

Przemysłowe laboratorium technologii chemicznej IB:

PIROLIZA WĘGLA I BIOMASY

Termin **piroliza** (połączenie greckich słów $\pi\tilde{\upsilon\rho}$ - ogień i $\lambda\upsilon\sigma\iota\varsigma$ – rozkład) oznacza rozkład cząsteczek związku chemicznego pod wpływem podwyższonej temperatury bez obecności tlenu lub innego czynnika utleniającego. Zazwyczaj w czasie procesu pirolizy następuje rozkład złożonych związków chemicznych do związków o mniejszej masie cząsteczkowej.

Procesowi pirolizy mogą być poddawane zarówno materiały organiczne (np. węgiel, biomasa, odpady), jak i nieorganiczne (surowce ceramiczne). Piroliza substancji organicznych prowadzi do otrzymania stałej pozostałości, tzw. karbonizatu i wydzielenia części lotnych w postaci smoły pirolitycznej i gazu pirolitycznego. W skali przemysłowej celem procesu pirolizy materiałów organicznych jest przetwarzanie surowców (węgiel, biomasa) do użytecznych form energii, recykling surowcowy (polimery odpadowe) oraz wytwarzanie półproduktów będących surowcami do dalszego ich wykorzystania. Piroliza surowców ceramicznych w wysokich temperaturach, powoduje ich spiekanie przy jednoczesnym usunięciu wody. Otrzymuje się w ten sposób materiały ceramiczne o dużo niższej gęstości od gęstości surowca.

Termochemiczne przetwarzanie surowców pochodzenia organicznego na drodze pirolizy zalicza się do najstarszych przemysłowych procesów termicznych znanych człowiekowi. Sucha destylacja drewna znana jest od ok. 8000 lat. W jej wyniku otrzymywany jest węgiel drzewny, który stanowił podstawowy materiał w procesach metalurgicznych. Smoła dostarczała substancji do impregnacji, izolacji itp. Woda wytłевна znajdowała zastosowanie w balsamowaniu.

Obecnie największe znaczenie przemysłowego zastosowania procesów pirolizy węgla i biomasy mają: koksowanie (**!proszę przypomnieć sobie treść instrukcji: KOKSOWANIE WĘGLA!** – <http://www.polymer-carbon.ch.pwr.wroc.pl>) i wytłewanie (półkoksowanie). Są to odpowiednio procesy wysokotemperaturowego i niskotemperaturowego odgazowania paliwa. Należy też pamiętać, że piroliza jest nie tylko ważnym przemysłowym procesem przetwarzania węgla i biomasy, ale także jest istotnym etapem innych procesów termochemicznego, spalania i zgazowania.

W dalszej części instrukcji uwagę skupiono na procesie niskotemperaturowej pirolizy.

1. Surowce do procesu pirolizy: węgiel i biomasa

Naturalne paliwa stałe są ważnymi surowcami dla współczesnego przemysłu chemicznego, a produkty ich przerobu wykorzystuje się m.in. do produkcji farb, lakierów, żywic, farmaceutyków, paliw ciekłych i stałych, węgli aktywnych, chemikaliów. W zależności od zawartości pierwiastka C wyróżnia się pięć podstawowych grup paliw stałych:

- Drewno
- Torf
- Węgiel brunatny
- Węgiel kamienny
- Antracyt.

Podstawowymi surowcami wykorzystywanymi w procesach pirolizy są węgiel (koksowanie) i biomasa (sucha destylacja, szybka piroliza). Znajomość struktury chemicznej tych surowców, jak i ich zachowania w trakcie pirolizy jest niezwykle istotna z punktu widzenia zastosowania optymalnych rozwiązań technologicznych (np. rodzaj reaktora/pieca), doboru warunków prowadzenia procesu (temperatura, szybkość ogrzewania, czas trwania procesu), efektywności procesu, a także jego uciążliwości dla środowiska.

Struktura chemiczna biomasy jest wyraźnie różna od struktury chemicznej węgla, co można zapisać w postaci uśrednionego wzoru sumarycznego dla biomasy jako - $C_1H_{1,45}O_{0,7}$, a dla węgla

kamiennego jako $C_{12}H_{0,8}O_{0,08}$ [1]. Tak znaczna różnica w składzie chemicznym pomiędzy obydwoma paliwami skutkuje różnicami w ich właściwościach (Tabela 1).

