

ADAPTACJA MODUŁOWEGO REAKTORA CIŚNIENIOWEGO DO TESTÓW PIROLITYCZNEJ KONWERSJI BIOMASY

ADAPTATION OF THE MODULAR PRESSURE REACTOR FOR THE PYROLYTIC TEST OF BIOMASS CONVERSION

Dominika Kufka* - Poltegor-Instytut IGO, Wrocław; Uniwersytet Wrocławski, Wrocław

Krzysztof Poterała - Poltegor-Instytut IGO, Wrocław

W artykule scharakteryzowano proces pirolizy, jako metodę konwersji biomasy. Opisano rozwiązania technologiczne wykorzystane przy adaptacji modułowego reaktora ciśnieniowego w celu prowadzenia procesów pirolizy. Ponadto przedstawiono przykładowe możliwości wykorzystania (powstałego w procesie pirolizy) karbonizatu w różnych dziedzinach gospodarki.

Słowa kluczowe: piroliza, biomasa, reaktor

This paper describes the process of pyrolysis, as a method of biomass conversion. The technological solutions used for the adaptation the modular pressure reactor, in purpose of carrying the pyrolysis process were described. Moreover, exemplary possibilities to exploit the char (which is produced in the pyrolysis processes) in different areas of the economy were presented.

Key words: pyrolysis, biomass, reactor

Piroliza - charakterystyka procesu

Wśród termicznych metod konwersji biomasy wyróżnić można trzy podstawowe procesy: spalanie, zgazowanie i pirolizę. Procesy te różnią się warunkami, w których przebiegają reakcje rozkładu biomasy. Głównym parametrem determinującym powyższy podział procesów jest tzw. współczynnik nadmiaru powietrza (λ), określający rzeczywisty stosunek ilości powietrza, w której spalany jest surowiec, do ilości powietrza niezbędnego do całkowitego jego spalania [1]. Proces pirolizy jest prowadzony przy ograniczonym dostępie czynników utleniających, czyli niskim współczynnikiem nadmiaru powietrza ($\lambda < 1$), i w ściśle określonych warunkach temperaturowych [2]. Ponadto kluczowe znaczenie dla ilości i jakości otrzymywanych w procesie produktów ma tempo nagrzewania biomasy. W momencie osiągnięcia tzw. temperatury krytycznej konwertowanego związku, możemy mówić o początku pirolizy. W następstwie tego procesu, na skutek rozkładu złożonych związków chemicznych do prostszych oraz wydzielenia substancji gazowych, ciekłych i stałych, obserwuje się zmniejszenie masy pirolizowanego surowca [2, 3]. Stałym produktem pirolizy jest karbonizat. Może on być produkowany z biomasy, w której występują biomolekuły, takie jak celuloza, hemiceluloza czy lignina [4, 5], a także z odpadów komunalnych zawierających frakcję organiczną [6].

Istotne aspekty dotyczące pirolizy wiążą się także z typem wykorzystywanego reaktora i sposobem prowadzenia procesu. W podstawowym podziale metod rozróżnia się pirolizę wolną,

szybką oraz błyskawiczną (tab.1). W każdej z wymienionych metod uzyskujemy produkty gazowe, płynne i stałe w różnych proporcjach, a co za tym idzie, możliwe jest sterowanie procesem w taki sposób aby uzyskiwać produkty, na które jest największe zapotrzebowanie. Piroliza wolna skutkuje powstawaniem większej ilości karbonizatu, natomiast prowadzenie procesu w wyższych temperaturach, przy szybkim tempie nagrzewania biomasy powoduje ukierunkowanie procesu pod kątem dużej wydajności produktów gazowych [7].

Tab.1. Charakterystyka warunków procesów pirolizy [8]

Tab.1. Characteristics of pyrolysis processes [8]

| Warunki procesu | Piroliza | | |
|----------------------------------------------|-----------|------------|--------------|
| | Wolna | Szybka | Błyskawiczna |
| Temperatura [°C] | 300 – 700 | 600 – 1000 | > 800 |
| Szybkość nagrzewania [°C/s] | 0,1 – 1 | 10 – 200 | ≥1000 |
| Czas przebywania w temperaturze końcowej [s] | 450 - 550 | 0,5 – 10 | <0,5 |
| Rozmiar cząsteczek [mm] | 5-50 | <1 | <0,2 |

*Autorka jest stypendystką projektu pt. „Akademia Rozwoju - kluczem wzmocnienia kadr polskiej gospodarki” współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.

