

## İdealis gázok bevezetése



- Keverték összekelésének megadása:

$y_k$  - móltörték (v. térfogatszázalék)

$g_k$  - tömegszázalék

$$y_k = \frac{N_k}{N} = \frac{k\text{-adik komponens móltáma}}{\text{keverték móltáma}} < 1$$

$$\sum_k y_k = \frac{\sum_k N_k}{N} = \frac{N}{N} = 1$$

$$g_k = \frac{m_k}{m} = \frac{k\text{-adik komponens tömege}}{\text{keverték tömege}} < 1$$

$$\sum_k g_k = \frac{\sum_k m_k}{m} = \frac{m}{m} = 1$$

- állapotegyenlet komponensenként ~~keverték komponensenként~~

$$(5) \quad p_k V = m_k R_k T = m_k \frac{R}{M_k} T = \frac{m_k}{M_k} R T = N_k R T \quad / \sum_k$$

$p V_k \rightarrow$  Dalton-és Amagat-tör

$$(6) \quad \sum_k p_k V = p \sum_k V = \sum_k m_k R_k T = \sum_k m_k \frac{R}{M_k} T = \sum_k \frac{m_k}{M_k} R T = \sum_k N_k R T$$

$\rightarrow$  ez már magára a kevertékre is igaz!

$$p V = m R T = \sum_k m_k R_k T \Rightarrow m R = \sum_k m_k R_k \Rightarrow$$

keverték  
specifikus  
gázállapotjén

komponens  
specifikus  
gázállapotján

$$\Rightarrow R = \frac{\sum_k m_k R_k}{m} = \sum_k \frac{m_k}{m} R_k = \sum_k g_k R_k$$



- moláris mennyiségekkel a levelek állapotegyenlete:

$$pV = \sum_k N_k R T = N R T$$

$$= \sum_k \frac{m_k}{M_k} R T = \frac{m}{M} R T \Rightarrow \frac{m}{M} = \sum_k \frac{m_k}{M_k} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M = \frac{m}{\sum_k \frac{m_k}{M_k}} = \frac{1}{\frac{1}{m} \sum_k \frac{m_k}{M_k}} = \frac{1}{\sum_k \frac{m_k}{m} \cdot \frac{1}{M_k}} = \frac{1}{\sum_k \frac{g_k}{M_k}} \quad (7)$$

↓  
levegő átlagos molekulatömege

$$\begin{aligned} (5) \quad \frac{p_k V}{\sum_k p_k V} &= \frac{p V_k}{p \sum_k V_k} = \frac{p_k}{p} = \frac{V_k}{V} = \frac{m_k R_k}{m R} = \frac{m_k \frac{R}{M_k}}{m \frac{R}{M}} = \frac{\frac{m_k}{M_k}}{\frac{m}{M}} = \frac{N_k}{N} = y_k \\ (6) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{p_k}{p} = \frac{V_k}{V} = y_k}$$

$$y_k = \frac{m_k}{m} = \frac{N_k M_k}{N M} = \frac{N_k M_k}{\sum_j N_j M_j} = \frac{\frac{N_k}{N} M_k}{\sum_j \frac{N_j}{N} M_j} = \frac{y_k M_k}{\sum_j y_j M_j}$$

$$\Rightarrow \boxed{y_k = \frac{y_k M_k}{\sum_j y_j M_j}}$$



$$R = \frac{Q}{M} = \sum_k g_k R_k = \sum_k \frac{g_k M_k}{\sum_j g_j M_j} R_k = \frac{\sum_k g_k M_k R_k}{\sum_j g_j M_j} =$$

$$= \frac{\sum_k g_k R_k}{\sum_j g_j M_j} = \frac{Q \sum_k \tilde{y}_k}{\sum_j g_j M_j} = \frac{Q}{\sum_j g_j M_j}$$

$$R = \frac{Q}{\sum_j g_j M_j}$$

másképp

$$R = \frac{Q}{M} = \frac{Q}{\sum_j g_j M_j} \Rightarrow$$

$$M = \sum_k g_k M_k$$

$$g_k = \frac{m_k}{m} = \frac{N_k M_k}{NM} = g_k \frac{M_k}{M} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow g_k = \frac{g_k}{M_k} M = \frac{\frac{g_k}{M_k}}{\sum_j \frac{g_j}{M_j}} \Rightarrow$$

$$g_k = \frac{\frac{g_k}{M_k}}{\sum_j \frac{g_j}{M_j}}$$

• Levegő belső energiája és isochor fajhője

$$U = m u = \sum_k m_k u_k$$

ideális gázra:  $du_{(k)} = c_{v(k)}(T) dT$

$$U_2 - U_1 = \int_{T_1}^{T_2} m c_v(T) dT = \int_{T_1}^{T_2} \sum_k m_k c_{v_k}(T) dT \quad (8)$$

