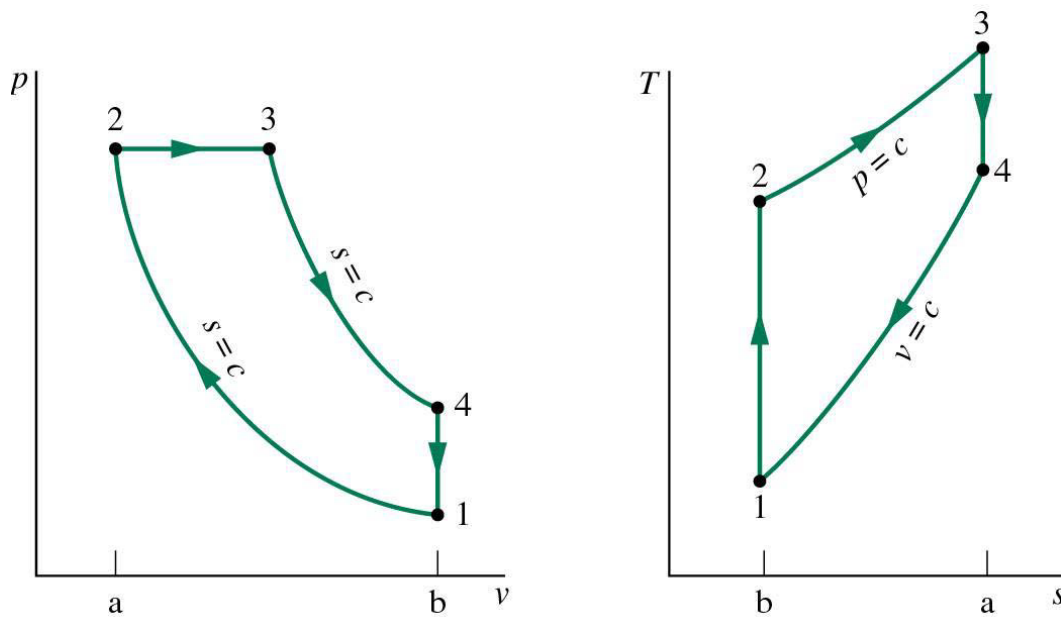


Zbirka rešenih izpitnih nalog

pri predmetu

TOPLOTNI STROJI (VS in UNI)

za študijsko leto 2007/08



Internetno gradivo:

<http://iepoi.uni-mb.si/ramsak/izpiti0708.pdf>

Asistent: doc.dr. Matjaž Ramšak

Maribor, oktober 2008

Ime in priimek:
Št. indeksa:

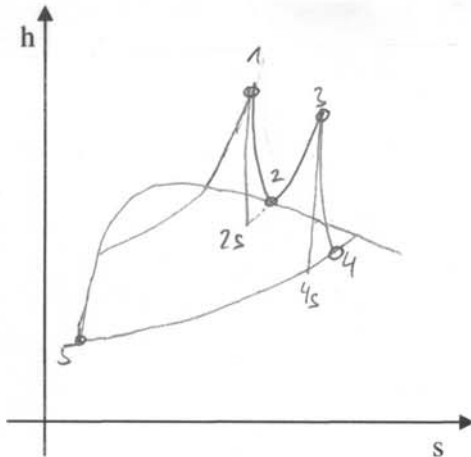
Ocenim 3 naloge!

35	35	30	30

TOPLOTNI 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 %) Stanje pare pred visokotlačno turbino (VT) je: 520°C, 160 bar. V visokotlačni turbini para ekspandira do stanja nasičenosti pri tlaku 10 bar. 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. Koliko Velenjskega lignita (kosovec) je potrebno skuriti da 100W žarnica gori 24 ur?



	T[°C]	p[bar]	h[kJ/kg]	s[kJ/kgK]
1	520	160	3355	6.379
2s	179.9	10	2684	-
2	-	-	2776	xxxxxx
3	420	-	3307	7.529
4s	41.53	0.08	2356	-
4	-	-	2486	xxxxxxx
5	-	-	173.9	0.5925

$$x_{2s} = \frac{s_{2s} - s'}{s'' - s'} = \frac{6.379 - 2.138}{6.583 - 2.138} = 95.41\%$$

$$h_{2s} = h' + x(h'' - h') = 767.6 + 0.9541(2776 - 767.6) = 2684$$

$$\eta_{VT} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3355 - 2776}{3355 - 2684} = 86.29\%$$

$$x_{4s} = \frac{s_{4s} - s'}{s'' - s'} = \frac{7.529 - 1.5925}{8.230 - 1.5925} = 0.9082$$

$$h_{4s} = h' + x_{4s}(h'' - h') = 173.9 + 0.9082(2577 - 173.9) = 2356$$

$$h_4 = h_3 - \eta_{NT}(h_3 - h_{4s}) = 3307 - 0.8629(3307 - 2356) = 2486$$

$$w = w_{VT} + w_{NT} = (3355 - 2776) + (3307 - 2486) = 1400$$

$$q_{dov} = (h_1 - h_5) + (h_3 - h_2) = 3355 - 173.9 + 3307 - 2776 = 3712$$

$$\eta_T = \frac{1400}{3712} = 37.71\%$$

$$Q_T = P_T \cdot t = m \cdot H \cdot \eta_T \Rightarrow m = \frac{P_T \cdot t}{H \cdot \eta_T} = \frac{100 \cdot 24 \cdot 3600}{11300 \cdot 10^3 \cdot 0.3771} = 1.863 \text{ kg}$$

