

# BGTD - 6. A termodinamika 2. főtétele és az entropia

$$ds_{rev} = \frac{dq}{T}$$

$$ds = ds_{rev} + ds_{irr} = \underbrace{\frac{dq}{T}}_{\substack{\geq 0 \\ < 0}} + \underbrace{ds_{irr}}_{\substack{> 0 \\ (=) \text{ reverzibilis esetben}}}$$

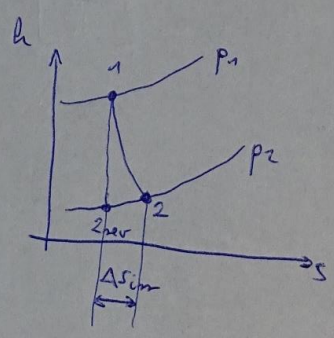
6.3.1.  $P = 250 \text{ [MW]}$

$T_{ke} = 1150 \text{ [}^\circ\text{C]}$

$\eta_T = 92 \text{ [%]}$

$T_{ki} = 650 \text{ [}^\circ\text{C]}$

$\hat{\eta}_T = \eta_T + 15 \text{ [%]} = 93,5 \text{ [%]}$



$$\eta_T = \frac{h_2 - h_1}{h_{2rev} - h_1} = \frac{c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_{2rev} - T_1)} \Rightarrow$$

fűtőgáz  $T_1 = T_{ke}$   
 $T_2 = T_{ki}$

$$\Rightarrow T_{2rev} = T_{ki, rev} = T_1 + \frac{1}{\eta_T}(T_2 - T_1) = 606,522 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P = |\dot{W}| = |\dot{H}_2 - \dot{H}_1| = \dot{m} c_p (T_1 - T_2) \Rightarrow \dot{m} c_p = \frac{P}{T_1 - T_2} = 500 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right]$$

1. fűtőgáz  
adiabaticus  
condensáció

$$\Delta \dot{S}_{irr} = \dot{m} \left[ c_p \ln \frac{T_2}{T_{2rev}} - R \ln \frac{p_2}{p_{2rev}} \right] = \dot{m} c_p \ln \frac{T_2}{T_{2rev}} =$$

$= 0 \parallel p_2 = p_{2rev} \parallel$

$$= \frac{P}{T_1 - T_2} \ln \frac{T_2}{T_{2rev}} = 24,1253 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right]$$

Közelebb kerül K-hez!!!



$$\hat{\eta}_T = 93,5 [\%]:$$

$$\hat{T}_{2,rev} = T_{2,rev}, \quad \hat{\eta}_T = \frac{\hat{T}_2 - \hat{T}_1}{\hat{T}_{2,rev} - \hat{T}_1} \Rightarrow \hat{T}_2 = T_1 + \hat{\eta}_T (T_{2,rev} - T_1) = 641,848 [^{\circ}\text{C}]$$

↓  
belepesi hőmérséklet nem változott, adiabatikus & reverzibilis expansio végpontja így megegyezik

$\hat{T}_1 = T_1$  // belepesi hőmérséklet nem változott //

$$\hat{m} \hat{c}_p = \frac{P}{\hat{T}_1 - \hat{T}_2} = 491,979 \left[ \frac{\text{gW}}{\text{K}} \right]$$

$$\Delta \hat{S}_{irr} = \hat{m} \hat{c}_p \ln \frac{\hat{T}_2}{T_{2,rev}} = \frac{P}{T_1 - \hat{T}_2} \ln \frac{\hat{T}_2}{T_{2,rev}} = 19,3738 \left[ \frac{\text{gW}}{\text{K}} \right]$$

$$\Delta \hat{S}_{irr} - \Delta \hat{S}_{irr} = -4,7515 \left[ \frac{\text{gW}}{\text{K}} \right]$$

