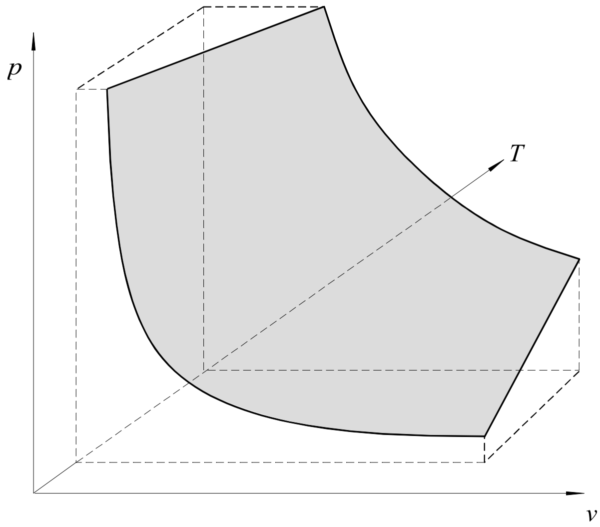
10. Smeše idealnih gasova

10.1 Uvod

- Ako se nekoliko različitih gasova smesti u isti prostor (rezervoar, sud), usled haotičnog kretanja molekula ovih gasova, oni će se pomešati i obrazovati nov gas. Novonastali gas naziva se smeša, a gasovi koji iz kojih je smeša nastala - komponente smeše.
- U slučaju da su komponente smeše idealni gasovi i sama smeša će biti idealan gas.



- Najpoznatija i najrasprostranjenija smeša (idealnih) gasova je **vazduh** (79 % azot, 21% kiseonok; i u tragovima argon, ksenon, kripton, helijum, ugljendioksid, vodena para).
- Ponašanje svakog idalnog gasa, pa i smeše idealnih gasova određeno je sa termičkom jednačimom stanja idealnog gasa

  $$p\,v = R\,T \qquad (\,p_{\mathrm{sm}}\,v_{\mathrm{sm}} = R_{\mathrm{sm}}\,T_{\mathrm{sm}}\,)$$

  i kaloričkim jednačinama stanja idealnog gasa:

  $$\mathrm{d}U = c_V\,\mathrm{d}T \quad (\,\mathrm{d}U_{\mathrm{sm}} = c_{V,\mathrm{sm}}\,\mathrm{d}T_{\mathrm{sm}}\,)$$

  $$\mathrm{d}H = c_p\,\mathrm{d}T \quad (\,\mathrm{d}H_{\mathrm{sm}} = c_{p,\mathrm{sm}}\,\mathrm{d}T_{\mathrm{sm}}\,)$$

  $\Rightarrow$ Određivanje vrednosti gasne konstante smeše R_{sm} i specifičnih toplotnih kapaciteta smeše $c_{p,\mathrm{sm}}$, $c_{V,\mathrm{sm}}$ predstavlja osnovnu problematiku koja se susreće kod smeša idealnih gasova
- Idealni gasovi grade uvek homogenu smešu gasova.
- Homogena smeša gasova je takav gas kome svaki elementarni delić po svojim osobinama može da predstavlja celu smešu.
- Prema Gibsovom pravilu faza, stanje jednokomponentne i jednofazne supstancije, koja se nalazi u termomehaničkom sistemu, određeno je sa dve nezavisne veličine stanja

(p, T ili v, T itd.). Za smeše koje se sastoje iz $N_{\text{komp.}}$ komponenata i N_{faza} faza, broj nezavisno promenljivih iznosi:

$$N_{\text{st.sl.}} = N_{\text{komp.}} + 2 - N_{\text{faza}}$$

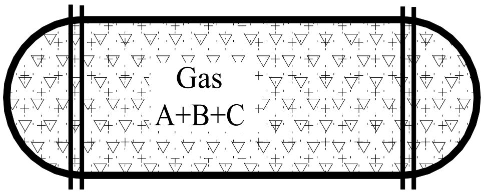
Sastav smeše kod višekomponentnih supstancija je veličina stanja i u toku procesa može se menjati, kao i sve ostale termodinamičke veličine stanja.

- Prema Gibsovom pravilu faza, za smešu idealnih gasova koja se nalazi u termomehničkom sistemu ($N_{\text{međ.en.dejs.}} = 2$), broj faza je uvek jednak jedinici ($N_{\text{faza}} = 1$), pa je broj stepeni slobode sistema, tj. nezavisnih veličina stanja, za jedan veći od broja komponenti ($N_{\text{komp.}}$)

$$N_{\text{st.sl.}} = N_{\text{komp.}} + 2 - 1 = N_{\text{komp.}} + 1$$

10.2 Načini definisanja sastava smeše

- Posmatra se trokomponentna smeša idealnih gasova: gasa A, gasa B i gasa C.



