



Fundusze Europejskie  
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską



# Platforma PGEDU+: Rozwój kwalifikacji i kompetencji osób dorosłych

## Otrzymywanie gazu syntezowego

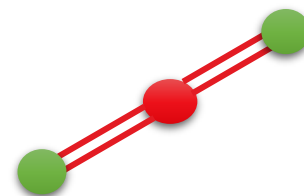
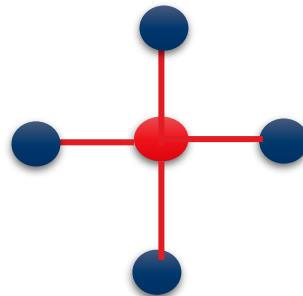
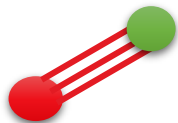
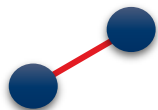
dr inż. Izabela Frąckiewicz

Centrum Technologii Wodorowych- Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Plus  
w ramach programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021 - 2027



Gazem syntezowym nazywamy mieszaninę gazów: głównie wodoru ( $H_2$ ) i tlenku węgla(II) ( $CO$ ), oraz w mniejszych ilościach dwutlenku węgla ( $CO_2$ ) oraz metanu, w zmiennych proporcjach. Skład gazu syntezowego zależy od metody otrzymywania.





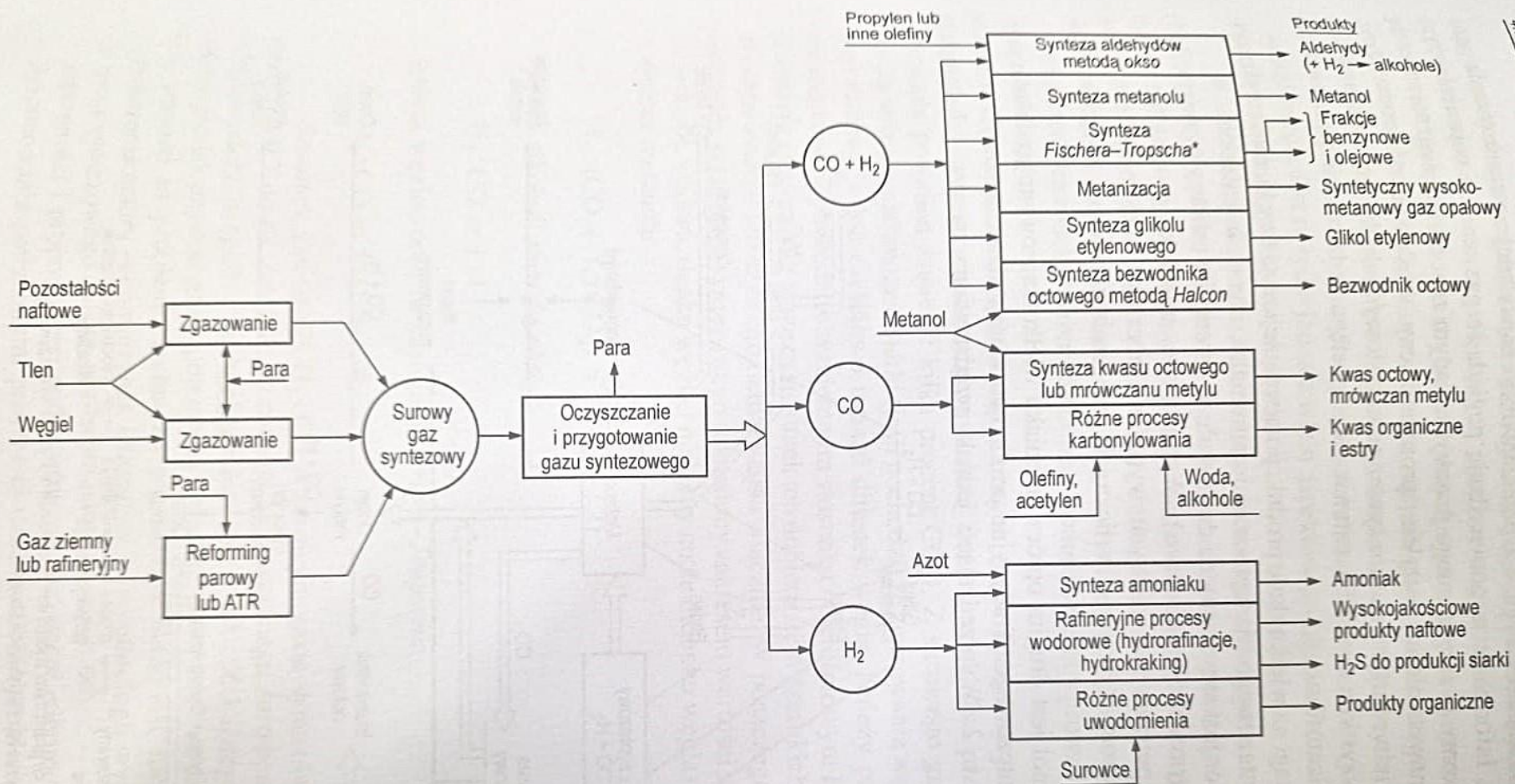
Najważniejszymi komponentami gazu syntezowego są wodór oraz tlenek węgla(II). W zależności od wybranej metody otrzymywania uzyskuje się różny stosunek  $\text{H}_2:\text{CO}$ . Wykorzystanie syngazu, a tym samym metoda produkcji zależy od żądanego stosunku  $\text{H}_2:\text{CO}$  w strumieniu!

Zastosowania gazu syntezowego:

1. Do syntezy SNG (synthetic natural gas) – syntetycznego gazu ziemnego na drodze metanizacji
2. Do syntezy cięższych węglowodorów metodą Fishera-Tropscha
3. Do syntezy metanolu, w tym e-metanolu,
4. Do syntezy eteru dimetylowego,
5. Do syntezy amoniaku -> nawozów.....



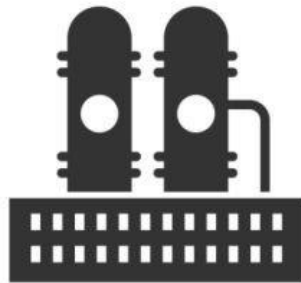
# Metody produkcji oraz kierunki wykorzystania gazu syntezowego





Metody otrzymywania gazu syntezowego:

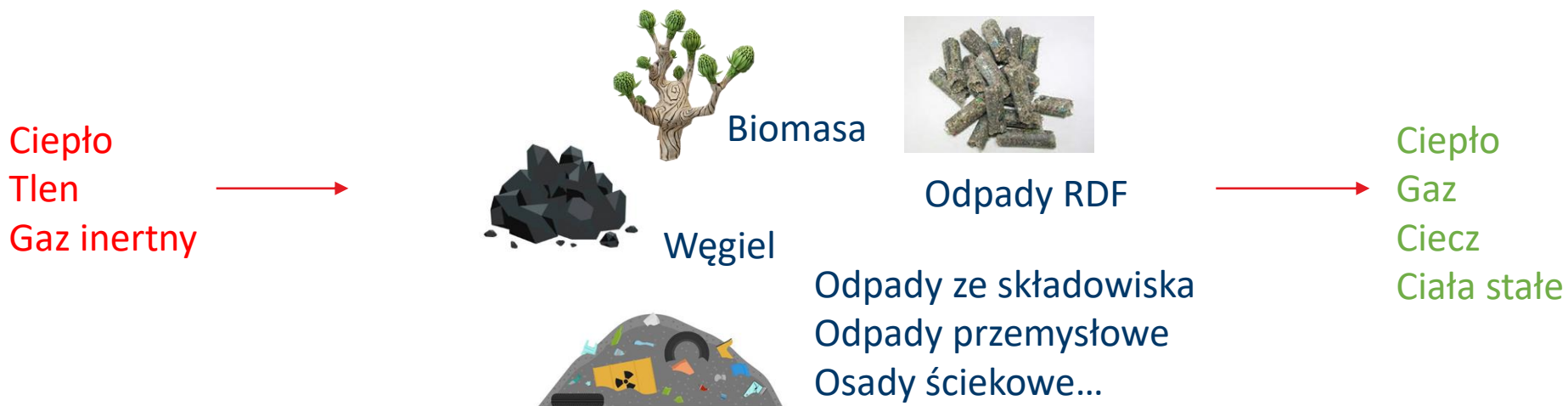
1. **Piroliza,**
2. **Gazyfikacja,**
3. **Reforming:** parowy, suchy, mieszany i autotermiczny, bi-..., tri-reforming...
4. **Techniki sprzężone** np. piroliza + reforming, gazyfikacja + reforming





**Piroliza, gazyfikacja oraz spalanie** należą do grupy metod termicznego przekształcania surowców węglowych w celu uzysku energii oraz produktów stałych, ciekłych oraz gazowych.

