

Физика сагоревања

Задатак

За аеросолни систем који користи пропан C_3H_8 ($H_d = 46,35$ MJ/kg, $M = 44$ kg/kmol) као гориво и коефицијент вишка ваздуха $\lambda = 1,1$, у смеши ваздуха и горива при атмосферском притиску израчунати температуру сагоревања (температура пламена) ако је температура ваздуха 25°C . Занемарите Q_{dis} и h_G .

Прво ћемо кренути од познатих података:

На основу датог горива C_3H_8 знамо да је $m=3$ and $n=8$,

Топлотна моћ горива је $H_d = 46,35$ [MJ/kg].

Моларна маса горива је $M = 44$ [kg/kmol].

Коефицијент вишка ваздуха износи $\lambda = 1,1$.

Температура ваздуха је $t_v = 25$ [$^\circ\text{C}$].

Температуру сагоревања T_s можемо израчунати из израза који добијамо на основу енергетског баланса дате термохемијске реакције:

$$T_s = \frac{h_{GORIVA} + L_s h_v + H_d - H_{NG} - Q_{dis} - Q_{TO}}{\sum_{i=1}^I V_i c_{pmi} \uparrow_{t_0}^{t_s}}$$

где је:

$h_{GORIVA} = 0$ – енталпија горива и из текста рачунског задатка видимо да нам је речено да је занемаримо,

L_s – стварна количина ваздуха,

h_v – енталпија ваздуха,

H_d – топлотна моћ горива,

$H_{NG} = 0$ – топлотна моћ несагорелог горива у продуктима сагоревања. Будући да знамо да је коефицијент вишка ваздуха $\lambda = 1,1$ (дакле већи од 1) можемо предпоставити да имамо потпуно сагоревање и да у продуктима сагоревања нема несагорелог горива.

$Q_{dis} = 0$ – губици топлоте услед процеса дисоцијације и из текста задатка видимо да нам је речено да их занемаримо.

$Q_{TO} = 0$ – губици топлоте услед размене топлоте са околином, које такође занемарујемо будући да нам у задатку нису дати подаци на основу којих бисмо могли прорачунати ове губитке.

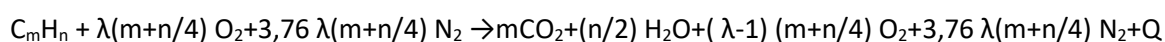
V_i – специфична запремина одређеног продукта сагоревања.

$c_{pmi} \uparrow_{t_0}^{t_S}$ – специфични топлотни капацитет одређеног продукта сагоревања.

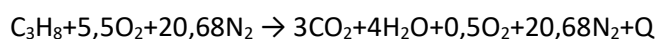
Коначно наш израз за израчунавање температуре сагоревања добија следећи облик:

$$T_S = \frac{L_S h_V + H_d}{\sum_{i=1}^l V_i c_{pmi} \uparrow_{t_0}^{t_S}}$$

Даље, користимо хемијску једначину за потпуно сагоревање угљоводоничног горива типа $C_m H_n$:



Након уврштавања познатих задатих величина у ову једначину:



Сада, ако погледамо десну страну ове хемијске једначине видећемо да су продукти процеса сагоревања који разматрамо: CO_2 , H_2O , O_2 и N_2 тако да сада можемо прећи на рачунање специфичних запремина датих продуката сагоревања користећи следеће изразе:

$$V_i = \frac{n_i \cdot 22,4}{12m + n}$$

$$V_{CO_2} = \frac{3 \cdot 22,4}{44} = 1,527 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

$$V_{H_2O} = \frac{4 \cdot 22,4}{44} = 2,036 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

$$V_{O_2} = \frac{0,5 \cdot 22,4}{44} = 0,254 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

$$V_{N_2} = \frac{20,68 \cdot 22,4}{44} = 10,528 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

L_S – стварна количина ваздуха која је дефинисана процесом сагоревања који разматрамо у овом задатку.

