

## 2. AUDITORNE VJEŽBE

### DRUGI STAVAK TERMODINAMIKE

- 2.1. Jedan kmol idealnog plina ( $R = 8314 \text{ J/kmol}\cdot\text{K}$ ) ekspandira izotermno u cilindru sa stapom od početnog tlaka 2 bara do konačnog tlaka 1 bar. Tlak je okolice također 1 bar, a temperatura okolice, s kojom je cilindar u toplinskoj ravnoteži, je 300 K. Pretpostavlja se da zbog sile trenja stap polagano mijenja položaj, tj. da je akceleracija gibanja zanemariva i da su cilindar i stap vrlo dobri vodiči topline. Kolika je promjena entropije plina, okolice i ukupno? Da li je proces povratljiv?

$$(\Delta S_p = 5762 \text{ J/K}, \Delta S_{ok} = -4157 \text{ J/K}, \Delta S_{uk} = 1605 \text{ J/K}, \text{ nepovratljiv})$$

- 2.2. Jednom se kilogramu idealnog plina ( $R = 287,0 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa = 1,4$ ) mijenja stanje kod konstantnog tlaka (6 MPa) od 200 °C do 600 °C. Temperatura je okoline 20 °C, a tlak okoline 0,1 MPa. Koliko iznose anergija i eksergija dovedene toplinske energije?

$$(a_{\text{nergija}} = 180420 \text{ J/kg}, e_{\text{ksnergija}} = 221380 \text{ J/kg})$$

- 2.3. Idealni plin ( $R = 287,0 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa = 1,4$ ) komprimira se od početnog tlaka 1 bar i početne temperature 293,15 K do konačnog tlaka 5 bara i temperature 600 K. Tlak okolice jednak je 1 bar i  $T_0 = 293,15 \text{ K}$ . Odredite gubitak mehaničkog rada zbog realnog procesa komprimiranja idealnog plina.

$$(w_g = 75,50 \text{ kJ/kg})$$

- 2.4. Komad lijevanog željeza mase 34 kg i temperature 427 °C stavljen je u 136 kg ulja početne temperature 21 °C. Pretpostavljajući da nema toplinskih gubitaka u okolicu, te da su specifične topline lijevanog željeza i ulja konstantne i iznose 0,5024 kJ/kgK i 2,5121 kJ/kgK respektivno, odredite promjenu entropije sustava koji se sastoji od ulja i lijevanog željeza.

$$(\Delta S = 8,00 \text{ kJ/K})$$

- 2.5. Tri kilograma zraka početnog tlaka 100 kPa i temperature 300 K politropski se komprimira do konačnog tlaka 500 kPa. Pretpostavljajući konstantne specifične topline, politropski koeficijent  $n = 2,56$ , izračunajte promjenu entropije zraka koristeći tri relacije za idealne

$$\text{plinove: } \Delta S_I = m \cdot c_v \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + m \cdot R \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right), \quad \Delta S_I = m \cdot c_p \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - m \cdot R \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \text{ i}$$

$$\Delta S_{III} = m \cdot c_n \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right). \text{ Poznati su } c_p = 1003,5 \text{ J/kgK} \text{ i } c_v = 717 \text{ J/kgK}.$$

$$(\Delta S = 1,57 \text{ kJ/K})$$

- 2.6. Zrak tlaka 101,35 kPa i temperature 300 K hladi se pomoću dušika tlaka 103,42 kPa i temperature 166,67 K u izmjenjivaču topline. Pretpostavljajući proces izmjene topline kao proces stacionarnog stanja - stacionarnog strujanja te da se zrak i dušik ponašaju kao idealni plinovi konstantne specifične topline  $c_{pz} = 1,0035 \text{ kJ/kgK}$  i  $c_{pN} = 1,187 \text{ kJ/kgK}$  respektivno, izračunajte maseni protok dušika i temperaturu zraka na izlazu iz izmjenjivača. Maseni protok zraka je 22,68 kg/s. Napomena: Za izlaznu temperaturu dušika pretpostavlja se da je najveća moguća, odnosno da je jednaka temperaturi zraka, 300 K.

