

Podsystem Zimowy: Dwukomorowy Katalityczny Generator Gazu Półwodnego (Swing Reactor)

By V B

lip 16, 2026

Niniejsze opracowanie stanowi szczegółowe rozwinięcie techniczne zimowego podsystemu termochemicznego dla autonomicznego domu 100 m². Układ służy do wydajnego, bezobsługowego i ekologicznego wytwarzania wysokiej jakości gazu półwodnego (syntezowego) o minimalnej zawartości smół i pyłów.

1. Architektura Dwukomorowa i Cykl Pracy (Wahadłowy Przepływ)

Układ składa się z dwóch identycznych, hermetycznych komór (Komora A i Komora B), połączonych systemem wysokotemperaturowych zaworów trójdrożnych. W każdym momencie jedna komora pełni rolę **aktywnego reaktora**, a druga – **filtru cyklonowo-zasypowego i suszarni paliwa**.

FAZA 1: Komora A generuje gaz, Komora B oczyszcza gaz i suszy paliwo

[Para + Powietrze]

KOMORA A (Aktywne Zgazowanie: 650-750°C)
(Zuywanie paliwa)

(Gorcy, surowy gaz z pyem i par smoow: ~600°C)

KOMORA B (Efekt Cyklonu i Filtracji Zasypowej: Temp. spada do ~120°C)
(wiea wilgotna PV) ---> Kondensacja smół, wychwytywanie pyłów, odparowanie wilgoci

[Czysty, chodny gaz] > [Do odbiorników: Palnik C.O. / Agregat]

FAZA 2: Odwrócenie ról (Po wypaleniu wglą w Komorze A)

[Para + Powietrze]

KOMORA B (Aktywne Zgazowanie: 650-750°C)
(Suche, nagrzane paliwo ze smo) ---> Odzyskana z poprzedniej fazy smoą ulega krakingowi termiczn

(Gorcy, surowy gaz: $\sim 600^{\circ}\text{C}$)

KOMORA A (Wyczyszczona z popiołu, zasypała wiechem, wilgotnym paliwem)
(wiec filtr/susz.) ---> Wychwytywanie smoły i pyłów, suszenie nowego zasypu

[Czysty, chodny gaz] > [Do odbiorników]

Szczegółowy Opis Funkcji Komór:

1. Komora Aktywnego Zgazowania (temperatura robocza 650-750 stopni C):

- Do dolnej części komory wtłaczana jest ściśle kontrolowana mieszanina powietrza (tlenu) i przegrzanej pary wodnej.
- Zachodzi tu wysokotemperaturowe, autotermiczne zgazowanie paliwa z udziałem katalizatora alkalicznego. Węgiel stały reaguje w całości, przechodząc w gaz półwodny. Na dnie komory pozostaje wyłącznie drobny popiół mineralny.

2. Komora Filtrująco-Przygotowawcza (temperatura zmienna 100-250 stopni C):

- **Efekt Cyklonowy:** Surowy, gorący gaz z aktywnego reaktora wprowadzany jest do tej komory stycznie (tangencjalnie) od dołu. Komora u dołu posiada geometrię stożkową, co wywołuje ruch wirowy gazu. Ciężkie cząstki pyłu i popiołu są odrzucane na ścianki i opadają do odstożnika pod wpływem siły odśrodkowej (suchy cyklon).
- **Filtracja Zasypowa (Packed-Bed Filter):** Unoszący się ku górze gaz przechodzi przez całe złożo świeżej, wilgotnej biomasy zaimpregnowanej katalizatorem. Warstwa ta działa jak doskonały, gęsty filtr mechaniczny, wychwytyując najdrobniejsze cząstki pyłu węglowego.
- **Kondensacja i Recykling Smół:** Świeże paliwo na początku cyklu ma temperaturę otoczenia. Gdy gorący gaz przechodzi przez to złożo, zawarte w nim ciężkie frakcje smoły ulegają natychmiastowej kondensacji bezpośrednio na powierzchni zimnej biomasy. Smoła ta nie przedostaje się do dalszej części instalacji. Gdy w kolejnej fazie ta komora stanie się reaktorem, osadzona na paliwie smoła zostanie poddana krakingowi termicznemu w temperaturze 700 stopni C, ulegając rozpadowi na proste gazy palne (H_2 i CO).
- **Suszenie i Wstępne Podgrzewanie (Pre-heating & Pre-drying):** Służy do początkowej fazy wytwarzania pary dla reaktora zgazowania. Ciepło jawne gorącego gazu syntezowego jest przekazywane bezpośrednio do biomasy, co powoduje odparowanie wilgoci z drewna oraz podgrzanie całego złoża. Część pary i gazu pochodzących z wysuszonego paliwa trafia do reaktora w celu przegrzania. Część pary i gazu trafia do generatora.