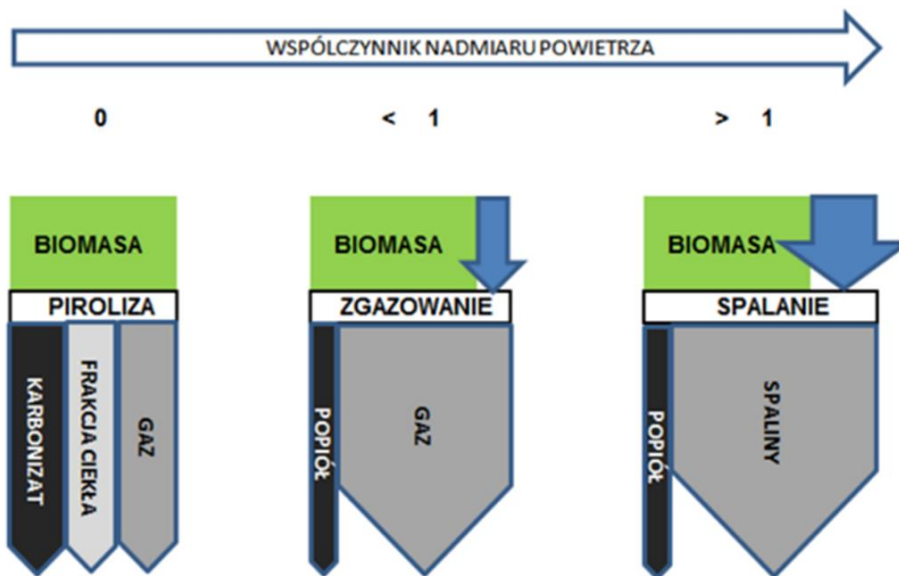
Powyższe procesy różnią się warunkami procesowymi oraz dystrybucją otrzymanych produktów.





**Piroliza, gazyfikacja oraz spalanie** należą do grupy metod przekształcania surowców węglowych w celu uzysku energii oraz produktów stałych, ciekłych oraz gazowych.

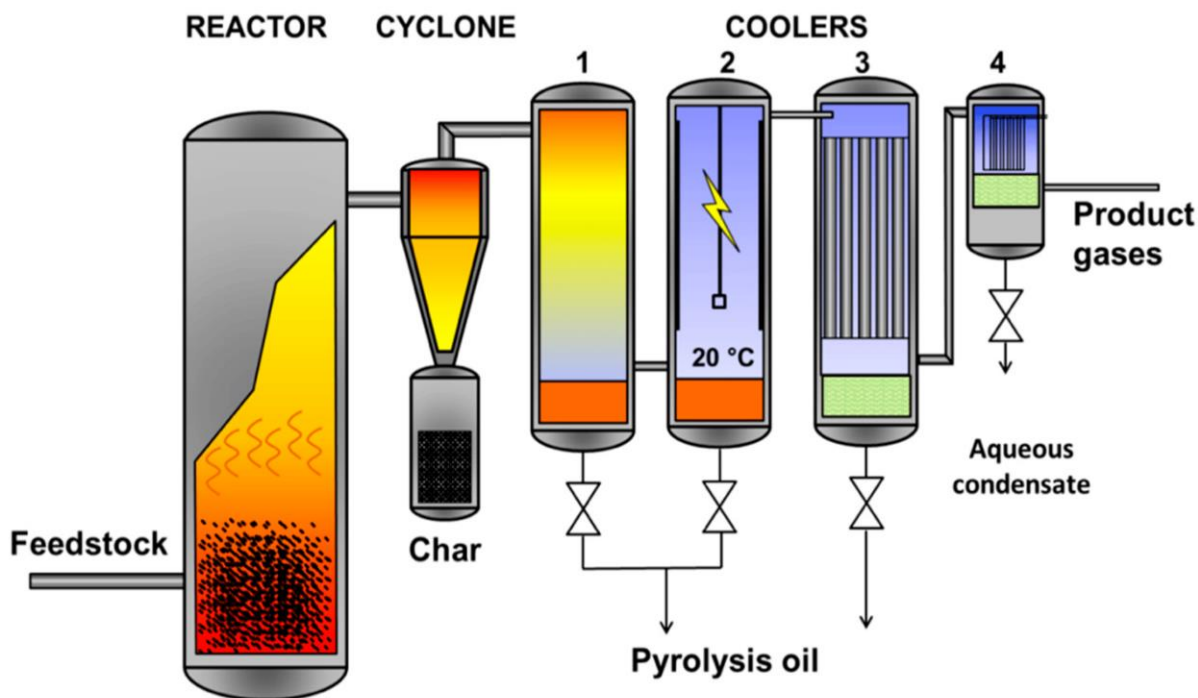
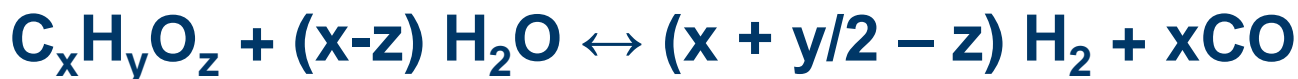
Powyższe procesy różnią się warunkami procesowymi oraz dystrybucją otrzymanych produktów.



Produktami tych procesów są produkty gazowe, ciekłe oraz stałe.  
Główną cechą różnicującą pirolizę, gazyfikację oraz spalanie jest udział oraz ilość utleniacza – najczęściej tlenu z powietrza.

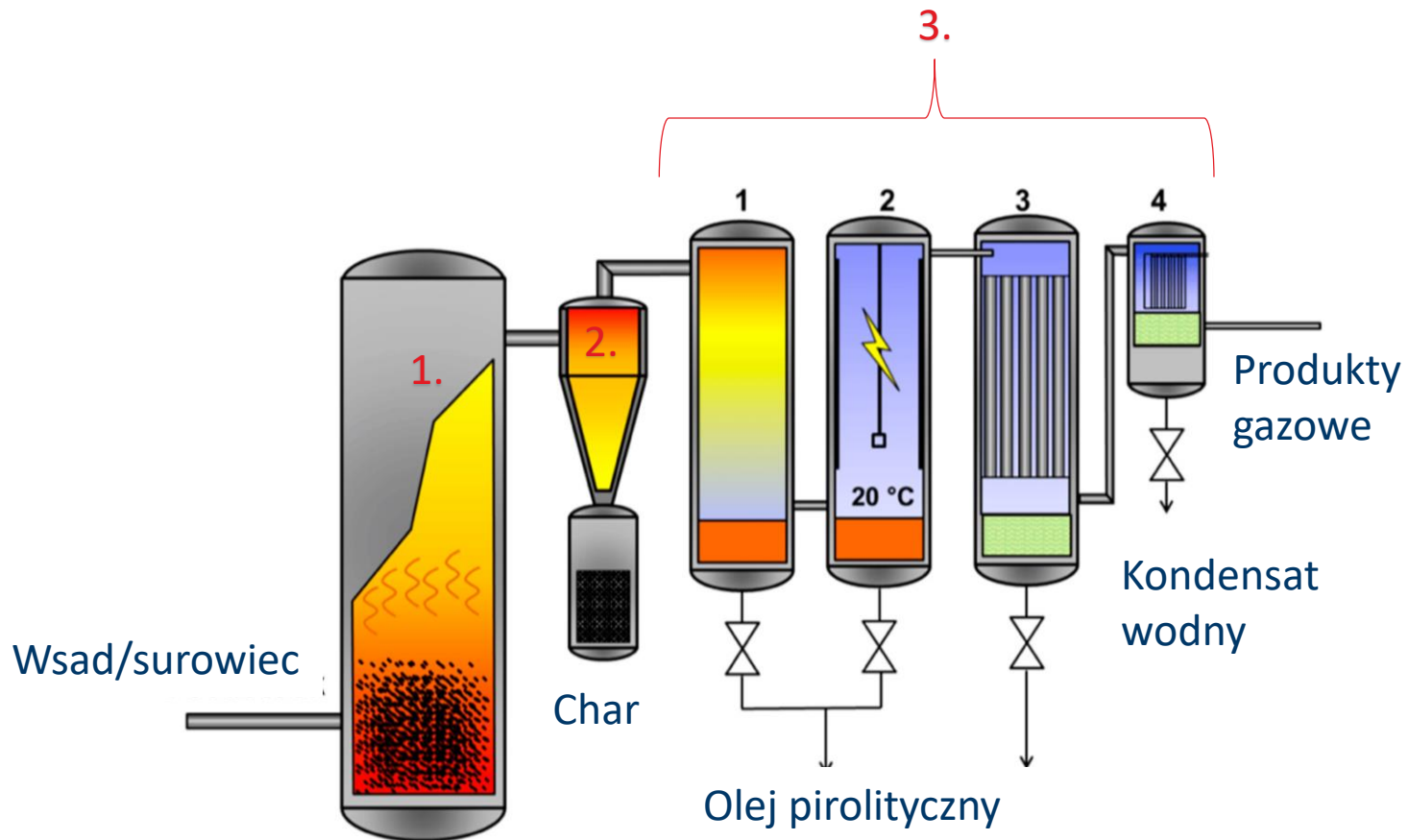


Proces	Zakres temperatur	Obecność tlenu	Współczynnik nadmiaru powietrza do paliwa $n$
<b>Piroliza</b>	300–900°C	Praktycznie brak tlenu (atmosfera obojętna: azot, argon)	$n=0$
<b>Gazyfikacja</b>	700–1800°C	Ograniczona ilość tlenu lub pary wodnej (proces częściowego utleniania)	$n<1$
<b>Spalanie</b>	800–1400°C	Pełny dostęp tlenu (spalanie w obecności powietrza lub czystego tlenu)	$n>1$



Podstawowy układ do przeprowadzenia procesu pirolizy (opis na kolejnym slajdzie)

# Piroliza – zasada i chemizm procesu



1. **Piec pirolityczny** – tutaj w warunkach beztlenowych i wysokiej temperatury surowiec ulega rozpadowi na mniejsze cząsteczki,
2. **Separator cząstek stałych** – często cyklon- oddziela od strumienia gazowego porwane z pieca cząstki stałe,
3. **Układ wykraplaczy** – wykroplenie frakcji ciekłej w temperaturze pokojowej: oleje, woda



## Piroliza – zasada i chemizm procesu



- 1. Suszenie – 100°C** – usuwanie wolnej wilgoci i luźno związanej wody,
- 2. Etap wstępny – (100-300°C)** – karbonizacja - egzotermiczne reakcje odwodnienia z wydzieleniem gazów o niskiej masie cząsteczkowej: CO i CO<sub>2</sub>, torrefakcja
- 3. Etap pośredni (powyżej 200°C)** - Duże cząsteczki cząstek surowców rozkładają się na węgiel drzewny (węgiel pierwotny), gazy skraplające oraz gazy nieskraplające się,
- 4. Etap końcowy – (300-900 °C)** – wtórny kraking związków uwolnionych z wsadu w postaci pary. Związki o większej masie cząsteczkowej ulegają na związki o mniejszej masie oraz char.