$$(\dot{m} = 19,2 \text{ kg/s}, T_2 = 166,67 \text{ K})$$

- 2.7. Izolirani kruti spremnik sadrži 2 m<sup>3</sup> zraka na temperaturi 293 K i tlaku 200 kPa. Koliko iznosi porast entropije zraka nakon što se uloži 720 kJ rada za miješnje zraka. ( $c_p = 1004 \text{ J/kgK}$ ,  $R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ )

$$(\Delta S = 1851 \text{ J/K})$$

- 2.8. Dva kilograma pregrijane pare na 400 °C i 600 kPa ohladi se do potpunog kondenziranja pri konstantnom tlaku preko izmjenjivača topline. Temperatura okolice iznosi 25 °C. Koliko iznosi promjena entropije u svemiru zbog ovog procesa? Poznate su još iz tablica specifične entropije i entalpije pare:  $s_1 = 7708,6 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ,  $s_2 = 1931,6 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ,  $h_1 = 3270,2 \text{ kJ/kg}$  i  $h_2 = 670,6 \text{ kJ/kg}$ .

$$(\Delta S = 5,90 \text{ kJ/K})$$

- 2.9. Dva kilograma zraka volumena 0,8 m<sup>3</sup> i tlaka 200 kPa zagrijava se izobarno do temperature od 500 °C. Koliko iznosi promjena entropije zraka? ( $c_p = 1,00 \text{ kJ/kgK}$ ,  $R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ )

$$(\Delta S = 2,04 \text{ kJ/K})$$

- 2.10. Pet stotina cm<sup>3</sup> zraka na 800 °C i 6 MPa izotermno ekspandira do tlaka od 200 kPa. Koliko iznosi izmijenjena toplota i promjena entropije zraka?

$$(\Delta Q = 10,20 \text{ kJ}, \Delta S = 9,51 \text{ J/K})$$

- 2.11. Nad zrakom volumena 0,2 m<sup>3</sup> na 40 °C i 400 kPa u krutom izoliranom spremniku miješanjem se obavi 200 kJ rada. Koliko iznosi promjena entropije zraka? ( $c_p = 1004 \text{ J/kgK}$ ,  $R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ )

$$(\Delta S = 442,8 \text{ J/K})$$

- 2.12. Voda se zagrijava izobarno na 400 kPa od 20 °C do 400 °C. Koliko iznosi izmijenjena toplota i promjena entropije vode? Poznati su još iz tablica specifični volumeni, unutrašnje energije i entropije: za početno stanje 0,001002 m<sup>3</sup>/kg, 83,9 kJ/kg, 296,5 J/kg·K; i za konačno stanje 0,7726 m<sup>3</sup>/kg, 2964,4 kJ/kg, i 7899,2 J/kg·K.

$$(\Delta q = 3189 \text{ kJ/kg}, \Delta s = 7603 \text{ J/kg}\cdot\text{K})$$

- 2.13. Parna turbina mehaničke snage 2 MW prima 2 kg/s pare na 6 MPa i 600 °C a otpušta zasićenu paru na 20 kPa. Koliko iznosi proizvodnja entropije uz stacionarni protok i temperaturu okolice od 30 °C? Poznate su još iz tablica specifične entalpije i entropije: 3658,4 kJ/kg, 2609,7 kJ/kg, 7168,5 J/kg·K i 7909,3 J/kg·K.

$$(\dot{\Delta S}_{\text{Ukupno}} = 1,8 \text{ kW/K})$$

- 2.14. Kompresor komprimira zrak pod atmosferskim uvjetima (96,53 kPa, 288,7 K) na tlak 4,82·10<sup>5</sup> Pa i temperaturu 322 K. Proces komprimiranja je proces stacionarnog stanja - stacionarnog strujanja. Izračunajte minimalni rad po kg zraka potreban za pogon kompresora. ( $c_p = 1004 \text{ J/kgK}$ ,  $R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ )

$$(w_{\text{tmin}} = 135 \text{ kJ/kg})$$

- 2.15. Blok leda mase 25 kg i temperature  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  zagrijava se do temperature  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kolika promjena entropije leda (vode) nastaje ovim zagrijavanjem? Poznato je još: latentna toplota leda  $q_{ll} = 335\text{ kJ/kg}$ , specifični toplinski kapaciteti leda  $c_{v\text{ led}} = 2,04\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  i vode  $c_{v\text{ voda}} = 4187\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ .

$$(\Delta S = 44,65\text{ kJ/K})$$

- 2.16. U izmjenjivaču topline plin ( $c_p = 1003,5\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ) se hladi od temperature  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  do temperature  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Uz konstantni maseni protok plina od  $1\text{ kg/s}$ ,  $150\text{ kJ/s}$  toplinske se energije predaje tekućini za hlađenje koja je pri konstantnoj temperaturi  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ostatak topline koja se prenosi plinom kroz stjenke izmjenjivača odlazi u okolicu. Temperatura okolice je  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koliko iznosi gubitak eksergije uslijed nepovratljivosti procesa?

$$(P_{\text{gubitaka}} = 97,1\text{ kW})$$

- 2.17. Jedan pronalazač tvrdi da njegov uređaj pri konstantnom protoku geotermalne vode od  $10\text{ kg/s}$  na osovini daje mehaničku snagu od  $400\text{ kW}$ . Geotermalna voda ulazi u stroj kod tlaka  $1\text{ bar}$  i temperature  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a stroj napušta kod tlaka  $1\text{ bar}$  i temperature  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kroz stjenke uređaja postoje konstantni gubici topline u okolicu na tlaku  $1\text{ bar}$  i temperaturi  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Specifična entalpija vode na ulazu u uređaj iznosi  $398,1\text{ kJ/kg}$ , a na izlazu  $125,8\text{ kJ/kg}$ . Specifična toplota vode iznosi  $4186\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ . Utvrdite ispravnost pronalazačeve tvrdnje.

$$(\dot{\Delta S}_{\text{ukupno}} = -339\text{ J/K}\cdot\text{s, nemoguće!})$$

- 2.18. Za konstrukciju vozila na stlačeni zrak predviđen je spremnik volumena  $1000\text{ l}$  sa zrakom temperature  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  i tlaka  $10\text{ bara}$ . Koliki put bi maksimalno vozilo moglo preći ukoliko treba svladavati silu trenja od  $1\text{ kN}$ ? Tlak okolice iznosi  $1\text{ bar}$  a temperatura  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ( $R = 287\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ )

$$(l_{\text{maks}} = 1158,5\text{ m})$$

## Postupak rješavanja za odabrane zadatke

2.1  $n = 1 \text{ kmol}$      $p_1 = 2 \text{ bar} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$      $p_2 = p_o = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

$T_1 = T_2 = T_{ok} = 300 \text{ K}$

$\Delta S_p, \Delta S_o, \Delta S_{uk} = ?$

$\Delta S_{uk} = \Delta S_p + \Delta S_o$

Entropija je veličina stanja:  $s = f(v, p)$

$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{c_v \cdot dT}{T} + \frac{p \cdot dv}{T} \quad (1. \text{ ST})$$

$T = \text{konst.} \rightarrow \Delta S = \frac{Q}{T}$

Za promjenu entropije plina koristimo druge veličine stanja na početku i kraj te: tlakovi i temperature. Preko plinske jednadžbe ( $p \cdot v = R \cdot T$ ) i Mayerove relacije ( $c_v = c_p - R$ ) vrijedi:

$$ds = \frac{c_p \cdot dT}{T} - \frac{R \cdot dp}{p}$$

$\Delta S_p$

$T = \text{konst.} \rightarrow \Delta S_p = -R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} = 5763 \text{ J/kmol} \cdot \text{K}$

$\Delta S_o$

Plin ne mijenja unutrašnju energiju u izotermnom procesu te se sva dobavljena toplina iz okoline ( $q_{op}$ ) pretvara u rad ( $w_p$ ).

