

STECIOMETRIA SPALANIA

Mole i kilomole

Masa atomowa pierwiastka to średnia ważona mas wszystkich jego naturalnych izotopów w stosunku do 1/12 masy izotopu węgla:

$$1/12 \text{ } _{12}^{6}\text{C} \sim 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Liczba Avogadra $\sim 6,0222 \cdot 10^{23}$ atomów

Jeden mol jest to ilość materii odpowiadająca liczbie $6,022 \cdot 10^{23}$ (l. Avogadra) atomów danego pierwiastka lub cząsteczek związku.

Objętość molowa (gazu doskon. w war. normaln.) $22,414 \text{ l/mol}$

Warunki normalne: $p = 101\,325 \text{ Pa}$, $T = 273,15 \text{ K}$ ($0 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Kmol: 10^3 moli

Masa molowa jest to ilość substancji wyrażonej w gramach odpowiadającej liczbowo masie atomowej (cząsteczkowej) tej substancji.

Stechiometria reakcji chemicznych

Przykład reakcji chemicznej:



A, B i C są to reagenty. A i B są substratami, a C jest produktem.

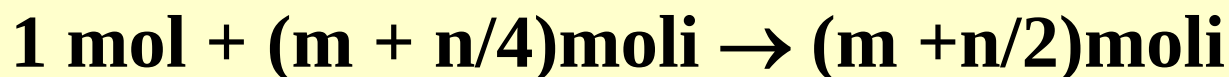
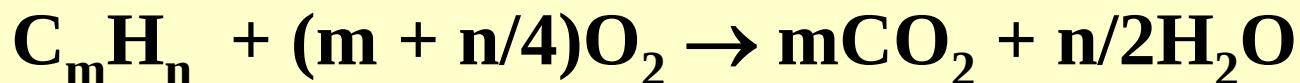
Liczby występujące przed symbolami reagentów to:

współczynniki stechiometryczne.

Ze związków między *współczynniki stechiometrycznymi* wynika stechiometria spalania i inne pochodne pojęcia.

STECHIOMETRIA SPALANIA

Paliwa kopalne to przede wszystkim związki węgla i wodoru (C_mH_n). Reakcję ich utleniania można zapisać równaniem stechiometrycznym:



Jest to równanie stechiometrii spalania:

Na jeden mol paliwa C_mH_n przypada dokładnie:
 $(m + n/4)$ moli tlenu

SKŁAD MIESZANKI PALNEJ

Mówi się, że skład mieszanki palnej jest **stechiometryczny**, jeżeli udziały paliwa i utleniacza wynikają z równania stechiometrii.

W wyniku zupełnego spalania mieszanki o składzie stechiometrycznym w spalinach nie może być:

ani paliwa, ani tlenu.

RODZAJE MIESZANEK PALNYCH

RODZAJ MIESZANKI

Bogata

Stechiometryczna

Uboga

Nadmiar paliwa, niedomiar
utleniacza

Skład stechiometryczny

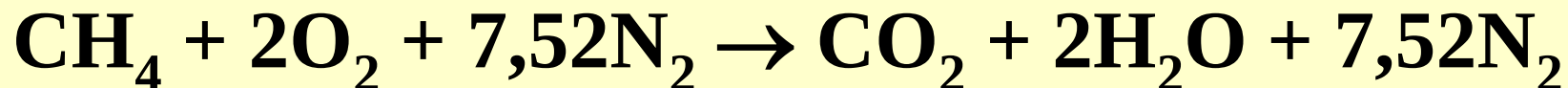
Nadmiar utleniacza,
niedomiar paliwa

PRZYKŁAD: SPALANIE METANU W POWIETRZU

A. Spalanie stechiometryczne

Skład powietrza: 79% N₂ + 21% O₂

Reakcja metanu z tlenem w powietrzu



Uwaga spalanie jest zupełne: w spalinach nie ma metanu, ani tlenu.