$$L_S = \lambda \cdot L_{min} = \lambda \cdot O_{min} / 0,232$$

O_{min} – теоретска количина кисеоника која се рачуна помоћу следећег изрази:

$$O_{min} = \frac{32 \left(m + \frac{n}{4} \right)}{12m + n} = \frac{32 \left(3 + \frac{8}{4} \right)}{12 \cdot 3 + 8} = 3,636 \left[\frac{kg}{kg} \right]$$

$$L_S = \frac{1,1 \cdot 3,636}{0,232} = 17,24 \left[\frac{kg}{kg} \right]$$

h_v – енталпија ваздуха коју рачунамо помоћу израза:

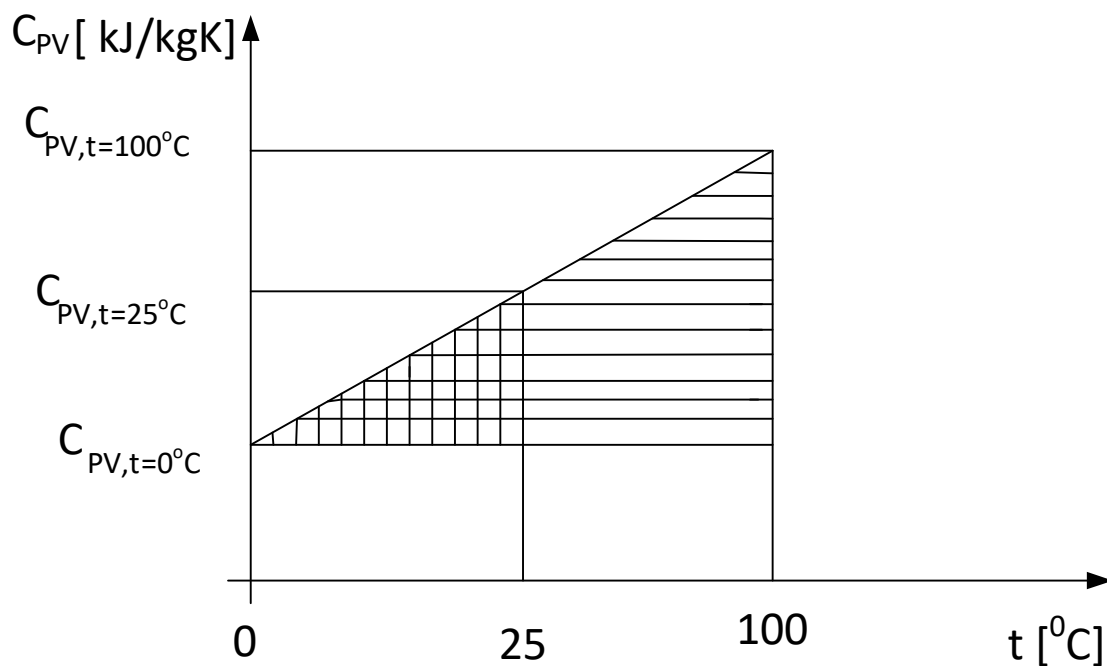
$$h_v = T_v \cdot C_{PA} \text{ (} t_v = 25^\circ\text{C)}, T_v = 273 + t_v = 273 + 25 = 298[\text{K}]$$

Из табеле 3.6 добијамо следеће вредности:

$$\text{за } t = 0[^\circ\text{C}] \rightarrow C_{PV} = 1,004 [\text{kJ/kgK}]$$

$$\text{за } t = 100[^\circ\text{C}] \rightarrow C_{PV} = 1,007 [\text{kJ/kgK}]$$

сада за $t = 25[^\circ\text{C}]$ морамо да извршимо интерполацију:



Из сличности изшрафираних троуглова добијамо следећу пропорцију:

$$\frac{C_{PV,t=25^\circ\text{C}} - C_{PV,t=0^\circ\text{C}}}{C_{PV,t=100^\circ\text{C}} - C_{PV,t=0^\circ\text{C}}} = \frac{25}{100}$$