$w_p = q_{op}$

Ovaj rad se troši na okolicu: komprimiranje pri konstantnom ( $w_o$ ) tlaku i zagrijavanje preko radnje trenja odnosno topline trenja ( $w_{tr} = q_{tr}$ ).

$w_p = w_o + w_{tr} = p_o \cdot \Delta v_o + q_{tr}$

Neto toplina koja se izmjeni s okolicom mijenja entropiju okoline:

$q_o = w_o = q_{op} - q_{tr} = p_o \cdot \Delta v_o = -p_o \cdot \Delta v_p \quad (\Delta v_o = -\Delta v_p)$

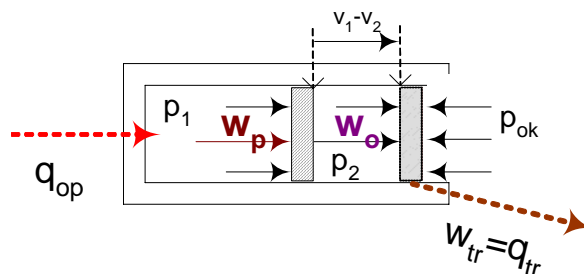
$T_o = \text{konst.} \rightarrow \Delta S_o = \frac{-p_o \cdot \Delta v_p}{T_o}$

Promjena volumena plina iz plinske jednadžbe:

$$-\Delta v_p = v_{p1} - v_{p2} = \frac{R \cdot T_o}{p_1} - \frac{R \cdot T_o}{p_2} = R \cdot T_o \cdot \frac{p_2 - p_1}{p_1 \cdot p_2}$$

$p_2 = p_o \rightarrow \Delta S_o = R \cdot \frac{p_2 - p_1}{p_1} = -4157 \text{ J/kmol} \cdot \text{K}$

$\Delta S_u = 1605 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \rightarrow \text{nepovratljiv proces!}$

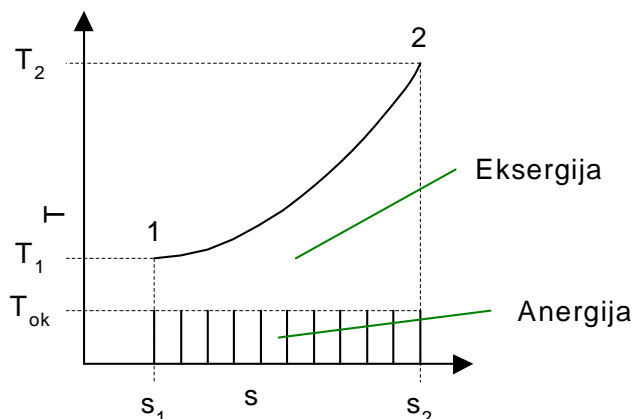


2.2  $R = 278,0 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$   $p_1 = p_2 = 6 \text{ MPa}$   $p_o = 0,1 \text{ MPa}$   
 $\kappa = 1,4$   $T_1 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$   $T_2 = 600 \text{ }^\circ\text{C}$   $m = 1 \text{ kg}$   $T_o = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$e_{\text{anergija}}, e_{\text{eksergija}}$

$$e_u = e_e + e_a \rightarrow e_e = e_u - e_a$$

Dovedena toplinska energija ( $e_u$ ) sastoji se od dijela koji se može pretvoriti u mehaničku energiju (eksergija,  $e_e$ ) i dijela koji nije moguće pretvoriti u mehaničku energiju (anergija,  $e_a$ ) zbog uvjeta u okolini (2. stavak termodinamike).



