



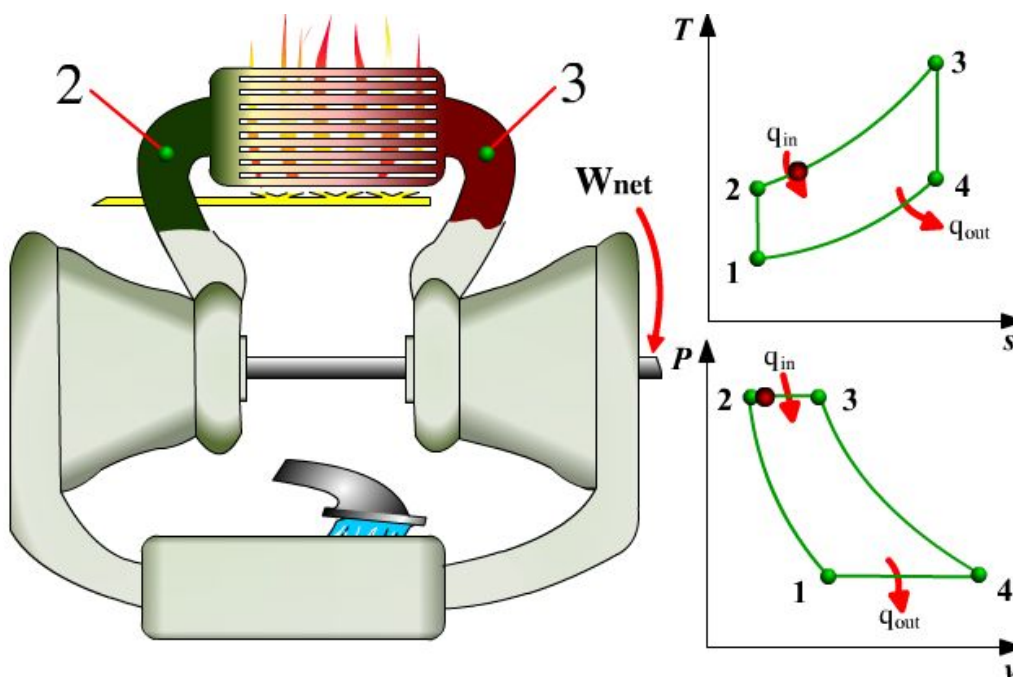
UNIVERZA V MARIBORU  
**FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO**  
2000 Maribor, Smetanova ul. 17, P.P. 224

## Zbirka rešenih izpitnih nalog

pri predmetu

### TOPLOTNI STROJI (VS in UNI)

za študijsko leto 2006/07



Internetno gradivo:

<http://iepoi.uni-mb.si/ramsak/rezultati/toplotnistroji/izpiti0607.pdf>

Asistent: doc.dr. Matjaž Ramšak

Maribor, oktober 2007

Ime in priimek: **REŠITEV**  
 Št. indeksa:

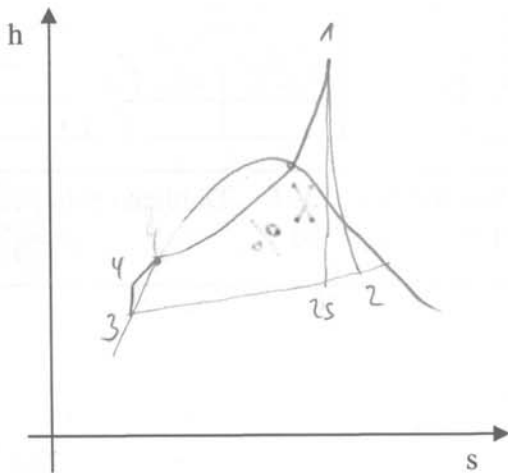
*obkrožene vrednosti so zaokroženi procenti!*

**TOPLLOTNI STROJI UNI**  
**9.4.2007**

Prosim, zaokrožite števila na 4 pomembna mesta. Če za rešitev uporabljate  $h-s$  diagram, mora biti odčitek entalpije +/- 10 kJ/kg od računske vrednosti kar znaša +/- 2 mm na A2 formatu! Priporočam računanje s pomočjo tabel. Pišete lahko kar na ta list.

**IZPIT TRAJA 90 MINUT**

1. (35 %) Stanje pare pred turbino je: 380°C, 100 bar in 950 t/h. V turbini para ekspandira do kondenzatorskega tlaka 0.06 bara. Narišite  $h-s$  diagram, izračunajte karakteristične točke in termični izkoristek cikla! Izentropni izkoristek turbine je 0.84. Upoštevajte delo črpalke, ki ima izkoristek 0.7.



|    | T[°C] | p[bar] | h[kJ/kg] | s[kJ/kgK] |
|----|-------|--------|----------|-----------|
| 1  | 380   | 100    | 3036     | 6.121     |
| 2  | 36.18 | 0.06   | 2068     | —         |
| 2s | 36.18 | 0.06   | 1884     | 6.121     |
| 3  | 36.18 | 0.06   | 151.5    | 0.5209    |
| 4  |       | 100.0  |          |           |

$\eta_T = 33.06\%$

(15)

$$\eta_{TUR} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \Rightarrow h_2 = -0.84(3036 - 1884) + 3036 = 2068$$

$p = 0.06$      $h' = 151.5$      $h'' = 2568$   
 $s' = 0.5209$      $s'' = 8.331$

$$x = \frac{6.121 - 0.5209}{8.331 - 0.5209} = 0.7170$$

$$h_{2s} = 151.5 + 0.7170(2568 - 151.5) = 1884 \quad \left\{ \begin{array}{l} 1894 \\ 1870 \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} + 10 \\ - 14 \end{array} \right.$$

$$W = 3036 - 2068 = 968.0$$

$$q_{dov} = h_1 - h_3 = 3036 - 151.5 = 2885$$

$$W_C = W_3(p_4 - p_3) = 0.001006(100 - 0.06) \cdot 1e^5 = 10.05 \text{ kJ/kg}$$

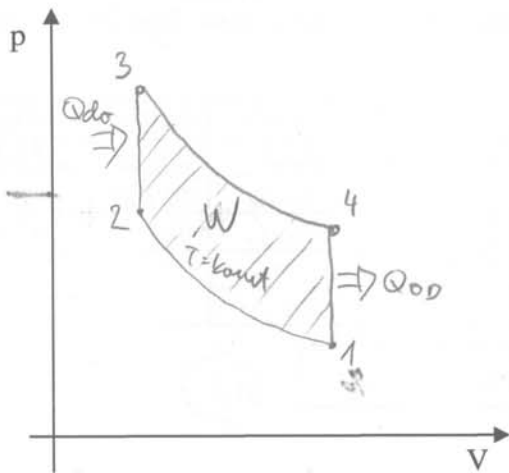
$$W_C' = 10.05 / 0.7 = 14.36 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T = \frac{968 - 14.36}{2885} = 33.06\%$$

$$pV = mRT$$

2. (30 %) Masni pretok pare 20 kg/s vstopa v Parsonsovo stopnjo. Srednji premer lopatic je 0.80m. Turbina se v eni minuti zavrti 1000 krat. Vstopni kot lopatic gonilnika je 67° izstopni kot vodilnih lopatic pa 21°. Določite proizvedeno moč in izkoristek na obodu, če je koeficient hitrosti kanalov med lopaticami  $\psi=0.90$ .

3. (35%) Nek novi krožni proces je sestavljen iz sledečih ciklov. 1-2 izotermna kompresija ( $pV=\text{const}$ ), 2-3 dovod toplote pri konstantni prostornini, 3-4 izotermna ekspanzija ( $pV=\text{const}$ ) in 4-1 odvod toplote pri konstantni prostornini. Narišite skico, izpolnite tabelo in izračunajte termični izkoristek. Ostali podatki: kompresijsko razmerje 10 ( $V_1/V_2$ ), dovedena toplota 520 J, delovni medij zrak  $R=287 \text{ J/kgK}$ ,  $c_p=1005 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1.4$  (konstante snovske lastnosti). Pomoč: sistem je zaprt, tehnično delo je nič!



|   | p[bar] | V[m <sup>3</sup> ] | T[°K] |  |
|---|--------|--------------------|-------|--|
| 1 | 1.0    | 0.001              | 293   |  |
| 2 | 10     | 1e-4               | 293   |  |
| 3 | 30.79  | 1e-4               | 902.2 |  |
| 4 | 3.79   | 1e-3               | 902.2 |  |

|                  |       |               |    |
|------------------|-------|---------------|----|
| W = 478.7        | [J]   | Dobljeno delo | 10 |
| $\eta_T = 92.06$ | [-] % |               | 5  |

$$m = \frac{pV}{RT} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 0.001}{287 \cdot 293} = 1.189 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{10} = 1e-4 \quad p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = 1 \cdot \frac{1e-3}{1e-4} = 10 \text{ bar}$$

$$A_{12} = p_1 V_1 \ln \frac{V_1}{V_2} = 1e5 \cdot 1e-3 \ln \frac{1e-3}{1e-4} = -230.3 \text{ J}$$

$$Q_{23} = m \cdot c_v (T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{Q_{23}}{m \cdot c_v} + T_2 = \frac{520}{1.189 \cdot 10^{-3} \cdot 717.9} + 293 = 902.2 \text{ K}$$

$$c_v = \frac{c_p}{\kappa} = \frac{1005}{1.4} = 717.9 \quad \frac{T_2}{T_3} = \frac{p_2}{p_3} \Rightarrow p_3 = \frac{T_2}{T_3} \cdot p_2 = \frac{293}{902.2} \cdot 10 = 3.259 \text{ bar}$$

$$A_{34} = p_3 \cdot V_3 \cdot \ln \frac{V_4}{V_3} = 3.259 \cdot 1e-4 \ln 10 = 709.0 \text{ J}$$

$$p_4 = 3.259 \cdot \frac{1e-4}{1e-3} = 3.259 \text{ bar}$$

$$W = A_{34} + A_{12} = 478.7 \text{ J}$$

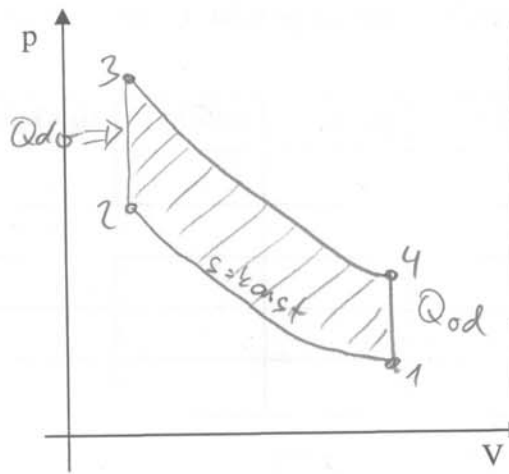
$$\eta_T = \frac{W}{Q_{dov}} = \frac{478.7}{520} = 92.06 \%$$