A visualization of the  
biomass pyrolysis process



Materiał video obrazujący schemat procesu pirolizy biomasy. Źródło zewnętrzne youtube.com:  
[https://www.youtube.com/watch?v=3K1zWAYDvMA&ab\\_channel=Micha%C5%82Skocki](https://www.youtube.com/watch?v=3K1zWAYDvMA&ab_channel=Micha%C5%82Skocki)





## Piroliza – produkty procesu

P  
I  
R  
O  
L  
I  
Z  
A



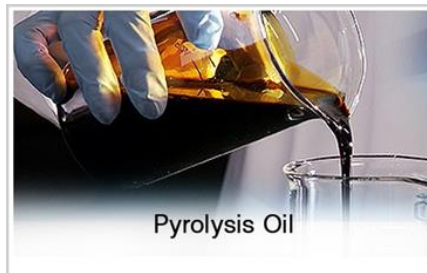
Stałe



Char  
Popioły  
Koks/półkoks



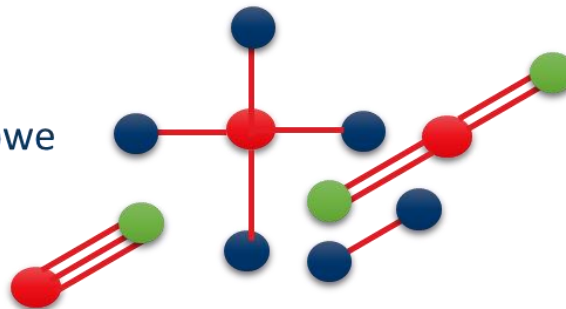
Ciekłe



Oleje,  
Bio-oleje  
Woda rozkładowa



Gazowe



Syngaz,  
Wodór,  
Lekkie węglowodory



- **Char pirolityczny- pozostałość węglowa - węgiel pirolityczny** - np. węgiel drzewny po procesie pirolizy drewna, tzw. suchej destylacji. Może być wykorzystany jako paliwo (spalanie) lub do produkcji węgla aktywnych oraz szeroko pojęte materiały adsorpcyjne, np. do klarowania, odbarwiania płynów, filtracji wody, usuwania śladów substancji niepożądanych w tym fenoli, acetonu, benzolu.
- **Popioły** – chemicznie niepalna ( głównie związki mineralne, tlenki metali, krzemionka, sole nieorganiczne)
- **Olej popirolityczny (bio-oil, tar)**- czarna, smolista ciecz zawierająca do 20% wody składająca się głównie z homologicznych związków fenolowych. Składa się z fazy wodnej i olejowej.
  - Główne grupy związków występujące w oleju pirolitycznym:
    - ✓ Hydroksyaldehydy,
    - ✓ Hydroksyketony,
    - ✓ Cukry,
    - ✓ Kwasy karboksylowe,
    - ✓ Fenole
    - ✓ Związki heterocykliczne
- **Woda rozkładowa** – zawiera znaczne ilości fenoli, a także związki nieorganiczne takie jak amoniak czy siarkowodór. Jej zawartość zwykle 3-10 % masowych.



W zależności od tego jaki surowiec zastosujemy do pirolizy inaczej nazywamy produkt ciekły.

Ciekłe produkty pirolizy



**Z biomasy – Bio-oil – bio- crude** – z resztek roślinnych, drewna słomy, ciecz o niskim pH zawiera nawet 15-30% wody,

**Z odpadów gumowych i opon – TPO – tyre pyrolysis oil** – wysoka zawartość związków aromatycznych, tzw. PAH – wielopierścieniowych związków aromatycznych, Stosowany w niektórych procesach jako zamiennik ciężkich paliw (np. w piecach przemysłowych) po odpowiednim oczyszczeniu.

**Olej popirolityczny z węgla czy łupków (np. shale oil)** - wytwarzany z węgla niskiej jakości lub łupków bitumicznych. Wysoka zawartość związków aromatycznych oraz żywic.



**Olej popirolityczny z plastiku (ang. waste plastic pyrolysis oil, WPPO)** - Skład w dużej mierze parafinowo-naftenowy, często zawiera frakcje benzynowe (C5–C12), frakcje dieslowe i cięższe, po oczyszczeniu może być używany jako paliwo ciekłe,





Podobnie jak w przypadku frakcji ciekłej skład gazu pirolitycznego jest uzależniony od wykorzystanego surowca. W tabeli poniżej przedstawiono przybliżony skład gazu ( w % objętościowych) po pirolizie wraz z jego dolną wartością opalową (LHV)

Surowiec/ % Vol	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	LHV [MJ/Nm <sup>3</sup> ]
RDF	16%	25%	24%	18%	15%	2%	27.3
biomasa	15%	26%	3%	35%	17%	4%	17.10
plastiki	25%	38%	18%	9%	5%	5%	28
opony	19%	40%	28%	3.5%	6.5%	3%	36



W zależności od zastosowanych parametrów procesowych (temperatura, szybkość narostu temperatury) rozróżnia się poszczególne typy pirolizy. Przyjęto warunki procesowe **silnie** wpływają na dystrybucję produktów!!

Typ pirolizy	Warunki procesowe: Końcowa temperatura, Czas przebywania w reaktorze, szybkość narostu temperatury	Średni rozkład procentowy uzysku poszczególnych frakcji [%]		
		Ciekła	Stała	Gaz
Torrefakcja	200-300°C, 10-60 min	10	85	5
Wolna	400°C, 10-20°C/min	30	35	35
Umiarkowana (konwencjonalna)	500°C, 10-20s	50	20	30
Szybka (Fast)	650-1000°C, 1-2 s, 100°C/min	75	12	13
Błyskawiczna (Flash)	700-1000°C, poniżej 0,01 s, 100°C/s	70	15	15



**Piroliza węgla zwana jest również sucha destylacją lub koksowaniem węgla. Metoda polega na ogrzewaniu surowca węglowego (węgiel kamienny, węgiel brunatny) w temperaturze 900-1100°C bez dostępu powietrza.**

Produktami pirolizy węgla są:

- ✓ Stała pozostałość zwana koksem (60-80% mas. w stosunku do surowca) – zawiera głównie węgiel 96-97 % mas. węgla, resztę stanowią związki N, S, H i O
- ✓ Lekkie produkty koksowania – mieszanina gazów i par:
  - Woda pogazowa tzw. woda amoniakalna,
  - Smoła węglowa,
  - Benzol – węglowodory aromatyczne, głównie benzen i toluen,
  - Gaz koksowniczy - wodór (45-60%), metan (22-28%), azot, tlenki węgla, etylen.

**Półkoksowaniem węgla nazywa się średniotemperaturową pirolizę węgla tzn. do 600°C .**



**Piroliza węgla zwana jest również sucha destylacją lub koksowaniem węgla. Metoda polega na ogrzewaniu surowca węglowego (węgiel kamienny, węgiel brunatny) w temperaturze 900-1100°C bez dostępu powietrza.**

Etapy pirolizy węgla:

- ✓ **Przygotowanie surowca** – dostosowanie pod kątem granulacji, wytrzymałości mechanicznej oraz porowatości,
- ✓ **Koksowanie** – wprowadzenie surowca do pieca koksowniczego wraz z wydzieleniem produktów w zależności od temperatury:
  - **350-450°C** – zaczynają się wydzielać pary smoły węglowej (węglowodory parafinowej, metan, nafteny oraz fenole oraz przemieszczające się warstwy węgla w stanie plastycznym,
  - **500-700°C** – półpłynna masa wsadu zaczyna twardnieć, spiekać się oraz dalej rozkładać – mówimy już koksie,
  - **1000°C** - następuje skurcz masy koksowej (objętość masy jest mniejsza niż objętość wsadu), dzięki czemu wypchnięcie bryły z pieca i chłodzeni za pomocą natrysku wodnego,



Proces pirolizy może przebiegać również w obecności katalizatora.

### Czym jest katalizator??

Katalizator jest substancją, która powoduje, że reakcja chemiczna biegnie szybciej. Katalizator może być ciałem stałym lub cieczą. W procesie pirolizy katalizator możemy wprowadzać do pieca wraz surowcem węglowym lub oddzielnym aparacie.