Tabela 1. Porównanie składu i właściwości użytkowych biomasy, węgla i gazu ziemnego [2].

		Słoma	Drewno	Węgiel kamienny	Gaz ziemny
Wilgoć W^a ,	% mas.	15	30	12	0
Popiół A^a ,	% mas.	3	1	12	0
Części lotne V^a ,	% mas.	73	55	25	100
Wartość opałowa, MJ/kg		15	10,5	25	48
Węgiel C^a ,	% mas.	43	35	59	75
Wodór H^a ,	% mas.	5,2	4	3,5	24
Chlor Cl^a ,	% mas.	0,2	0,1	0,08	0
Azot N^a ,	% mas.	0,41	0,1	1	0,9
Siarka S^a ,	% mas.	0,13	0,1	0,8	0
Tlen O^a ,	% mas.	38	43	7,3	0,9

Węgiel

Węgiel kamienny jest najważniejszym stałym paliwem kopalnym, zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym. Sposób przemysłowego wykorzystania węgla kamiennego zależy od jego parametrów użytkowych takich jak: zawartość części lotnych, spiekalność i wartość opałowa, które decydują o klasyfikacji węgla. Węgiel kamienny stanowi podstawowy surowiec energetyczny (**spalanie**) i surowiec do otrzymywania koksu (**koksowanie**).

Węgiel kamienny jest heterogeniczną skałą osadową pochodzenia organicznego, głównie roślinnego, która zawiera 75-92 % mas. pierwiastka węgla (w przeliczeniu na stan suchy, bezpopiołowy). Skład i struktura chemiczna węgla zmienia się w miarę postępującego procesu uwęglenia. W węglu zasadniczą część stanowi substancja organiczna, której towarzyszy substancja mineralna i woda.

Podstawowym elementem struktury chemicznej węgla jest szkielet węglowy, do którego przyłączone są pozostałe pierwiastki, przede wszystkim wodór, a także heteroatomy: siarka, azot i tlen. Atomy węgla występują w skondensowanych układach węglowodorowych i skondensowanych układach heterocyklicznych. Ważny element struktury chemicznej węgla stanowią układy aromatyczne o niskim stopniu kondensacji i układy alifatyczne. Szkielet węglowy dopełniają połączenia węgla z heteroatomami tworząc grupy funkcyjne, mostki i rozgałęzienia. Tlen występuje w postaci szeregu grup funkcyjnych, zarówno reaktywnych ($-COOH$, $-OCH_3$, $-C=O$, $-OH$), jak i niereaktywnych ($C-O-C$, tlen wbudowany w pierścień). Azot z kolei pojawia się w węglu głównie w układach cyklicznych pięciocłonowych (ugrupowania pirolowe), sześciocłonowych (ugrupowania pirydynowe), a także jako azot białkowy (grupy aminowe). Siarka występuje zarówno w połączeniach nieorganicznych (siarczki, siarczany), jak i organicznych (tiole, siarczki, tiofeny). Obecność heteroatomów i grup funkcyjnych decyduje o rodzaju przemian zachodzących w trakcie ogrzewania.

Biomasa

Biomasa definiowana jest jako substancja organiczna, produkowana z energii słonecznej, dwutlenku węgla (z atmosfery) i wody w wyniku reakcji fotosyntezy. Biomasa może być pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, ale może też powstawać w wyniku tzw. metabolizmu społecznego.

W odróżnieniu od innych organicznych paliw stałych biomasa charakteryzuje się niską zawartością pierwiastka C, a jednocześnie wysoką zawartością tlenu. Inne heteroatomy, tj. siarka i azot występują w biomacie w małych ilościach i w niewielkim stopniu wpływają na przebieg procesu pirolizy.