ha a komponensek és ~~az~~ levegő is tökéletes gáz:  $c_{v(k)} = \text{const}$

$$U_2 - U_1 = m c_v (T_2 - T_1) = \sum_k m_k c_{v_k} (T_2 - T_1)$$



Általános fajhője a komponensek fajhőivel kifejezve: (ld. (8)):

$$C_v(T) = \frac{1}{m} \sum_k m_k c_{v,k}(T) = \sum_k \frac{m_k}{m} c_{v,k}(T) = \sum_k g_k c_{v,k}(T)$$

ha  $c_v$  konstans akkor is igaz

$$C_v = \sum_k g_k c_{v,k}$$

• Általános entalpiáján és átlagos fajhője:

$$H = mh = \sum_k m_k h_k \quad \text{ideális gázra: } dh_{(k)} = c_{p(k)}(T) dT$$

$$H_2 - H_1 = \int_{T_1}^{T_2} m c_p(T) dT = \int_{T_1}^{T_2} \sum_k m_k c_{p,k}(T) dT \quad (9)$$

ha a komponensek és a keverék is tökéletes gáz:  $c_{p(k)} = \text{konst}$

$$H_2 - H_1 = m c_p (T_2 - T_1) = \sum_k m_k c_{p,k} (T_2 - T_1) \quad (10)$$

Általános átlagos fajhője a komponensek fajhőivel (ld. (9)-(10)):

$$C_p = \frac{1}{m} \sum_k m_k c_{p,k} = \sum_k \frac{m_k}{m} c_{p,k} = \sum_k g_k c_{p,k} \Rightarrow C_p = \sum_k g_k c_{p,k}$$

• adiabatikus kitevő:

$$\kappa = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\sum_k g_k c_{p,k}}{\sum_k g_k c_{v,k}} = \frac{g_1 c_{p,1} + \dots + g_n c_{p,n}}{g_1 c_{v,1} + \dots + g_n c_{v,n}} \neq \frac{\sum_k c_{p,k}}{\sum_k c_{v,k}} \quad \begin{array}{l} \text{NE EGYSZERŰ-} \\ \text{SÍTSÜNK!!!} \end{array}$$



Legfontosabb képletek összefoglalva, kerekítés nélkül

Dalton-tör:  $p = \sum_k p_k$

Amagat-tör:  $V = \sum_k V_k$

$$y_k = \frac{N_k}{N}$$

$$g_k = \frac{m_k}{m}$$

$$\frac{p_k}{p} = \frac{V_k}{V} = y_k$$

$$R = \sum_k g_k R_k$$

$$c_v = \sum_k g_k c_{v,k}$$

$$c_p = \sum_k g_k c_{p,k}$$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{\sum_k g_k c_{p,k}}{\sum_k g_k c_{v,k}}$$

$$R = \frac{R}{\sum_j y_j M_j}$$

$$M = \frac{1}{\sum_k \frac{g_k}{M_k}} = \sum_k y_k M_k$$

$$g_k = \frac{y_k M_k}{\sum_j y_j M_j}$$

$$g_k = \frac{\frac{g_k}{M_k}}{\sum_j \frac{g_j}{M_j}}$$



## Nedves levegő

↳ mint száraz levegő és vízgőz, mint ideális gázok  
ideális gáztörvényre (modell)

• Telítési gőztartalom:

- ideális gázállapotegyenlet a levegőre és a vízgőzre

$$p_L V = m_L \frac{R}{M_L} T$$

$$p_G V = m_G \frac{R}{M_G} T$$

- abszolút nedvességtartalom:

$$x = \frac{m_G}{m_L} = \frac{\frac{p_G V}{RT} M_G}{\frac{p_L V}{RT} M_L} = \frac{p_G M_G}{p_L M_L} \approx 0,622 \frac{p_G}{p_L} = 0,622 \frac{p_G}{p - p_G}$$

$$M_G = 18,02 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

$$M_L = 28,95 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

↑  
nedves levegő  
nyomása  
(gőz és szárazlevegő  
parciális nyomásainak  
összege)

- Telítési gőztartalom:

$$x_s = \frac{m_{G,s}}{m_L} = 0,622 \frac{p_{G,s}}{p - p_{G,s}}$$

ahol:

$p_{G,s}$  - vízgőz telítési  
nyomása (hőmérsékletfüggő)