### Po co katalizator w procesie pirolizy??

Cele dodatku katalizatora do procesu pirolizy:

- ✓ Eliminacja związków zawierających atom tlenu,
- ✓ Przekształcenie związków o dużej masie cząsteczkowej w związki o niższej masie (w kierunku wyższego uzysku frakcji gazowej)

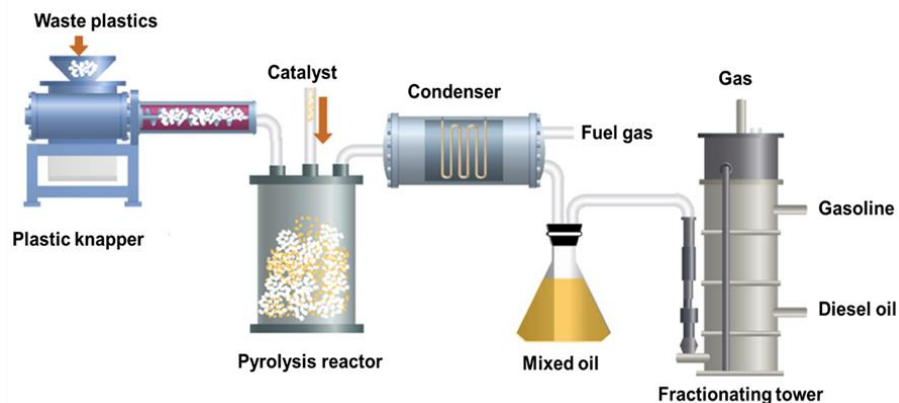
### Jakie materiały mogą być katalizatorem w pirolizie??

Najczęściej są to metale takie jak żelazo, nikiel lub kobalt osadzone na nośniku tlenkowym np. tlenek glinu(III) lub węglowym



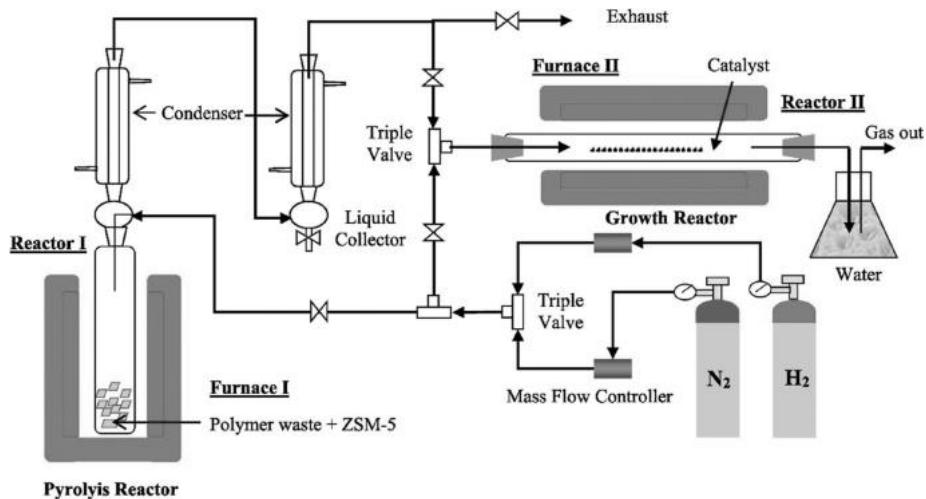


## Przykładowe układy pirolizy katalitycznej



Źródło: <https://images.app.goo.gl/STdpt1LMS9dVmxMd7>

Katalizator jest w tym samym reaktorze co surowiec węglowy



Źródło: <https://images.app.goo.gl/j9dnbCx2KAax8FLa8>

Katalizator jest w kolejnym aparacie (reaktorze) za reaktorem pirolizy

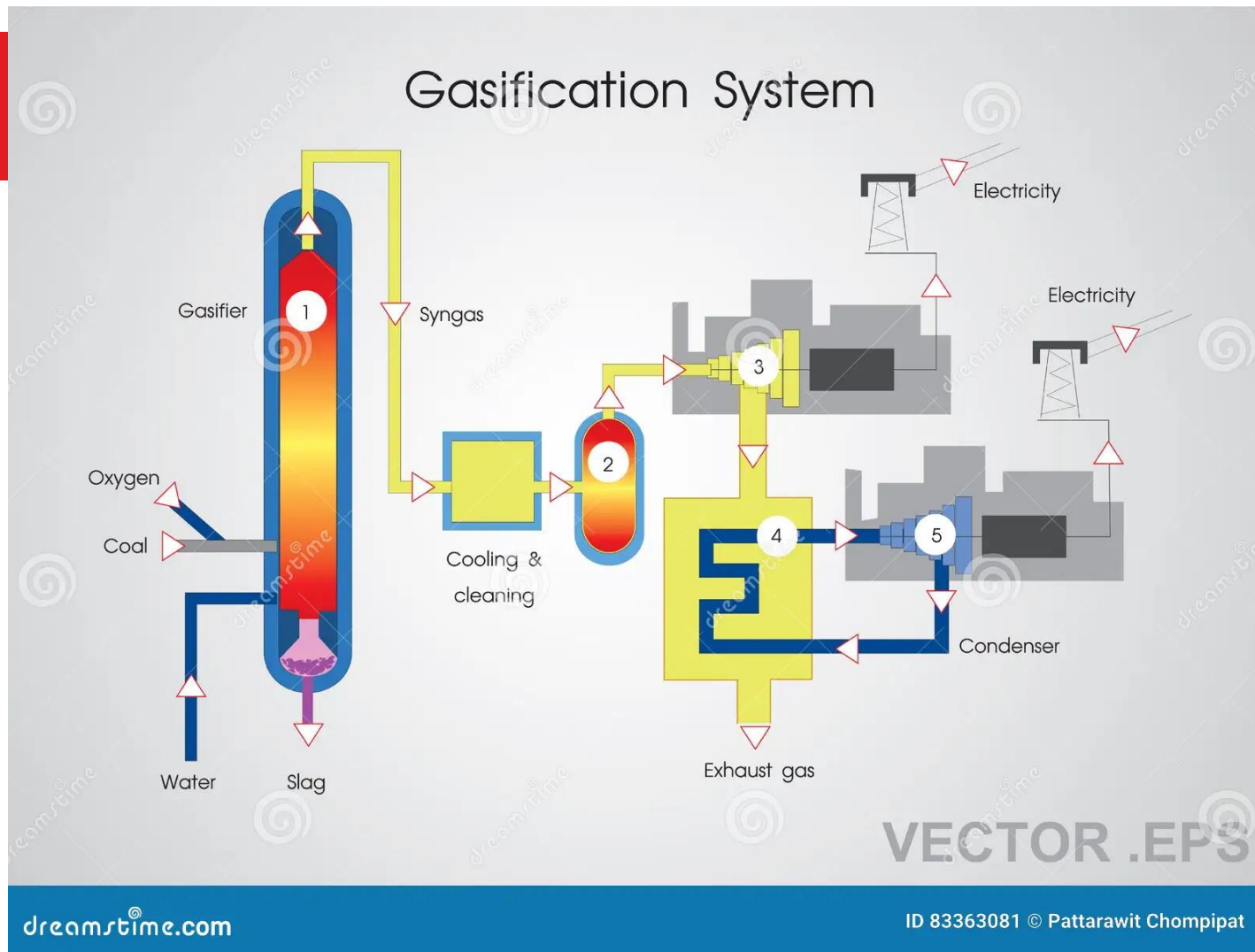


**Gazyfikacja** – proces konwersji związków organicznych najczęściej stałych lub ciekłych w obecności utleniacza oraz w podwyższonej temperaturze (do 1800°C) do produktów gazowych o pożądanej wartości opałowej.

Proces gazyfikacji odbywa się w obecności medium gazyfikującego (utleniającego). Najczęściej stosuje się:

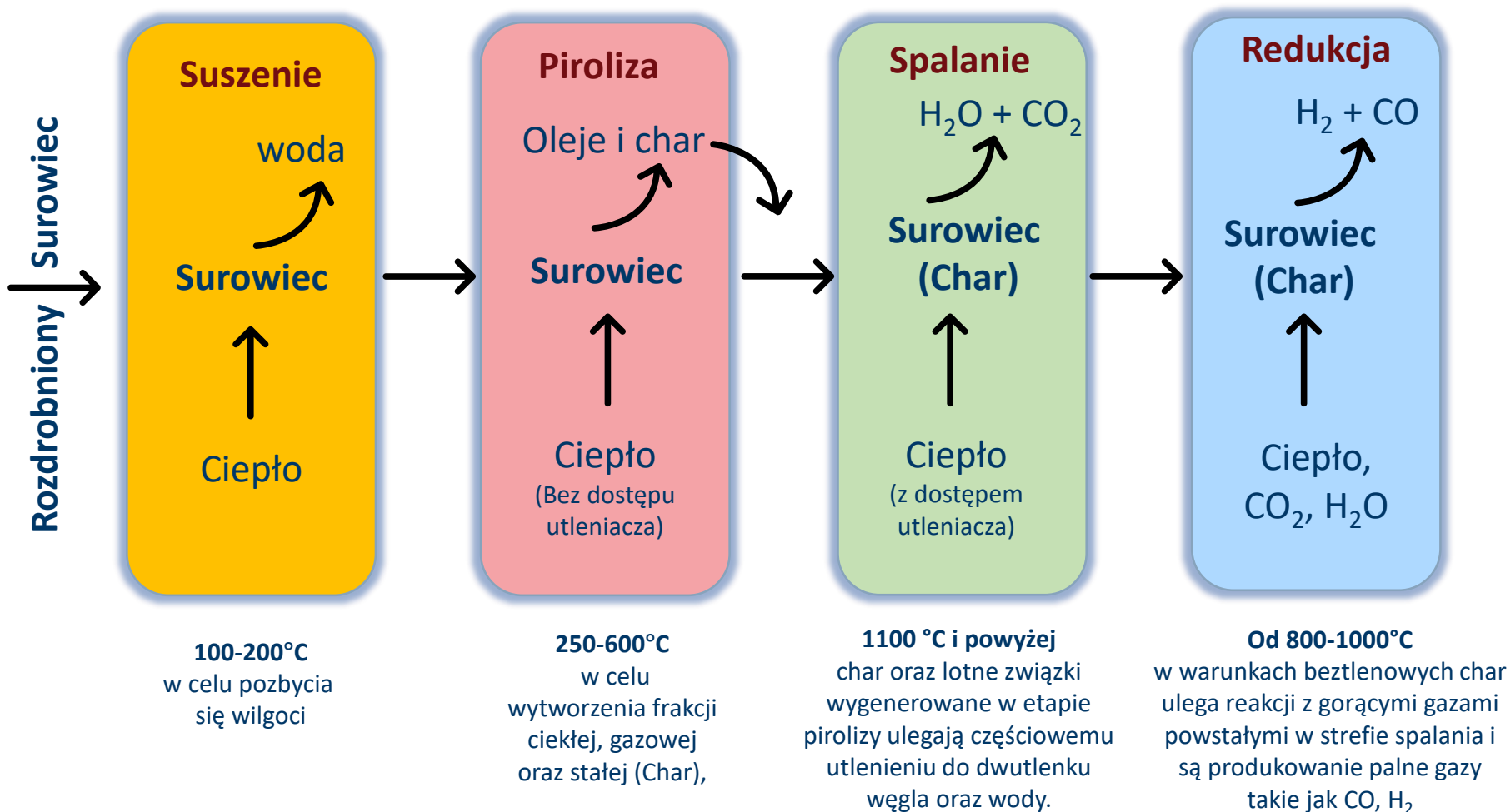
1. Tlen – najwyższa kaloryczność uzyskanego gazu,
2. Powietrze – najtańsze, ale rozcieńczone przez azot
3. Parę wodną – zwiększa udział wodoru w produkcie,
4. CO<sub>2</sub>/recykling gazu – wykorzystanie odpadowego dwutlenku węgla,