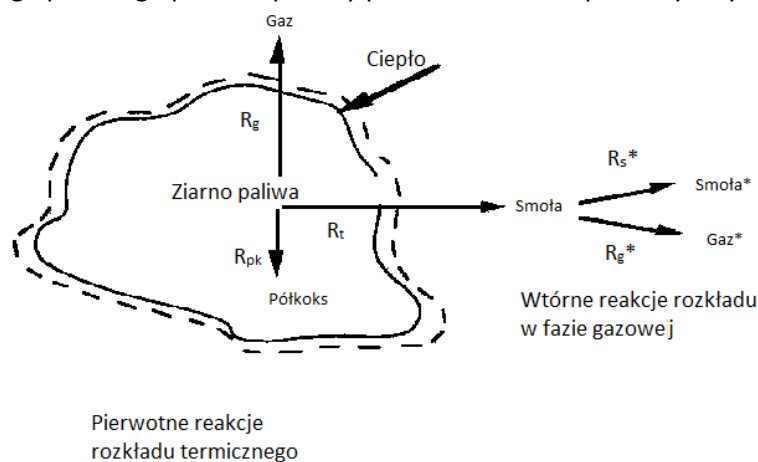
Biomase pochodzenia roślinnego stanowią trzy podstawowe składniki: **celuloza**, która jako włókniste węglowodany, tworzy zrąb ściany komórkowej, **hemiceluloza** będąca polisacharydem występującym w zdrewniałych tkankach roślinnych i **lignina** zwiększająca wytrzymałość mechaniczną

i chemiczną ścian celulozowych. Do pozostałych składników biomasy zalicza się m.in. żywice, woski, białka i części mineralne.

2. Piroliza paliw stałych - przemiany fizykochemiczne substancji organicznej.

Piroliza paliw stałych takich jak węgiel, czy biomasa, jako proces termochemicznego rozkładu substancji organicznej, prowadzi do powstawania stałej pozostałości, smoły, wody rozkładowej i gazu.

Szkielet materiału organicznego w wyniku podwyższania temperatury ulega termicznej dekompozycji z wydzieleniem związków o mniejszej masie cząsteczkowej. Termochemiczny rozkład skomplikowanych układów chemicznych jakimi są węgiel i biomasa nie da się zapisać w postaci jednej reakcji chemicznej. Najbardziej prawdopodobny jest równoczesny przebieg wielu reakcji pierwotnych i rozpad substancji organicznej w różnych jej miejscach. Oprócz tego zachodzą wtórne reakcje, które znacznie zmieniają charakter produktów wydzielających podczas reakcji pierwotnych. Schemat takiego przebiegu procesu pirolizy przedstawiono na poniższym rysunku:



Reakcje zachodzące w trakcie procesu pirolizy materiału organicznego zaliczane są do reakcji rodnikowych. Wzrost temperatury powoduje rozpad najmniej trwałych wiązań i zwiększanie się ilości wolnych rodników, które mogą reagować na wiele różnych sposobów. Przebieg tych reakcji zależy od rodzaju i wielkości cząstek surowca, relacji temperaturowo-czasowych, czy też rodzaju i ciśnienia atmosfery gazowej panujących w reaktorze [1]. Niezwykle ważną rolę w przebiegu reakcji pirolizy odgrywają grupy funkcyjne i obecność wodoru, który stabilizuje wolne rodniki. Uproszczony przebieg reakcji, które mogą zachodzić podczas pirolizy substancji organicznej przedstawiono poniżej [3]:

- Rozkład termiczny wiązań matrycy organicznej

$$R : R \rightarrow R^{\cdot} + R^{\cdot}$$
- Przyłączenie wodoru pochodzącego z zewnętrznych i wewnętrznych źródeł

$$R^{\cdot} + H^{\cdot} \rightarrow R : H$$
- Rozpad rodnika

$$R^{\cdot} \rightarrow + R^{\cdot} : H + R^{\cdot}$$
- Dysproporcjonowanie wodoru

$$2R^{\cdot} \rightarrow R : H + R^{\cdot} - CH = CH_2$$
- Łączenie rodników

$$R^{\cdot} + R^{\cdot} \rightarrow R : R$$

W trakcie reakcji rozkładu termicznego paliw wydzielają się substancje zarówno reaktywne, jak i niereaktywne. Substancje reaktywne mogą ulegać wtórnym reakcjom rozkładu, a wysokocząsteczkowe składniki w reakcjach polimeryzacji, kondensacji i rekombinacji tworzą stałą pozostałość o różnych właściwościach i strukturze.

Szybkość ogrzewania próbek ma decydujący wpływ zarówno na wydajność produktów, jak i na przebieg reakcji, a w konsekwencji na rodzaj produktów rozkładu. Im większa szybkość ogrzewania próbek i szybsze chłodzenie produktów rozkładu, tym mniej reakcji wtórnych zachodzi w czasie rozkładu paliwa.