- relatív páratartalom / nedvességtartalom:  $\varphi = \frac{p_G}{p_{G,s}}$

- telítettség fok:  $\chi = \frac{m_G}{m_{G,s}} = \frac{x}{x_s} = \frac{p_G (p - p_{G,s})}{p_{G,s} (p - p_G)} = \varphi \frac{p - p_{G,s}}{p - p_G}$

$$\Rightarrow \varphi = \frac{x}{x_s} \cdot \frac{p - p_{G,s}}{p - p_G} = \chi \cdot \frac{p - p_G}{p - p_{G,s}}$$



11.2.1.

$$y_{H_2} = 0,67 [1]$$

$$M_{H_2} = 2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

$$y_{O_2} = 0,33 [1]$$

$$M_{O_2} = 32 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{v} = 0,8 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$T = 10 [^{\circ}\text{C}]$$

$pV = mRT \leadsto$  ezzel most nem tudunk így mit  
leendni

de Amagat-törvényel:

$$\left. \begin{aligned} pV_k &= m_k R_k T = m_k \frac{R}{M_k} T \\ \frac{V_k}{V} &= y_k \end{aligned} \right\} \Rightarrow pV_{y_k} = m_k \frac{R}{M_k} T$$

$$\Rightarrow m_k = \frac{pV}{RT} M_k y_k \quad / \sum_{k=1}^2$$

$$m = \frac{pV}{RT} \sum_{k=1}^2 M_k y_k$$

$$y_k = \frac{m_k}{m} = \frac{\frac{pV}{RT} M_k y_k}{\frac{pV}{RT} \sum_{k=1}^2 M_k y_k} = \frac{M_k y_k}{\sum_{k=1}^2 M_k y_k}$$

$$y_{H_2} = \frac{M_{H_2} y_{H_2}}{M_{H_2} y_{H_2} + M_{O_2} y_{O_2}} = 0,1126 [1]$$

$$y_{O_2} = \frac{M_{O_2} y_{O_2}}{M_{H_2} y_{H_2} + M_{O_2} y_{O_2}} = 0,8874 [1]$$

$$p = \frac{m}{V} RT = \rho \frac{R}{\sum_{k=1}^2 y_k M_k} T = 158,183 [\text{kPa}]$$



11.2.2.

~~11.2.2.~~

|        | $M_k \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$ | $g_k [\%]$              |
|--------|----------------------------------------------------|-------------------------|
| $N_2$  | 28,02                                              | 75,53                   |
| $O_2$  | 32,00                                              | 23,13                   |
| $Ar$   | 39,94                                              | 1,28                    |
| $CO_2$ | 44,01                                              | 0,006 / javitsad ut! // |

$$y_k = \frac{\frac{g_k}{M_k}}{\sum_i \frac{g_i}{M_i}} \Rightarrow$$

$$y_{N_2} = 78,0919 [\%]$$

$$y_{O_2} = 20,9402 [\%]$$

$$y_{Ar} = 0,9284 [\%]$$

$$y_{CO_2} = 0,0395 [\%]$$

~~$$M = \frac{\sum_i g_i M_i}{\sum_i g_i}$$~~

$$M = \frac{1}{\sum_i \frac{g_i}{M_i}} = \sum_i y_i M_i =$$

$$= 28,9704 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

$$R = \frac{Q}{M} = 286,996 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right]$$



$$11.2.3. \quad m = 1,396 \text{ [kg]}$$

$$V = 1 \text{ m}^3$$

$$p = 1 \text{ [bar]}$$

$$T = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 44 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

$$M_{\text{N}_2} = 28 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

$$pV = mRT \Rightarrow R = \frac{pV}{mT} = 244,482 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$$

$$M = \frac{Q}{R} = 34,0082 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

$$M = \sum_{k=1}^2 y_k M_k \Leftrightarrow M = y_{\text{CO}_2} M_{\text{CO}_2} + y_{\text{N}_2} M_{\text{N}_2} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^2 y_k = 1 \Leftrightarrow 1 = y_{\text{CO}_2} + y_{\text{N}_2} \quad (2)$$

$$(2) \quad y_{\text{N}_2} = 1 - y_{\text{CO}_2} \Rightarrow M = y_{\text{CO}_2} M_{\text{CO}_2} + (1 - y_{\text{CO}_2}) M_{\text{N}_2} =$$

$$= y_{\text{CO}_2} (\cancel{M} M_{\text{CO}_2} - M_{\text{N}_2}) + M_{\text{N}_2}$$

$$\Rightarrow y_{\text{CO}_2} = \frac{M - M_{\text{N}_2}}{M_{\text{CO}_2} - M_{\text{N}_2}} = 0,375 \text{ [1]}$$

$$y_{\text{N}_2} = 0,625 \text{ [1]}$$

$$g_k = \frac{y_k M_k}{\sum_{j=1}^2 y_j M_j} \Rightarrow$$

$$g_{\text{CO}_2} = 0,4853 \text{ [1]}$$

$$g_{\text{N}_2} = 0,5147 \text{ [1]}$$



11.2.4.