Opomba: Amotulno delo  $A_{23}$  in  $A_{41} = 0$ , ker  $\int p dV = 0$

2. (30 %) Masni pretok pare 20 kg/s vstopa v Parsonsovo stopnjo. Srednji premer lopatic je 0.80m. Turbina se v eni minuti zavrti 1000 krat. Vstopni kot lopatic gonilnika je 67° izstopni kot vodilnih lopatic pa 21°. Določite proizvedeno moč in izkoristek na obodu, če je koeficient hitrosti kanalov med lopaticami  $\psi=0.90$ .

3. (35%) Ottov krožni proces je sestavljen iz sledečih ciklov. 1-2 izentropna kompresija ( $pV^\kappa = \text{const}$ ), 2-3 dovod toplote pri konstantni prostornini, 3-4 izentropna ekspanzija ( $pV^\kappa = \text{const}$ ) in 4-1 odvod toplote pri konstantni prostornini. Narišite skico, izpolnite tabelo in izračunajte termični izkoristek. Ostali podatki: kompresijsko razmerje 10 ( $V_1/V_2$ ), dovedena toplota 520 J, delovni medij zrak  $R=287 \text{ J/kgK}$ ,  $c_p=1005 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1.4$  (konstante snovske lastnosti).

VS



|   | p[bar] | V[m <sup>3</sup> ] | T[°K] |   |
|---|--------|--------------------|-------|---|
| 1 | 1.0    | 0.001              | 293   |   |
| 2 | 25.12  | 1e-4               | 736   | 5 |
| 3 | 45.91  | 1e-4               | 1345  | 5 |
| 4 | 1.828  | 1e-3               | 535.6 | 5 |

W = 312.9 [J]      Dobljeno delo  
 $\eta_T = 60.17$  [%]      10  
 10

$$p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa \Rightarrow p_2 = p_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\kappa = 1 \cdot 10^{1.4} = 25.12$$

$$T_2 = 293 \left( \frac{25.12}{1} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 736.0 \text{ K}$$

$$Q_{dov} = m \cdot c_v (T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{520}{1.189 \cdot 10^{-3} \cdot 717.9} + 736 = 1345 \text{ K}$$

$$m = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{1 \cdot 5 \cdot 0.001}{287 \cdot 293} = 1.189 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$c_v = \frac{c_p}{\kappa} = 717.9$$

$$p_3 = \frac{T_3}{T_2} \cdot p_2 = \frac{1345}{736.0} \cdot 25.12 = 45.91 \text{ bar}$$

$$p_4 = 45.91 \left( \frac{1}{10} \right)^{1.4} = 1.828 \text{ bar}$$

$$T_4 = \frac{p_4 V_4}{R \cdot m} = \frac{1.828 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 1.189 \cdot 10^{-3}} = 535.6 \text{ K}$$

$$Q_{odv} = 1.189 \cdot 10^{-3} \cdot 717.9 (535.6 - 293) = 207.1 \text{ J}$$

$$W = Q_{dov} - Q_{odv} = 520 - 207.1 = 312.9 \text{ J}$$

$$\eta_T = \frac{312.9}{520} = 0.6017$$

7.

$$f = \frac{1000}{60} = 16.67 \text{ s}^{-1}$$

$$u = \pi \cdot 16.67 \cdot 0.40 = 41.89 \text{ m/s}$$

$$w_1 = \frac{41.89}{\frac{\sin 67}{\sin 21}} \cdot \cos 21 - \cos 67 = 20.87 \text{ m/s} \quad (5)$$

$$c_1 = 20.87 \cdot \frac{\sin 67}{\sin 71} = 53.60 \text{ m/s} \quad (5)$$

$$h_u = 41.89 (2 \cdot 53.60 \cos 21 - 41.89) = 2438 \text{ J/kg} \quad (5)$$

$$h_s = \frac{53.60^2}{0.90^2} - 20.87^2 = 3111 \text{ J/kg} \quad (5)$$

$$\eta_u = \frac{2438}{3111} = 0.7836 \quad (5)$$

$$P = 20 \cdot 2438 = 48.76 \text{ kW} \quad (5)$$

Ime in priimek:  
Št. indeksa:

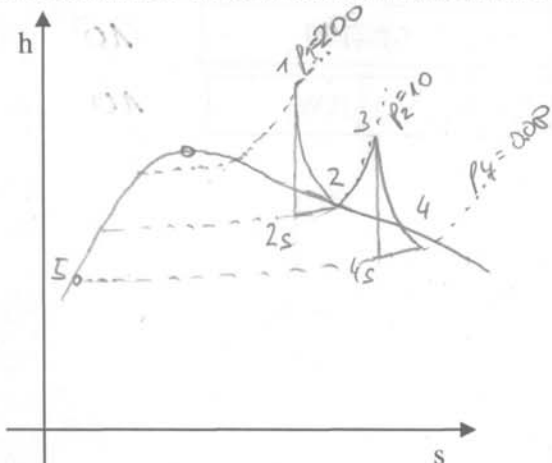
### TOPLOTNI STROJI UNI

19.6.2007

Prosim, zaokrožite števila na 4 pomembna mesta. Če za rešitev uporabljate  $h$ - $s$  diagram, mora biti odčitek entalpije +/- 10 kJ/kg od računske vrednosti kar znaša +/- 2 mm na A2 formatu! Priporočam računanje s pomočjo tabel. Pišete lahko kar na ta list.

**IZPIT TRAJA 90 MINUT**

1. (35 %) Stanje pare pred visokotlačno turbino (VT) je: 520°C, **280** bar. V visokotlačni turbini para ekspandira do stanja nasičenosti pri tlaku 10b. Nato se para ponovno pregreva v kotlu do temperature 420°C. Para nato ekspandira v nizkotlačni turbini (NT) do kondenzatorskega tlaka 0.08 bara z enakim izentropnim izkoristkom kot ga ima visokotlačna turbina. Narišite  $h$ - $s$  diagram, izračunajte karakteristične točke in termični izkoristek cikla! Zanemarite delo črpalke.



|    | T[°C] | p[bar]     | h[kJ/kg] | s[kJ/kgK] |
|----|-------|------------|----------|-----------|
| 1  | 520   | <b>280</b> | 3304     | 6.226     |
| 2s | 179.9 | 10         | 2614     | 6.226     |
| 2  | 179.9 | 10         | 2776     | 6.583     |
| 3  | 420   | 10         | 3307     | 7.529     |
| 4s | 41.53 | 0.08       | 2356     | 7.529     |
| 4  | -  -  | -  -       | 2579     | -         |
| 5  | -  -  | -  -       | 173.9    | 5.925     |

$$x_{2s} = \frac{s_{2s} - s_1}{s_2 - s_1} = \frac{6.226 - 2.138}{6.583 - 2.138} = 0.9197$$

$$\eta_{VT} = \eta_{NT} = 76.52 \text{ [%]}$$

$$h_{2s} = h_1 + x_{2s}(h_2'' - h_1) = 762.6 + 0.9197(2776 - 762.6) = 2614$$

$$\eta_T = 34.31 \text{ [%]}$$

$$\eta_{VT} = \frac{h_1 - h_{2s}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3304 - 2614}{3304 - 2614} = 0.7652$$

$$3. \quad h_4 = h_3 - \eta_{NT}(h_3 - h_{4s}) = 3307 - 0.7652(3307 - 2356) = 2579$$

$$2. \quad x_{4s} = \frac{s_{4s} - s_1}{s_4'' - s_1} = \frac{7.529 - 5.925}{8.230 - 5.925} = 0.9082$$

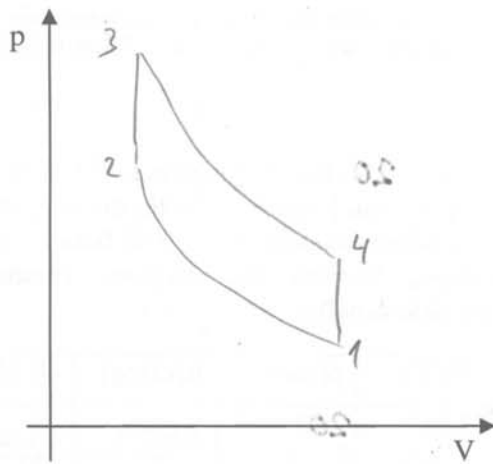
$$1. \quad h_{4s} = h_1 + x_{4s}(h_4'' - h_1) = 173.9 + 0.9082(2577 - 173.9) = 2356$$

$$W = W_{VT} + W_{NT} = (3304 - 2776) + (3307 - 2579) = 1256$$

$$Q_{Dov} = (h_1 - h_5) + (h_3 - h_2) = 3304 - 173.9 + 3307 - 2776 = 3661$$

$$\eta_T = \frac{1256}{3661} = 0.3431$$

2. (30 %) Določite termični izkoristek in <sup>efektivno</sup> moč štiritaktnega Otto motorja pri  $5.000 \text{ min}^{-1}$ , če ima gibno prostornino  $2400 \text{ cm}^3$ . Predpostavi, da je srednji efektivni tlak motorja 45% indiciranega tlaka, ki ga izračunaj za idealni (Otto) krožni proces. Delovni medij je zrak ( $R=287 \text{ J/kgK}$ ,  $c_p=1005 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1.4$ ). Ostali podatki: ekvivalentni razmernik zrak/gorivo=1,1; kompresijsko razmerje  $(V_1/V_2) = 12$ ; stehiometrijsko število = 13,5; spodnja kurilna vrednost  $= 42,0 \text{ MJ/kg}$ .



