

# Oszacowanie temperatury spalania metanu

CalcTeX  
<http://sg.bzip.pl/CalcTeX/>

21 września 2008

Ostatnia zmiana: 21 września 2008, kompilacja: 21 września 2008  
 Obliczenia wykonano w CalcTeX-u <http://sg.bzip.pl/CalcTeX/>

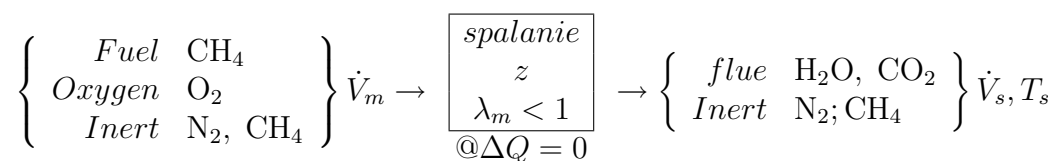
## Spis treści

<b>1</b>	<b>Temperatura spalania</b>	<b>1</b>
1.1	Zadania	1
1.1.1	Założenia	1
1.1.2	Skład mieszaniny paliwowo-powietrznej	1
1.1.3	Skład mieszaniny paliwowo-powietrznej – szczegółowy	1
1.1.4	Stumienie składników	2
1.1.5	Strumienie produktów	2
1.1.6	Zapotrzebowanie tlenu do spalania	2
1.1.7	Stechometria spalania	2
1.1.8	Wartść opałowa metanu	2
1.1.9	Współczynnik nadmiaru powietrza mieszanki palnej	3
1.1.10	Skład spalin	3
1.1.11	Strumienie tych składników	4
1.1.12	Ciepło właściwe	4
1.2	Temperatura płomienia (spalin, spalania)	4

## 1 Temperatura spalania

### 1.1 Zadania

Obliczyć temperaturę kalorymetryczną (adiabatyczną, bez dysocjacji) płomienia (spalin na wylocie) ze spalania 10% mieszanki metanu i powietrza, wszelkie potrzebne wielkości dobrać.



$T_s = ?$

#### 1.1.1 Założenia

$\dot{V}_m := 1.2 \cdot \text{m}^3/\text{hr}$  – ilość mieszanki paliwowo-powietrznej

$\dot{V}_m \cdot 1/\text{min} = 20.0$

Metan ( $\text{CH}_4$ ) jako jedyne paliwo.

Warunków normalne:

$T_n := 0.0 \cdot ^\circ\text{C}$

$T_n = 0.0^\circ\text{C}$

$p_n := 1013.25 \cdot \text{hPa}$

$p_n = 101325.0 \text{ Pa}$

$T_{ot} := 20.0 \cdot ^\circ\text{C}$  – temperatura otoczenia

Gaz ziemny wysokometanowy

skład:  $\text{ch}_4$  98.14/100, etam+propan+butan 0.91/100,  $\text{n}_2$  0.84/100,  $\text{co}_2$  0.11/100

$Q_v := 38.147 \cdot \text{MJ}/\text{m}^3$  – ciepło spalania gazu ziemnego wysokometanowego

$H_v := 34.43 \cdot \text{MJ}/\text{m}^3$  – wartość opałowa gazu ziemnego wysokometanowego

### 1.1.2 Skład mieszaniny paliwowo-powietrznej

$r_f := 10.0 \cdot \%$  – udział paliwa w mieszance ( $f$  jak *fuel*)  $r_f \cdot \% = 10.0$

$r_{air} := 100 \cdot \% - r_f$  – resztę stanowi powietrze  $r_{air} \cdot \% = 90.0$

### 1.1.3 Skład mieszaniny paliwowo-powietrznej – szczegółowy

$r_{o_2 \in air} := 21.0 \cdot \%$  – udział tlenu w powietrzu  $r_{o_2 \in air} = 0.21$

$r_{n_2 \in air} := 1.0 - r_{o_2 \in air}$  – udział  $\text{N}_2$  w powietrzu  $r_{n_2 \in air} = 0.79$

Sprawdzenie:  $(r_{o_2 \in air} + r_{n_2 \in air}) \cdot \% = 100.0$

$r_{ch_4} := r_f$   $r_{ch_4} = 0.1$

$r_{o_2} := r_{o_2 \in air} \cdot r_{air}$   $r_{o_2} = 0.189$

$r_{n_2} := r_{n_2 \in air} \cdot r_{air}$   $r_{n_2} = 0.711$

Sprawdzenie:  $\sum_{\forall j} r_j = r_{ch_4} + r_{o_2} + r_{n_2} = 1.0$

### 1.1.4 Stumienie składników

$\dot{V}_m \cdot \text{m}^3/\text{hr} = 1.2$

$\dot{V}_m \cdot \text{m}^3/\text{s} = 0.000333333333333333$

$\dot{V}_{ch_4} := r_{ch_4} \cdot \dot{V}_m$   $\dot{V}_m \cdot \text{m}^3/\text{hr} = 1.2$

$\dot{V}_{o_2} := r_{o_2} \cdot \dot{V}_m$   $\dot{V}_{o_2} \cdot \text{m}^3/\text{hr} = 0.2268$