3. Przemysłowe procesy pirolizy

Naturalne paliwa stałe (węgiel brunatny, węgiel kamienny, biomasa) w największym stopniu wykorzystuje się w procesach termochemicznego przetwarzania, do których należą:

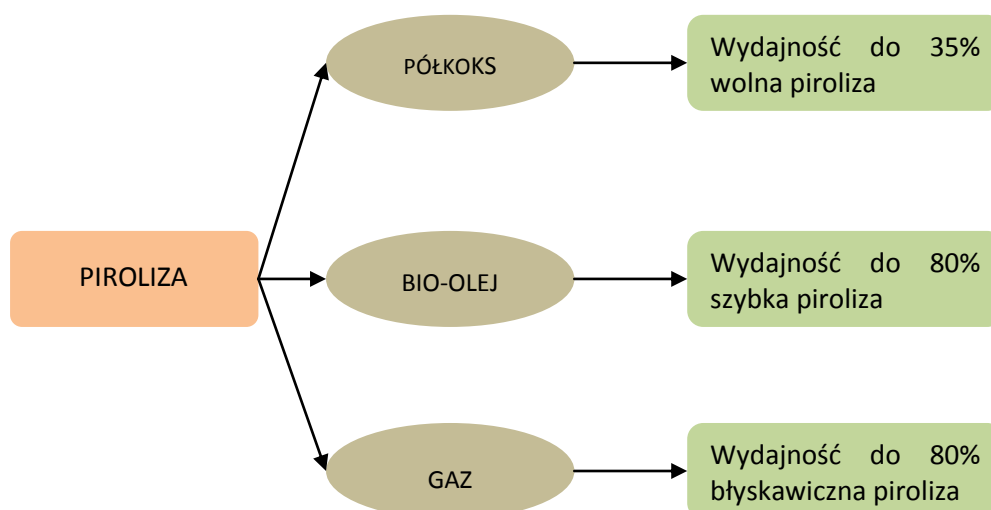
- *spalanie* – proces termochemiczny prowadzony w obecności tlenu; podstawowymi produktami procesu są CO₂ i H₂O;
- *zgazowanie* – proces całkowitej przemiany termochemicznej, przeprowadzany w obecności tlenu lub powietrza z dodatkiem pary wodnej; produktem jest mieszanina gazów palnych, przede wszystkim CO, H₂ i węglowodorów jako potencjalnego paliwa;
- *piroliza* – proces termochemiczny prowadzony bez dostępu powietrza, w wyniku którego powstają produkty stałe, ciekłe i gazowe;
- *upłynnianie* – proces, którego celem jest wytwarzanie ciekłych paliw z naturalnych paliw stałych.

Rozróżniamy kilka rodzajów pirolizy ze względu na stosowane warunki procesu takie jak temperatura, szybkość nagrzewania, stopień rozdrobnienia, czas wygrzewania w temperaturze końcowej, *Tabela 2*. Może to być piroliza konwencjonalna, szybka lub błyskawiczna, przy czym ta ostatnia nie ma zastosowania w większej skali.

Tabela 2 Główne parametry dla różnych procesów pirolizy

Warunki procesu	Konwencjonalna piroliza	Szybka piroliza	Błyskawiczna piroliza
Temperatura [°C]	300 – 700	600 – 1000	800 – 1000
Szybkość nagrzewania [°C/s]	0,1 – 1	10 – 200	≥1000
Czas przebywania w temperaturze końcowej [s]	600 - 6000	0,5 – 5	<0,5
Rozmiar cząstek [mm]	5-50	<1	pył

Warunkami pirolizy, np. szybkością ogrzewania surowca można sterować tak, aby maksymalizować powstawanie dowolnego z produktów procesu: oleju, gazu czy produktu stałego. Każdy z nich może być używany jako potencjalne paliwo, patrz *rysunek* poniżej.



Wolna piroliza jest tradycyjnie używana do produkcji węgla drzewnego. Proces szybkiej pirolizy stosuje się na szeroką skalę do produkcji paliw, rozpuszczalników, chemikaliów i innych produktów pozyskiwanych z biomasy. Szybka piroliza przeprowadzana w umiarkowanej temperaturze jest metodą otrzymywania wysokiej jakości produktów ciekłych.

Piroliza wolna

W wolnej pirolizie substancja organiczna ogrzewana jest do temperatury ok. 500°C z szybkością od kilku do kilkudziesięciu stopni na minutę. Lotne produkty procesu wydzielają się stopniowo co powoduje, że składniki gazów reagują z innymi składnikami stałej pozostałości, czy oleju pirolitycznego. Powstałe pary są w sposób ciągły odprowadzane i formowane do oleju. Proces pirolizy może trwać kilka minut lub nawet kilkanaście godzin. Poniżej przedstawiono współczesne retorty do wypalania węgla drzewnego (Lipna, Beskid Niski).