$$N_{N_2} = 15 \text{ [mol]}$$

$$M_{N_2} = 28 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

$$N_{O_2} = 2,8 \text{ [mol]}$$

$$M_{O_2} = 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$p = 5 \text{ [bar]}$$

$$T = 310 \text{ [K]}$$

$$y_{N_2} = \frac{N_{N_2}}{N_{N_2} + N_{O_2}} = 0,8427 \text{ [1]}$$

$$y_{O_2} = \frac{N_{O_2}}{N_{N_2} + N_{O_2}} = 0,1573 \text{ [1]}$$

$$\frac{p_2}{p} = y_2 \Rightarrow p_{N_2} = y_{N_2} \cdot p = 4,2135 \text{ [bar]}$$

$$p_{O_2} = y_{O_2} \cdot p = 0,7865 \text{ [bar]}$$

11.2.5.

$$T = 22 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$p = 1 \text{ [bar]}$$

$$\varphi = 80 [\%]$$

$$p_{G,\text{sat}} (T = 22^\circ\text{C}) = 0,0264 \text{ [bar]}$$

$$\varphi = \frac{p_G}{p_{G,\text{sat}}} \Rightarrow p_G = p_{G,\text{sat}} \cdot \varphi = 0,02112 \text{ [bar]}$$

$$x = \frac{m_G}{m_{\text{SL}}} = 0,622 \cdot \frac{p_G}{p_{\text{SL}}} = 0,622 \cdot \frac{p_G}{p - p_G} =$$

$$= 0,01342 \text{ [1]}$$



11.3.6.

$$p_0 = 5 [\text{bar}]$$

$$T = 20 [^{\circ}\text{C}]$$

$$V = 100 [\text{l}]$$

$$p = 5 [\text{bar}] \quad \text{et} \quad T = 20 [^{\circ}\text{C}]$$

|               | $V_k [\text{l}]$                                                     | $M_k \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$ | $R_k = \frac{R}{M_k} \left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$ | $C_{p,k} \left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$ |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| $\text{CO}_2$ | 12                                                                   | 44                                                 | 188,964                                                          | 1271                                                 |
| $\text{O}_2$  | 11                                                                   | 32                                                 | 259,825                                                          | 1110                                                 |
| $\text{N}_2$  | 77                                                                   | 28                                                 | 296,943                                                          | 1196                                                 |
|               | $C_{v,k} = C_{p,k} - R_k \left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$ | $y_k = \frac{V_k}{V} [1]$                          | $g_k [1] = \frac{y_k M_k}{\sum_{j=1}^3 y_j M_j}$                 |                                                      |
| $\text{CO}_2$ | 1082,04                                                              | 0,12                                               | 0,1739                                                           |                                                      |
| $\text{O}_2$  | 850,145                                                              | 0,11                                               | 0,1159                                                           |                                                      |
| $\text{N}_2$  | 899,057                                                              | 0,77                                               | 0,7102                                                           |                                                      |

$$M = \sum_{k=1}^3 y_k M_k = 30,36 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

$$R = \sum_{k=1}^3 g_k R_k = \frac{R}{\sum_{k=1}^3 g_k M_k} = 273,86 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$$

$$C_p = \sum_{k=1}^3 g_k C_{p,k} = 1199,07 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$$

$$C_v = C_p - R = \sum_{k=1}^3 g_k C_{v,k} = 925,212 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$$



entropiaváltozás:

$$\Delta S = \sum_{k=1}^3 m_k \Delta S_k = \sum_{k=1}^3 m_k \left[ c_p \ln \frac{T_k}{T_0} - R \ln \frac{p_k}{p} \right] =$$

$T_k = T \quad \forall k=1, \dots, 3$

$$= \sum_{k=1}^3 m_k R \ln \frac{p_k}{p} = - \sum_{k=1}^3 \underbrace{N_k \cdot M_k}_{=m_k} \frac{R}{M_k} \ln y_k =$$

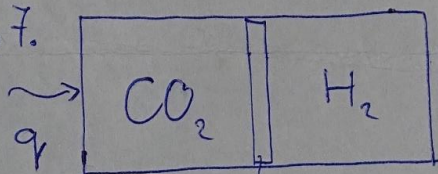
$\underbrace{R}_{=R_k} \ln \frac{p_k}{p}$

$$= 119,195 \left[ \frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$$

$$pV = mRT \Rightarrow m = \frac{pV}{RT} = 0,623 \text{ [kg]}$$

$$m_k = m g_k$$

11.3.7.