+ gas A
∇ gas B
• gas C

- **Maseni udeo** komponente u smeši

  Maseni udeo komponente A u smeši

$$w_{\text{A}} = \frac{m_{\text{A}}}{m_{\text{A}} + m_{\text{B}} + m_{\text{C}}} = \frac{m_{\text{A}}}{m_{\text{sm}}},$$

  Maseni udeo komponente B u smeši

$$w_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{m_{\text{A}} + m_{\text{B}} + m_{\text{C}}} = \frac{m_{\text{B}}}{m_{\text{sm}}}$$

  …

  Opšte - Maseni udeo *i*-te komponente u smeši

$$\boxed{w_i = \frac{m_i}{\sum_1^{N_{\text{komp}}} m_i} = \frac{m_i}{m_{\text{sm}}}} \qquad \text{i} \qquad \boxed{\sum_1^{N_{\text{komp}}} w_i = 1} \; (N_{\text{komp}} \to N)$$

- **Maseni odnos** komponenti

  Maseni odnos komponente A i komponente B

  $$w_{\mathrm{A,B}}^{*} = \frac{m_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{B}}},$$

  Maseni odnos komponente B i komponente A

  $$w_{\mathrm{B,A}}^{*} = \frac{m_{\mathrm{B}}}{m_{\mathrm{A}}},$$

  …

- **Količinski udeo** komponente u smeši

  Količinski udeo komponente A u smeši

  $$x_{\mathrm{A}} = \frac{n_{\mathrm{A}}}{n_{\mathrm{A}} + n_{\mathrm{B}} + n_{\mathrm{C}}} = \frac{n_{\mathrm{A}}}{n_{\mathrm{sm}}}$$

  Količinski udeo komponente B u smeši

  $$x_{\mathrm{B}} = \frac{n_{\mathrm{B}}}{n_{\mathrm{A}} + n_{\mathrm{B}} + n_{\mathrm{C}}} = \frac{n_{\mathrm{B}}}{n_{\mathrm{sm}}}$$

  …

  Opšte – količinski udeo *i*-te komponente u smeši

  $$\boxed{x_i = \frac{n_i}{\sum_{1}^{N} n_i} = \frac{n_i}{n_{\mathrm{sm}}}} \quad \text{i} \quad \boxed{\sum_{1}^{N} x_i = 1}$$

- **Količinski odnos** komponenti

  Količinski odnos komponente A i komponente B

  $$x_{\mathrm{A,B}}^{*} = \frac{n_{\mathrm{A}}}{n_{\mathrm{B}}},$$

  Količinski odnos komponente B i komponente A

  $$x_{\mathrm{B,A}}^{*} = \frac{n_{\mathrm{B}}}{n_{\mathrm{A}}},$$

  …

- **Masena koncentracija ili gustina**

  Masena koncentracija komponente A u smeši

  $$\rho_{\mathrm{A}} = \frac{m_{\mathrm{A}}}{V_{\mathrm{r}}} \quad \left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right],$$

  Masena koncentracija komponente B u smeši

  $$\rho_{\mathrm{B}} = \frac{m_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{r}}} \quad \left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right],$$

  …

  Masena koncentracija *i*–te komponente u smeši

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_r} \left[\frac{kg}{m^3}\right],$$

- **Količinska koncentracija**

  Količinska koncentracija komponente A u smeši

  $$c_A = \frac{n_A}{V_r} \left[\frac{mol}{m^3}\right],$$

  Količinska koncentracija komponente B u smeši

  $$c_B = \frac{n_B}{V_r} \left[\frac{mol}{m^3}\right],$$

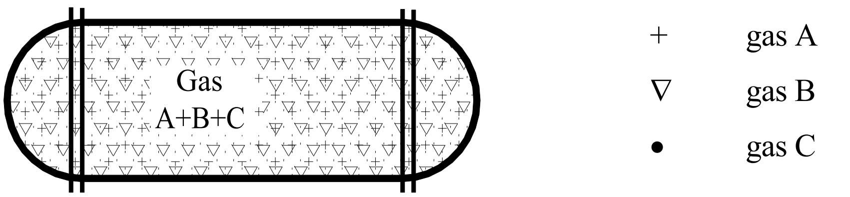
  ...

  Količinska koncentracija *i*–te komponente u smeši

  $$c_i = \frac{n_i}{V_r} \left[\frac{mol}{m^3}\right], \ldots$$

10.3 Osnovne zavisnosti između termofizičkih karakteristika kompomonenata smeše i termofizičkih karakteristika smeše

- Posmatra se ista trokomponentna smeša idealnih gasova: gasa A, gasa B i gasa C.



- Usled haotičnog kretanja molekula ovih gasova svaka od komponenata rasprostire se po čitavoj zapremini rezervora:

$$V_r = V_{sm} = V_A = V_B = V_C \qquad (V_{rezervora} \rightarrow V_r)$$

Ukupna masa smeše jednaka je zbiru masa komponenti

$$m_{sm} = m_A + m_B + m_C \qquad m_{sm} = \sum_1^N m_i$$

odnosno količina:

$$n_{sm} = n_A + n_B + n_C \qquad n_{sm} = \sum_1^N n_i$$

Svaka komponenta u smeši i sama smeša imaju istu tempetaturu

$$T_{sm} = T_A = T_B = T_C$$

Unutrašnja energija smeše jednaka je zbiru unutrašnjih energija komponenti

$$U_{\text{sm}} = U_{\text{A}} + U_{\text{B}} + U_{\text{C}} \qquad U_{\text{sm}} = \sum_{1}^{N} U_i$$