Wśród dostępnych na rynku typów reaktorów, wykorzystujących różne technologie dostarczania energii cieplnej, podawania surowca czy odbioru produktów procesu, wyróżnić można reaktory ze złożem fluidalnym, stożkowe, strumieniowe, próżniowe, ablacyjne czy z podajnikiem ślimakowym [9]. Do tych najczęściej wykorzystywanych należą reaktory ze złożem fluidalnym, w których poprzez ciągły ruch cząsteczek surowca w strumieniu gazu, następuje intensyfikacja zachodzących procesów fizykochemicznych. Fluidyzacja zapewnia także równomierną konwersję poddanych procesowi surowców [10].

Celem pracy było przedstawienie zastosowanych rozwiązań technologicznych wykorzystanych do adaptacji modułowego reaktora zgazowania węgla znajdującego się w Poltegorze - Instytucie we Wrocławiu, aby możliwe było prowadzenie badań nad procesami pirolitycznej konwersji biomasy.

Modułowy reaktor do zgazowania - charakterystyka instalacji

Modułowy reaktor do zgazowania, znajduje się w Laboratorium Zgazowania Węgla w Poltegorze - Instytucie we Wrocławiu [11, 12]. Początkowe założenia technologiczne i techniczne, sporządzone dla stanowiska badawczego, miały na celu umożliwienie odwzorowania warunków występujących podczas podziemnego zgazowania węgla brunatnego poprzez m.in.:

- określenie wpływu procesu zgazowania na środowisko,
- określenie ilości niezbędnych do procesu czynników zgazowujących,
- opracowanie założeń technologicznych dla procesu podziemnego zgazowania węgla brunatnego.

W obecnym układzie technologicznym instalacji wyodrębniono następujące elementy:

- modułowy reaktor zgazowania (rys.1), który umożliwia przeprowadzenie procesu w temperaturze do 1300°C i ci-



Rys. 1. Modułowy reaktor zgazowania węgla
Fig. 1. Modular coal gasification reactor

śnieniu do 5 MPa. Reaktor wyposażony jest w trzy czujniki temperatury w zakresie pomiarowym 0-1300°C, manometr wskazówkowy i przetwornik ciśnienia pracujące w zakresie 0-1 MPa,

- blok zasilający reaktor w media technologiczne (rys. 2) obejmujący skraplacz oparów downthermu, przegrzewacz pary, podgrzewacz powietrza, wytwornicę pary wodnej, chłodnicę wodną i kolumnę hybrydową, który umożliwia



Rys. 2. Blok zasilania reaktora modułowego w media technologiczne
Fig. 2. Technological media dosing block for modular reactor

przeprowadzenie badań metodą okresową z zastosowaniem cyklicznego dozowania pary (dopuszczalne ciśnienie pary do 2,5 MPa i temperatura do 300°C), powietrza lub powietrza z domieszką tlenu (dopuszczalne stężenie tlenu do 30%),

- blok sterowania i monitorowania procesu, gdzie jednostką sterującą jest sterownik (Siemens S7-300), dla którego jako system nadrzędny zastosowano oprogramowanie wizualizacyjne SCADA INTUCH zainstalowane na komputerze klasy PC,
- blok oczyszczania i utylizacji gazu, w którego skład wchodzi chłodnica wodna, kolumna hybrydowa, zamknięcie hydrauliczne, hybrydowa pochodnia i element żarowy,
- blok analizatorów spalin (Siemens Calomat 6, Ultramat 23, Oxymat 61) umożliwiających pomiary składu gazu online,
- moduł do badania przenikalności utworów geologicznych.

Przedstawiony układ technologiczny reaktora został zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby możliwa była rozbudowa instalacji i jej adaptacja na potrzeby badań nad termochemicznymi procesami konwersji biomasy metodą pirolizy.