$e_a = T_o \cdot \Delta s$

$$\Delta s = \int_1^2 \frac{dq}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p \cdot dT}{T} = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} = 615,45 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$e_a = 180,42 \text{ kJ/kg}$$

$e_u$   $p = \text{konst.} \rightarrow e_u = q = c_p \cdot \Delta T$

-vrijedi da je  $c_p = \kappa \cdot c_v = c_v + R \rightarrow c_p = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot R = 1004,5 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

$$e_u = 401,8 \text{ kJ/kg}$$

$$e_e = 221,38 \text{ kJ/kg}$$

2.3  $R = 278,0 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$   $p_o = p_2 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$   $T_o = T_1 = 293,16 \text{ K}$   
 $\kappa = 1,4$   $p_2 = 5 \text{ bar} = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$   $T_2 = 600 \text{ K}$

$w_{\text{gubitaka}}$

$$w_g = e_{\text{an}} = T_o \cdot \Delta s$$

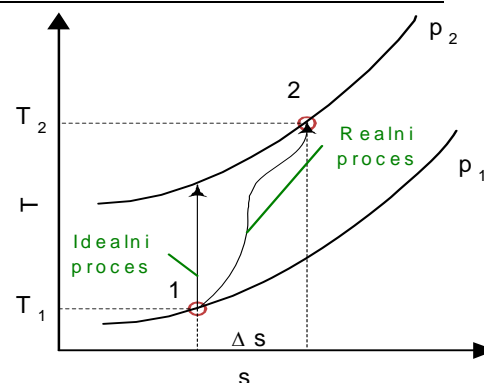
$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{du + pdv}{T} = \frac{c_v dT}{T} + \frac{R dv}{v}$$

$$p \cdot v = R \cdot T \rightarrow p \cdot dv + v \cdot dp = R \cdot dT$$

$$c_p = \kappa \cdot c_v = c_v + R$$

$$ds = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p} \rightarrow \Delta s = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} = 257,6 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$w_g = 75,50 \text{ kJ/kg}$$



$$2.4 \quad m_z = 34 \text{ kg} \quad T_{z1} = 427 \text{ °C} \quad c_{pz} = 502,4 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$m_u = 136 \text{ kg} \quad T_{u1} = 427 \text{ °C} \quad c_{pu} = 2512,1 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$


---

$$\Delta S = ?$$

$$\Delta S = \Delta S_u + \Delta S_z$$

$$\Delta S_u = \int_{u1}^2 m_u \frac{dq}{T} = \int_{u1}^2 m_u \cdot c_{pu} \frac{dT}{T} = m_u \cdot c_{pu} \ln \frac{T_2}{T_{u1}}$$

$$Q_z = Q_u \quad \rightarrow \quad m_z c_{pz} (T_{z1} - T_{z2}) = m_u c_{pu} (T_{u2} - T_{u1})$$

$$T_2 = T_{z2} = T_{u2} \quad , \quad T_2 = \frac{T_{z1} + T_{u1} \cdot \frac{m_u \cdot c_{pu}}{m_z \cdot c_{pz}}}{1 + \frac{m_u \cdot c_{pu}}{m_z \cdot c_{pz}}} = 40,32 \text{ °C}$$

$$\Delta S_u = 21,73 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_z = \dots = m_z \cdot c_{pz} \ln \frac{T_2}{T_{z1}} = -13,73 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S = 8 \text{ kJ/K.}$$


---

$$2.5 \quad c_p = 1003,5 \text{ J/kg}\cdot\text{K} \quad p_1 = 100 \text{ kPa} \quad p_2 = 500 \text{ kPa}$$

$$c_v = 717 \text{ J/kg}\cdot\text{K} \quad T_1 = 300 \text{ K}$$

$$n = 2,56 \quad m = 3 \text{ kg}$$


---

$$\Delta S_I, \Delta S_{II}, \Delta S_{III}$$

Temperatura na kraju procesa je potrebna u sva tri izraza. Vrijedi  $p \cdot v^n = \text{konst.}$  za politropski proces i plinsku jednažbu  $p \cdot v = m \cdot R \cdot T$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad \rightarrow \quad T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 800 \text{ K}$$