$\dot{V}_{n_2} := r_{n_2} \cdot \dot{V}_m$   $\dot{V}_{n_2} \cdot \text{m}^3/\text{hr} = 0.8532$

### 1.1.5 Strumienie produktów

$\dot{V}_{ch_4 i} := r_{ch_4} \cdot \dot{V}_m$   $\dot{V}_{ch_4 i} \cdot \text{m}^3/\text{hr} = 0.12$

$\dot{V}_{o_2 i} := r_{o_2} \cdot \dot{V}_m$   $\dot{V}_{o_2 i} \cdot \text{m}^3/\text{hr} = 0.2268$

$\dot{V}_{n_2 i} := r_{n_2} \cdot \dot{V}_m$   $\dot{V}_{n_2 i} \cdot \text{m}^3/\text{hr} = 0.8532$

$$\sum_{\forall j} \dot{V}_j = (\dot{V}_{ch_4 i} + \dot{V}_{o_2 i} + \dot{V}_{n_2 i}) \cdot \text{m}^3/\text{hr} = 1.2$$

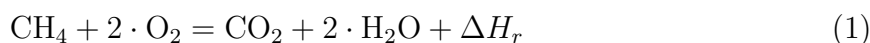
### 1.1.6 Zapotrzebowanie tlenu do spalania

$\dot{V}_{o_2 t} := 2 \cdot \dot{V}_{ch_4}$   $\dot{V}_{o_2 t} \cdot \text{m}^3/\text{s} = 6.666666666667e - 05$

$\dot{V}_{o_2 t} \cdot \text{m}^3/\text{min} = 0.004$

$\dot{V}_{o_2 t} \cdot \text{m}^3/\text{hr} = 0.24$

### 1.1.7 Stechiometria spalania



Wiadomo, że w warunkach normalnych spaliny mają taką samą objętość jak mieszanka gazów wlotowych, czyli:

$$\dot{V}_s := \dot{V}_m$$

### 1.1.8 Wartość opałowa metanu

Wartość opałowa metanu, to standardowa entalpia spalania (warunki normalne) metanu. Reakcje spalania metanu przebiega zgodnie z równaniem (1). Standardową entalpię spalania liczy się z poniższej zależności:

$$\Delta H_r := \sum_i (n_i \cdot \Delta H_i)_{prod} - \sum_j (n_j \cdot \Delta H_j)_{substr} \quad (2)$$

dla:

$$\Delta H_{co2} := -393.13 \cdot \text{kJ/mol}$$

$$\Delta H_{h2o} := -241.60 \cdot \text{kJ/mol}$$

$$\Delta H_{ch4} := -74.78 \cdot \text{kJ/mol}$$

$$\Delta H_{o2} := 0.0 \cdot \text{kJ/mol}$$

czyli:

$$\Delta H_r := (\Delta H_{co2} + 2 \cdot \Delta H_{h2o}) - (1 \cdot \Delta H_{ch4} + 2 \cdot \Delta H_{o2}) \quad \Delta H_r \cdot \text{kJ/mol} = -801.55 \quad (3)$$

Objętość 1 mola gazu w warunkach normalnych wynosi  $v_n := 22.414 \cdot \text{dm}^3/\text{mol}$  lub przeliczając  $v_n \cdot \text{m}^3/\text{kmol} = 22.414$ .

$$\Delta Q_{ch4} := \frac{\Delta H_r}{v_n} \quad \Delta Q_{ch4} \cdot \text{kJ/m}^3 = -35761.1314357$$

$T_{ot} = 20.0^\circ\text{C}$  - temperatura otoczenia

$$Q_i := -\Delta Q_{ch4} \dots\dots\dots Q_i \cdot \text{kJ/m}^3 = 35761.1314357$$

$$\dots\dots\dots Q_i \cdot \text{MJ/m}^3 = 35.7611314357$$

Do obliczeń zastosujemy ciepło spalania gazu ziemnego wysokometanowego

$$Q_i := Q_v \dots\dots\dots Q_i \cdot \text{kJ/m}^3 = 38147.0$$

### 1.1.9 Współczynnik nadmiaru powietrza mieszanki palnej

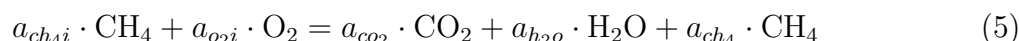
$$\lambda_m = \frac{\dot{V}_{air,real}}{\dot{V}_{air,theor}} = \frac{\dot{V}_{o2,real}}{\dot{V}_{o2,theor}}$$

$$\lambda_m := \frac{\dot{V}_{o2}}{\dot{V}_{o2t}}, \quad \lambda_m = 0.945 \quad (4)$$

Skoro  $\lambda_m = 0.945 < 1$  więc część paliwa nie zostaje spalona oznacza to, że w spalinach będzie znajdował się metan; założym, że w postaci całkowicie nieprzereagowanej czyli  $\text{CH}_4$ .