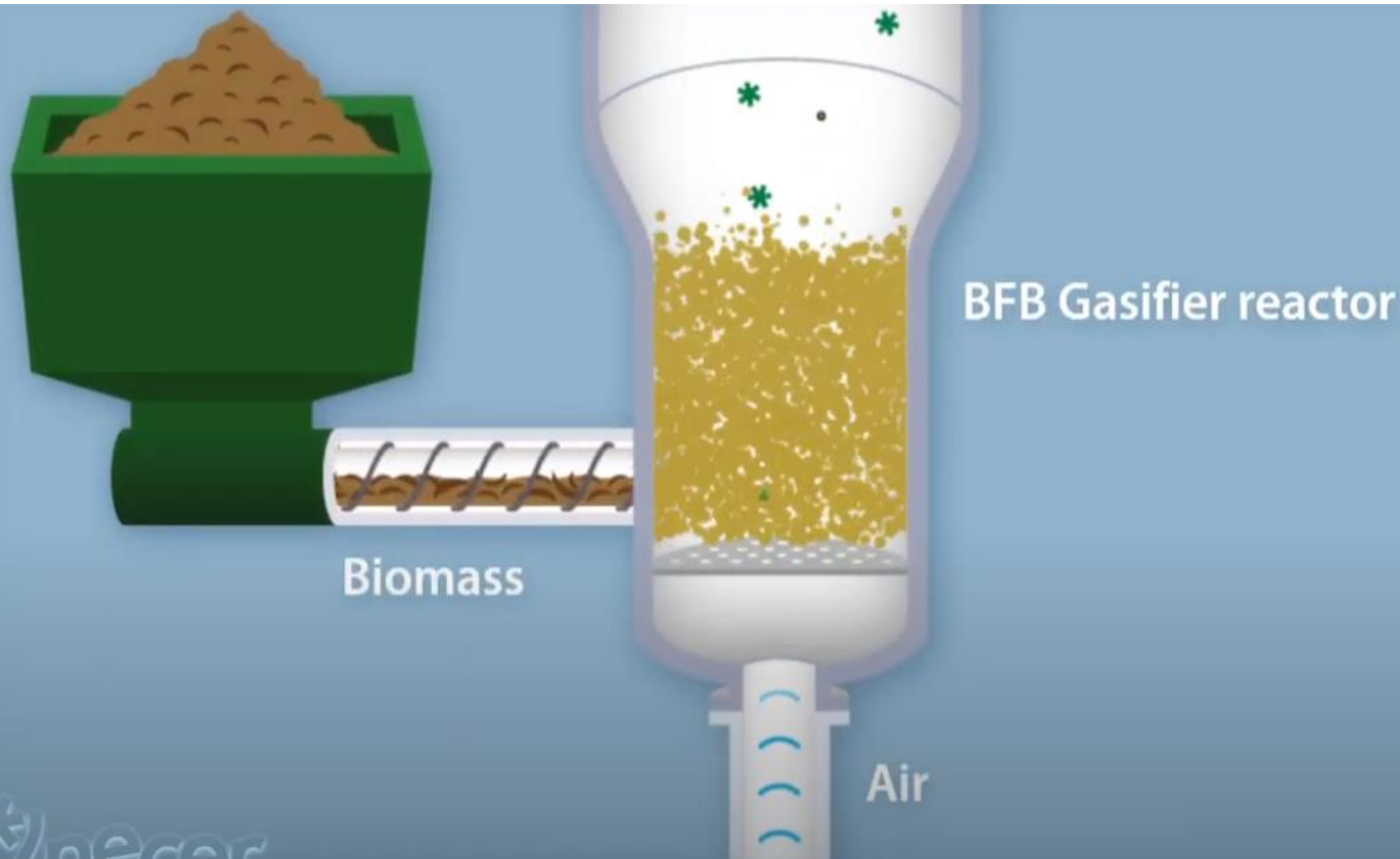
W odpowiednim stosunku zawartości węgla w wsadzie do utleniacza (poniżej 1, około 35% ilości wymaganej do całkowitego spalania)





Surowcem procesu gazyfikacji może być każdy materiał zawierający organiczną frakcję węglową, np. biomasa, odpady typu RDF, odpady komunalna, osady ściekowe czy węgiel kamienny.





Materiał video dostępny pod adresem:

[https://www.youtube.com/watch?v=15bVXLrBW2o&ab\\_channel=NECERTech](https://www.youtube.com/watch?v=15bVXLrBW2o&ab_channel=NECERTech)

Od 1:27 min



## Produkty gazowe:

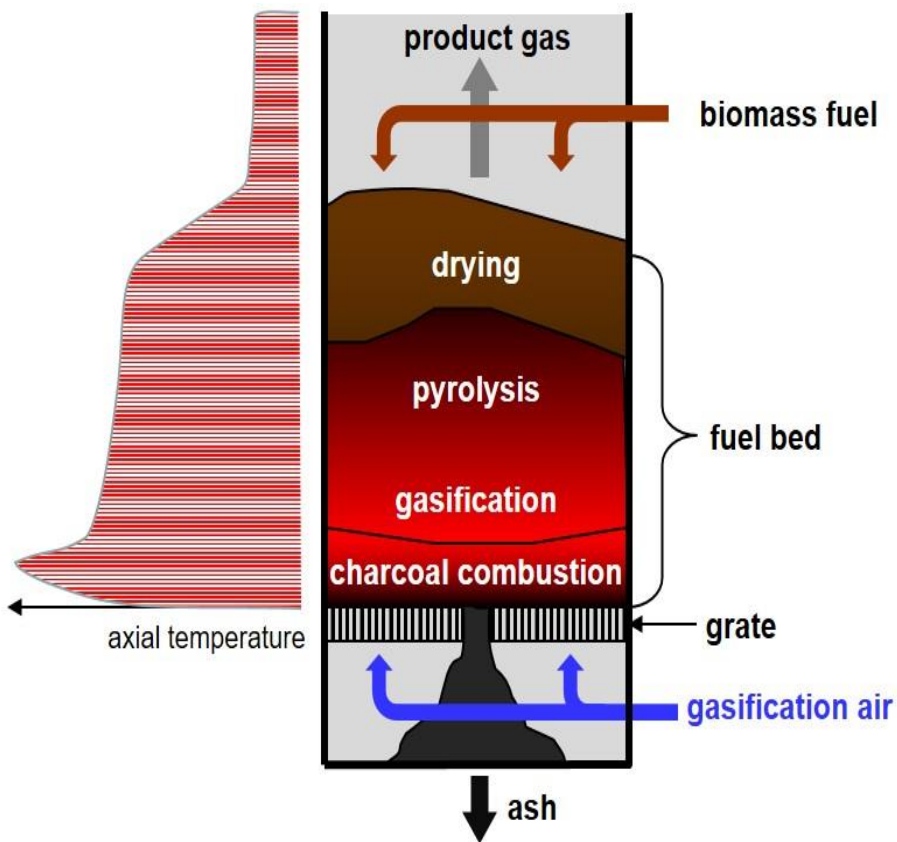
- CO 15-28 vol %
- H<sub>2</sub> 12-25 vol %
- CH<sub>4</sub> 0-5 vol %
- CO<sub>2</sub> 5-20 vol %
- N<sub>2</sub> 0-50 vol % (jeśli jako utleniacz zostało użyte powietrze powietrze)
- Niekondensujące związki organiczne (smoła),