а из ове пропорције добијамо:

$$C_{PV,t=25^\circ\text{C}} = C_{PV,t=0^\circ\text{C}} + 0,25(C_{PV,t=100^\circ\text{C}} - C_{PV,t=0^\circ\text{C}})$$

$$C_{PV,t=25^\circ\text{C}} = 1,004 + 0,25(1,007 - 1,004)$$

$$C_{PV,t=25^\circ\text{C}} = 1,00475 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$$

Даље имамо:

$$h_v = 298 \cdot 1,00475$$

$$h_v = 299,4155 [\text{kJ/kg}] = 299415,5 [\text{J/kg}]$$

Позната нам је топлотна моћ датог горива $H_d = 46,35 \text{ [MJ/kg]} = 46,35 \cdot 10^6 \text{ [J/kg]}$.

Први корак

Сада морамо одредити специфичне топлотне капацитете свих продуката сагоревања користећи табелу 3.5.

У првом кораку предпоставићемо вредност температуре сагоревања (прва претпостављена температура сагоревања) и она ће износити $t_{sp1} = 1000 [^{\circ}\text{C}]$ и за ту температуру прочитаћемо вредности за специфичне топлотне капацитете датих продуката сагоревања из табеле 3.5.

(У овој табели вредности специфичних топлотних капацитета су дате у $[\text{J/molK}]$ а да би те вредности трансформисали у $[\text{J/m}^3\text{K}]$ сваку прочитану вредност из табеле 3.5. морамо помножити са $10^3/22,4$.)

$$T_{sp1} = 1000 [^{\circ}\text{C}] \rightarrow C_{\text{PCO}_2} = 49,58 [\text{J/molK}] \cdot 10^3/22,4 = 2213,4 [\text{J/m}^3\text{K}]$$

$$C_{\text{PH}_2\text{O}} = 38,59 [\text{J/molK}] \cdot 10^3/22,4 = 1722,8 [\text{J/m}^3\text{K}]$$

$$C_{\text{PO}_2} = 33,11 [\text{J/molK}] \cdot 10^3/22,4 = 1478,1 [\text{J/m}^3\text{K}]$$

$$C_{\text{PN}_2} = 31,21 [\text{J/molK}] \cdot 10^3/22,4 = 1393,3 [\text{J/m}^3\text{K}]$$

Сада имамо све потребне вредности за израчунавање прве израчунате температуре сагоревања и користећи предходно добијени израз можемо израчунати следеће:

$$T_{Fsz1} = \frac{L_s h_v + H_d}{\sum_{i=1}^l V_i c_{pmi} \uparrow_{t_0}^{t_s}} = \frac{17,24 \cdot 299415,5 + 46,35 \cdot 10^6}{1,527 \cdot 2213,4 + 2,036 \cdot 1722,8 + 0,254 \cdot 1478,1 + 10,528 \cdot 1393,3}$$

$$T_{siz1} = 2348,75 [K] \rightarrow t_{siz1} = T_{siz1} - 273 = 2348,75 - 273 = 2075,75 [^{\circ}\text{C}]$$