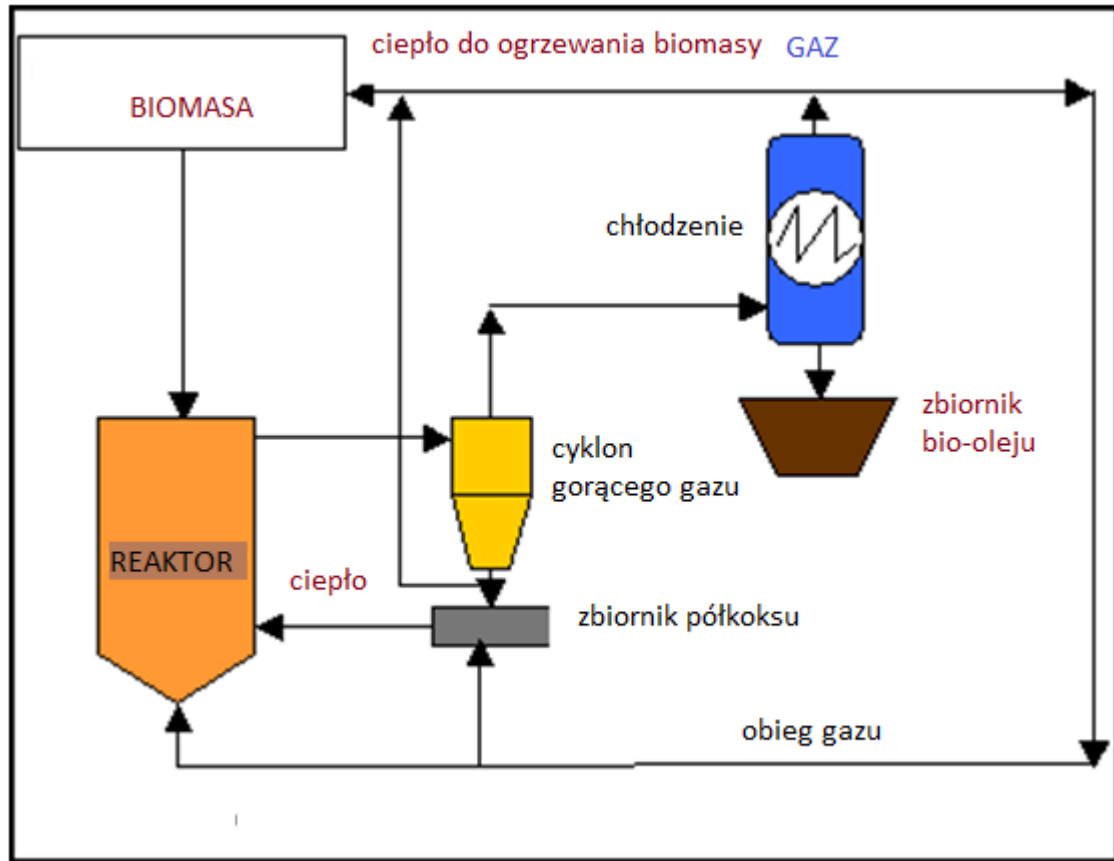
Piroliza szybka

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie szybką pirolizą biomasy, ponieważ jest ona najbardziej optymalnym procesem otrzymywania **bio-oleju**. Najważniejszymi cechami przemawiającymi za wykorzystaniem szybkiej pirolizy do produkcji bio-oleju z biomasy są :

- krótki czas reakcji,
 - możliwość szybkiego chłodzenia par dające duże wydajności produktów płynnych,
 - możliwość starannego i precyzyjnego doboru warunków temperaturowych reakcji.
- Podstawowe właściwości szybkiej pirolizy to:

- bardzo szybkie ogrzewanie (ok. 100°/s);
- temperatura reakcji 425-500°C;
- krótki czas procesu;
- szybkie schładzanie lotnych produktów do bio-oleju.