Adaptacja stanowiska badawczego na potrzeby przeprowadzenia badań pirolitycznej konwersji biomasy

Istniejącą instalację badawczą wzbogacono o moduł pirolitycznej konwersji biomasy (rys. 3), na który składa się pompa próżniowa pozwalająca na przeprowadzenie procesu pirolizy w warunkach ograniczonego dostępu tlenu. Układ wyposażono także w manometry próżniowe o rozszerzonym, dolnym zakresie pomiarowym (od -0,1 do 0,15 MPa). Ponadto, stworzono system sterowania temperaturą, który składa się z regulatora temperatury, grzałki oraz termopary. Funkcję regulatora temperatury pełni sterownik PLC (ang. *Programmable Logic Controller*) Siemens s7-300 ze względu na dużą możliwość implementacji różnych algorytmów automatycznej regulacji poczynawszy od algorytmów regulacji nieciągłej - dwustanowej, poprzez algorytmy regulacji

ciągłej i dyskretnej. Rodzaj regulatora dobrano do właściwości dynamicznych obiektu, do którego stworzono algorytm sterowania temperaturą. Przy pomocy sterownika możliwe jest pełne sterowanie temperaturą i jej przyrostem w zaplanowanych odstępach czasowych.

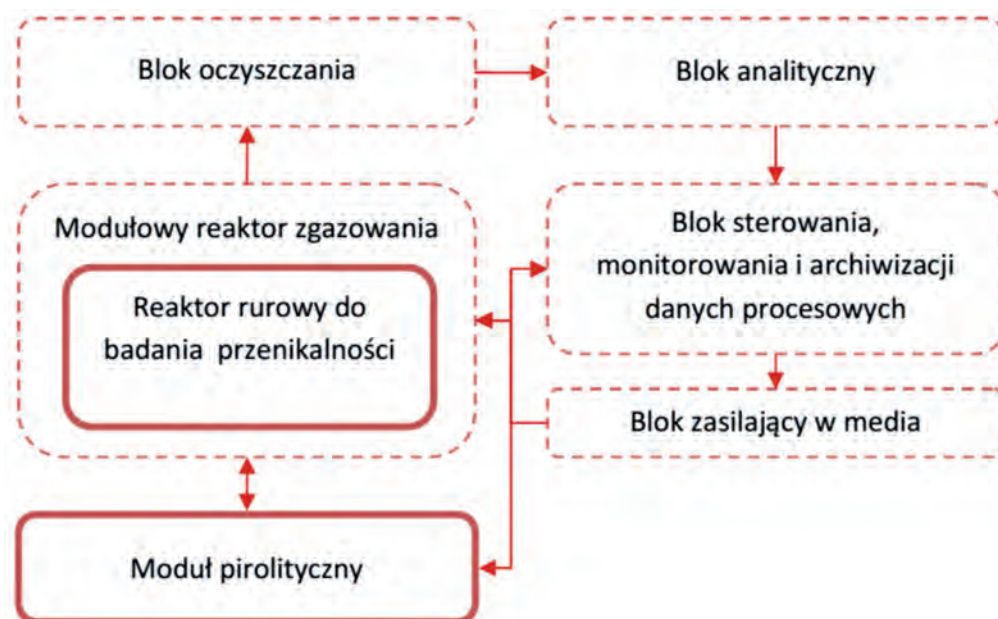
Kolejnym etapem adaptacji istniejącego układu technologicznego będzie dostosowanie modułu podawania mediów w taki sposób, aby możliwe było wytworzenie złoża fluidalnego w reaktorze.

Testy pirolityczne oraz możliwości wykorzystania karbonizatu

Powyższa modyfikacja urządzenia badawczego umożliwia wytwarzanie produktów o bardzo wysokiej jakości. Aktualnie prowadzone są eksperymentalne testy wytwarzania produktów pirolitycznych, z różnego rodzaju biomasy. Karbonizat powstający w procesie pirolizy stanowi wartościowy produkt, który ze względu na swoje właściwości może znaleźć zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki. Szwajcarski Instytut Ithaka zidentyfikował szereg możliwości wykorzystania karbonizatu [13]. Wśród tych najczęściej opisywanych, karbonizat może służyć jako paliwo alternatywne współspalane w elektrowniach i elektrociepłowniach. Jego właściwości sorpcyjne klasyfikują go do wykorzystania jako preparat wpływający na polepszenie właściwości gleby. Ponadto, karbonizat może być wykorzystany również jako pochłaniacz odorów, naturalny konserwant żywności, materiał w budownictwie do tworzenia tynków zewnętrznych, w kosmetyce czy też do produkcji pasz.