## Produkty stałe:

Popiół – materia nieorganiczna/niepalna w surowcu

Żużel – stopiony popiół powstały >1200 °C

**Produkty ciekłe:** smoła

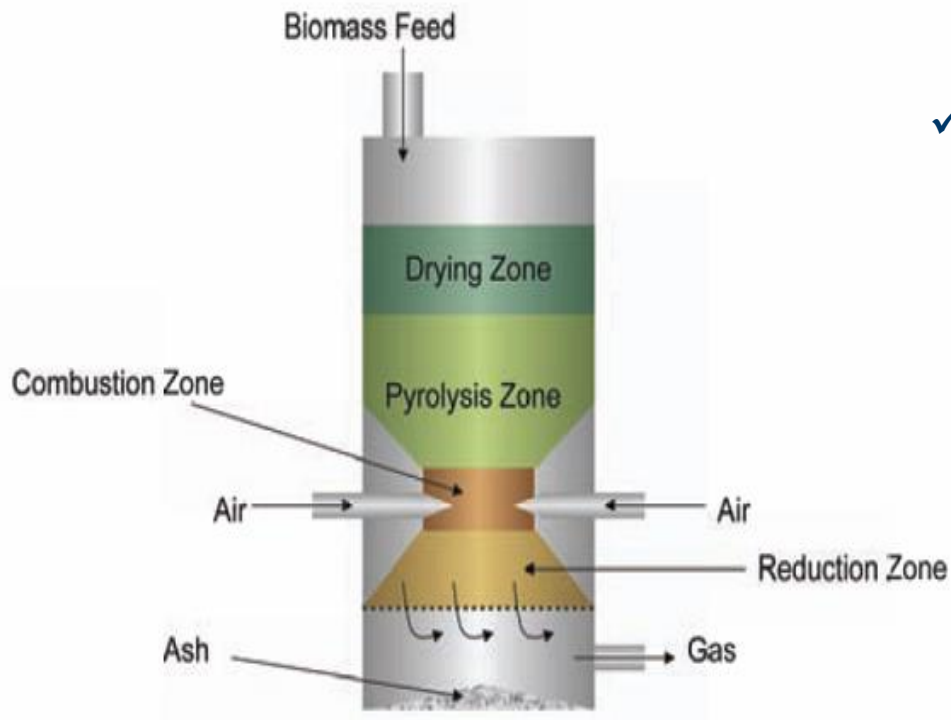


### Kocioł przeciwprądowy (up-draft)

- ✓ Odpowiedni do różnego rodzaju wsadów, nawet o dużej wilgoci,
- ✓ Gazy opuszczające reaktor mają 450°C- wysoki odzysk ciepła,
- ✓ Niskie emisje pyłów,
- X Wysoka zawartość smoły w gazie – część związków o dużej masie cząsteczkowej nie ulega gazyfikacji, tylko są porywane do górnej strefy gazyfikatora – wymagane kondensacyjne oczyszczanie



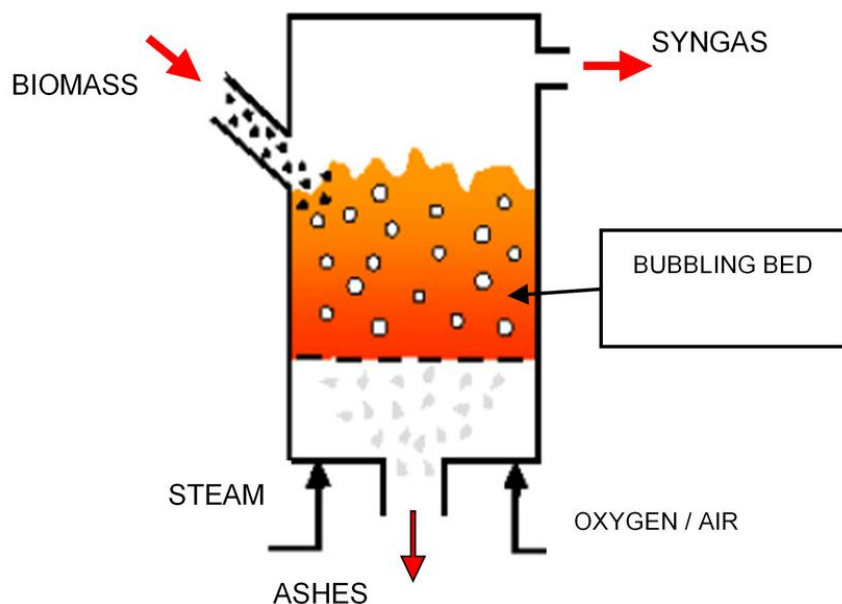
### Kocioł współprądowy (down-draft)



- ✓ Niski udział smoły w gazie – dzięki kolejności stref – piroliza -> utlenianie -> redukcja (smoła <math>< 1 \text{ g Nm}^{-3}</math>).
- X Dedykowany do biomasy o niskiej wilgotności (<math>< 15-20 \text{ \%}</math>).
- X Gazy opuszczające reaktor mają ok. <math>800^{\circ}\text{C}</math> – niska sprawność energetyczna,
- X Wyższa zawartość popiołów w syngazie



## Reaktor ze złożem fluidalnym (circulating/ bubbling)



- ✓ Substrat wprowadzany jest na wysokości strefy pirolizy – szybka konwersja,
- ✓ Wysoka sprawność wymiany masy i ciepła,
- X Wysoka zawartość bardzo małych cząstek stałych w syngazie – ze względu na stopień rozdrobnienia

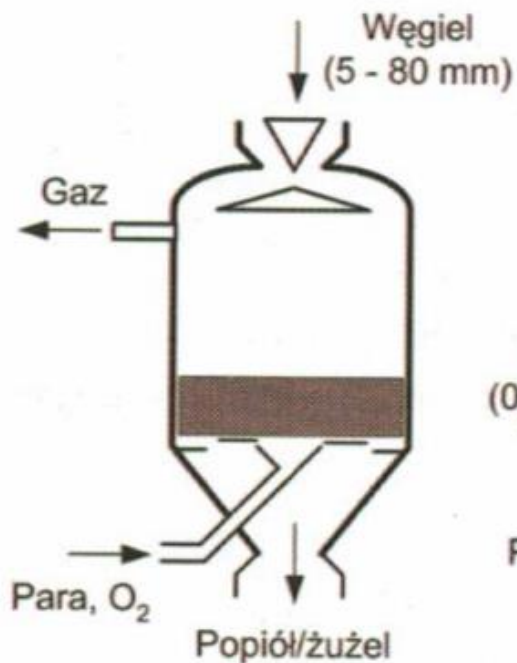


Podstawowe reakcje chemiczne zachodzące podczas gazyfikacji węgla:

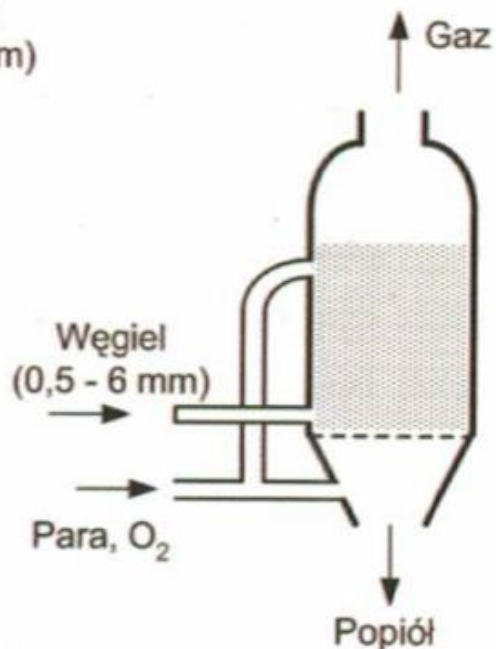


Ze względu na obecność w surowcu związków siarki oraz azotu w strumieniu wylotowym obecne są niepożądane związki takie jak:

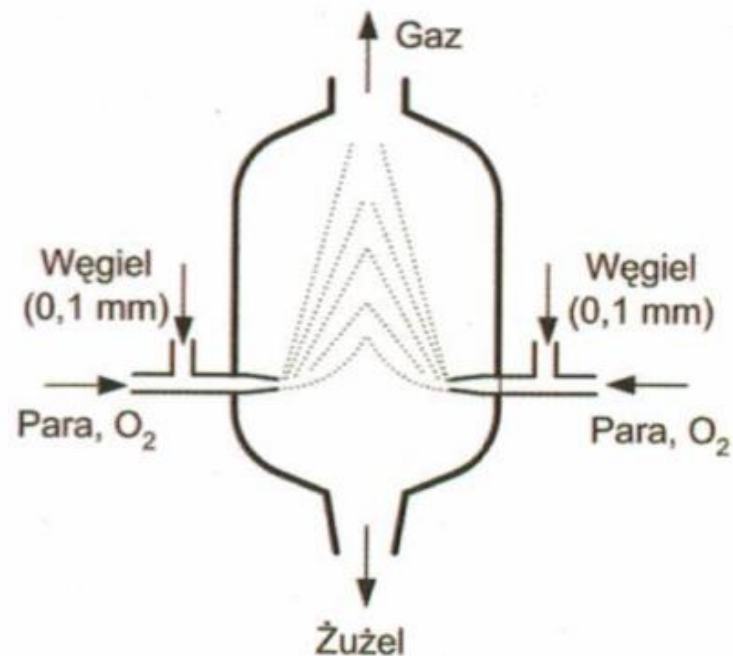
$\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$  oraz  $\text{COS}$ .