W wyniku szybkiej pirolizy substancja organiczna rozkłada się do par, aerozoli i stałej pozostałości. Pary i aerozole po ochłodzeniu i kondensacji tworzą ciemno-brązową ciecz. W zależności od rodzaju użytego wsadu, powstaje 60-70% mas. ciekłego bio-oleju, 15-25% mas. stałej pozostałości i 10-20% nie skroplonych gazów. Szybkie ogrzewanie i szybkie chłodzenie powoduje powstawanie z wysokocząsteczkowych gazów podstawowego produktu: bio-oleju. W wyższej temperaturze głównym produktem jest gaz. Krótki czas reakcji minimalizuje tworzenie stałej pozostałości. Wytwarzany w szybkiej pirolizie olej stanowi produkt przeznaczony do dalszej przeróbki, a stała pozostałość i gazy są zwracane do procesu i wykorzystywane jako paliwo, **co** przedstawiono na poniższym rysunku.



4. Produkty pirolizy

W wyniku niskotemperaturowej pirolizy paliw stałych otrzymywane są:

- stała pozostałość (półkok, węgiel drzewny),
- smoła pirolityczna,
- woda rozkładowa,
- gaz pirolityczny.

W poniższej tabeli przedstawiono wydajności produktów niskotemperaturowej pirolizy węgla kamiennego i biomasy. Rozkład termiczny biomasy skutkuje wydzielaniem znacznie większych ilości smoły, wody rozkładowej i gazu, co wynika bezpośrednio z budowy obu paliw. Dla obu paliw głównym produktem rozkładu jest półkok.

Tabela 3. Wydajności podstawowych produktów pirolizy węgla i biomasy [4]

	Półkok, %	Smoła, %	Woda rozkładowa, %	Gaz, %
Węgiel kamienny	62-88	3-17	3,5-9	4-9
Drewno	35-40	10-24	26-33	14-16

Produkty pirolizy węgla

Półkoks otrzymywany z węgla kamiennego w procesie niskotemperaturowego odgazowania (wytłewania) jest materiałem charakteryzującym się właściwościami pośrednimi między właściwościami węgla i koksu. Półkoks jest produktem powstałym w wyniku odgazowania, dlatego nie zawiera substancji smolistych i z powodzeniem może być stosowany jako paliwo bezdymne o wysokiej wartości opałowej 30-33 MJ/kg. W zależności od rodzaju węgla i sposobu jego wytłewania zmieniają się właściwości mechaniczne (wytrzymałość) i reakcyjność półkoksu.

Smoła pirolityczna z węgla kamiennego jest ciemnobrunatną cieczą o ostrym, charakterystycznym zapachu. W odróżnieniu od smoły wysokotemperaturowej smoła wytłewna charakteryzuje się znacznie niższą zawartością węglowodorów aromatycznych. Zawiera większe ilości alkilobenzenów i ich pochodnych hydroksylowych, węglowodorów alifatycznych nasyconych i nienasyconych. Nie występują w niej naftalen i antracen, powstające w wyższych temperaturach (powyżej 550°C).

Woda rozkładowa otrzymywana w procesie niskotemperaturowej pirolizy węgla kamiennego zawiera znaczne ilości fenoli, a także związki nieorganiczne, np. amoniak, siarkowodór. Ilość wody powstającej w procesie pirolizy zależy zarówno od surowca, jak i metody pirolizy. Zwykle jej wydajność waha się w granicach od 3 do 10 % mas.

Skład i właściwości **gazu pirolitycznego** otrzymanego na drodze niskotemperaturowej pirolizy węgla kamiennego zależą od jakości surowca, metody pirolizy i temperatury odgazowania. W niższych temperaturach rozkładu wydzielają się znaczne ilości ditlenku węgla i tlenku węgla, podczas gdy w wyższych temperaturach rośnie wydzielanie wodoru i metanu. W zależności od składu różna jest wartość opałowa gazu (7-30 MJ/m³).

Produkty pirolizy biomasy

Węgiel drzewny jest stałą pozostałością po procesie pirolizy drewna, tzw. suchej destylacji. Ze względu na zróżnicowane właściwości tego produktu pirolizy, znalazł on zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Stosowany jest w przemyśle chemicznym, farmaceutycznym i spożywczym nie tylko z powodu niskiej zawartości siarki i fosforu, ale również ze względu na jego właściwości strukturalne i dużą reaktywność. Półkoks jest jednym z najlepszych surowców wykorzystywanym do produkcji węgla aktywnego. Wynika to z faktu, iż zachowuje on strukturę komórkową pozostałości roślinnych, która dodatkowo może zostać udoskonalona w procesie aktywacji fizycznej lub chemicznej. Wytwarzanie węgla aktywnych z drewna, pośrednio poprzez proces pirolizy jest ważną gałęzią tego przemysłu. Otrzymuje się materiały o wysokich zdolnościach adsorpcyjnych stosowane np. do klarowania, odbarwiania płynów, filtracji wody, usuwania śladów substancji niepożądanych w tym fenoli, acetonu, benzolu. Wśród przykładów zastosowania węgla drzewnego można wymienić także produkcję miedzi, brązu, niklu, aluminium, manganu, jak również disiarczku węgla, węglika wapnia, węglika krzemu i cyjanku sodu.