U skaldu sa prvom kaloričkom jednačinom stanja idealnog gasa[1], prethodni izraz može da se napiše:

$$m_{\text{sm}} c_{V,\text{sm}} \cancel{T_{\text{sm}}} = m_{\text{A}} c_{V,\text{A}} \cancel{T_{\text{sm}}} + m_{\text{B}} c_{V,\text{B}} \cancel{T_{\text{sm}}} + m_{\text{C}} c_{V,\text{C}} \cancel{T_{\text{sm}}}$$

$$c_{V,\text{sm}} = \frac{m_{\text{A}}}{m_{\text{sm}}} c_{V,\text{A}} + \frac{m_{\text{B}}}{m_{\text{sm}}} c_{V,\text{B}} + \frac{m_{\text{C}}}{m_{\text{sm}}} c_{V,\text{C}} \Rightarrow$$

$$\boxed{c_{V,\text{sm}} = \sum_{1}^{N} w_i c_{V,i}}$$

Entalpija smeše jednaka je zbiru entalpija komponenti

$$H_{\text{sm}} = H_{\text{A}} + H_{\text{B}} + H_{\text{C}} \qquad H_{\text{sm}} = \sum_{1}^{N} H_i$$

U skaldu drugom kaloričkom jednačinom stanja idealnog gasa i definicijom entalpije[2] prethodni izraz može da se napiše:

$$m_{\text{sm}} c_{p,\text{sm}} \cancel{T_{\text{sm}}} = m_{\text{A}} c_{p,\text{A}} \cancel{T_{\text{sm}}} + m_{\text{B}} c_{p,\text{B}} \cancel{T_{\text{sm}}} + m_{\text{C}} c_{p,\text{C}} \cancel{T_{\text{sm}}}$$

$$c_{p,\text{sm}} = \frac{m_{\text{A}}}{m_{\text{sm}}} c_{p,\text{A}} + \frac{m_{\text{B}}}{m_{\text{sm}}} c_{p,\text{B}} + \frac{m_{\text{C}}}{m_{\text{sm}}} c_{p,\text{C}} \quad n_i \Rightarrow$$

$$\boxed{c_{p,\text{sm}} = \sum_{1}^{N} w_i c_{p,i}}$$

[1] Promena specifične unutrašnje energije za idealne gasove, u skladu sa prvom kaloričkom jednačinom stanja, može da se izračuna iz

$$u_2 - u_1 = c_V (T_2 - T_1)$$

Ukoliko se temperatura T_2 proglasi za nezavisno promenljivu $T_2 \to T$, a temperatura T_1 izjedači sa apsolutnom nulom ($0\ \text{K}$, $T_1 = 0\ \text{K}$), sledi da je unutrašnja energije idealnog gasa može računati kao proizvod specifičnog toplotnog kapaciteta gasa pri konstantnoj zapremini c_V i njegove apsolutne temperature T :

$$u = c_V T \ .$$

[2] Prema definiciji, specifična entalpija je:

$$h = u + pv \ ,$$

odnosno, u skladu sa prethodnoj izvedenim

$$h = c_V T + pv$$

Ukoliko se upotrebi jednačina stanja idealnog gasa ($pv = RT$) i član koji definiše spoljašnji mehanički potencijal pv zameni, dobija se:

$$h = c_V T + RT$$

Prema Majerovoj relaciji, dobija se da se entalpija idealnog gasa može računati kao proizvod specifičnog toplotng kapaciteta gasa pri konstantnom pritisku c_p i njegove apsolutne temperature T :

$$h = c_p T \ .$$

- Molarnu masu smeše moguće je odrediti iz bilansa masa

$$m_{\text{sm}} = \sum_1^N m_i \qquad \Rightarrow \qquad n_{\text{sm}} M_{\text{sm}} = \sum_1^N n_i M_i$$

$$M_{\text{sm}} = \sum_1^N \frac{n_i}{n_{\text{sm}}} M_i \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{M_{\text{sm}} = \sum_1^N x_i M_i}$$

ili iz bilansa količina

$$n_{\text{sm}} = \sum_1^N n_i \qquad \Rightarrow \qquad \frac{m_{\text{sm}}}{M_{\text{sm}}} = \sum_1^N \frac{m_i}{M_i}$$

$$M_{\text{sm}} = \frac{1}{\sum_1^N \frac{m_i}{m_{\text{sm}}} \frac{1}{M_i}} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{M_{\text{sm}} = \frac{1}{\sum_1^N \frac{w_i}{M_i}}}$$

- Gasnu konstantu smeše moguće je odredi pomoću prethodno izvedenih izraza za molarnu masu smeše i relacije koja povezuje individualnu i univerzalnu gasnu konstantu

$$M_i R_i = \mathbb{R} \qquad \Rightarrow \qquad M_{\text{sm}} R_{\text{sm}} = \mathbb{R}$$

$$R_{\text{sm}} = \frac{\mathbb{R}}{M_{\text{sm}}} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{R_{\text{sm}} = \frac{\mathbb{R}}{\sum_1^N x_i M_i}}$$

$$\Rightarrow \qquad \boxed{R_{\text{sm}} = \sum_1^N w_i R_i}$$

- Vezu između masenog i količinskog udela moguće je dobiti polazeći od relacije koja povezuje masu (m), količinu (n)i molarnu masu supstancije (M):

$$\left.\begin{aligned} m_i &= n_i M_i \\ m_{\text{sm}} &= n_{\text{sm}} M_{\text{sm}} \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad x_i = \frac{n_i}{n_{\text{sm}}} = \frac{M_{\text{sm}}}{M_i} \frac{m_i}{m_{\text{sm}}} = \frac{M_{\text{sm}}}{M_i} w_i$$