Za prvi izraz je potrebno odrediti univerzalnu plinsku konstantu i volumene:

$$R = c_p - c_v = 286,5 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$V_1 = m \cdot R \cdot T_1 / p_1 = 2,583 \text{ m}^3 \quad V_2 = m \cdot R \cdot T_2 / p_2 = 1,378 \text{ m}^3$$

$$\Delta S_I = m \cdot c_v \cdot \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) + m \cdot R \cdot \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) = 1,57 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{II} = m \cdot c_p \cdot \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) - m \cdot R \cdot \ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right) = 1,57 \text{ kJ/K}$$

Za treći izraz potrebno je odrediti  $c_n$ :  $c_n = \frac{c_p - n c_v}{1 - n} = 530 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

$$\Delta S_{III} = m \cdot c_n \cdot \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) = 1,57 \text{ kJ/K}$$


---

$$\begin{aligned}
2.13 \quad T_1 &= 600 \text{ }^\circ\text{C} & p_1 &= 6 \text{ MPa} & h_1 &= 3658,4 \text{ kJ/kg} & s_1 &= 7168,5 \text{ J/kg}\cdot\text{K} \\
& & p_2 &= 20 \text{ kPa} & h_2 &= 2609,7 \text{ kJ/kg} & s_2 &= 7909,3 \text{ J/kg}\cdot\text{K} \\
T_0 &= 30 \text{ }^\circ\text{C} & \dot{m} &= 2 \text{ kg/s;} & P &= 2 \text{ MW}
\end{aligned}$$


---

$$\dot{\Delta S}_{\text{Ukupno}} = ?$$

Za otvoreni sustav (kontrolni volumen) ukupna proizvodnja entropije uvijek je veća ili jednaka nuli prema izrazu:

$$\dot{\Delta S}_{\text{Ukupno}} = \dot{\Delta S}_{\text{KV}} + \dot{\Delta S}_{\text{Strujanja}} + \dot{\Delta S}_{\text{Okolice}}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{KV}} \quad \text{proizvodnja entropije u kontrolnom volumenu}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{Strujanja}} = \dot{m} (s_2 - s_1) \quad \text{za konstantni maseni protok}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{Okolice}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Okolice}}}{T_{\text{Okolice}}}$$

Prema 1. ST iz turbine (KV) u okolicu toplinski tok iznosi:

$$\dot{Q}_{\text{KV}} = \dot{m} \cdot \Delta h + P = -97,4 \text{ kW} \rightarrow \dot{Q}_{\text{Okolice}} = -\dot{Q}_{\text{KV}} = 97,4 \text{ kW}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{KV}} = 0$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{Ukupno}} = 1,8 \text{ kW/K}$$


---

$$\begin{aligned}
2.14 \quad T_1 &= 288,7 \text{ K} & T_2 &= 322 \text{ K} & c_p &= 1004 \text{ J/kg}\cdot\text{K} \\
p_1 &= p_0 = 96,53 \text{ kPa} & p_2 &= 482 \text{ kPa} & R &= 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}
\end{aligned}$$


---

$$w_{\text{tmin}} = ?$$

$$w_{\text{tmin}} = w_{\text{pov}}$$

Prema 1. i 2. stavku termodinamike povratljiv rad/snaga uz zanemarenje promjene kinetičke i potencijalne energije iznosi:

$$w_{\text{pov}} = h_1 - h_2 - T_0 \cdot (s_1 - s_2)$$

$$\text{Promjena entalpije za kompresor iznosi} \quad c_p \cdot (T_1 - T_2)$$

Iz definicije entropije za otvoreni sustav u diferencijalnom obliku  $T \cdot ds = dh - v \cdot dp$  vrijedi:

$$w_{\text{pov}} = c_p \cdot (T_1 - T_2) - T_{\text{ok}} \cdot \left( \int_2^1 \frac{dh}{T} - \int_2^1 \frac{v \cdot dp}{T} \right) \quad \text{uz integriranje i plinsku jed.}$$

$$w_{\text{pov}} = c_p \cdot (T_1 - T_2) - T_{\text{ok}} \cdot \left( c_p \cdot \ln \frac{T_1}{T_2} - R \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} \right)$$