Podsumowanie

Przeprowadzona adaptacja modułowego reaktora do zgazowania umożliwia prowadzenie procesów termicznej konwersji biomasy metodą pirolizy, co umożliwi wykonywanie badań w dużo szerszym zakresie oraz opracowywanie metod wytwarzania innowacyjnych produktów, które mogą znaleźć szerokie zastosowanie w gospodarce.



Rys. 3. Schemat blokowy instalacji do badań pirolitycznej konwersji biomasy po przeprowadzonej adaptacji reaktora
Fig. 3. Block diagram of the installation for the pyrolytic testing of biomass conversion after the reactor adaptation

Literatura

- [1] Smolarz A., *Diagnostyka procesów spalania paliw gazowych, pyłu węglowego oraz mieszaniny pyłu węglowego i biomasy z wykorzystaniem metod optycznych*, Politechnika Lubelska, Lublin, 18, 2013
- [2] Bridgwater A.V., *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading*. Biomass and Bioenergy, 38: 68–94, 2012
- [3] Bridgwater A.V., Peacocke G.V.C. *Fast pyrolysis processes for biomass*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 4: 1–73, 2000
- [4] Özçimen D., Ersoy-Meriçboyu A., *Characterization of biochar and bio-oil samples obtained from carbonization of various biomass materials*. Renewable Energy 35:1319–1324, 2010
- [5] Kanaujia P.K., Sharma Y.K., Garg M.O., Tripathi D., Singh R., *Review of analytical strategies in the production and upgrading of bio-oils derived from lignocellulosic biomass*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 105: 55–74, 2014
- [6] Phan A.N., Ryu C., Sharifi V.N., Swithenbank J., *Characterisation of slow pyrolysis products from segregated wastes for energy production*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 81:65–71, 2008
- [7] Bergman P.C.A., Boersma A.R., Zwart R.W.R., Kiel J.H.A., *Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations "BIOCOAL", ECN-C-05-013, 2005*, <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05013.pdf>.
- [8] Rasul M.G., Jahirul M.I., *Recent Developments in Biomass Pyrolysis for Bio-Fuel Production: Its Potential for Commercial Applications*. Energy, Environmental and Structural Engineering Series 4: 256–265, 2012, <http://www.wseas.org/multimedia/books/2012/Kos/WEGECM.pdf>.
- [9] Stelmach S., *Termochemiczna konwersja biomasy i bioodpadów z wykorzystaniem procesów pirolizy i zgazowania. Materiały z seminarium pt. „Piroliza biomasy - zrównoważona technologia wytwarzania biowęgla i energii odnawialnej”*, Opole, 06.12.2013, http://www.icimb.pl/opole/images/stories/PDF/Konf_E2BEBIS/Termochemiczna_konwersja_biomasy_i_bioodpadow_z_wykorzystaniem_procesow_pirolizy_i_zgazowania.pptx.
- [10] Yang W.C., *Handbook of Fluidization and Fluid-Particle Systems*, Marcel Dekker, Inc., New York., pp. 53–111, 2003
- [11] Król M., Polinceusz K., Poterała K., *Zaprojektowanie, budowa i uruchomienie systemu pomiarowo - sterującego z automatyką do identyfikacji procesów zgazowania węgla brunatnego w reaktorze doświadczalnym*. Raport, Poltegor-Institut IGO, Wrocław, 2009 (niepubl.)
- [12] Polinceusz K., *System sterowania, wizualizacji i archiwizacji danych procesowych w laboratoryjnej instalacji zgazowania węgla*. Górnictwo Odkrywkowe, 6, 74–76, 2010
- [13] Schmidt H.P., *55 Uses of Biochar*. Ithaka Journal 1: 286–289, 2012, <http://www.ithaka-journal.net/druckversionen/e082012-55-uses-of-bc.pdf>.



fot. Michal Duczmal

Z cyklu: "Piękno zakłete w skale" (Andy - Chile)