

2. AUDITORNE VJEŽBE

DRUGI STAVAK TERMODINAMIKE

- 2.1. Jedan kmol idealnog plina ($R = 8314 \text{ J/kmol}\cdot\text{K}$) ekspankira 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?

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

- 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^3 zraka na temperaturi 293 K i tlaku 200 kPa . Koliko iznosi porast entropije zraka nakon što se uloži 720 kJ rada za miješnje zraka. ($c_p = 1004 \text{ J/kgK}$, $R = 287 \text{ J/kgK}$)

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

- 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: $s_1 = 7708,6 \text{ J/kgK}$, $s_2 = 1931,6 \text{ J/kgK}$, $h_1 = 3270,2 \text{ kJ/kg}$ i $h_2 = 670,6 \text{ kJ/kg}$.

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

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

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

- 2.10. Pet stotina cm^3 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 $0,2 \text{ m}^3$ na 40 °C i 400 kPa u krutom izoliranom spremniku miješanjem se obavi 200 kJ rada. Koliko iznosi promjena entropije zraka? ($c_p = 1004 \text{ J/kgK}$, $R = 287 \text{ J/kgK}$)

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

- 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 $0,001002 \text{ m}^3/\text{kg}$, $83,9 \text{ kJ/kg}$, $296,5 \text{ J/kgK}$; i za konačno stanje $0,7726 \text{ m}^3/\text{kg}$, $2964,4 \text{ kJ/kg}$, i $7899,2 \text{ J/kgK}$.

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

- 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: $3658,4 \text{ kJ/kg}$, $2609,7 \text{ kJ/kg}$, $7168,5 \text{ J/kgK}$ i $7909,3 \text{ J/kgK}$.

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

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

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

- 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 ($c_p = 1003,5\text{ J/kgK}$) se hladi od temperature $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ do temperature $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Uz konstantni maseni protok plina od 1 kg/s , 150 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°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 kg/s na osovinu daje mehaničku snagu od 400 kW . Geotermalna voda ulazi u stroj kod tlaka 1 bar i temperature 95°C , a stroj napušta kod tlaka 1 bar i temperature 30°C . Kroz stjenke uređaja postoje konstantni gubici topline u okolicu na tlaku 1 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 l sa zrakom temperature $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ i tlaka 10 bara . Koliki put bi maksimalno vozilo moglo preći ukoliko treba svladavati silu trenja od 1 kN ? Tlak okolice iznosi 1 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:

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

ΔS_p

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

ΔS_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:

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

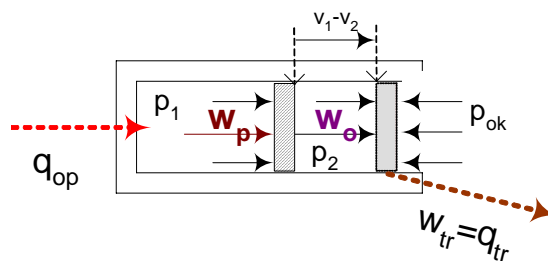
$T_o = \text{konst.} \rightarrow \Delta S_o = \frac{-p_o \cdot \Delta v_p}{T_o}$

Promjena volumena plina iz plinske jednadžbe:

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

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

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

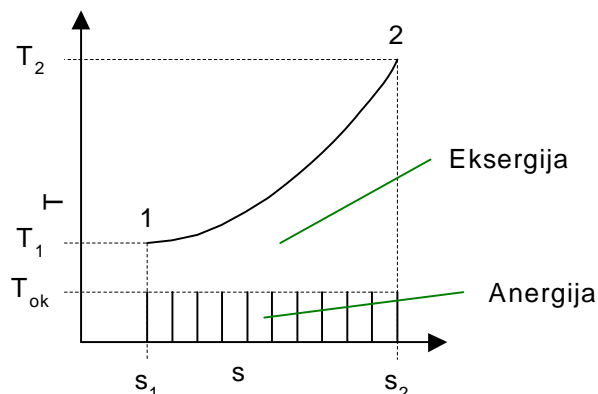


2.2 $R = 278,0 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $p_1 = p_2 = 6 \text{ MPa}$ $p_o = 0,1 \text{ MPa}$
 $\kappa = 1,4$ $T_1 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_2 = 600 \text{ }^\circ\text{C}$ $m = 1 \text{ kg}$ $T_o = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

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

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

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

$$e_a = T_o \cdot \Delta s$$

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

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

e_u

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

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

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

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

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_{gubitaka}

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

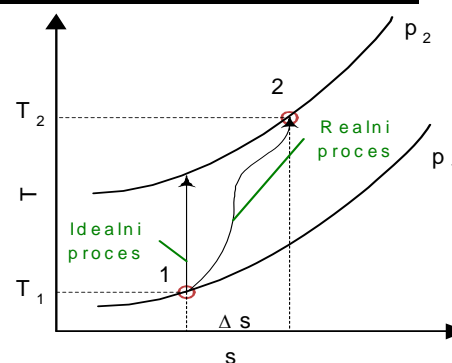
$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{du + pdv}{T} = \frac{c_v dT}{T} + \frac{R dv}{v}$$

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

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

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

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



2.4 $m_z = 34 \text{ kg}$ $T_{z1} = 427 \text{ }^\circ\text{C}$ $c_{pz} = 502,4 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
 $m_u = 136 \text{ kg}$ $T_{u1} = 427 \text{ }^\circ\text{C}$ $c_{pu} = 2512,1 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

$$\Delta S = ?$$

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

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

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

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

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

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

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

2.5 $c_p = 1003,5 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $p_1 = 100 \text{ kPa}$ $p_2 = 500 \text{ kPa}$
 $c_v = 717 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $T_1 = 300 \text{ K}$
 $n = 2,56$ $m = 3 \text{ kg}$

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

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

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

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:

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

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

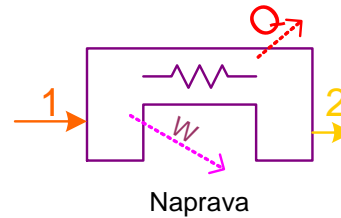
$$w_{\text{tmin}} = 135 \text{ kJ/kg}$$

2.17 Sve zadane veličine prikazuje slika ispod.
 $P = 400 \text{ kW}$

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

Toplinski prijelaz između naprave i okolice ($T_0 = 25 \text{ °C}$, $p_0 = 1 \text{ bar}$)

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 &= 10 \text{ kg/s} \\ p_1 &= 1 \text{ bar} \\ T_1 &= 95 \text{ °C} \\ h_1 &= 398,1 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \dot{m}_2 &= \dot{m}_1 \\ p_2 &= p_1 \\ T_2 &= 30 \text{ °C} \\ h_2 &= 125,8 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Naprava

Dobiveni mehanički rad

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{array}{lll}
 2.18 & T_1 = T_2 = T_{ok} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} & F_{tr} = 1000 \text{ N} \\
 & p_1 = 10^6 \text{ Pa} & p_2 = p_{ok} = 10^5 \text{ Pa} \quad R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K} \\
 & l_{max} = ? &
 \end{array}$$

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:

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

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

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