### 1.1.10 Skład spalin

Reczywista reakcja utleniania



Dla substratów – indeks  $i$  jak „inlet”:

$$a_{ch4i} := 1.0$$

$$a_{o2i} := 1.89$$

dla produktów:

$$a_{co_2} := 0.945$$

$$a_{h_2o} := 1.89$$

$$a_{ch_4} := 0.055$$

$$\text{Udział } CH_4 \text{ reagennej części wynosi: } a''_{ch_4} := a_{ch_4i} - a_{ch_4} \quad a''_{ch_4} = 0.945$$

Sprawdzenie:

$$\text{substraty: } \dots\dots\dots a_{ch_4i} + a_{o_2i} = 2.89$$

$$\text{produkty: } \dots\dots\dots a_{co_2} + a_{h_2o} + a_{ch_4} = 2.89$$

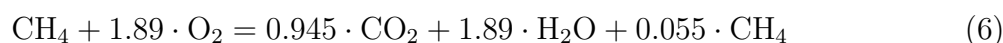
liczba moli:

$$n_m := a_{ch_4i} + a_{o_2i} \quad n_m = 2.89$$

lub

$$n_m := a_{co_2} + a_{h_2o} + a_{ch_4} \quad n_m = 2.89$$

rzeczywista reakcja ma postać:



$$g_{n_2} := r_{n_2}$$

dla produktów:

z racji tego że  $N_2$  stanowi  $g_{n_2} = 0.711$  to część reagenta wynosi  $1 - g_{n_2} = 0.289$  oznacz to, że:

$$g_{ch_4} := a_{ch_4} / (n_m) \cdot (1 - g_{n_2}) \quad g_{ch_4} = 0.0055$$

$$g_{co_2} := a_{co_2} / (n_m) \cdot (1 - g_{n_2}) \quad g_{co_2} = 0.0945$$

$$g_{h_2o} := a_{h_2o} / (n_m) \cdot (1 - g_{n_2}) \quad g_{h_2o} = 0.189$$

$$g_{n_2} = 0.711$$

Sprawdzenie:

$$\text{Składniki reagenne} \quad g_{ch_4} + g_{co_2} + g_{h_2o} = 0.289$$

$$\text{Wszystkie składniki} \quad g_{ch_4} + g_{co_2} + g_{h_2o} + g_{n_2} = 1.0$$

### 1.1.11 Strumienie tych składników

$$\dot{V}_{ch_4} := g_{ch_4} \cdot \dot{V}_m \quad \dot{V}_{ch_4} \cdot m^3/hr = 0.0066$$

$$\dot{V}_{co_2} := g_{co_2} \cdot \dot{V}_m \quad \dot{V}_{co_2} \cdot m^3/hr = 0.1134$$

$$\dot{V}_{h_2o} := g_{h_2o} \cdot \dot{V}_m \quad \dot{V}_{h_2o} \cdot m^3/hr = 0.2268$$

$$\dot{V}_{n_2} := g_{n_2} \cdot \dot{V}_m \quad \dot{V}_{n_2} \cdot m^3/hr = 0.8532$$

Sparawdzenie:

$$\sum_j \dot{V}_j = (\dot{V}_{ch_4} + \dot{V}_{co_2} + \dot{V}_{h_2o} + \dot{V}_{n_2}) \cdot m^3/hr = 1.2$$

### 1.1.12 Ciepło właściwe

Ciepła właściwe są dla temperatury 2500°C.

$$c_{pch_4} := 2.826 \cdot kJ/(kg \cdot K) \quad c_{pch_4} = 2826.0 J/(kg \cdot K)$$

$$c_{pco_2} := 2.45 \cdot kJ/(kg \cdot K)$$

$$c_{ph_2o} := 2.026 \cdot kJ/(kg \cdot K)$$

$$c_{pn_2} := 1.5 \cdot kJ/(kg \cdot K)$$

$c_{pm}$  – ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu dla mieszaniny:

$$c_{pm} := c_{pch_4} \cdot g_{ch_4} + c_{pco_2} \cdot g_{co_2} + c_{ph_2o} \cdot g_{h_2o} + c_{pn_2} \cdot g_{n_2}; \quad c_{pm} \cdot kJ/(kg \cdot K) = 1.696482$$

## 1.2 Temperatura płomienia (spalin, spalania)

$$\dot{V}_{ch_4combusted} := \dot{V}_{ch_4i} - \dot{V}_{ch_4} - \text{spalona część } CH_4 \dots \dot{V}_{ch_4combusted} \cdot 1/\text{hr} = 113.4$$

$$T_s := T_{ot} + Q_i \cdot \dot{V}_{ch_4combusted} / (\dot{V}_m \cdot c_{p_m}); \quad T_s = 2144.92174983^\circ\text{C}$$

$$T_{sK} := (T_s + 273.17)K$$

$$T_{sK} = 2418.09174983K$$

**Uwaga:**

jest to pierwsze przybliżenie, drugie przybliżenie otrzyma się, kiedy średnie ciepło właściwe składników podstawimy dla  $T_s = 2144.92174983^\circ\text{C}$ . itd. ...

**Odp.:**

temperatura spalin przy powyższych założeniach wynosi:  $T_s = 2144.92174983^\circ\text{C}$