3. Moment przełączenia (Wahadło):

- Kiedy paliwo w komorze aktywnej ulegnie całkowitemu zgazowaniu (co system rozpoznaje po nagłym spadku temperatury syntezy i zmianie ciśnienia), następuje odcięcie dopływu powietrza i pary do tej komory.

- Druga komora (która jest już w pełni wysuszona, wstępnie podgrzana do temperatury ok. 200-250 stopni C i nasycona odzyskaną smołą) zostaje przełączona w tryb aktywnego reaktora poprzez skierowanie do niej powietrza i pary wodnej.
- Wypalona komora zostaje odcięta zaworami, krótko przedmuchana parą w celu usunięcia resztek gazu, otwarta, oczyszczona z popiołu na dnie i ponownie zasypana świeżym, wilgotnym paliwem z katalizatorem – stając się nowym filtrem cyklonowo-zasypowym.

2. Chemizm Procesu

Poprzez precyzyjne dawkowanie mieszaniny powietrza i pary wodnej, proces staje się autotermiczny. Zachodzą w nim następujące reakcje kluczowe:

1. Częściowe utlenianie węgla (egzotermiczne - dostarcza ciepło):

$C + 0.5 O_2 \rightarrow CO$ (zmiana entalpii $dH = -110.5$ kJ/mol)

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ (zmiana entalpii $dH = -393.5$ kJ/mol)

2. Reakcja gazu wodnego (endotermiczna - generuje wodór):

$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ (zmiana entalpii $dH = +131.3$ kJ/mol)

3. Reakcja konwersji tlenku węgla (Water-Gas Shift - WGS):

$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$ (zmiana entalpii $dH = -41.2$ kJ/mol)

Dzięki zbilansowaniu dopływu tlenu (powietrza) i pary wodnej, ciepło wydzielane w reakcjach utleniania pokrywa zapotrzebowanie reakcji endotermicznych. Powstaje **gaz półwodny** o typowym składzie objętościowym:

- H_2 : 15-22%
- CO : 18-25%
- CO_2 : 10-15%
- CH_4 : 2-4%
- N_2 : 40-48%

3. Rola Katalizatorów: Alkalicznego (K_2CO_3) oraz Aktywnych Popiołów i Żużli Mineralnych

Aby proces mógł zachodzić stabilnie w obniżonych temperaturach 650-750 stopni C (co umożliwia budowę reaktora ze zwykłej żaroodpornej stali nierdzewnej, np. AISI 309/310), stosuje się specjalną, hybrydową kompozycję katalityczną.

- **Faza Alkaliczna:** Jako podstawę wykorzystuje się **węglan potasu (K_2CO_3)** w ilości 3-5% masowo in stosunku do biomasy. Najprostszym sposobem jego pozyskania jest odwar z popiołu drzewnego (naturalne, darmowe źródło potasu) lub tani odczynnik techniczny.

- **Faza Mineralna (Katalizatory Odpadowe):** Do układu wprowadza się sproszkowany **popiół i żużel powstałe podczas spalania węgla** (kamiennego lub brunatnego) oraz **żużel z produkcji metali** (hutniczy). Materiały te są bogate w aktywne tlenki metali przejściowych i ziem alkalicznych, takie jak tlenki żelaza (Fe_2O_3 , FeO), tlenek miedzi (CuO), dwutlenek tytanu (TiO_2), tlenek manganu (MnO), tlenek glinu (Al_2O_3), tlenek krzemu (SiO_2) oraz tlenki wapnia i magnezu (CaO , MgO).
- **Synergistyczny Mechanizm Działania:**
 - Potas (K_2CO_3) drastycznie obniża energię aktywacji reakcji węgla stałego z parą wodną ($\text{C} + \text{H}_2\text{O}$).
 - Obecne w żużu i popiele tlenki metali (zwłaszcza żelaza i wapnia) działają jako potężne katalizatory heterogeniczne. Drastycznie przyspieszają one **kraking termokatalityczny ciężkich smół** (rozpad długich łańcuchów węglowodorowych na proste gazy, takie jak H_2 i CO) bezpośrednio w reaktorze oraz intensyfikują reakcję konwersji tlenku węgla (WGS).
 - Taka kombinacja tworzy niezwykle stabilny, odporny na zatrucia i całkowicie darmowy katalizator wielofunkcyjny.
- **Metoda aplikacji (Autokatalityczny transport pyłowy):** Żużel i popiół dodaje się do komory syntezy gazu poprzez zasypywanie ich wraz z opalem. Podczas mieszania rusztów w komorze dochodzi do rozdrobnienia żużla i resztek paliwa. Pył ulatnia się wraz z gazem, osadzając się przy tym równomiernie w innej komorze na przyszłe paliwo. Oznacza to, że podczas syntezy gazu im więcej pyłu, tym lepiej. Pył ten będzie później potrzebny.