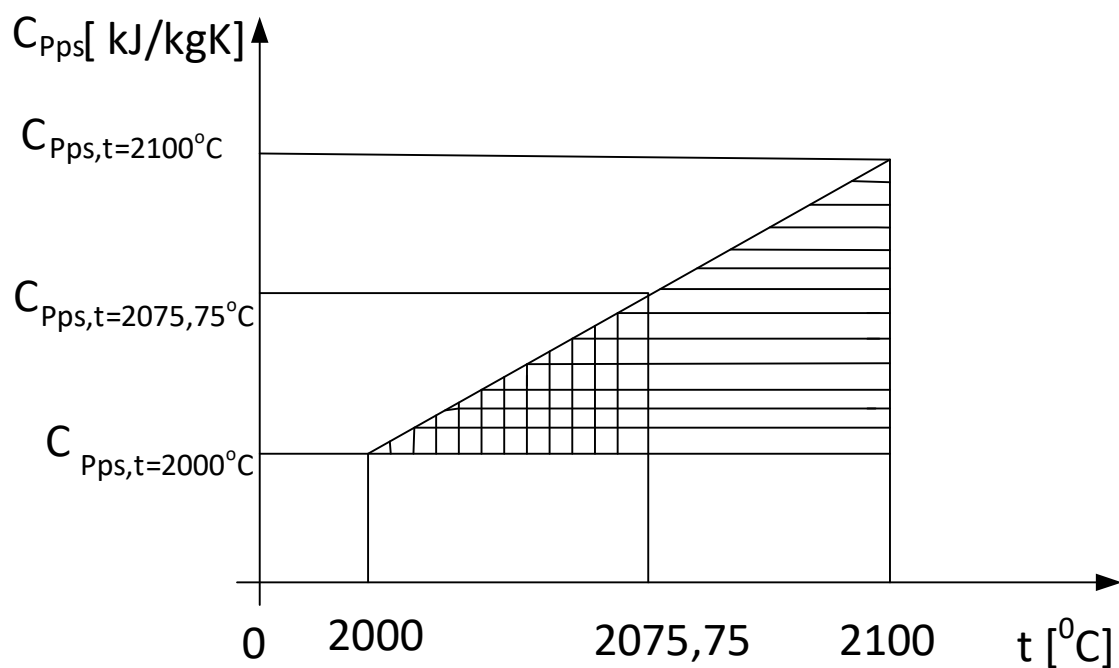
Видимо да постоји значајна разлика између предпостављене и израчунате вредности температуре у првом кораку, стога прелазимо на други корак.

Други корак

У другом кораку ове методе за израчунавање температуре сагоревања, претпоставићемо да је вредност друге претпостављене температуре сагоревања једнака израчунатој вредности температуре сагоревања на крају првог корака:

$$T_{sp2} = t_{siz1} = 2075,75 [^{\circ}\text{C}]$$

и за ову вредност температуре потребно је извадити вредности специфичних топлотних капацитета, за све продукте сагоревања, из табеле 3.5. Да бисмо ово урадили морамо извршити процес интерполације по сличном обрасцу који је приказан на самом почетку задатка. Важно је увидети да се наша претпостављена температура сагоревања ($t_{sp2} = 2075,75 [^{\circ}\text{C}]$) налази између $2000 [^{\circ}\text{C}]$ и $2100 [^{\circ}\text{C}]$.



Из овог процеса интерполације добијамо следећу пропорцију:

$$\frac{C_{Pps,t=2075,75^{\circ}\text{C}} - C_{Pps,t=2000^{\circ}\text{C}}}{C_{Pps,t=2100^{\circ}\text{C}} - C_{Pps,t=2000^{\circ}\text{C}}} = \frac{2075,75 - 2000}{2100 - 2000}$$

а из ове пропорције добијамо следећи израз:

$$C_{Pps,t=2075,75^{\circ}\text{C}} = C_{Pps,t=2000^{\circ}\text{C}} + 0,7575(C_{Pps,t=2100^{\circ}\text{C}} - C_{Pps,t=2000^{\circ}\text{C}})$$

За даље рачунање корисно је употребити следећу табелу:

Продукти сагоревања	$C_{PPS,t=2000^{\circ}\text{C}}$ [J/mol K]	$C_{PPS,t=2100^{\circ}\text{C}}$ [J/mol K]	$C_{PPS,t=2075,75^{\circ}\text{C}}$ [J/mol K]	$C_{PPS,t=2075,75^{\circ}\text{C}}$ [J/m ³ K]
CO ₂	54,63	54,96	54,88	2449,98
H ₂ O	43,9	44,34	44,23	1974,67
O ₂	35,17	35,33	35,29	1575,49
N ₂	33,24	33,39	33,35	1488,99