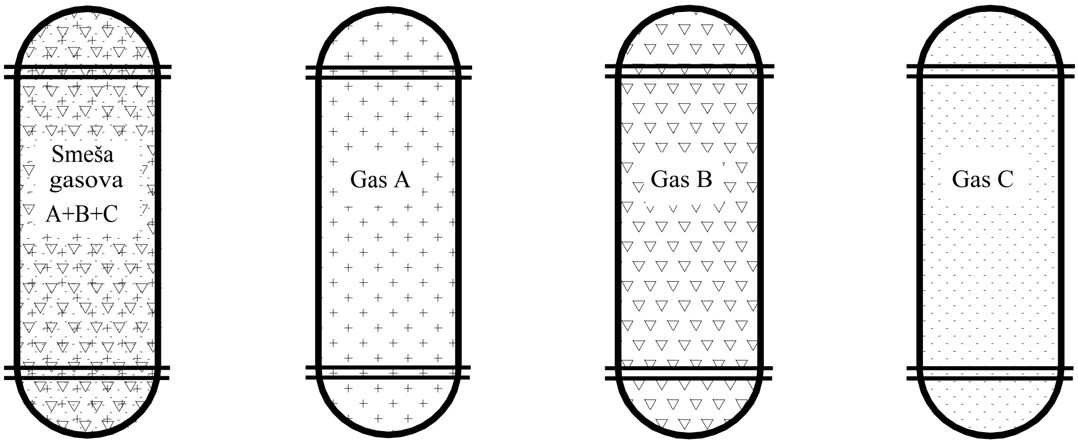
$$\boxed{x_i = \frac{M_{\text{sm}}}{M_i} w_i}$$

10.4 Pojam parcijalnog pritiska i Daltonov zakon

- Svaki gasna komponeta, koja čini gasnu smešu, u smeši se nalazi na svom parcijalnom (svedenom, redukovanom, udeonom) pritisku.

- Parcijalni pritisak *i*-te komponente smeše p_i^* je i pritisak koji bi *i*-te komponenta imala, kad bi ona u istoj količini u kojoj je bila u smeši n_i (m_i), na istoj temeraturi koju je imala smaša T_{sm}, sama zauzimala isti prostor (zapremnu) kao i cela smeša V_{sm}.

$$p_i^* = \frac{m_i R_i T_{\mathrm{sm}}}{V_{\mathrm{sm}}}$$



$m_{\mathrm{sm}}, T_{\mathrm{sm}}, V_{\mathrm{sm}}$, $\quad p_{\mathrm{sm}} = \dfrac{m_{\mathrm{sm}} R_{\mathrm{sm}} T_{\mathrm{sm}}}{V_{\mathrm{sm}}}$

$m_{\mathrm{A}}, T_{\mathrm{sm}}, V_{\mathrm{sm}}$, $\quad p_{\mathrm{A}}^* = \dfrac{m_{\mathrm{A}} R_{\mathrm{A}} T_{\mathrm{sm}}}{V_{\mathrm{sm}}}$

$m_{\mathrm{B}}, T_{\mathrm{sm}}, V_{\mathrm{sm}}$, $\quad p_{\mathrm{B}}^* = \dfrac{m_{\mathrm{B}} R_{\mathrm{B}} T_{\mathrm{sm}}}{V_{\mathrm{sm}}}$

$m_{\mathrm{C}}, T_{\mathrm{sm}}, V_{\mathrm{sm}}$, $\quad p_{\mathrm{C}}^* = \dfrac{m_{\mathrm{C}} R_{\mathrm{C}} T_{\mathrm{sm}}}{V_{\mathrm{sm}}}$

- Daltonov zakon: “Pritisak smeše jednak je zbiru parcijalnih pritiska komponenti”

$$p_{\mathrm{sm}} = p_{\mathrm{A}}^* + p_{\mathrm{B}}^* + p_{\mathrm{C}}^* \qquad \text{ili} \qquad p_{\mathrm{sm}} = \sum_{1}^{N} p_i^*$$

- Količinski udeo može da se izrazi i kao odnos parcijalnog pritiska p_i^* i pritiska smeše p_{sm}