Reaktor ze złożem stałym przesuwным



Reaktor ze złożem fluidalnym



Reaktor dyspersyjny



POLITECHNIKA  
GDAŃSKA

Gazyfikacja węgla - animacja

# What is Coal GASIFICATION?



Materiał video dostępny pod adresem:

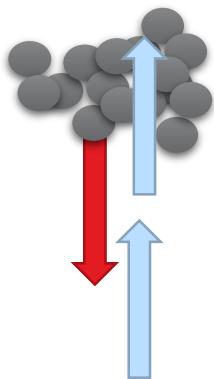
[https://www.youtube.com/watch?v=f7gzdFGc3y4&ab\\_channel=NationalEnergyTechnologyLaboratory](https://www.youtube.com/watch?v=f7gzdFGc3y4&ab_channel=NationalEnergyTechnologyLaboratory)



Ze względu na sposób zetknięcia węgla i czynnika zgazowującego wyróżnia się trzy typy procesu zgazowania:

### Proces Lurgi

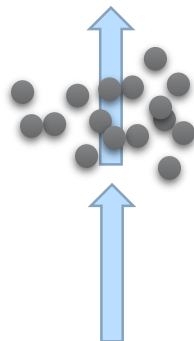
Warstwy węgla przemieszczają się ku dołowi i są kontaktowane przeciwnieprądowo z czynnikami zgazowującymi



Czynnik zgazowujący

### Proces Winklera

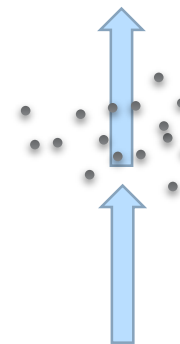
Fluidalne warstwy pyłu węglowego zawieszono są w przepływie strumienia czynnika zgazowującego



Czynnik zgazowujący

### Proces Koppers-Totzek

Warstwy drobnego pyłu węglowego (ok. 90  $\mu\text{m}$ ) unoszone są w przepływie strumienia czynnika zgazowującego



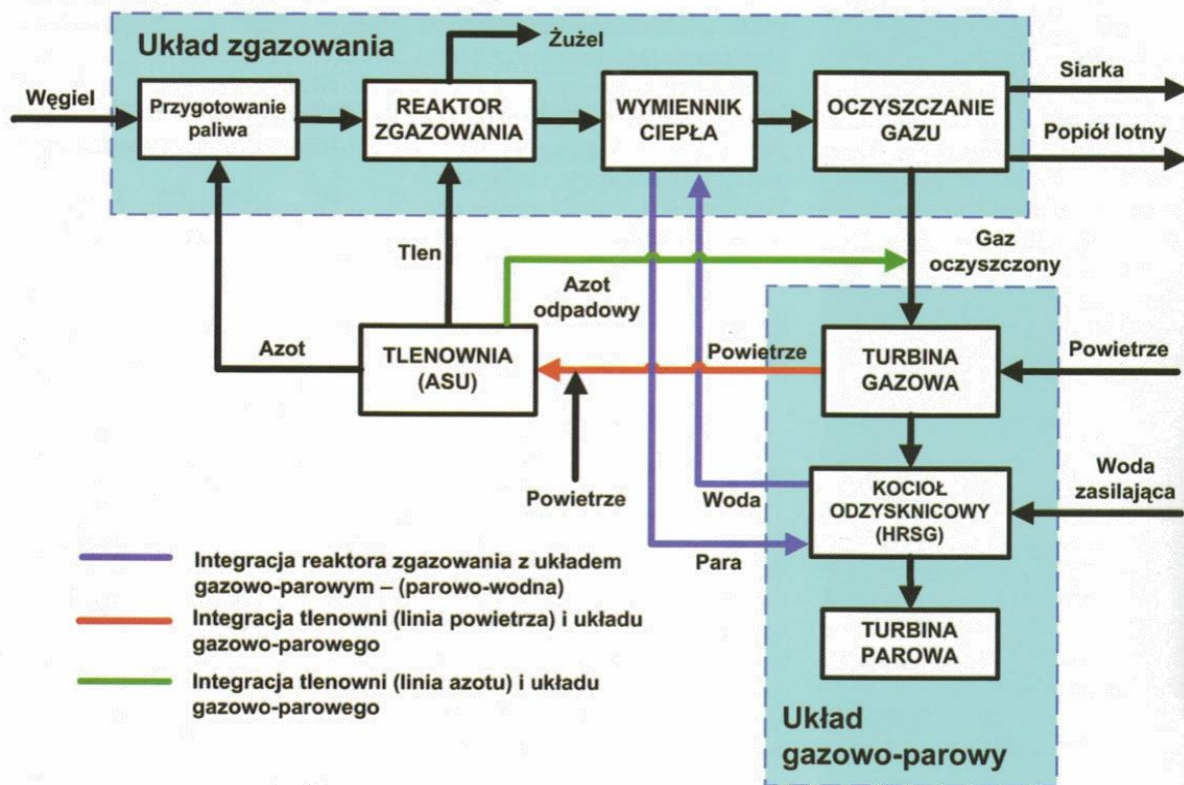
Czynnik zgazowujący



Parametr	Proces Lurgi	Proces Winklera	Proces Kopper-Totzek
Granulacja wsadu [mm]	6-50	1-8	Ponżej 0.090 (pył)
Max. zawartość wody [% mas.]	30	46	40
Ciśnienie robocze [MPa]	2-3	0,12	0,105
Temperatura [°C]	1200	850-1000	1400-1600
Czas przebywania surowca w reaktorze	1-2 h	20-30 min	0,5-10 s
Sprawność zgazowywacza [%]	75-85	50-75	75-76



**Technologia IGCC (z ang. Integrated Gasification Combined Cycle) – bloku gazowo-parowego ze zintegrowanym zgazowaniem paliwa** – gaz syntezowy ze zgazowania węgla (ok.  $10 \text{ GJ/m}^3$ ) kierowany jest do spalania w turbinie gazowej. Ciepło ze spalin odpadowych odzyskiwane jest do wytworzenia pary, która napędza kolejne turbiny i generatory. Sprawność procesu ok. 45%.





## Porównanie różnych sposobów wytwarzania energii elektrycznej i ciepła [8]

Charakterystyka układu	Spalanie węgla w kotłach pyłowych (spalanie węgla + turbina parowa)	Spalanie węgla w kotłach pyłowych (spalanie węgla + turbina parowa + usuwanie CO <sub>2</sub> )	Instalacja IGCC (zgazowanie węgla + „gorące” oczyszczanie gazu)
Moc netto, MWe	396,8	283	400,4
Sprawność netto, %	38,86	27,72	49,4
Koszty inwestycyjne, \$/kWe	1268	2373	1354
Emisja NO <sub>x</sub> , kg/MWh	2,04	2,87	0,165
Emisja SO <sub>x</sub> , kg/MWh	1,56	2,08	0,04
Emisja CO <sub>2</sub> , kg/MWh	918	64	1431



**Pozostałości naftowe poddawane zgazowaniu** – ciężkie frakcje olejowe (destylaty próżniowe), pozostałości z atmosferycznej destylacji ropy (mazut), asfalty.

Zgazowaniu można poddawać również inne surowce spełniające warunek: **surowiec musi być ciekły i łatwy do przepompowania w temperaturze 200-300°C**. Surowiec w postaci płynnej wstrzykuje się do komory zgazowania.

### Proces Texaco

- Ciśnienie 8-15 Mpa, najczęściej 9 MPa,
  - Czynnik utleniający: 95% tlen
- Bezpośrednie chłodzenie gazu wodą wstrzykiwaną do reaktora tzw. quench system,

### Proces Shell

- Ciśnienie do 8 MPa,
- Czynnik utleniający: 95% tlen
  - Ciepło odpadowe gazu wykorzystywane jest do wytworzenia pary wodnej,

Przybliżony skład syngazu otrzymany obydwoma metodami (9% objętościowy) :  
wodór 45%, tlenek węgla(II) 48% oraz 5% dwutlenek węgla)



**Gaz ziemny** – nieodnawialne paliwo pochodzenia organicznego, uwieczony w skorupie ziemskiej. Składa się głównie z metanu (ok. 97,8%), propanu, butanu, etanu (ok. 1%), azotu (ok. 1%) i dwutlenku węgla (ok. 0,2%). Stanowi jeden z głównych surowców do produkcji gazu syntezowego, a następnie wodoru.

- **Gaz suchy- dry gas-** gaz ziemny składający się prawie wyłącznie z metanu i etanu (powyżej 90%) –gazy błotne, gazy kopalniane (przy wydobyciu węgla kamiennego), gaz ziemny ze złóż typowo gazowych,
- **Gaz morkry – gaz konensatowy – gaz gazolinowy** – gaz ziemny zawierający związki o wyższej masie cząsteczkowej niż metan i etan. Najczęściej wydobywany jest ze złóż ropy naftowej



Głównym procesem produkcji syngazu wykorzystującym gaz ziemny jest utleniająca konwersja z parą wodną - parowy reforming – z ang. **SMR- steam methane reforming**.