|   | p[bar] | $\nu [\text{m}^3/\text{kg}]$ | T[°K] |   |
|---|--------|------------------------------|-------|---|
| 1 | 0.89   | 0.9352                       | 290   |   |
| 2 | 28.86  | 0.07793                      | 783.6 |   |
| 3 | 173.9  | 0.07793                      | 4723  | 5 |
| 4 | 5.363  | 0.9352                       | 1748  | 5 |

$$\eta_T = 62.98 \text{ [%]}$$

10

$$P_e = 93.49 \text{ [kW]}$$

10

$$\nu_1 = \frac{R \cdot T_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 290}{0.89 \cdot 10^5} = 0.9352$$

$$\nu_2 = \nu_1 / \epsilon = 0.07793$$

$$p_2 = p_1 \cdot \epsilon^{\kappa} = 0.89 \cdot 12^{1.4} = 28.86$$

$$T_2 = T_1 \cdot \epsilon^{0.4} = 290 \cdot 12^{0.4} = 783.6$$

$$q_{\text{dov}} = \frac{H_f}{\phi \cdot \alpha} = \frac{42 \cdot 10^6}{13.5 \cdot 1.1} = 2.828 \text{ MJ/kg} = c_p \cdot (T_3 - T_2)$$

$$T_3 = T_2 + \frac{q_{\text{dov}}}{c_p} = 783.6 + \frac{2.828 \cdot 10^6}{1005/1.4} = 4723$$

$$p_3 = \frac{R \cdot T_3}{\nu_3} = \frac{287 \cdot 4723}{0.07793} = 173.9 \text{ e}^5 \text{ Pa}$$

$$p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{\kappa} = 173.9 \left(\frac{1}{12}\right)^{1.4} = 5.363 \text{ b}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{0.4} = 4723 \left(\frac{1}{12}\right)^{0.4} = 1748 \text{ K}$$

$$q_{\text{odv}} = \frac{c_p}{\kappa} (T_4 - T_1) = 1.047 \text{ kJ/kg}$$

$$w_t = q_{\text{dov}} - q_{\text{odv}} = 2.828 - 1.047 = 1.781 \text{ MJ/kg} = p_{it} (\nu_1 - \nu_2) =$$

$$\eta_T = \frac{w_t}{q_{\text{dov}}} = \frac{1.781}{2.828} = 0.6298$$

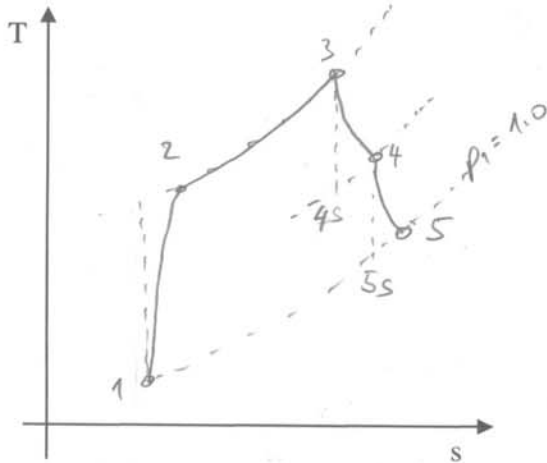
$$p_{it} = \frac{1.781 \cdot 10^6}{(0.9352 - 0.07793)} = 20.786$$

$$P_e = 0.45 \cdot p_{it} = 9.35 \text{ b}$$

$$P_e = p_e \cdot V_h \cdot n \cdot \frac{2}{\gamma} = 9.35 \cdot 10^5 \cdot 2400 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{5000}{60} \cdot \frac{2}{4} = 93.49 \text{ kW}$$

kW

3. (35%) Plinsko turbinski postroj (PTP) je sestavljen iz 1 kompresorja in dveh turbin. Visokotlačna turbina poganja kompresor, nizkotlačna pa generator moči 100 MW. V gorilniku naraste temperatura do 1200 °K. Adiabatni izkoristek kompresorja je 0.84, stopnja kompresije ( $p_2/p_1=8$ ). Adiabatni izkoristek obeh turbin je 0.86. Narišite skico, izpolnite tabelo in izračunajte termični izkoristek ter potrebni masni pretok zraka. Predpostavite, da je delovni medij zrak  $R=287 \text{ J/kgK}$ ,  $c_p=1005 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1.4$  (konstantne snovske lastnosti).



|    | p[bar] | v[m <sup>3</sup> /kg] | T[°K] | s[kJ/kgK] |   |
|----|--------|-----------------------|-------|-----------|---|
| 1  | 1.0    | 0.8409                | 293   |           |   |
| 2s | 8.0    |                       | 530.8 |           | 5 |
| 2  | 8.0    |                       | 576.1 |           | 5 |
| 3  | 8.0    |                       | 1200  |           | 5 |
| 4s | 2.604  |                       | 870.8 |           |   |
| 4  | 2.604  |                       | 916.9 |           |   |
| 5s | 1.0    |                       | 697.5 |           | 5 |
| 5  | 1.0    |                       | 728.2 |           |   |

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 293}{10^5} = 0.8409$$

$$p_2 = \pi \cdot p_1 = 8 \cdot 1 = 8 \text{ bar}$$

$$T_{2s} = T_1 \cdot \pi^{\frac{0.4}{1.4}} = 530.8$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_{\kappa}} = 293 + \frac{530.8 - 293}{0.84} = 576.1$$

$$w_{\kappa} = c_p (T_2 - T_1) = 1005 (576.1 - 293) = 284.5 \text{ kJ/kg} = w_{VT} = c_p (T_3 - T_4)$$

$$T_4 = T_3 - \frac{w_{VT}}{c_p} = 1200 - \frac{284.5 \cdot 10^3}{1005} = 916.9$$

$$\eta_{VT} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}} \Rightarrow T_{4s} = T_3 - \frac{T_3 - T_4}{\eta_{VT}} = 1200 - \frac{1200 - 916.9}{0.86} = 870.8$$

$$\pi_{VT} = \left( \frac{T_3}{T_{4s}} \right)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = \left( \frac{1200}{870.8} \right)^{\frac{1.4}{0.4}} = 3.072 \quad p_4 = p_3 / \pi_{VT} = 2.604$$

$$\pi_{NT} = \frac{\pi_T}{\pi_{VT}} = \frac{8}{3.072} = 2.604 \quad \checkmark$$

$$T_{5s} = T_4 \left( \frac{1}{\pi_{NT}} \right)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = 916.9 \left( \frac{1}{2.604} \right)^{\frac{1.4}{0.4}} = 697.5$$

$$T_5 = T_4 - \eta_{NT} (T_4 - T_{5s}) = 916.9 - 0.86 (916.9 - 697.5) = 728.2$$

$$w_T = c_p (T_4 - T_5) = 1005 (916.9 - 728.2) = 189.6 \text{ kJ/kg}$$

$$W = \dot{m} \cdot w_T \Rightarrow \dot{m} = \frac{W}{w_T} = \frac{100 \cdot 10^3}{189.6 \cdot 10^3} = 0.5274 \text{ kg/s}$$

$$\eta_T = \frac{w_T}{q_{dov}} = \frac{189.6}{677.0} = 0.3024$$

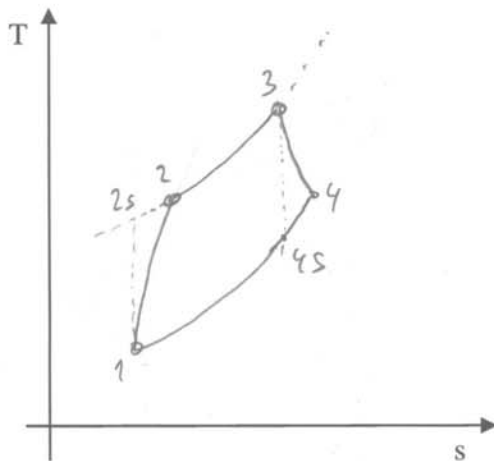
$$\dot{m} = 0.5274 \text{ [kg/s]} \quad 10$$

$$\eta_T = 30.24 \text{ [%]} \quad 10$$

$$q_{dov} = c_p (T_3 - T_2) = 1005 (1200 - 576.1) = 677.0 \text{ kJ/kg}$$



3. (35%) Plinsko turbinski postroj (PTP) je sestavljen iz kompresorja in turbine. V gorilniku naraste temperatura do  $1200^\circ\text{K}$ . Adiabatni izkoristek kompresorja je 0.84. Stopnja kompresije ( $p_2/p_1=8$ ). Adiabatni izkoristek turbine je 0.86. Narišite skico, izpolnite tabelo in izračunajte termični izkoristek! Predpostavite, da je delovni medij zrak  $R=287\text{ J/kgK}$ ,  $c_p=1005\text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1.4$  (konstantne snovske lastnosti).