síslökámentes, hővezetelt dugattyú  $\rightarrow$   $H_2$  kompressziója izentropikus

$$\kappa_{H_2} = 1,4$$

$$c_{v,CO_2} = 630 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right]$$

$$T_{CO_2,1} = T_{H_2,1} = 20 [^{\circ}\text{C}]$$

$$p_{CO_2,1} = p_{H_2,1} = 2 \text{ [bar]}$$

$$V_{CO_2,1} = V_{H_2,1}$$

$$V_{H_2,2} = \frac{1}{2} V_{H_2,1}$$

$H_2$  izentropikus kompressziója:

$$p_{H_2,1} V_{H_2,1}^{\kappa} = p_{H_2,2} V_{H_2,2}^{\kappa} \Rightarrow p_{H_2,2} = p_{H_2,1} \left( \frac{V_{H_2,1}}{V_{H_2,2}} \right)^{\kappa} = 5,278 \text{ [bar]}$$

$\underbrace{\quad}_{=2}$

első fűtétel a  $CO_2$ -re:

$$\Delta u_{CO_2} = \underbrace{q}_{\text{szívott hő}} + \underbrace{W_{H_2}^{CO_2}}_{\text{H}_2\text{-re kifejtett kompresszió munkája a CO}_2\text{ kompressziójánál}}$$

$\rightarrow H_2$ -re kifejtett kompresszió munkája a  $CO_2$  kompressziójánál



$$w_{H_2}^{(H_2)} = - \int_{v_{H_2,1}}^{v_{H_2,2}} p_{H_2}(v) dv = - p_{H_2,1} v_{H_2,1}^\kappa \int_{v_{H_2,1}}^{v_{H_2,2}} v^{-\kappa} dv =$$

kompresszió munkája  
a  $H_2$   
szempontjából

$$p_{H_2}(v) = p_{H_2,1} \left( \frac{v_{H_2,1}}{v} \right)^\kappa$$

$$= - \frac{p_{H_2,1} v_{H_2,1}^\kappa}{1-\kappa} \left( v_{H_2,2}^{1-\kappa} - v_{H_2,1}^{1-\kappa} \right) =$$

$$= - \frac{p_{H_2,1} v_{H_2,1}}{1-\kappa} \left[ \left( \frac{v_{H_2,2}}{v_{H_2,1}} \right)^{1-\kappa} - 1 \right] = \frac{R_{H_2} T_{H_2,1}}{\kappa-1} \left[ \left( \frac{p_{H_2,2}}{p_{H_2,1}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] =$$

$$p_{H_2,1} v_{H_2,1} = R_{H_2} T_{H_2,1}$$

$$\frac{v_{H_2,2}}{v_{H_2,1}} = \left( \frac{p_{H_2,1}}{p_{H_2,2}} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$$

$$= 972,942 \left[ \frac{J}{kg} \right]$$

$$R_{H_2} = \frac{R}{M_{H_2}} = 4157,2 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

az a léptet a  $H_2$  szempontjából, tehát  
a  $CO_2$  szempontjából ezzel a  $(-1)$  szorzattal  
kell venni  $\Rightarrow CO_2$  végzi a munkát a  $H_2$ -n  
 $w_{H_2}^{CO_2} = -w_{H_2}^{H_2}$

$$CO_2 \text{ ideális gázként} \rightarrow du_{CO_2} = c_{v,CO_2} dT_{CO_2} \Rightarrow$$

$$\Delta u_{CO_2} = c_{v,CO_2} (T_{CO_2,2} - T_{CO_2,1}) = 546,109 \left[ \frac{J}{kg} \right]$$

ideális gáz termikus állapotegyenleteiből:

$$\frac{p_{CO_2,1} v_{CO_2,1}}{T_{CO_2,1}} = \frac{p_{CO_2,2} v_{CO_2,2}}{T_{CO_2,2}}$$

$$T_{CO_2,2} = T_{CO_2,1} \frac{p_{CO_2,2} v_{CO_2,2}}{p_{CO_2,1} v_{CO_2,1}} = 1159,84 [K]$$

$$v_{CO_2,2} = \frac{3}{2} v_{CO_2,1}, \quad p_{CO_2,2} = p_{H_2,2} \text{ (mechanikai egyensúly)}$$

$$q = \Delta u_{CO_2} - w_{H_2}^{CO_2} = 1519,05 \left[ \frac{J}{kg} \right]$$