Najpopularniejszym wykorzystaniem węgla drzewnego lub brykietów węgla drzewnego jest spalanie.



Ciekły produkt z procesu pirolizy biomasy (*bio-olej*) składa się z dwóch faz: olejowej oraz wodnej, zawierającej znaczne ilości związków tlenowych o małej masie cząsteczkowej. **Bio-olej** jest wieloskładnikową mieszaniną składającą się z cząsteczek o różnej wielkości, pochodzących z depolimeryzacji i fragmentacji trzech kluczowych składników biomasy: celulozy, hemicelulozy oraz

ligniny. Skład chemiczny bio-oleju jest bardziej podobny do biomasy niż do olejów ropopochodnych. Właściwości fizyczne oraz skład elementarny zestawione został w poniższej tabeli.

Tabela 4. Typowe właściwości i skład bio-oleju [5]

Właściwości fizyczne	Typowe wartości
Zawartość wody [%mas]	20-30
pH	2,5
Ciężar właściwy [g/cm ³]	1,20
Zawartość popiołu [%mas]	0-0,2
Wartość opałowa [MJ/kg]	16-19
Lepkość w 40 °C [cP]	40-100
Stała pozostałość [%mas]	0,1-0,5
Analiza elementarna [%mas]	
C	55-58
H	5,5-7,0
O	35-40
N	0-0,2



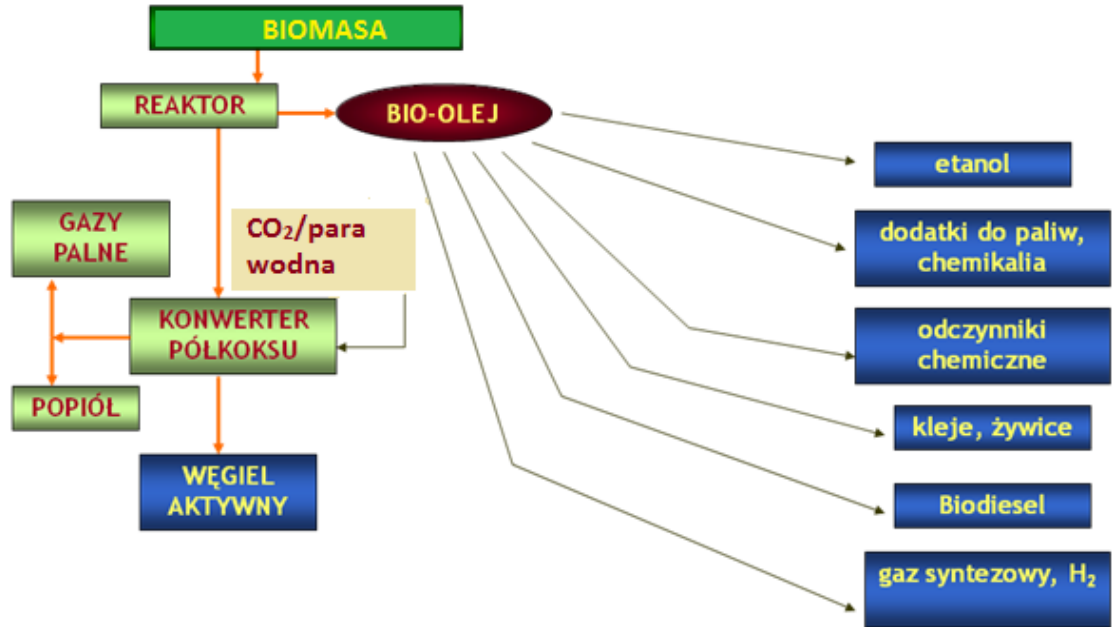
Dużą grupą związków zidentyfikowanych w olejach pirolitycznych są: kwasy karboksylowe, alkohole, fenole, estry, aldehydy, ketony oraz heterocykliczne połączenia tlenowe.