|    | p[bar] | T[°K] |
|----|--------|-------|
| 1  | 1.0    | 293   |
| 2s | 8.0    | 530.8 |
| 2  | -  -   | 576.1 |
| 3  | -  -   | 1200  |
| 4s | 1.0    | 662.5 |
| 4  | 1.0    | 737.8 |

$$\eta_T = 28.71 \text{ [%]}$$

10

$$T_{2s} = T_1 \cdot \pi^{0.4/1.4} = 530.8$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_c} = 576.1$$

$$T_{4s} = T_3 \left(\frac{1}{\pi}\right)^{\frac{1.4}{1.4}} = 1200 \left(\frac{1}{8}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 662.5$$

$$T_4 = T_3 - \eta_T (T_3 - T_{4s}) = 1200 - 0.86(1200 - 662.5) = 737.8$$

$$W_K = c_p (T_2 - T_1) = 1005 (576.1 - 293) = 284.5 \text{ kJ/kg}$$

$$W_T = c_p (T_3 - T_4) = 1005 (1200 - 737.8) = 464.5 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{dov} = c_p (T_3 - T_2) = 1005 (1200 - 576.1) = 627.0 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T = \frac{W_T - W_K}{q_{dov}} = \frac{464.5 - 284.5}{627.0} = 0.2871$$

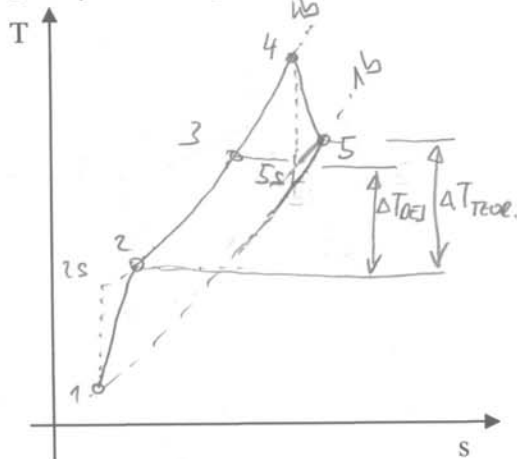
Ime in priimek: REŠITEV  
Št. indeksa:

|    |    |    |
|----|----|----|
| 35 | 35 | 30 |
|    |    |    |

### TOPLOTNI STROJI UNI, 4.7.2007

Prosim, zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.001234=0.1234e-2, 1.234kJ, ... Če za rešitev uporabljate  $h-s$  diagram, mora biti odčitek entalpije +/- 10 kJ/kg od računske vrednosti kar znaša +/- 2 mm na A2 formatu! Priporočam računanje s pomočjo tabel. Pišete lahko kar na ta list.  
**IZPIT TRAJA 90 MINUT**

1. (35%) Plinsko turbinski stroj (PTP) je sestavljen iz kompresorja in turbine na isti gredi. Vstopno stanje zraka je 20 °C in 0.86 bara. Stopnja kompresije ( $p_2/p_1$ ) znaša 4. Za kompresorjem je izvedeno regenerativno greetje zraka z dimnimi plini. Stopnja regeneracije  $\sigma = \Delta T_{dej}/\Delta T_{teor}$  znaša 0.80. V gorilniku zrak segrejemo do 1300 °K. V kompresorju in turbini predpostavimo izentropno spremembo z izkoristkom 0.9. Narišite skico, izpolnite tabelo in izračunajte termični izkoristek. Za koliko se spremeni izkoristek, če nimamo regenerativnega gretja? Predpostavite, da je delovni medij zrak  $R=287$  J/kgK,  $c_p=1005$  J/kgK,  $\kappa=1.4$  (konstantne snovske lastnosti).



|   | p[bar] | T[°K] |
|---|--------|-------|
| 1 | 0.86   | 293   |
| 2 | 4      | 451.2 |
| 3 | 4      | 824.1 |
| 4 | 4      | 1300  |
| 5 | 0.86   | 917.3 |
| 6 |        |       |
|   |        |       |
|   |        |       |

Z regeneracijo  
 $\eta_T = 47.17$  [%]

Brez regeneracije  
 $\eta_T = 26.45$  [%]

10

10

$$T_{2s} = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 293 \cdot (4)^{\frac{0.4}{1.4}} = 435.4 \text{ K}$$

$$\eta_k = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \Rightarrow T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_k} = 293 + \frac{435.4 - 293}{0.9} = 451.2 \text{ K}$$

$$T_{5s} = T_4 \left( \frac{p_5}{p_4} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 1300 \left( \frac{1}{4} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 874.8 \text{ K}$$

$$T_5 = T_4 - \eta_T (T_4 - T_{5s}) = 1300 - 0.9 (1300 - 874.8) = 917.3 \text{ K}$$

$$\sigma = \frac{\Delta T_{dej}}{\Delta T_{teor}} = \frac{T_3 - T_2}{T_5 - T_2} \Rightarrow T_3 = T_2 + \sigma (T_5 - T_2) = 451.2 + 0.8 (917.3 - 451.2) = 824.1 \text{ K}$$

TURBINA:

$$W_T = c_p (T_4 - T_5) = 1.005 (1300 - 917.3) = 384.6 \text{ kJ/kg}$$

KOMPRESOR

$$W_K = c_p (T_2 - T_1) = 1.005 (451.2 - 293) = 159.0 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{BELO DOBLJENO } W = W_T - W_K = 225.6 \text{ kJ/kg}$$

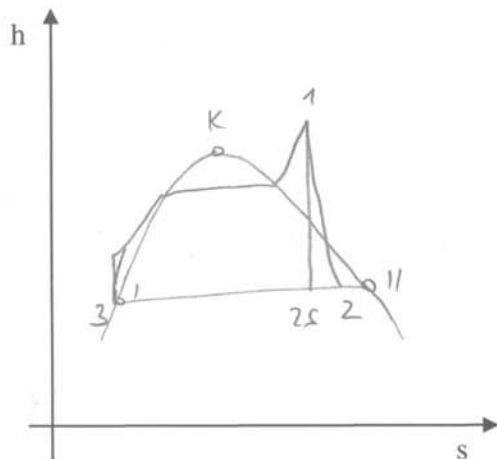
$$\text{Z REG: } q_{dov} = c_p (T_4 - T_3) = 1.005 (1300 - 824.1) = 478.3 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = W / q_{dov} = 225.6 / 478.3 = 47.17 \%$$

$$\text{BREZ REG: } q_{dov} = c_p (T_4 - T_2) = 1.005 (1300 - 451.2) = 848.8 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = W / q_{dov} = 225.6 / 848.8 = 0.2645$$

2. (30 %) Stanje pare pred turbino je: 540°C, 160 bar in 950 t/h. V turbini para ekspandira do kondenzatorskega tlaka 0.08 bara. Narišite h-s diagram, izračunajte karakteristične točke in termični izkoristek Rankinovega cikla! Izentropni izkoristek turbine je 0.84. Koliko premoga s kurilno vrednostjo 10 000 kJ/kg pokurimo, da 100W žarnica gori 24 ur? Upoštevajte delo črpalke, ki ima izkoristek 0.70.



|    | T[°C] | p[bar] | h[kJ/kg] | s[kJ/kgK] |
|----|-------|--------|----------|-----------|
| 1  | 540   | 160    | 3410     | 6.448     |
| 2s | 41.53 | 0.08   | 2016     | -11-      |
| 2  | -11-  | -11-   | 2239     | xxxxxx    |
| 3  | -11-  | -11-   | 173.9    | xxxxxxx   |
|    |       |        |          |           |

$$\eta_T = 35.73 \text{ [%]}$$

15

$$m = 2.418 \text{ [kg]} \quad \text{masa premoga}$$

5

$$p = 0.08 \text{ bar}, \quad s' = 0.5925 \text{ kJ/kg K}$$

$$s'' = 8.230 \text{ -11-}$$

$$h' = 173.9 \text{ kJ/kg}$$

$$h'' = 2577 \text{ -11-}$$

$$x = \frac{s_1 - s'}{s'' - s'} = \frac{6.448 - 0.5925}{8.230 - -11-} = 0.7667$$

$$h_{2s} = h' + x(h'' - h') = 173.9 + 0.7667(2577 - 173.9) = 2016$$

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \Rightarrow h_2 = h_1 - \eta_T(h_1 - h_{2s}) = 3410 - 0.84(3410 - 2016) = 2239$$

$$w_c = v(p_1 - p_2) / \eta_c = 0.001008(160 - 0.08) / 0.70 = 23.03 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{\text{dov}} = h_1 - h_3 - w_c = 3410 - 173.9 - 23.03 = 3213 \text{ kJ/kg}$$

$$w_T = h_1 - h_2 = 3410 - 2239 = 1171 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T = \frac{w_T - w_c}{q_{\text{dov}}} = \frac{1171 - 23.03}{3213} = 0.3573$$

$$W_{\text{žar}} = P \cdot t = 100 \text{ W} \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 8640 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{žar}} = H_i \cdot m \cdot \eta \Rightarrow m = \frac{W_{\text{žar}}}{H_i \cdot \eta} = \frac{8640 \text{ kJ}}{10000 \text{ kJ} \cdot 0.3573} = 2.418 \text{ kg}$$

3.(35%) Para 30 bar in 400 °C ekspandira v enostopenjski enakotlačni aksialni turbini do tlaka 12 bar. Masni pretok pare je 20 kg/s. Srednji premer vodilnika je 1.0 m. Turbina se vrti z 3000 vrtljaji na minuto. Hitrostni koeficient kanalov vodilnika je 0.94, gonilniških kanalov 0.96. Vstopni kot na rotor  $\alpha_1$  je 20°. Vstopni in izstopni kot lopatic je enak  $\beta_1 = \beta_2$ . Določi hitrostne kote, moč turbine in izkoristek na obodu!