$$x_i = \left(\frac{p_i^*}{p_{\mathrm{sm}}}\right)_{V,T}$$

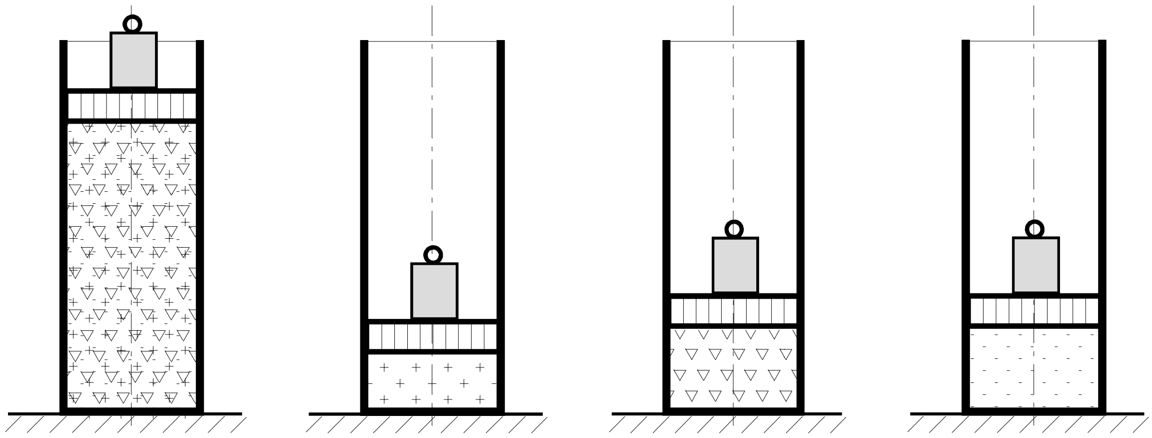
jer je

$$\left.\begin{aligned} p_i^* &= \frac{m_i R_i T_{\mathrm{sm}}}{V_{\mathrm{sm}}} \\ p_{\mathrm{sm}} &= \frac{m_{\mathrm{sm}} R_{\mathrm{sm}} T_{\mathrm{sm}}}{V_{\mathrm{sm}}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \left(\frac{p_i^*}{p_{\mathrm{sm}}}\right)_{V_{\mathrm{sm}},T_{\mathrm{sm}}} = \frac{m_i R_i}{m_{\mathrm{sm}} R_{\mathrm{sm}}} = \frac{n_i M_i R_i}{n_{\mathrm{sm}} M_{\mathrm{sm}} R_{\mathrm{sm}}} = \frac{n_i}{n_{\mathrm{sm}}}$$

10.5 Pojam parcijalne zapremine i Ludukov zakon

- Zapremina koju bi zauzela i-ta komponenta smeše, pod uslovom da je ima u istoj količini kao i u smeši n_i (m_i), i da se ima isti pritisak p_{sm} i teperaturu T_{sm} kao i smeša, naziva se parcijalna (redukovana, svedena, udeona) zapremina i-te komponente smeše V_i^*.

$$V_i^* = \frac{m_i R_i T_{\mathrm{sm}}}{p_{\mathrm{sm}}}$$



$m_{\mathrm{sm}}, T_{\mathrm{sm}}, p_{\mathrm{sm}}$, $V_{\mathrm{sm}} = \dfrac{m_{\mathrm{sm}} R_{\mathrm{sm}} T_{\mathrm{sm}}}{p_{\mathrm{sm}}}$

$m_{\mathrm{A}}, T_{\mathrm{sm}}, p_{\mathrm{sm}}$, $V_{\mathrm{A}}^* = \dfrac{m_{\mathrm{A}} R_{\mathrm{A}} T_{\mathrm{sm}}}{p_{\mathrm{sm}}}$

$m_{\mathrm{B}}, T_{\mathrm{sm}}, p_{\mathrm{sm}}$, $V_{\mathrm{B}}^* = \dfrac{m_{\mathrm{B}} R_{\mathrm{B}} T_{\mathrm{sm}}}{p_{\mathrm{sm}}}$

$m_{\mathrm{C}}, T_{\mathrm{sm}}, p_{\mathrm{sm}}$, $V_{\mathrm{C}}^* = \dfrac{m_{\mathrm{C}} R_{\mathrm{C}} T_{\mathrm{sm}}}{p_{\mathrm{sm}}}$

- Ludukov zakon: “Zbiru parcijalnih zapremina svih komponenti jednak je zapremini smeše”

$$V_{\mathrm{sm}} = V_{\mathrm{A}}^* + V_{\mathrm{B}}^* + V_{\mathrm{C}}^* \quad \text{ili} \qquad V_{\mathrm{sm}} = \sum_{1}^{N} V_i^*$$

- Količinski udeo može da se izrazi i kao odnos parcijalne zapremine V_i^* i zapremine smeše V_{sm}

$$x_i = \left(\frac{V_i^*}{V_{\mathrm{sm}}}\right)_{p,T}$$

jer je

$$\left.\begin{aligned} V_i^* &= \frac{m_i R_i T_{\mathrm{sm}}}{p_{\mathrm{sm}}} \\ V_{\mathrm{sm}} &= \frac{m_{\mathrm{sm}} R_{\mathrm{sm}} T_{\mathrm{sm}}}{p_{\mathrm{sm}}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \left(\frac{V_i^*}{V_{\mathrm{sm}}}\right)_{p_{\mathrm{sm}},T_{\mathrm{sm}}} = \frac{m_i R_i}{m_{\mathrm{sm}} R_{\mathrm{sm}}} = \frac{n_i M_i R_i}{n_{\mathrm{sm}} M_{\mathrm{sm}} R_{\mathrm{sm}}} = \frac{n_i}{n_{\mathrm{sm}}}$$

10.6 Načini nasatanka smeša (idealnih) gasova

10.6.1 Nastanak smeše gasova u zatvorenom termodinamičkom sistemu

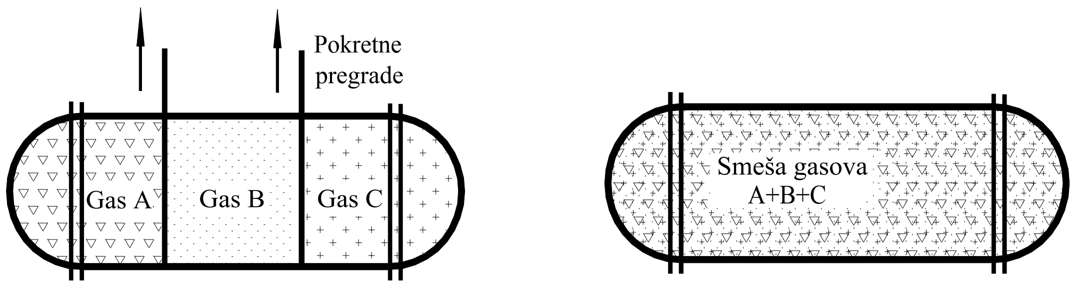
– Posmatra se proces mešanja idealnih gasova (A,B, i C), koji se nalaze unutar jednog suda, međusobno razdvojeni pokretnim pregradama.