Spalanie stechiometryczne CH_4 - SKŁAD SPALIN

Całkowita liczba moli spalin N równa się:

$$N = 1 \text{ mol CO}_2 + 2 \text{ mole H}_2\text{O} + 7,52 \text{ mola N}_2 = 10,52 \text{ mole}$$

Udziały molowe składników spalin, wg analizy *mokrej* (woda w postaci pary) przedstawiają się następująco:

$$[\text{CO}_2] = 1 \text{ mol CO}_2 / 10,52 = 9,5\% \text{ CO}_2 \text{ obj.}$$

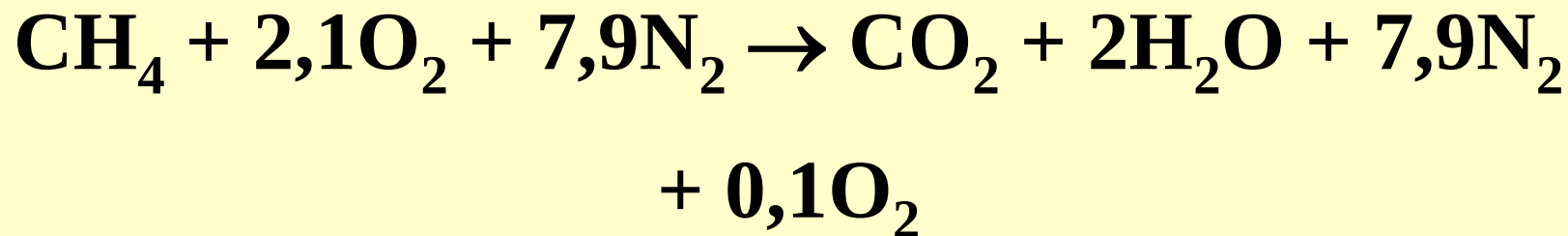
$$[\text{H}_2\text{O}] = 2 \text{ mole H}_2\text{O} / 10,52 = 19\% \text{ H}_2\text{O obj.}$$

$$[\text{N}_2] = 7,52 \text{ mola N}_2 / 10,52 = 71,5\% \text{ N}_2 \text{ obj.}$$

PRZYKŁAD: SPALANIE METANU W POWIETRZU

B. Spalanie z nadmiarem powietrza

Zakłada się nadmiar powietrza: 5%



Uwaga: w spalinach jest tlen!

Spalanie CH₄ z nadmiarem powietrza - **SKŁAD SPALIN**

Całkowita liczba moli spalin N równa się:

$$N = 1 \text{ mol CO}_2 + 2 \text{ mole H}_2\text{O} + 7,9 \text{ mola N}_2 + 0,1 \text{ mola O}_2 = 11 \text{ moli}$$

Udziały molowe składników spalin, wg analizy *mokrej* (woda w postaci pary) przedstawiają się następująco:

$$[\text{CO}_2] = 1 \text{ mol CO}_2 / 11 = 9,09\% \text{ CO}_2 \text{ obj.}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 2 \text{ mole H}_2\text{O} / 11 = 18,2\% \text{ H}_2\text{O obj.}$$

$$[\text{O}_2] = 0,1 \text{ mola O}_2 / 11 = 0,91\% \text{ O}_2 \text{ obj.}$$

$$[\text{N}_2] = 7,52 \text{ mola N}_2 / 10,52 = 71,82\% \text{ N}_2 \text{ obj.}$$

ZAPOTRZEBOWANIE POWIETRZA DO SPALANIA

Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania oznacza ilość powietrza przypadającego na jednostkę paliwa w **stechiometrycznej** mieszance palnej (Ω_{stech}). Dla paliw gazowych określa się je w m^3/m^3 w warunkach normalnych.

Rzeczywiste zapotrzebowanie powietrza do spalania zależy od założonego **nadmiaru** powietrza.