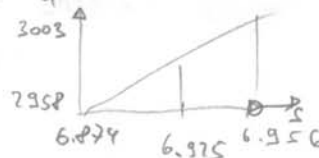
|                    |         |
|--------------------|---------|
| $h_s = 247.0$      | [kJ/kg] |
| $\beta_1 = 25.98$  | [°]     |
| $\alpha_2 = 36.99$ | [°]     |
| $c_2 = 360.7$      | [m/s]   |
| $P = 2.856$        | [MW]    |
| $\eta_u = 57.81$   | [%]     |
| $w_1 = 515.9$      | [m/s]   |

7x5%

GLEJ h-s diagram in trikotnike hitrosti!  
NASLEDNJI LIST!

$p_0 = 30 \text{ bar}, t_0 = 400^\circ\text{C}; T_0 = 3233, A_0 = 6.925 \text{ kJ/kgK}$   
 $p_1 = 12 \text{ bar}, t_1 = 280^\circ, h = 3003 \text{ kJ/kg}, s = 6.956 \text{ kJ/kgK}$   
 $t_1 = 260^\circ, h = 2958, s = 6.874$

Linearna interpolacija za  $h$ :



$$\frac{h - 2958}{6.925 - 6.874} = \frac{3003 - 2958}{6.956 - 6.874} \Rightarrow h_1 = 2986 \text{ kJ/kg}$$

$$h_s = h_0 - h_1 = 247.0 \text{ kJ/kg}$$

$$c_1 = \varphi \sqrt{2 \cdot h_s} = 0.94 \cdot \sqrt{2 \cdot 247.10^3} = 660.7 \text{ m/s}$$

$$u = \pi \cdot D \cdot n = \pi \cdot 1 \cdot 3000/60 = 157.1 \text{ m/s}$$

$$w_{1u} = c_1 \cdot \cos \alpha_1 = u = 660.7 \cdot \cos 20^\circ = 157.1 = 463.8$$

$$w_{1a} = c_1 \cdot \sin \alpha_1 = 660.7 \cdot \sin 20^\circ = 226.0$$

$$w_1 = \sqrt{w_{1u}^2 + w_{1a}^2} = 515.9, \beta_1 = \arctan\left(\frac{w_{1a}}{w_{1u}}\right) = 25.98^\circ = \beta_2$$

$$w_2 = \eta \cdot w_1 = 0.96 \cdot 515.9 = 495.3$$

$$c_{2a} = w_{2a} = w_2 \sin \beta_2 = 495.3 \cdot \sin 25.98^\circ = 217.0$$

$$w_{2u} = w_2 \cos \beta_2 = 495.3 \cdot \cos 25.98^\circ = 445.2$$

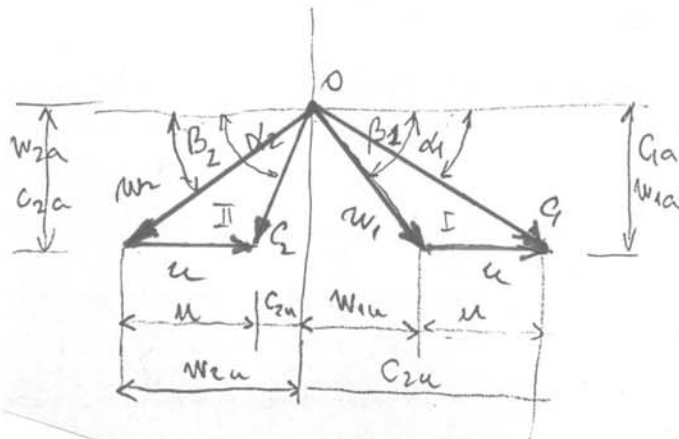
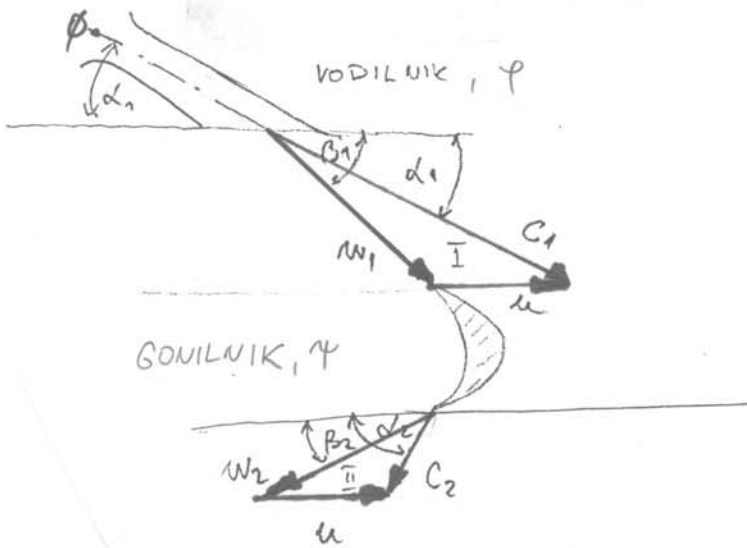
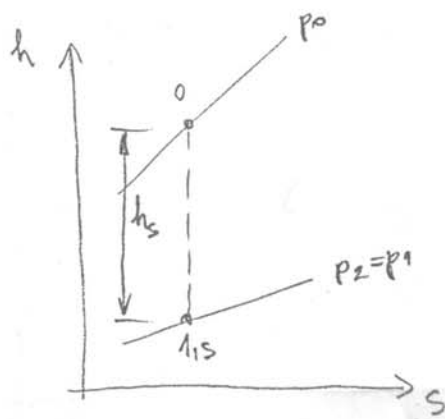
$$c_{2u} = w_{2u} - u = 445.2 - 157.1 = 288.1$$

$$c_2 = \sqrt{c_{2u}^2 + c_{2a}^2} = 360.7, \alpha_2 = \arctan\left(\frac{c_{2a}}{c_{2u}}\right) = 36.99$$

$$h_u = u (w_{1u} + w_{2u}) = 157.1 (463.8 + 445.2) = 142.8 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_u = \frac{h_u}{h_s} = 0.5781$$

$$P = \dot{m} \cdot h_u = 20 \cdot 142.8 = 2.856 \text{ MW}$$



3.(35%) Para 30 bar in 400 °C ekspandira v enostopenjski enakotlačni aksialni turbini do tlaka 12 bar. Masni pretok pare je 20 kg/s. Srednji premer vodilnika je 1.0 m. Turbina se vrti z 3000 vrtljaji na minuto. Hitrostni koeficient kanalov vodilnika je 0.94, gonilniških kanalov 0.96. Vstopni kot na rotor  $\alpha_1$  je 20°. Vstopni in izstopni kot lopatic je enak  $\beta_1 = \beta_2$ . Določi hitrostne kote, moč turbine in izkoristek na obodu! Izračunaj tudi aksialno silo  $F_a$ , izgube v vodilniku  $\zeta_v$ , gonilniku  $\zeta_g$ , iztočne izg.  $\zeta_i$ !

|                    |         |
|--------------------|---------|
| $h_s = 247.0$      | [kJ/kg] |
| $\beta_1 = 25.98$  | [°]     |
| $\alpha_2 = 36.99$ | [°]     |
| $\eta_u = 57.81$   | [%]     |
| $\zeta_v = 11.64$  | [%]     |
| $\zeta_g = 4.583$  | [%]     |
| $\zeta_i = 26.34$  | [%]     |

ENAKO KOT VS +

$$F_a = \dot{m}(w_{1a} - w_{2a}) = 20(226.0 - 217.0) = 180 \text{ N}$$

$$z_v = \frac{c_1^2}{2} \left( \frac{1}{\psi^2} - 1 \right) = \frac{660.7^2}{2} \left( \frac{1}{0.94^2} - 1 \right) = 28.75 \text{ kJ} \quad \eta_u = \frac{28.75}{247} = 11.64\%$$

$$z_g = \frac{w_1^2}{2} \left( \frac{1}{\psi^2} - 1 \right) = \frac{515.9^2}{2} \left( \frac{1}{0.96^2} - 1 \right) = 11.32 \text{ kJ} \quad \eta_g = 4.583\%$$

$$z_i = \frac{c_2^2}{2} = \frac{360.7^2}{2} = 65.05 \text{ kJ} \quad \eta_i = 26.34\%$$

Ime in priimek: REŠITEV

Št. indeksa:

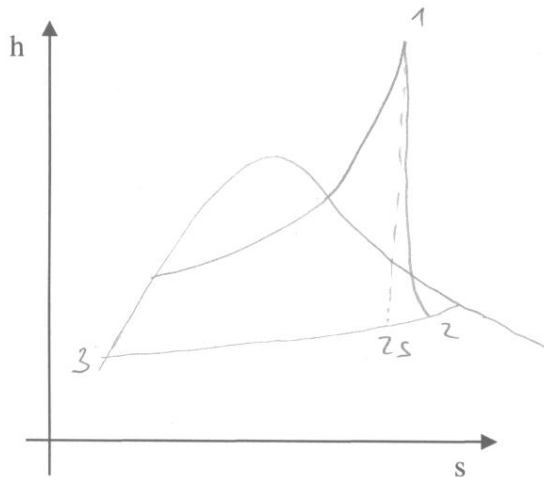
|    |    |    |
|----|----|----|
| 35 | 35 | 30 |
|    |    |    |

## TOPLOTNI STROJI

Prosim, zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.:  $0.001234=0.1234e-2$ ,  $1.234\text{kJ}$ , ... Če za rešitev uporabljate  $h$ - $s$  diagram, mora biti odčitek entalpije  $\pm 10\text{ kJ/kg}$  od računske vrednosti kar znaša  $\pm 2\text{ mm}$  na A2 formatu! Priporočam računanje s pomočjo tabel v strojniškem priročniku. Pišete lahko kar na ta list.