– Sud je toplotno izolovan ($\delta Q = 0$, adijabatsko mešanje) i sa nepokretnim granicama ($\delta W_V = 0$)

– Početna stanja (p_A, T_A, V_A, U_A), (p_B, T_B, V_B, U_B), (p_C, T_C, V_C, U_C) i mase gasova (m_A, m_B, m_C) su poznati.

– Izvlačenjem pregrada gasovi će se izmešati obrazujući smešu.

– Određuju se veličine nastale smeše ($p_{sm}, T_{sm}, V_{sm}, U_{sm}$)



$m_A, p_A, T_A, V_A, U_A,$
$m_B, p_B, T_B, V_B, U_B,$
m_C, p_C, T_C, V_C, U_C

$m_{sm}, p_{sm}, T_{sm}, V_{sm}, U_{sm}$

- Bilans mase:

$$m_{sm} = m_A + m_B + m_C \qquad \text{ili} \qquad m_{sm} = \sum_1^N m_i$$

- Zapremina suda

$$V_{sm} = V_A + V_B + V_C \qquad \text{ili} \qquad V_{sm} = \sum_1^N V_i$$

- Prema Prvom zakonu termodinamike za zatvoren i nepokretan termodinamički sistem

$$\cancel{W_{V,1-2}} + \cancel{Q_{1-2}} = U_2 - U_1$$

Sud je toplotno izolovan ($\delta Q = 0$) i sa nepokretnim granicama ($\delta W_V = 0$)

$$\Rightarrow \quad U_2 - U_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad U_2 = U_1 \quad \Rightarrow \quad U_{sm} = \sum U_i$$

U skladu sa prvom kaloričkom jednačinom stanja za idealne gasove

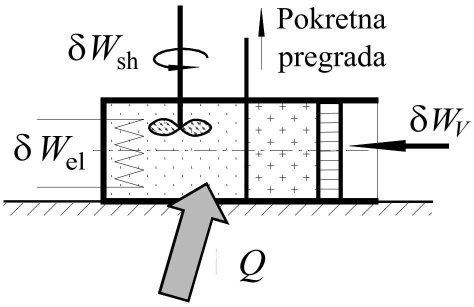
$$\Rightarrow \quad m_A c_{V,A} T_{sm} + m_B c_{V,B} T_{sm} + m_C c_{V,C} T_{sm} = m_A c_{V,A} T_A + m_B c_{V,B} T_B + m_C c_{V,C} T_C$$

ili

$$\Rightarrow \quad T_{\text{sm}}\sum_{1}^{N} m_i c_{V,i} = \sum_{1}^{N} m_i c_{V,i} T_i \qquad \Rightarrow$$

$$T_{\text{sm}} = \frac{\sum_{1}^{n} m_i\, c_{V,i}\, T_i}{\sum_{1}^{n} m_i\, c_{V,i}}$$

– U najopštijem slučaju mešanje makroskopski nepokretnih gasova u zatvorenom termodinamičkom sistemu



prema Prvom zakonu termodinamike

$$W_{V,1-2} + W_{\text{sh},1-2} + W_{\text{el},1-2} + Q_{1-2} = U_2 - U_1 \qquad \Rightarrow$$

$$T_{\text{sm}} = \frac{\sum_{1}^{N} m_i\, c_{V,i}\, T_i + Q_{1-2} + W_{V,1-2} + W_{\text{sh},1-2} + W_{\text{el},1-2}}{\sum_{1}^{N} m_i\, c_{V,i}}$$

10.6.2 Nastanak smeše u protočnom termodinamičkom sistemu

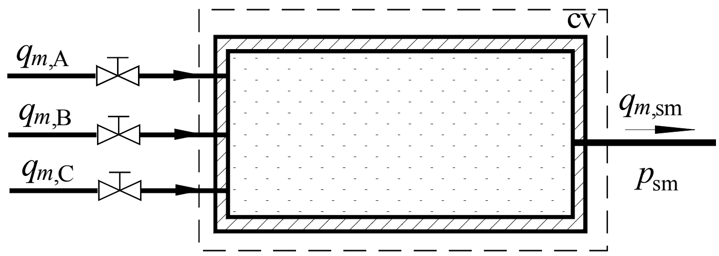
– Posmatra se proces nastajanja smeše u protočnom termodinamičkom sistemu. Tri toka idealnih gasova (A,B, i C) utiču u "komoru za mešanje" (kontrolnu zapreminu), mešaju se, a iz komore ističe smeša.

– Komora je toplotno izolovana ($\delta Q = 0$, adijatermsko mešanje) i sa nepokretnim granicama ($\delta W_V = 0$) i bez mogućnosti ostalih energetskih dejstava sa okolinom ($\delta W_{\text{sh}} = 0$, $\delta W_{\text{el}} = 0$), izuzev uticanjem, odnosno isticanjem samih gasnih tokova.