↓  
valóban csökken az entrópiatermelés

$$6.3.2. \quad T_R = 900 [\text{K}] \quad |\dot{Q}_e| = |\dot{W}_{el}| = 1 [\text{kW}] \quad T_{\infty} = 290 [\text{K}]$$

$$\Delta \dot{S}_{R\Sigma} = 0 \quad \begin{cases} \Delta \dot{S}_{R+} = \frac{\dot{W}}{T_R} = 1,11 \left[ \frac{\text{W}}{\text{K}} \right] \rightarrow \text{elektromos áram munkavégzése miatt keletkező entrópiatermelés} \\ \Delta \dot{S}_R = \frac{\dot{Q}_e}{T_R} = -1,11 \left[ \frac{\text{W}}{\text{K}} \right] \rightarrow \text{eladott hőteljesítmény miatt entrópiacsökkenés} \end{cases}$$

$$\Delta \dot{S}_{\infty} = \frac{\dot{Q}_{el}}{T_{\infty}} = 3,45 \left[ \frac{\text{W}}{\text{K}} \right] \rightarrow \text{hővesztés entrópiájának ideiglenes növekedése}$$

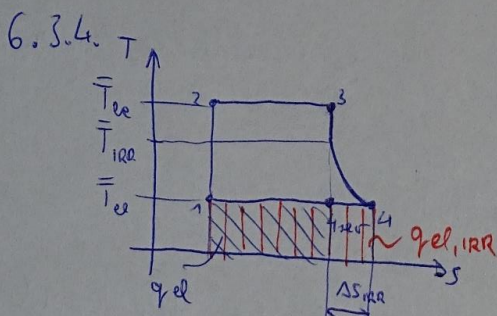
$$\dot{Q}_{el} = -\dot{Q}_e$$



6.3.3.  $R = 5 [\Omega]$   $T_R = 55 [^{\circ}\text{C}]$   $I = 2 [\text{A}]$   $T_{\infty} = 20 [^{\circ}\text{C}]$

$$\Delta \dot{S}_R = \frac{\dot{W}_R}{T_R} = \frac{I^2 R}{T_R} = 0,0609 \left[ \frac{\text{W}}{\text{K}} \right]$$

$$\Delta \dot{S}_{\infty} = \frac{\dot{W}_R}{T_{\infty}} = \frac{I^2 R}{T_{\infty}} = 0,0682 \left[ \frac{\text{W}}{\text{K}} \right]$$



$$\bar{T}_{2e} = 510 [\text{K}]$$

$$\bar{T}_{el} = 300 [\text{K}]$$

$$\bar{T}_{IRR} = 400 [\text{K}]$$

$$\Delta \dot{S}_{IRR} = 1,2 \left[ \frac{\text{W}}{\text{K}} \right]$$

ha nincs irreverzibilitás, akkor a fűtágot elvont hő:

$$q_{el} = \bar{T}_{el} (s_1 - s_{4,rev})$$

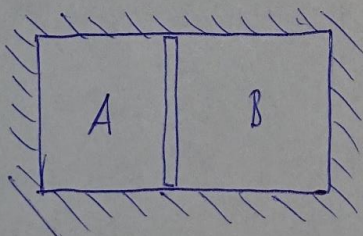
irreverzibilis esetben a fűtágot elvont hő:

$$q_{el,IRR} = \bar{T}_{el} (s_1 - s_4)$$

$|q_{el,IRR}| > |q_{el}| \leadsto$  irreverzibilitás miatt a fűtágot elvont hő negatívabb, a teljesítményvesztés:

$$\dot{W}_{DIS} = \dot{m} \underbrace{\bar{T}_{el} \Delta s_{IRR}}_{W_{DIS}} = \bar{T}_{el} \Delta \dot{S}_{IRR} = 360 [\text{kW}]$$

6.3.5.



$$m_{A,1} = 2,5 [\text{kg}]$$

$$m_{B,1} = 0,5 [\text{kg}]$$

$$T_{A,1} = 250 [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{B,1} = 70 [^{\circ}\text{C}]$$

$$p_{A,1} = 500 [\text{kPa}]$$

$$p_{B,1} = 50 [\text{kPa}]$$

$$c_p = 1029 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right]$$

$$R = 286 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right] \Rightarrow c_v = c_p - R = 743 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right]$$

diaterikus dugattyú:

hővezetőképesség nélkül, de anyagösszetétel

$$\text{nem} \Rightarrow m_{A,1} = m_{A,2} = m_A$$

$$m_{B,1} = m_{B,2} = m_B$$



1. fázis:

$$\Delta U = \Delta U_A + \Delta U_B = 0 \quad // \text{ mivel zárt rendszer, hővesztés nélkül } //$$

$$du = c_v dT \Rightarrow \Delta u = c_v \Delta T$$

$$m_A c_v (T_{A2} - T_{A1}) + m_B c_v (T_{B2} - T_{B1}) = 0 \leadsto T_{A2} = T_{B2} = T_{eq}, \text{ mivel a hőmérséklet egyenlő lesz}$$

$$T_{eq} = \frac{m_A T_{A1} + m_B T_{B1}}{m_A + m_B} = 493 \text{ [K]}$$

egyensúlyi állásban:  $P_{A2} = P_{B2} = P_{eq} \leadsto$  ideális gáz állapotegyenlete:

$$P_{eq} (V_{A2} + V_{B2}) = (m_A + m_B) T_{eq} R$$

$V_{A2}$  és  $V_{B2}$  térfogat nem ismert, de  $V_{A1} + V_{B1} = V_{A2} + V_{B2}$

miel a rendszer zárt:

$$V_{A2} + V_{B2} = V_{A1} + V_{B1} = \frac{m_A R T_{A1}}{P_{A1}} + \frac{m_B R T_{B1}}{P_{B1}}$$

$$P_{eq} = \frac{(m_A + m_B) R T_{eq}}{V_{A2} + V_{B2}} = \frac{(m_A + m_B) R T_{eq}}{\frac{m_A R T_{A1}}{P_{A1}} + \frac{m_B R T_{B1}}{P_{B1}}} = \frac{(m_A + m_B) P_{A1} P_{B1} T_{eq}}{P_{B1} m_A T_{A1} + P_{A1} m_B T_{B1}} = 244,665 \text{ [kPa]}$$

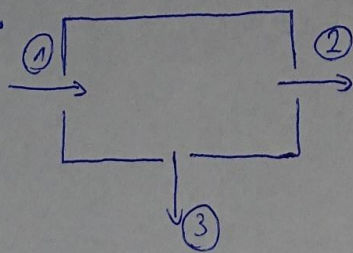
entropia megváltozása:

$$\Delta S_A + \Delta S_B = \Delta S_{IRR} \leadsto \text{zár, zárt rendszer, az irreverzibilis megváltozások meg a produkció}$$

$$\Delta S_{IRR} = m_A \left( c_p \ln \frac{T_{eq}}{T_{A1}} + R \ln \frac{P_{eq}}{P_{A1}} \right) + m_B \left( c_p \ln \frac{T_{eq}}{T_{B1}} - R \ln \frac{P_{eq}}{P_{B1}} \right) = 318,645 \left[ \frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$$



6.3.6.



$$\dot{m}_1 = 0,3 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$T_1 = 50 [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_2 = 90 [^{\circ}\text{C}]$$

$$c_p = 1004 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$$

$$\dot{m}_2 = -0,1 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

↓  
kilep

$$p_1 = p_2 = p_3 = 101 [\text{kPa}]$$

tömegmegmaradás:  $\sum_k \dot{m}_k = \frac{dm}{dt}$

↓  
dől-  
helyen

tömeg időbeli megváltozását a ki- és belépő  
tömegáramok okozzák

stacionárius esetben:  $\sum_k \dot{m}_k = 0$

$$\dot{m}_3 = -\dot{m}_1 - \dot{m}_2 = -0,2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

↓  
kilep

első főtétel (energiamegmaradás) instacionárius, nyílt rendszerre:

$$\frac{dE}{dt} = \sum_k \left( h_k + \frac{u_k^2}{2} + g z_k \right) \dot{m}_k + \sum_j \dot{Q}_j + \sum_e \dot{W}_e$$