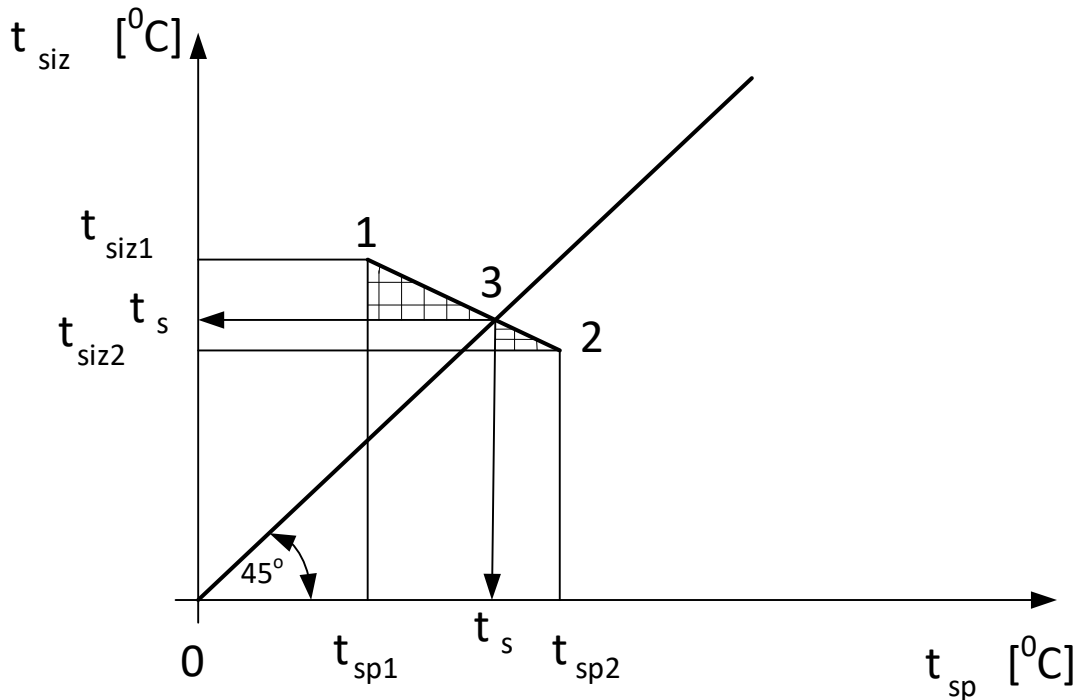
Вредности у последњој колони табеле добијамо када вредности из предходне колоне помножимо са $10^3/22,4$.

Коначно, можемо израчунати другу израчунату температуру сагоревања користећи исти израз као и у предходном кораку:

$$T_{siz2} = \frac{L_s h_v + H_d}{\sum_{i=1}^l V_i c_{pmi} \uparrow_{t_0}^{t_s}} = \frac{17,24 \cdot 299415,5 + 46,35 \cdot 10^6}{1,527 \cdot 2449,98 + 2,036 \cdot 1974,67 + 0,254 \cdot 1575,49 + 10,528 \cdot 1488,99}$$

$$T_{siz2} = 2160,93 [K] \rightarrow t_{siz2} = T_{siz2} - 273 = 2160,93 - 273 = 1887,93 [^{\circ}C]$$

Сада је потребно да прикажемо наше претпостављене и израчунате температуре сагоревања користећи следећи график:



Са овог графика, користећи сличност шрафираних троуглова, добијамо следећу пропорцију:

$$\frac{t_{siz1} - t_s}{t_s - t_{siz2}} = \frac{t_s - t_{sp1}}{t_{sp2} - t_s}$$

имајући у виду да је:

$$t_{sp2} = t_{siz1}$$

Коначно добијамо израз за израчунавање тражене температуре сагоревања:

$$t_s = \frac{t_{siz1}^2 - t_{sp1} \cdot t_{siz2}}{2t_{siz1} - t_{siz2} - t_{sp1}} = \frac{2075,75^2 - 1000 \cdot 1887,93}{2 \cdot 2075,75 - 1887,93 - 1000},$$

$$t_s = 1915,78 [^{\circ}C].$$