– Stanja gasova koji utiču u komoru ($p_{\text{A}}, T_{\text{A}}, h_{\text{A}}$), ($p_{\text{B}}, T_{\text{B}}, h_{\text{B}}$), ($p_{\text{C}}, T_{\text{C}}, h_{\text{C}}$), kao i njihovi maseni protoci ($q_{m,\text{A}}, q_{m,\text{B}}, q_{m,\text{C}}$) su poznati i stalni. Takođe, poznat je i pritisak smeše koja ističe iz komore p_{sm}.

– Uslovi pri kojima se odvija proces mešanja su ustaljeni (stacionarni)

– Određuje se temperatura nastale smeše (T_{sm})



$$\Phi = 0\,, \quad P_{\mathrm{teh}} = 0$$

U prigušenim ventilima se snižava pritisak, ali entalpija gasova ostaje nepromenjena

- Bilans masenih protoka:

$$q_{m,\mathrm{sm}} = q_{m,\mathrm{A}} + q_{m,\mathrm{B}} + q_{m,\mathrm{C}} \quad \text{ili} \qquad q_{m,\mathrm{sm}} = \sum_{1}^{N} q_{m,i}$$

- Prema Prvom zakonu termodinamike za protočni termodinamički sistem pri ustaljenim uslovima

$$\Phi + P_{\mathrm{teh}} + \sum_i q_{m,\mathrm{ul},i}\ \left(h_{\mathrm{ul}} + \frac{w_{\mathrm{f,ul}}^2}{2} + gz_{\mathrm{ul}}\right)_i = \sum_j q_{m,\mathrm{izl},j}\ \left(h_{\mathrm{izl}} + \frac{w_{\mathrm{f,izl}}^2}{2} + gz_{\mathrm{izl}}\right)_j$$

$$\Phi + P_{\mathrm{teh}} + \sum_i q_{m,\mathrm{ul},i}\ (h_{\mathrm{ul}} + e_{\mathrm{k,ul}} + e_{\mathrm{p,ul}})_i = q_{m,\mathrm{sm}}\ (h_{\mathrm{sm}} + e_{\mathrm{k,sm}} + e_{\mathrm{p,sm}})$$

Sud je toplotno izolovan ($\Phi = 0$) i bez mogućnosti ostalih energetskih dejstava sa okolinom ($P_{\mathrm{teh}} = 0$). Takođe, kod gasova se može zanemariti (promena) kinetičke, odnosno potencijalne energije gasnih tokova

$$\sum_i q_{m,\mathrm{ul},i}\ e_{\mathrm{k,ul},i} = q_{m,\mathrm{sm}}\ e_{\mathrm{k,sm}}$$

$$\sum_i q_{m,\mathrm{ul},i}\ e_{\mathrm{p,ul},i} = q_{m,\mathrm{sm}}\ e_{\mathrm{p,sm}}$$

pa sledi

$$\sum_i q_{m,\mathrm{ul},i}\ h_{\mathrm{ul},i} = q_{m,\mathrm{sm}}\ h_{\mathrm{sm}}$$

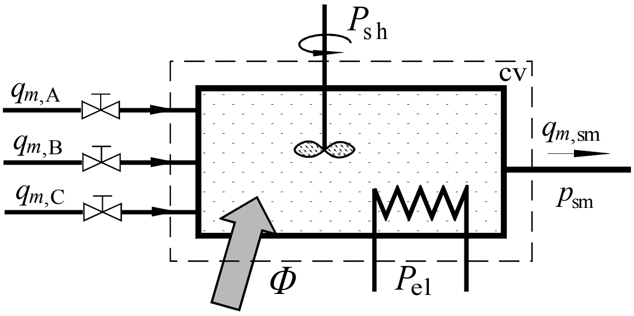
U skladu sa drugom kaloričkom jednačim stanja za idealne gasove

$$\sum_i q_{m,\mathrm{ul},i}\ c_{p,i}\, T_i = q_{m,\mathrm{sm}}\ c_{p,\mathrm{sm}}\, T_{\mathrm{sm}}$$

odnosno

$$T_{\mathrm{sm}} = \frac{\sum_i q_{m,\mathrm{ul},i}\ c_{p,i}\, T_i}{q_{m,\mathrm{sm}}\ c_{p,\mathrm{sm}}}\,.$$

- U opštijem slučaju, da komora nije toplotno izolovana ($\Phi \neq 0$), kao i da su prisutna i ostala energetska dejstava sa okolinom ($P_{\text{teh}} \neq 0$),



Prema Prvom zakonu termodinamike za protočni termodinamički sistem pri ustaljenim uslovima i prethodno navedenim relacijama i predpostvkama

$$T_{\text{sm}} = \frac{\sum_i q_{m,\text{ul},i}\; c_{p,i}\, T_i + \Phi + P_{\text{teh}}}{q_{m,\text{sm}}\; c_{p,\text{sm}}}.$$

10.6.3 Punjenje rezervoara – neustaljeni uniformni proces u protočnom termodinamičkom sistemu

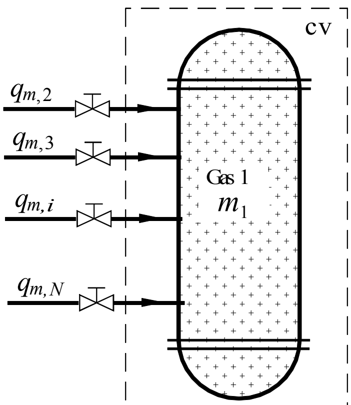
– Uvođenjem idealnih gasova 2, 3, … N, u toplotno izolovan rezervoar, u kome se nalazi idealan gas 1, nastaje smeša gasova.