$$w_{\text{tmin}} = 135 \text{ kJ/kg}$$

2.17 Sve zadane veličine prikazuje slika ispod.

$$P = 400 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_3 = ?$$

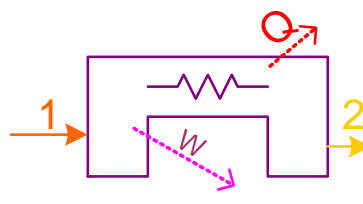
Toplinski prijelaz između naprave i okolice ( $T_o = 25 \text{ °C}$ ,  $p_o = 1 \text{ bar}$ )

$$\dot{m}_1 = 10 \text{ kg/s}$$

$$p_1 = 1 \text{ bar}$$

$$T_1 = 95 \text{ °C}$$

$$h_1 = 398,1 \text{ kJ/kg}$$



Naprava

Dobiveni mehanički rad

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1$$

$$p_2 = p_1$$

$$T_2 = 30 \text{ °C}$$

$$h_2 = 125,8 \text{ kJ/kg}$$

Istinitost tvrdnje o radu stroja moguće je provjeriti preko izračunavanja ukupne promjene entropije:

$$\dot{\Delta S}_{\text{Ukupno}} = \dot{\Delta S}_{\text{KV}} + \dot{\Delta S}_{\text{Strujanja}} + \dot{\Delta S}_{\text{Okolice}}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{KV}} \quad - \text{ proizvodnja entropije u kontrolnom volumenu}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{KV}} = 0 \quad - \text{ idealno}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{Strujanja}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} = -8,135 \text{ kJ/K} \cdot \text{s}$$

-za konstantni tlak i konst. maseni protok

$$\dot{\Delta S}_{\text{Okolice}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Okolice}}}{T_{\text{Okolice}}}$$

Izmjenjena toplinska snaga prema 1. ST iz geotermalne naprave (KV) iznosi:

$$\dot{Q}_{\text{KV}} = \dot{m} \cdot \Delta h + P = -2323 \text{ kW} \rightarrow \dot{Q}_{\text{Okolice}} = -\dot{Q}_{\text{KV}} = 2323 \text{ kW}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{Okolice}} = 7,795 \text{ kJ/K} \cdot \text{s}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{Ukupno}} = -339 \text{ J/K} \cdot \text{s} \rightarrow \text{nemoguće!}$$



2.18       $T_1 = T_2 = T_{ok} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$        $F_{tr} = 1000\text{ N}$   
 $p_1 = 10^6\text{ Pa}$        $p_2 = p_{ok} = 10^5\text{ Pa}$        $R = 287\text{ J/kg}\cdot\text{K}$

---

$l_{max} = ?$

Pređena udaljenost ovisi o mehaničkom radu dobivenom ekspanzijom plina iz spremnika i sili koju treba svladati:

$$l_{max} = \frac{W_{max}}{F_{tr}}$$

Maksimalni rad jednak je radu iz povratljive promjene početnog u konačno stanje zraka, uz stanje zraka na kraju odgovara stanju okolice ( $2 \equiv ok$ ) za zatvoreni sustav vrijedi:

$$W_{pov} = m \cdot [(u_1 - u_{ok}) - T_{ok} \cdot (s_1 - s_{ok}) + p_{ok} \cdot (v_1 - v_{ok})]$$

Povratljivost će se ostvariti izotermnim procesom. Time nema promjene unutrašnje energije zraka te se rad ostvaruje na račun promjene tlaka i topline iz okolice:

$$W_{pov} = -m \cdot T_{ok} \cdot (s_1 - s_{ok}) + m \cdot p_{ok} \cdot (v_1 - v_{ok})$$

Masu i volumen u stanju na kraju ekspanzije određuje plinska jednažba:  $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$

$$\rightarrow m = 11,5\text{ kg}, \quad V_2 = 10\text{ m}^3$$

Promjena entropije uz konstantnu temperaturu zraka iznosi:

$$(s_{ok} - s_1) = R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = 660,84\text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$W_{pov} = 2103510 - 945000 = 1,16 \cdot 10^6\text{ J}$$

---

$$l_{max} = 1158,5\text{ m}$$