IZPIT TRAJA 90 MINUT

1. (35 %) Na razpolago imamo  $300\text{ kg/s}$  dimnih plinov temperature  $520^\circ\text{C}$ . Uporabimo jih za gretje pare v Rankinovem ciklusu, kjer se dimni plini ohladijo do  $80^\circ\text{C}$ . Stanje pare pred turbino je:  $460^\circ\text{C}$ ,  $40\text{ bar}$ . V turbini para ekspandira do temperature  $40^\circ\text{C}$ . Narišite  $h$ - $s$  diagram, izračunajte karakteristične točke, termični izkoristek in moč turbine! Izentropni izkoristek turbine je  $0.84$ . Upoštevajte delo črpalke, ki ima izkoristek  $0.70$ .



|    | T[°C] | p[bar]  | h[kJ/kg] | s[kJ/kgK] |
|----|-------|---------|----------|-----------|
| 1  | 460   | 40      | 3354     | 6.970     |
| 2s | 40    | 0.07375 | 2171     | -         |
| 2  | 40    | -       | 2360     | xxxxxxx   |
| 3  | 40    | -       | 167.5    | xxxxxxx   |

$$\eta_T = 31.10 \text{ [%]}$$

$$P = 43.16 \text{ [MW]}$$

$$T = 40^\circ\text{C} \quad h' = 167.5 \quad h'' = 2574 \text{ kJ/kg}$$

$$s' = 0.5721 \quad s'' = 8.258 \text{ kJ/kgK}$$

$$x = \frac{6.970 - 0.5721}{8.258 - 0.5721} = 0.8324$$

$$h_{2s} = 167.5 + 0.8324(2574 - 167.5) = 2171 \text{ kJ/kg} \quad \left\{ \begin{array}{l} 2184 \\ 2160 \end{array} \right.$$

$$h_2 = h_1 - \eta_T(h_1 - h_{2s}) = 3354 - 0.84(3354 - 2171) = 2360$$

$$w_T = h_1 - h_2 = 3354 - 2360 = 994.0 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{dov} = h_1 - h_3 - w_c = 3354 - 167.5 - 4.0 = 3183 \text{ kJ/kg}$$

$$w_c = v_3(p_1 - p_3) = 0.001008(40 - 0.07375) \cdot 10^5 = 4.025 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T = \frac{w_T - w_c}{q_{dov}} = \frac{994.0 - 4.0}{3183} = 31.10 \%$$

DIMNI PLINI:

$$Q_{dov} = \dot{m}_d c_p \Delta T = 300 \cdot 1.047 \cdot (520 - 80) = 138.2 \text{ MW}$$

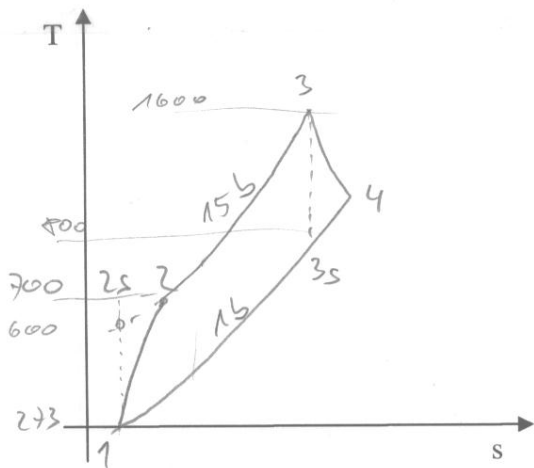
L zrak pri  $300^\circ\text{C}$

$$\dot{m}_p = \frac{Q_{dov}}{q_{dov}} = \frac{138.2 \cdot 10^6}{2183 \cdot 10^3} \text{ J/s} = 43.42 \text{ kg/s}$$

TURBINA

$$P = w_T \cdot \dot{m} = 994.0 \cdot 43.42 = 43.16 \text{ MW}$$

2 (35%) Plinsko turbinski stroj (PTP) Brestanica ima kompresijsko razmerje 15.1. Kompresor na isti gredi s turbino in izentropnim izkoristkom 0.75 sesa zrak in razredčeni plin tlaka 1 bar in temperature 273°K (oboje,  $c_p=1.005$  kJ/kgK,  $\kappa=1.40$ ) Masni tok zraka je 272 kg/s. V gorilniku zgoreva 110 kg/s razredčenega plina s kurilno vrednostjo 3000 kJ/kg. Za dimne pline uporabi snovske lastnosti ( $c_p=0.95$  kJ/kgK,  $\kappa=1.35$ ). Izračunaj koristno moč turbine za pogon električnega generatorja in termični izkoristek pogona, če je izentropni izkoristek turbine 0.884.



|   | p[bar] | T[°K] |
|---|--------|-------|
| 1 | 1      | 273   |
| 2 | 15.1   | 699.6 |
| 3 | 15.1   | 1609  |
| 4 | 1      | 890.3 |

$$\eta_T = 29.39 \text{ [%]}$$

$$P = 97 \text{ [MW]}$$

(10)

(5)

$$T_{2s} = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 273 \left( 15.1 \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 592.9 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta} = 273 + \frac{592.9 - 273}{0.75} = 699.6 \text{ K}$$

$$w_k = c_p (T_2 - T_1) = 1.005 (699.6 - 273) = 428.7 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{dov} = \dot{m}_p \cdot H_f = 110 \text{ kg/s} \cdot 3000 \text{ kJ/kg} = 330 \text{ MW}$$

$$\dot{Q} = (\dot{m}_p + \dot{m}_z) \cdot c_p \cdot (T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{\dot{Q}}{(\dot{m}_p + \dot{m}_z) c_p} + T_2 = \frac{330 \cdot 10^6}{(272 + 110) \cdot 0.95 \cdot 10^3} + 699.6$$

$$T_{4s} = T_3 \left( \frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 1609 \cdot \left( \frac{1}{15.1} \right)^{\frac{0.35}{1.35}} = 796.0 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 - \eta (T_3 - T_{4s}) = 1609 - 0.884 (1609 - 796.0) = 890.3$$

$$w_T = c_p (T_3 - T_4) = 0.95 (1609 - 890.3) = 682.8 \text{ kJ/kg}$$

$$P_T = w_T \cdot (\dot{m}_z + \dot{m}_p) = 682.8 \cdot 10^3 \cdot (272 + 110) = 260.8 \text{ MW}$$

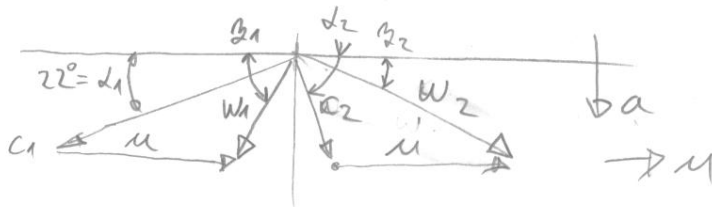
$$P_K = w_k \cdot (\dot{m}_z + \dot{m}_p) = 428.7 \cdot (272 + 110) = 153.8 \text{ MW}$$

$$P_{dob} = P_T - P_K = 97 \text{ MW}$$

$$\eta_T = \frac{P_{dob}}{\dot{Q}_{dov}} = \frac{97}{330} = 29.39 \text{ %}$$



3.(30%) Preračunaj in nariši trikotnike hitrosti za enakotlačno stopnjo aksialne turbine. Vstopni kot na rotor  $\alpha_1$  je  $22^\circ$ . Kota lopatic sta povezana z relacijo  $\beta_1 = \beta_2 + 3^\circ$ . Celotni entalpijski padec je  $140 \text{ kJ/kg}$ , razmerje obodne in vstopne hitrosti  $u/c_1$  znaša  $0.42$ . Hitrostni koeficient kanalov vodilnika je  $0.96$ , gonilniških kanalov pa  $0.94$ . Določi hitrostne kote in izkoristek na obodu!



$$c_1 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta h_T} = 0.96 \cdot \sqrt{2 \cdot 140 \cdot 10^3} = 508.0 \text{ m/s}$$

$$u = c_1 \cdot 0.42 = 508.0 \cdot 0.42 = 213.4 \text{ m/s}$$

$$w_{1u} = c_1 \cdot \cos \alpha_1 = u = 508.0 \cdot \cos 22^\circ = 213.4 = 257.6 \text{ m/s}$$

$$w_{1a} = c_1 \cdot \sin \alpha_1 = c_{1a} = 508.0 \cdot \sin 22^\circ = 190.3 \text{ m/s}$$

$$w_1 = \sqrt{w_{1u}^2 + w_{1a}^2} = \sqrt{257.6^2 + 190.3^2} = 320.3 \text{ m/s} \quad (5)$$

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{w_{1a}}{w_{1u}}\right) = \arctan\left(\frac{190.3}{257.6}\right) = 36.84^\circ \quad (5)$$

$$\beta_2 = \beta_1 - 3^\circ = 33.84^\circ$$

$$w_2 = \psi \cdot w_1 = 0.94 \cdot 320.3 = 301.1 \text{ m/s} \quad (5)$$

$$c_{2u} = w_2 \cos \beta_2 - u = 301.1 \cdot \cos 33.84^\circ - 213.4 = 36.69 \text{ m/s}$$

$$c_{2a} = w_{2a} = w_2 \sin \beta_2 = 301.1 \cdot \sin 33.84^\circ = 167.7 \text{ m/s}$$

$$c_2 = \sqrt{c_{2a}^2 + c_{2u}^2} = \sqrt{167.7^2 + 36.69^2} = 171.7 \text{ m/s} \quad (5)$$