Najważniejsza reakcja  
poboczna SMR  
RWGS – *reverse water gas shift*

Komercyjnie reakcja przebiega wobec katalizatora niklowego (32 % mas.) osadzonego na  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (54 % mas.) wraz promotorami (14% mas. tlenki wapnia, krzemu (0,1 % mas))



*Reakcje zachodzące podczas parowego reformingu metanu:*



Najważniejsza reakcja  
poboczna SMR  
RWGS – *reverse water gas shift*



Suchy reforming metanu



Częściowe spalanie



Całkowite spalanie



Reakcja Boudarda

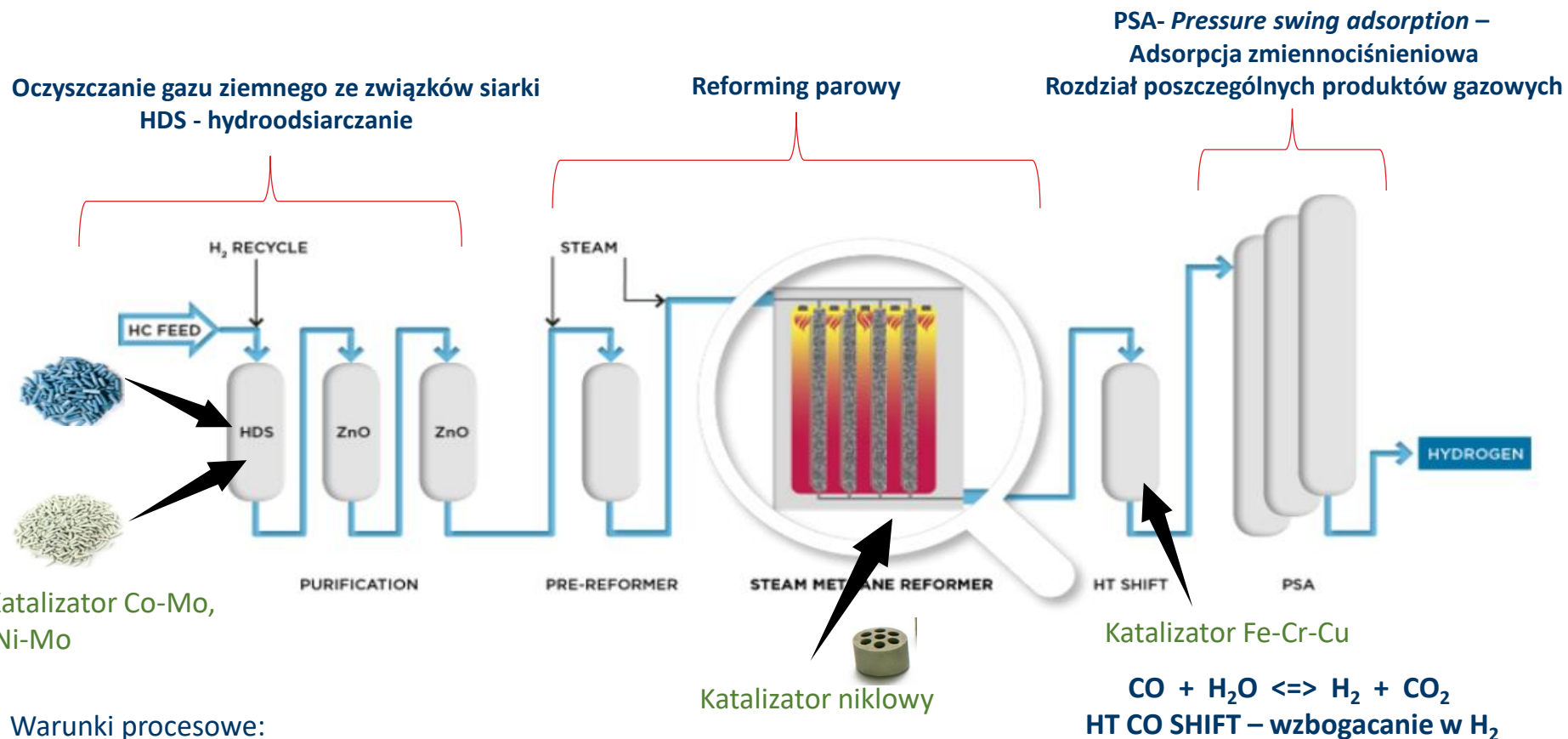


Termiczny rozkład metanu



## Parowy Reforming gazu ziemnego - SMR

Proces reformingu gazu ziemnego jest kilkietapowy. Najczęściej wykorzystywany jest do produkcji wodoru. Bardzo często wodór otrzymany na drodze SMR nazywany jest **wodorem szarym**.



Warunki procesowe:

- ✓ 3-4 MPa,
- ✓ 750 – 900°C
- ✓ Stosunek H<sub>2</sub>:CO w strumieniu wylotowym 3:1



## Czynniki wpływające na efektywność procesu reformingu

- **Temperatura** – im wyższa tym wyższy stopień konwersji metanu,
- **Ciśnienie** – im wyższe tym niższa konwersja,
- **Stosunek pary wodnej (S) do metanu (C) w strumieniu wlotowym  $n=S/C$**  – im wyższy  $n$  tym wyższa konwersja metanu, najczęściej  $S/C= 4:1$ ,
- **Zanieczyszczenia metanu** – powodują zatrucia katalizatora. Zawartość siarki nie powinna przekraczać 0,5 ppm, natomiast węglowodorów nienasyconych 1 % objętościowy.



## DRM – Konwersja metanu z dwutlenkiem węgla – reforming suchy

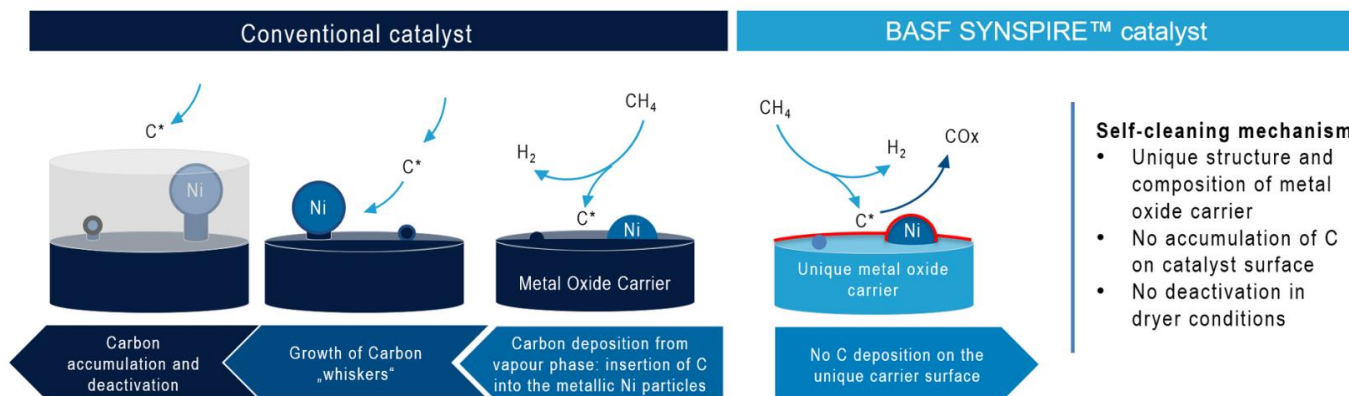


Syngaz o stosunku  $\text{H}_2:\text{CO} = 1$  wykorzystywany jest głównie do syntezy paliw płynnych i gazowych: eter dimetylowy

Warunki procesowe:

- ✓ 1-40 bar,
- ✓ 800 – 950°C
- ✓ Stosunek  $\text{H}_2:\text{CO}$  w strumieniu wylotowym 1:1

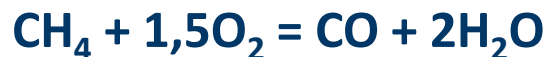
DRM jest procesem analogicznym do SMR, jednak zamiast pary wodnej czynnikiem utleniającym jest dwutlenek węgla. Głównym czynnikiem limitującym przemysłowe wykorzystanie DRM jest podatność katalizatorów na spiekanie i koksowanie.





## ATR –Reforming autotermiczny gazu ziemnego – częściowe utlenianie

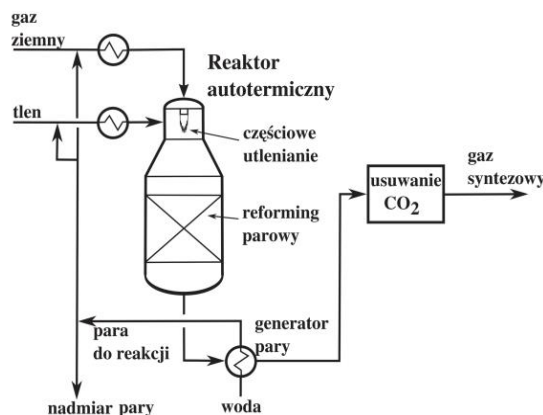
W reformingu autotermicznym prócz metanu i pary wodnej wprowadza się tlen. Dzięki temu równolegle zachodzą egzotermiczne reakcje spalania z wytworzeniem tlenku węgla(II) i wodoru oraz do dwutlenku węgla. Poprawia to znacznie bilans cieplny procesu.



Warunki procesowe:

- ✓ 2-3 MPa,
- ✓  $\text{CH}_4:\text{O}_2 = 1:0,55$  (nie jest to mieszania wybuchowa!), S/C od 1:1 do 3:1
- ✓ 800 – 1000°C
- ✓ Stosunek  $\text{H}_2:\text{CO}_x$  w strumieniu wylotowym 2:1
- ✓ Ciepło niezbędne do procesu częściowo jest uzyskiwane w komorze reaktora w wyniku całkowitego i częściowego spalania metanu

Bardzo często reaktor ATR stanowi układ kombinowany z SMR jako etap wstępny.



Syngaz o stosunku  $\text{H}_2:\text{CO} = 2$  wykorzystywany jest głównie do Fishera-Tropscha- do syntezy paliw płynnych



Fundusze Europejskie  
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską



---

HISTORIA MĄDROŚCIĄ  
PRZYSZŁOŚĆ WYZWANIEM

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Plus  
w ramach programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021 - 2027