WSPÓŁCZYNNIK NADMIARU POWIETRZA (λ)

$$\lambda = \frac{\text{całkowita ilość powietrza do spalania}}{\text{teoretyczna ilość powietrza do spalania}}$$

Oznaczając:

V_{pow} – objętość powietrza podawanego do spalania, m^3

V_{gaz} – objętość gazu do spalania, m^3

Ω_{stech} – stechiometryczne (teoretyczne) zapotrzebowanie powietrza, m^3/m^3

otrzymuje się z powyższej definicji równoważne wyrażenie

$$\lambda = \frac{V_{\text{pow}}}{V_{\text{gaz}} * \Omega_{\text{stech}}}$$

ZWIĄZEK WSPÓŁCZYNNIKA NADMIARU POWIETRZA λ I UDZIAŁU TLENU O_2 W SPALINACH

W warunkach przemysłowych określenie współczynnika λ z definicji nie zawsze jest możliwe, ponieważ często strumień gazu lub powietrza do urządzenia często nie są mierzone. W takim przypadku należy zmierzyć udział tlenu w spalinach O_2 analizatorem i wyznaczyć wartość λ ze wzoru:

$$\lambda \cong \frac{20,9}{20,9 - [O_2]}$$

gdzie:

20,9 oznacza udział tlenu w powietrzu

$[O_2]$ oznacza udział tlenu w spalinach wyrażony w procentach

WSPÓŁCZYNNIK EKWIWALENCJI (FUEL RATIO ϕ)

W literaturze angielskojęzycznej częściej niż współczynnikiem nadmiaru powietrza λ posługuje się współczynnikiem ϕ .

$$\phi = \frac{F/A}{(F/A)_s}$$

$$\phi = \frac{1}{\lambda}$$

F – ilość moli paliwa,

A – ilość moli powietrza

s - stechiometryczny

AIR/FUEL RATIO (AFR) i FUEL/AIR RATIO (FAR)

Ze względu na łatwość wyznaczania w praktyce zastosowanie ma stosunek strumienia powietrza do paliwa określany jako AFR (Air/Fuel Ratio)

$$\text{AFR} = A/F$$

A – strumień powietrza (A – air), kg/s

F – strumień paliwa (F – fuel), kg/s

Podobnie definiuje się FAR (Fuel/Air Ratio).

WSPÓŁCZYNNIK NADMIARU POWIETRZA A RODZAJ PŁOMIENIA

Rodzaj płomienia (lub składu mieszanki)		
Bogaty	Stechiometryczny	Ubogi
$\lambda < 1$	$\lambda = 1$	$\lambda > 1$
$\phi > 1$	$\phi = 1$	$\phi < 1$

NADMIAR POWIETRZA (n)

$$n = \frac{\text{całkowita - teoretyczna ilość powietrza do spalania}}{\text{teoretyczna ilość powietrza do spalania}}$$

Związek współczynnika nadmiaru pow. i nadmiaru powietrza

$$n = (\lambda - 1) * 100\%$$

ZAPOTRZEBOWANIE POWIETRZA DO SPALANIA GAZÓW

Gaz	Stechiometryczne (teoretyczne) zapotrzebowanie powietrza do spalania gazu, m ³ / m ³
CO	2,38
H ₂	2,38
CH ₄	9,52
C ₂ H ₂	11,90
C ₂ H ₆	16,70
C ₃ H ₈	23,80
Gaz ziemny	7,80 (ok. 82% CH ₄)

PRZYKŁAD

Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania CH_4 wynosi $9,52 \text{ m}^3 / \text{m}^3$

Przyjmując:

➤ strumień metanu $V = 10 \text{ m}^3/\text{h}$

➤ strumień powietrza $V = 114,62 \text{ m}^3/\text{h}$

otrzymuje się:

$$\lambda = 114,62 / (10 * 9,52) = 114,62 / 95,2 = 1,2$$

$$n = (1,2 - 1,0) * 100\% = 20\%$$