↳ rendszer teljes energiáját az entrópiárammal (esetleg eset kinetikus és potenciális energiájának megváltozása), a hőközlés és a munkavégzés (idő egység alatt, tehát eset teljesítményei) változatját meg

most  $\dot{Q}_j = 0$   $\forall j$ ,  $\dot{W}_e = 0$   $\forall e$ , továbbá stacionárius a rendszer, kinetikus és potenciális energiákat nem vesszük figyelembe, így:

$$\sum_k \dot{H}_k = 0 \Leftrightarrow \dot{H}_1 + \dot{H}_2 + \dot{H}_3 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 =$$

$$= \dot{m}_1 c_p T_1 + \dot{m}_2 c_p T_2 + \dot{m}_3 c_p T_3 = 0 \Rightarrow$$

$-(\dot{m}_1 + \dot{m}_2)$



$$T_3 = \frac{\dot{m}_1 T_1 + \dot{m}_2 T_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} = 303 \text{ [K]} = 30 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

második feltétel:

~~$$\sum_k \dot{S}_k + \Delta \dot{S}_{IRR} = \frac{dS}{dt}$$~~

rendszer entropiáját az entropiaváltozás és az entropiatermelés változtatja meg

stacionárius esetben:  $\sum_k \dot{S}_k + \Delta \dot{S}_{IRR} = 0$

$$\Delta \dot{S}_{IRR} = - \sum_k \dot{S}_k = - (\dot{S}_1 + \dot{S}_2 + \dot{S}_3) = - (\dot{m}_1 s_1 + \dot{m}_2 s_2 + \underbrace{\dot{m}_3 s_3}_{-(\dot{m}_1 + \dot{m}_2)}) =$$

$$= - [\dot{m}_1 (s_1 - s_3) + \dot{m}_2 (s_2 - s_3)] =$$

$$= - \left[ \dot{m}_1 \left( c_p \ln \frac{T_1}{T_3} - R \underbrace{\ln \frac{p_1}{p_3}}_{\substack{=1 \\ =0}} \right) + \dot{m}_2 \left( c_p \ln \frac{T_2}{T_3} - R \underbrace{\ln \frac{p_2}{p_3}}_{\substack{=1 \\ =0}} \right) \right] =$$

$$= - \dot{m}_1 c_p \ln \frac{T_1}{T_3} - \dot{m}_2 c_p \ln \frac{T_2}{T_3} = - 1,1133 \frac{[\text{W}]}{[\text{K}]}$$

$\Delta S_{IRR}$  és  $\Delta \dot{S}_{IRR} > 0 \Rightarrow$  ilyen rendszer nem létezik

6.3.7. (dejelt ld. 5.5.4)

2. feltétel stac. nyílt rendszerre:

$$\sum_k \dot{S}_k + \Delta \dot{S}_{IRR} = 0$$

$$\dot{S}_G + \dot{S}_{HV} - \underbrace{\dot{S}_{TF}}_{\substack{\downarrow \\ \text{elég}}} + \Delta \dot{S}_{IRR} = 0$$



$$\Delta \dot{S}_{IRR} = \dot{S}_{TF} - \dot{S}_G - \dot{S}_{HV} = \underbrace{\dot{m}_{TF}}_{\dot{m}_G + \dot{m}_{HV}} s_{TF} - \dot{m}_G s_G - \dot{m}_{HV} s_{HV} =$$

$$= \dot{m}_G (s_{TF} - s_G) + \underbrace{\dot{m}_{HV} (s_{TF} - s_{HV})}_{\parallel s'(T_{sat}, p_{sat})} = \dot{m}_{HV} \bar{c}_{HV} \ln \frac{T_{sat}(p=0,1 [\text{bar}])}{T_{HV}}$$

$$s_G = (1-x) s'(T_{sat}, p_{sat}) + x s''(T_{sat}, p_{sat}) = 7,0239 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right] //$$

$$= \dot{m}_G (s'(T_{sat}, p_{sat}) - s_G) + \dot{m}_{HV} \bar{c}_{HV} \ln \frac{T_{sat}(p=0,1 [\text{bar}])}{T_{HV}} =$$

$$= 0,7611 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right]$$

6.3.8. (elejt ld. 5.5.2)

fejtesz ki az irreverzibilis entrópiatermelést:

$$\Delta \dot{S}_{IRR} = \dot{S}_2 - \dot{S}_1 = \dot{m} (s_2 - s_1) = 17,8889 \left[ \frac{\text{W}}{\text{K}} \right]$$

$$\parallel s'(T=310,99 [^\circ\text{C}], p=100 [\text{bar}])$$