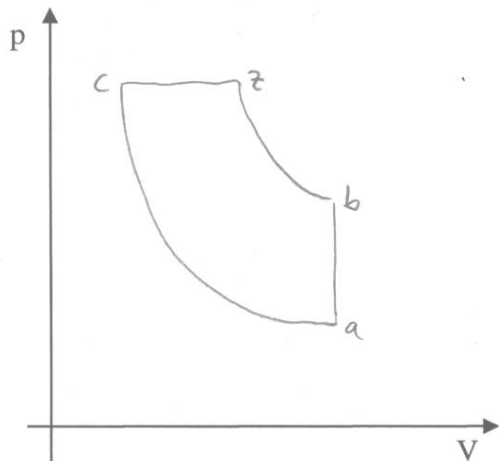
$$\alpha_2 = \arctan\left(\frac{c_{2a}}{c_{2u}}\right) = \arctan\left(\frac{167.7}{36.69}\right) = 77.66^\circ \quad (5)$$

$$h_u = u (w_{1u} + w_{2u}) = 213.4 (257.6 + 250.1) = 108.3 \text{ kJ/kg} \quad (5)$$

$$w_{2u} = w_2 \cdot \cos \beta_2 = 301.1 \cos 33.84^\circ = 250.1 \text{ m/s}$$

$$\eta_u = \frac{108.3}{140} = 0.7736 = 77.36\% \quad (5)$$

3.(30%) Določite termični izkoristek in efektivno moč štiritaktnega diesel motorja pri  $3.000 \text{ min}^{-1}$ , če ima gibno prostornino  $3000 \text{ cm}^3$ . Predpostavi, da je srednji efektivni tlak motorja 50% indiciranega tlaka, ki ga izračunaj za idealni krožni proces. Delovni medij je zrak ( $R=287 \text{ J/kgK}$ ,  $c_p=1005 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1.40$ ). Ostali podatki: ekvivalentni razmernik zrak/gorivo 1.05; prostorninsko kompresijsko razmerje 10; stehiometrijsko število 13,5; spodnja kurilna vrednost  $44,0 \text{ MJ/kg}$ ; začetno stanje zraka  $0.87 \text{ bar}$  in  $273 \text{ °K}$ .



|   | p[bar] | v[m <sup>3</sup> /kg] | T[°K]              |
|---|--------|-----------------------|--------------------|
| a | 0.87   | 0.9006                | <del>273</del> 273 |
| c | 21.85  | 0.09006               | 685.7 (5)          |
| z | -11-   | 0.4784                | 3642 (5)           |
| b | 9.012  | 0.9006                | 2828 (5)           |

$$\eta_T = 40.91 \quad [\%] \quad (10)$$

$$P_e = 58.76 \quad [\text{kW}] \quad (5)$$

$$v_a = \frac{R \cdot T_a}{p_a} = \frac{287 \cdot 273}{0.8725} = 0.9006 \quad v_c = \frac{v_a}{10} = 0.09006$$

$$p_c v_c^\kappa = p_a v_a^\kappa \Rightarrow p_c = p_a \left( \frac{v_a}{v_c} \right)^\kappa = 0.87 \cdot (10)^{1.4} = 21.856$$

$$T_c = T_a \cdot \left( \frac{v_a}{v_c} \right)^{\kappa-1} = 273 \cdot (10)^{0.4} = 685.7$$

$$q_{dov} = \frac{H_f}{l_o \cdot d} = \frac{44 \cdot 10^6}{13.5 \cdot 1.05} = 3.104 \text{ MJ/kg} = c_p (T_z - T_c)$$

$$T_z = T_c + \frac{q_{dov}}{c_p} = 685.7 + \frac{3.104 \cdot 10^6}{1005} = 3642 \text{ K}$$

$$v_z = \frac{R \cdot T_z}{p_z} = \frac{287 \cdot 3642}{21.8525} = 0.4784$$

$$T_b = T_z \left( \frac{v_z}{v_b} \right)^{\kappa-1} = 3642 \left( \frac{0.4784}{0.9006} \right)^{0.4} = 2828$$

$$p_b = \frac{R \cdot T_b}{v_b} = \frac{287 \cdot 2828}{0.9006} = 9.0126$$

$$q_{dov} = c_v \cdot (T_b - T_a) = \frac{1005}{1.4} (2828 - 273) = 1.834 \text{ MJ/kg}$$

$$w_t = q_{dov} - q_{dov} = 3.104 - 1.834 = 1.270 \text{ MJ/kg} \quad ; \quad \eta_T = \frac{w_t}{q_{dov}} = \frac{1.270}{3.104} = 40.91\%$$

$$P_{it} = w_t / (v_a - v_c) = 1.270 \cdot 10^6 / (0.9006 - 0.09006) = 15.676$$

$$P_e = 7.8346$$

$$P_e = P_e \cdot V_h \cdot n \cdot \frac{z}{J} = 7.83465 \cdot 3000 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3000}{60} \cdot \frac{2}{4} = 58.76 \text{ kW}$$

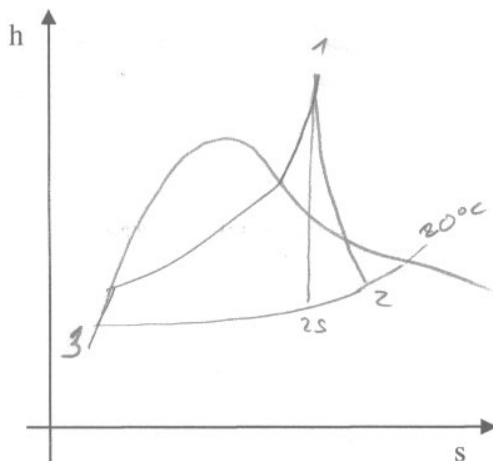
Ime in priimek: REŠITEV  
 Št. indeksa:

|    |    |    |
|----|----|----|
| 35 | 35 | 30 |
|    |    |    |

TOPLITNI STROJI

Prosim, zaokrožite števila na 4 pomembna mesta (npr.: 0.00123456=0.1234e-2 ali 1.234kJ, ... Če za rešitev uporabljate h-s diagram, mora biti odčitek entalpije +/- 10 kJ/kg od računske vrednosti kar znaša +/- 2 mm na A2 formatu! Priporočam računanje s pomočjo tabel v strojniškem priročniku. Pišete kar na ta list.  
**IZPIT TRAJA 90 MINUT**

1. (35 %) V Termoelektrarni je stanje pare pred turbino 520°C, 160 bar in 1050 t/h. V kondenzatorju je temperatura 20 °C. Izračunajte termični izkoristek cikla, če je izentropni izkoristek turbine 0,85 in črpalke 0,80. Določite tudi suhost pare na izstopu iz turbine. Koliko Velenjskega lignita (kosovec) v termoelektrarni zgori za 20 minutno sesanje po stanovanju (60 m<sup>2</sup>) z 1000 W sesalcem?



|    | T[°C] | p[bar]  | h[kJ/kg] | s[kJ/kgK] |
|----|-------|---------|----------|-----------|
| 1  | 520   | 160     | 3355     | 6.379     |
| 2s | 20    | 0.02337 | 1867     | -  -      |
| 2  | 20    | -  -    | 2090     | XXXXX     |
| 3  | 20    | -  -    | 83.86    | 0.2963    |
|    |       |         |          |           |

|                      |
|----------------------|
| $\eta_T = 38.29$ [%] |
| $m = 0.2773$ [kg]    |
| $x_2 = 81.75$ [%]    |

10  
10  
5

$t = 20^\circ\text{C}$      $h' = 83.86$  kJ/kg     $s' = 0.2963$  kJ/kgK  
 $h'' = 2538$      $s'' = 8.668$

$x_{2s} = \frac{s_1 - s'}{s'' - s'} = \frac{6.379 - 0.2963}{8.668 - 0.2963} = 0.7266$      $h_{2s} = 83.86 + 0.7266(2538 - 83.86) = 1867$  (1877, 1857)

$h_2 = h_1 - \eta_T (h_1 - h_{2s}) = 3355 - 0.85(3355 - 1867) = 2090$

$x_2 = \frac{h_2 - h_1}{h'' - h_1} = \frac{2090 - 83.86}{2538 - 83.86} = 0.8175$

$w_T = h_1 - h_2 = 3355 - 2090 = 1265$  kJ/kg

$w_c = v_3 (p_1 - p_3)^{0.8} = 0.001002 (160 - 0.02337)^{0.8} \cdot 10^5 = 20.03$  kJ/kg

$q_{dov} = h_1 - h_3 - w_c = 3355 - 83.86 - 20.03 = 3251$  -||-

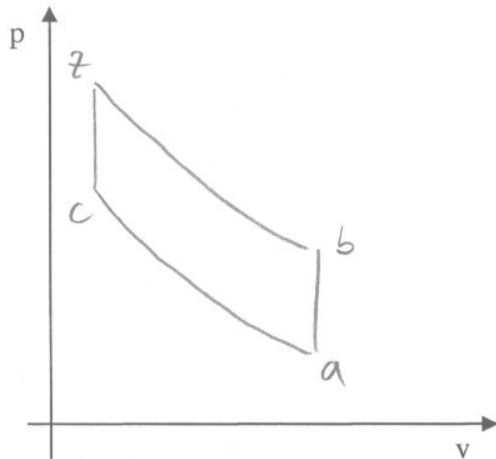
$\eta = \frac{w_T - w_c}{q_{dov}} = \frac{1265 - 20}{3251} = 0.3829$

KORIŠNOST PRETOGA  $H_i = 11300$  kJ/kg (KRAUT 1981, str 224)

DELO SESALCA  $w = P \cdot t = 1000 \text{ W} \cdot 20 \cdot 60 \text{ s} = 1200 \text{ kJ} = q_{dov} \cdot m$