Woda w bio-oleju pochodzi głównie z wilgoci materiału, ale także jest produktem reakcji dehydratacji zachodzącej podczas pirolizy. Dlatego jej zawartość zmienia się w szerokim zakresie (15-30%), w zależności od materiału i warunków procesu. Faza wodna zawiera niektóre związki takie jak kwas octowy, fenole, czy hydroksyaceton, z których mogą być pozyskiwane użyteczne chemikalia.

Gaz pirolityczny

Głównymi składnikami gazu otrzymanego na drodze pirolizy biomasy są CO₂, CO i węglowodory np. metan, etan. Jest to produkt o niskiej kaloryczności, rzędu 6-8 MJ/m³.

Poniżej przedstawiono schemat bio-rafinerii obrazujący wielokierunkowe możliwości wykorzystania produktów szybkiej pirolizy biomasy i zdjęcie instalacji do szybkiej pirolizy biomasy firmy Dynamotive Energy Systems Corporation, światowego lidera w produkcji bio-oleju.



5. Wykonanie ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- przeprowadzenie (1) wolnej pirolizy węgla i biomasy oraz (2) szybkiej pirolizy biomasy w warunkach laboratoryjnych;
- określenie wydajności produktów pirolizy;
- zbadanie właściwości otrzymanego półkoku: oznaczenie zawartości części lotnych oraz wytrzymałości mechanicznej metodą bębnowania w bębnie Rogi;
- opracowanie wyników badań i przygotowanie sprawozdania

1. Piroliza węgla i biomasy

Odważkę 5 g próbki węgla/biomasy o uziarnieniu 0,2 mm przenieść do środkowej części retorty. Następnie próbkę rozproszyc równą warstwą za pomocą pręta na długości ok 15 cm. Reaktor umieścić w piecu, a następnie połączyć z odbieralnikiem ciekłych produktów pirolizy. Do reaktora podłączyć doprowadzenie gazu nośnego.

Warunki procesu pirolizy:

- Temperatura końcowa: 500°C
- Szybkość ogrzewania próbki: (1) 20°C/min, (2) 100°C/s.
- Gaz nośny: Azot; przepływ gazu: 10 dm³/h.

2. Określenie wydajności produktów pirolizy

Należy oznaczyć wydajność produktów pirolizy badanego węgla i biomasy: półkoku, smoły, wody rozkładowej i gazu w stosunku do masy surowca. W tym celu przed procesem koksowania należy zważyć próbkę węgla/biomasy, reaktor oraz odbieralnik produktów ciekłych. Po zakończeniu procesu należy zważyć ostudzony reaktor z półkoksem i odbieralnik zawierający smołę i wodę. Następnie zawartość odbieralnika przenieść ilościowo za pomocą małych porcji ksyłenu do połowy objętości kolby o objętości 250 cm³. Kolbę umieścić w koszu grzewczym, połączyć z chłodnicą zwrotną i odbieralnikiem i ogrzewać w celu oddestylowania wody. Po zakończeniu skraplania wody prowadzić destylację jeszcze przez 10 minut, a po ochłodzeniu destylatu odczytać objętość wody w odbieralniku.

Obliczenia wykonać zgodnie z instrukcją stanowiskową.

3. Badanie właściwości półkoku

Badania właściwości półkoku obejmują oznaczenie zawartości części lotnych oraz określenie wytrzymałości mechanicznej metodą bębnowania. Koks (otrzymany od prowadzącego) należy podzielić na dwie części. Jedną przeznaczyć do określenia wytrzymałości, drugą do analizy technicznej.

Analiza techniczna półkoku

Próbę koku rozdrobnić do ziarna poniżej 0,2 mm. Następnie wykonać oznaczenie zawartości wilgoci, popiołu i części lotnych wg normy. (*instrukcja stanowiskowa*)

Oznaczanie wytrzymałości mechanicznej (WM) koku

Wytrzymałość mechaniczną koku określa się metodą bębnowania w bębnie Rogi. Dwa kawałki otrzymanego koku (po około 2,5-3 g każdy) należy poddać trzykrotnemu bębnowaniu przez 5 minut a następnie po każdym bębnowaniu odsiać podziarno na sicie o oczkach 1 mm i zważyć otrzymany odsiew. (*instrukcja stanowiskowa*)