– Pritisci gasova 2, 3, … N , svaki pojedinačno, moraju biti veći od pritiska gasa 1, tj. $p_2 > p_1$, $p_3 > p_1$, $p_N > p_1$.

– Rezervoar je toplotno izolovan ($\delta Q = 0$, adijatermsko mešanje) i sa nepokretnim granicama ($\delta W_V = 0$) i bez mogućnosti ostalih energetskih dejstava sa okolinom ($\delta W_{\text{sh}} = 0$, $\delta W_{\text{el}} = 0$), izuzev uticanjem samih gasnih tokova.

– Stanja gasova koji utiču u komoru (p_i, T_i, h_i, $i = 2,3...N$), kao i njihovi maseni protoci ($q_{m,i}, i = 2,3...N$) su poznati i stalni. Takođe, poznato je stanje gasa koji se već nalazi u rezervoaru 1 (p_1, T_1, u_1), kao i njegova masa (m_1)

– Uslovi pri kojima se odvija proces mešanja su neustaljeni i uniformni



$1\ (p_1, T_1, u_1,\ m_1)$

$\Phi = 0$, $P_{\text{teh}} = 0$

$q_{m,i}$, p_i, T_i, h_i, $i = 2,3...N$

- Po završetku procesa punjenja, temperatura nastale smeše određuje se pomoću Prvog zakona termodinamike za protočne sisteme

$$\Phi + P_{\text{teh}} + \sum_i q_{m,\text{ul},i}\ \left(h_{\text{ul},i} + \frac{w_{\text{f,ul},i}^2}{2} + g\,z_{\text{ul},i}\right) = \frac{\mathrm{d}(U)_{cv}}{\mathrm{d}t} + \sum_i q_{m,\text{izl},j}\ \left(h_{\text{izl},j} + \frac{w_{\text{f},iz\text{l,j}}^2}{2} + g\,z_{\text{izl,j}}\right)$$

$$\Phi t + P_{\text{teh}} t + \sum_{i=2}^{n} q_{m,\text{ul},i}\, t\left(h_{\text{ul},i} + \frac{w_{\text{f,ul},i}^2}{2} + g\,z_{\text{ul},i}\right) = (U_{\text{sm}})_{\text{cv2}} - (U_1)_{\text{cv1}}$$

$$\Phi = 0\ \ ,\ P_{\text{teh}} = 0$$

i u skladu sa prvom i drugom kaloričkom jednačim stanja za idealne gasove

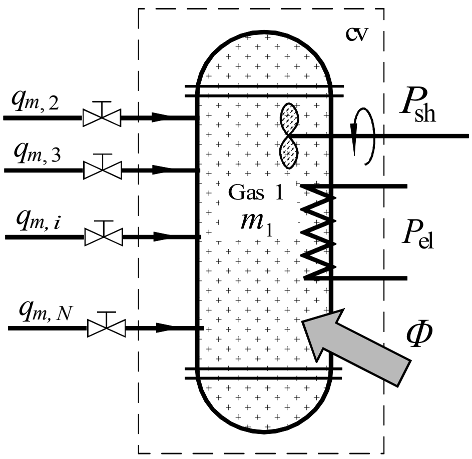
$$\sum_{i=2}^{n} q_{m,\text{ul},i}\ t\left(c_{p,i}\,T_i + \frac{w_{\text{f,ul},i}^2}{2}\right) = (m_{\text{sm}}\,c_{V,\text{sm}}\,T_{\text{sm}})_{\text{cv,2}} - (m_1\,c_{V,1}\,T_1)_{\text{cv,1}}$$

$$T_{\text{sm}} = \frac{\sum_{i=2}^{n} q_{m,\text{ul},i}\ t\left(c_{p,i}\,T_i + \frac{w_{\text{f,ul},i}^2}{2}\right) + m_1\,c_{V,1}\,T_1}{m_{\text{sm}}\,c_{V,\text{sm}}}$$

Ukoliko se može zanemariti promena kinetičke energije gasova, odnosno ako je ona relativno mala

$$q_{m,\text{ul},i}\,\frac{w_{\text{f,ul},i}^2}{2} \approx 0 \qquad \Rightarrow \qquad T_{\text{sm}} = \frac{\sum_{i=2}^{n} q_{m,\text{ul},i}\ t\,c_{p,i}\,T_i + m_1\,c_{V,1}\,T_1}{m_{\text{sm}}\,c_{V,\text{sm}}}$$

Ukoliko tokom procesa punjenja rezervoara postoji predaja toplote, odnosno vršenje radova



Temperatura nastale smeše može se odrediti iz

$$T_{\text{sm}} = \frac{\sum_{i=2}^{n} q_{m,\text{ul},i}\ t\left(c_{p,i}\,T_i + \frac{w_{\text{f,ul},i}^2}{2}\right) + m_1\,c_{V,1}\,T_1 + \Phi t + P_{\text{teh}} t}{m_{\text{sm}}\,c_{V,\text{sm}}}$$