$q_{dov} = w/\eta = m \cdot H_i \Rightarrow m = \frac{w}{\eta \cdot H_i} = \frac{1200}{0.3829 \cdot 11300} = 0.2773$

2 (35%) Izračunajte termični izkoristek in moč štiritaktnega Otto motorja pri  $3.000 \text{ min}^{-1}$ , če ima gibno prostornino  $1600 \text{ cm}^3$ . Predpostavite, da je srednji efektivni tlak motorja 60% indiciranega tlaka, ki ga izračunate za idealni (Otto) krožni proces. Ekvivalentni razmernik zrak/gorivo 1.05; prostorninsko kompresijsko razmerje 10; stanje na začetku kompresije 0.89 bar, 310 K; stehiometrijsko število 14.2; spodnja kurilna vrednost goriva  $40 \text{ MJ/kg}$ . Podatki za delovni medij so:  $R=287 \text{ J/kgK}$ ,  $c_p=1005 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1.4$ .



|   | p[bar] | T[°K] |
|---|--------|-------|
| a | 0.89   | 310   |
| c | 22.36  | 778.7 |
| z | 129.6  | 4516  |
| b | 5.161  | 1798  |
|   |        |       |

$$\eta_T = 60.19 \text{ [%]}$$

$$P = 43.08 \text{ [kW]}$$

(10)

(5)

(5)

(5)

(5)

$$p_c = p_a \left( \frac{v_a}{v_c} \right)^{\kappa} = 0.89 \cdot 10^{1.4} = 22.36 \text{ bar}$$

$$\nu_a = \frac{R T_a}{p_a} = 0.9997$$

$$T_c = 310 \left( \frac{22.36}{0.89} \right)^{0.4/1.4} = 778.7 \text{ K}$$

$$\nu_c = 0.09997$$

$$q_{\text{dov}} = \frac{H_1}{b_{\text{d}}} = \frac{40 \cdot 10^6}{14.2 \cdot 1.05} = 2.683 \text{ MJ/kg}$$

$$T_z = 778.7 + \frac{2.683 \cdot 10^6}{1005/1.4} = 4516 \text{ K}$$

$$p_z = \frac{R \cdot T_z}{\nu_z} = \frac{287 \cdot 4516}{0.09997} = 129.6 \text{ bar}$$

$$p_b = p_z \left( \frac{1}{10} \right)^{1.4} = 5.161 \text{ bar}$$

$$T_b = \nu_b \cdot p_b / R = 0.9997 \cdot 5.161 \cdot 10^5 / 287 = 1798 \text{ K}$$

$$q_{\text{odv}} = c_v (T_b - T_a) = \frac{1005}{1.4} (1798 - 310) = 1.068 \text{ MJ/kg}$$

$$w_t = 2.683 - 1.068 = 1.615 \text{ MJ/kg}$$

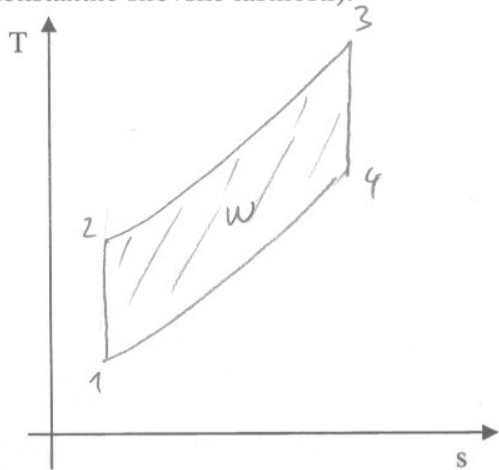
$$\eta_T = 1.615 / 2.683 = 0.6019$$

$$P_{\text{it}} = w_t / (\nu_a - \nu_c) = 1.615 \cdot 10^6 / (0.9997 - 0.09997) = 17.95 \text{ bar}$$

$$P_e = 0.60 \cdot P_{\text{it}} = 10.77 \text{ bar}$$

$$P_e = P_e \cdot V_h \cdot \kappa \cdot \frac{z}{\tilde{v}} = 10.77 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3000}{60} \cdot \frac{2}{4} = 43.08 \text{ kW}$$

3.(30%) Plinsko turbinski stroj (PTP) je sestavljen iz kompresorja in turbine na isti gredi z el. generatorjem. Vstopno stanje zraka je  $20\text{ }^\circ\text{C}$  in  $0.86\text{ bara}$ . Stopnja kompresije ( $p_2/p_1$ ) znaša 9. V gorilniku zrak segrejemo do  $1200\text{ }^\circ\text{K}$ . V kompresorju in turbini predpostavimo izentropno spremembo z izkoristkom 1.0. Narišite skico, izpolnite tabelo in izračunajte termični izkoristek ter specifično koristno delo ( $w$ ). Predpostavite, da je delovni medij zrak  $R=287\text{ J/kgK}$ ,  $c_p=1005\text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1.4$  (konstantne snovske lastnosti).



|   | p[bar] | T[°K] |
|---|--------|-------|
| 1 | 0.86   | 293   |
| 2 | 7.740  | 548.9 |
| 3 | -  -   | 1200  |
| 4 | 0.86   | 640.5 |
|   |        |       |

$$\eta_T = 46.62 \quad [\%]$$

$$w = 305.1 \quad [\text{kJ/kg}]$$

(10)

(10)

(5)

(5)

$$T_{2s} = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 293 \cdot 9^{\frac{0.4}{1.4}} = 548.9 \text{ K} = T_2$$

$$q_{\text{dov}} = c_p (T_3 - T_2) = 654.4 \text{ kJ/kg} = 1.005 (1200 - 548.9)$$

$$T_{4s} = T_3 \left( \frac{1}{9} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 1200 \left( \frac{1}{9} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 640.5 \text{ K}$$

$$q_{\text{odv}} = c_p (T_4 - T_1) = 1.005 (640.5 - 293) = 349.2 \text{ kJ/kg}$$

KOMPRESOR

$$w_k = c_p (T_2 - T_1) = 1.005 (548.9 - 293) = 257.2 \text{ kJ/kg}$$

TURBINA

$$w_T = c_p (T_3 - T_4) = -||- (1200 - 640.5) = 562.3 \text{ -||-}$$

KORISTNO DELO

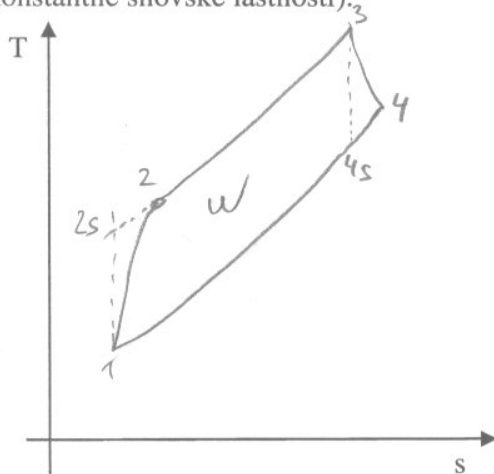
$$w = w_T - w_k = 562.3 - 257.2 = 305.1 \text{ kJ/kg}$$

di

$$w = q_{\text{dov}} - q_{\text{odv}} = 654.4 - 349.2 = 305.2 \text{ -||- (1. zakon TD)}$$

$$\eta = \frac{w}{q_{\text{dov}}} = \frac{305.1}{654.4} = 0.4662$$

3.(30%) Plinsko turbinski postroj (PTP) je sestavljen iz kompresorja in turbine na isti gredi z el. generatorjem. Vstopno stanje zraka je  $20\text{ }^\circ\text{C}$  in  $0.86\text{ bar}$ . Stopnja kompresije ( $p_2/p_1$ ) znaša 9. V gorilniku zrak segrejemo do  $1200\text{ }^\circ\text{K}$ . V kompresorju in turbini predpostavimo izentropno spremembo z izkoristkom 0.80. Narišite skico, izpolnite tabelo in izračunajte termični izkoristek ter specifično koristno delo ( $w$ ). Predpostavite, da je delovni medij zrak  $R=287\text{ J/kgK}$ ,  $c_p=1005\text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1.4$  (konstantne snovske lastnosti).



|   | p[bar] | T[°K] |
|---|--------|-------|
| 1 | 0.86   | 293   |
| 2 | 7.740  | 612.9 |
| 3 | -  -   | 1200  |
| 4 | 0.86   | 752.4 |
|   |        |       |

|                  |         |
|------------------|---------|
| $\eta_T = 21.75$ | [%]     |
| $w = 128.3$      | [kJ/kg] |

glej tudi rešitev VS!

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_c} = 293 + \frac{548.9 - 293}{0.8} = 612.9\text{ K}$$

$$T_4 = T_3 - \eta_T (T_3 - T_{4s}) = 1200 - 0.8 (1200 - 640.5) = 752.4\text{ K}$$

$$\text{KOMPRESOR: } w_c = c_p (T_2 - T_1) = 1.005 (612.9 - 293) = 321.5\text{ kJ/kg}$$

$$\text{TURBINA: } w_T = c_p (T_3 - T_4) = (1200 - 752.4) = 449.8\text{ ---}$$

$$\text{KORISTNA: } w = w_T - w_c = 128.3\text{ kJ/kg}$$

$$q_{dov} = c_p (T_3 - T_2) = 1.005 (1200 - 612.9) = 590.0\text{ kJ/kg}$$

$$q_{odv} = c_p (T_4 - T_1) = (752.4 - 293) = 461.7\text{ ---}$$

$$\text{TUDI: } w = q_{dov} - q_{odv} = 128.3\text{ kJ/kg (1.7020 TD)}$$

$$\eta = \frac{w}{q_{dov}} = \frac{128.3}{590.0} = 0.2175$$