetapowy proces gazyfikacji.

Pierwszy etap obejmuje niskotemperaturowy proces pirolizy, zachodzący przy temperaturze 350 °C, przy której następuje rozpad biomasy na gazowe i stałe produkty pirolizy w postaci węgla drzewnego.

W drugim etapie procesu zgazowywania produkty lotne są spalane w atmosferze powietrza w oddzielnym palenisku. Ciepło procesu spalania uczestniczy w wytwarzaniu pary wodnej, która jest sposobem na dostarczanie ciepła i tlenu do gazyfikacji węgla drzewnego zachodzącej zgodnie z reakcją wodną



Powstaje nowy problem określenia właściwości termicznej konwersji węgla drzewnego w atmosferze pary wodnej.



## Literatura

1. Reed T. Biomass gasification: Principles and technology, Energy Technology Review, No 67.
2. Reed T., Das A. Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems, NREL, USA, Biomass Energy Foundation Press, 1998.
3. Reed T., Gaur S., Survey of biomass gasification, NREL, USA, Biomass Energy Foundation Press, 1998.
4. Ciechanowicz W., Bartoszczuk P., Zagadnienia konwersji biomasy i węgla do metanolu, Instytut Badań Systemowych PAN, 2003.