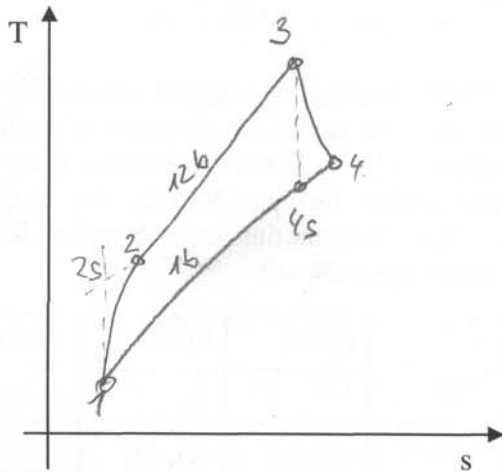
$$\eta_{VT} = \eta_{NT} = 86.29 \quad [10]$$

$$\eta_T = 37.71 \quad [10]$$

$$m = 2.028 \text{ kg} \quad [5] \quad H_i = 11.300$$

ali 1.863 za $H_i = 12.300$

2. (35%) Plinsko turbinski postroj (PTP) Brestanica ima tlačno kompresijsko razmerje 12. 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 naraste temperatura do 1100°K. Za dimne pline uporabi snovske lastnosti zraka. Izračunaj koristno moč za pogon električnega generatorja in termični izkoristek pogona, če je izentropni izkoristek turbine 0.884!



	p[bar]	T[°K]
1	1	273
2	12.	649.4
3	- -	1100
4	1.	605.7

$$\eta_T = 26.18 \text{ [%]}$$

$$P = 32.26 \text{ [MW]}$$

20
5

$$T_{2s} = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 273 \left(12 \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 555.3 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_K} = 273 + \frac{555.3 - 273}{0.75} = 649.4$$

$$w_k = c_p (T_2 - T_1) = 1.005 (649.4 - 273) = 378.2 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{dov} = c_p (T_3 - T_2) = 1.005 (1100 - 649.4) = 452.9 \text{ --}$$

$$T_{4s} = T_3 \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 1100 \left(\frac{1}{12} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 540.8$$

$$T_4 = T_3 - \eta_T (T_3 - T_{4s}) = 1100 - 0.884 (1100 - 540.8) = 605.7$$

$$w_T = c_p (T_3 - T_4) = 1.005 (1100 - 605.7) = 496.8 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{dov} = 496.8 - 378.2 = 118.6 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T = \frac{w_{dov}}{q_{dov}} = \frac{118.6}{452.9} = 26.18 \text{ %}$$

$$P = \dot{m} \cdot w_{dov} = 272 \cdot 118.6 \text{ k} = 32.26 \text{ MW}$$

3.(30%) Preračunaj in nariši trikotnike hitrosti za enakotlačno stopnjo aksialne turbine srednjega premera 1.0 m. Vstopni kot na rotor α_1 je 17° . Kota lopatic sta povezana z relacijo $\beta_1 = \beta_2$. Celotni entalpijski padec je 247 kJ/kg, razmerje obodne in vstopne hitrosti u/c_1 znaša 0.50. Hitrostni koeficient kanalov vodilnika je 0.94, gonilnih kanalov pa 0.96. Določi hitrostne kote, št. vrtljajev turbine in izkoristek na obodu! Izračunaj tudi izgube v vodilniku ζ_v , gonilniku ζ_g , iztočne izg. ζ_i !

$$c_1 = \sqrt{2 \cdot h_s} = 0.94 \sqrt{2 \cdot 247 \cdot 10^3} = 660.7 \text{ m/s}$$

$$u/c_1 = 0.5 \Rightarrow u = c_1 \cdot 0.5 = 330.4$$

$$n = \frac{u}{\pi \cdot D} = \frac{330.4}{\pi \cdot 1} = 105.2/\text{s} = 6310 \text{ /min}$$

$\beta_1 = 32.66$	[°]
$\alpha_2 = 102.5$	[°]
$\eta_u = 79.03$	[%]
$\zeta_v = 11.64$	[%]
$\zeta_g = 2.207$	[%]
$\zeta_i = 7.269$	[%]

6x5%

$$w_{1u} = c_1 \cos \alpha_1 - u = 660.7 \cdot \cos 17^\circ - 330.4 = 301.4$$

$$w_{1a} = c_1 \sin \alpha_1 = 193.2$$

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{a}{u}\right) = 32.66^\circ$$

$$w_1 = \sqrt{w_{1u}^2 + w_{1a}^2} = \sqrt{301.4^2 + 193.2^2} = 358.0$$

$$w_2 = \eta w_1 = 0.96 \cdot 358.0 = 343.7$$

$$c_{2a} = w_{2a} = w_2 \sin \beta_2 = 343.7 \cdot \sin 32.66 = 189.5$$

$$c_{2u} = w_2 \cos \beta_2 = 343.7 \cdot \cos 32.66 = 289.4$$

$$c_{2u} = w_{2u} - u = 289.4 - 330.4 = -41.04 \text{ m/s}$$

$$c_2 = \sqrt{c_{2u}^2 + c_{2a}^2} = 189.5 \text{ m/s} \quad \alpha_2' = \arctan\left(\frac{c_{2a}}{c_{2u}}\right) = \arctan\left(\frac{189.5}{41.04}\right) = 77.69^\circ$$

$$\alpha_2 = 180 - \alpha_2' = 102.5^\circ$$

$$h_u = u(w_{1u} + w_{2u}) =$$

$$= 330.4 (301.4 + 289.4) = 195.2 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_u = \frac{h_u}{h_s} = 195.2 / 247 = 79.03 \%$$

$$z_v = \frac{c_1^2}{2} \left(\frac{1}{\eta^2} - 1 \right) = \frac{660.7^2}{2} \left(\frac{1}{0.94^2} - 1 \right) = 28.75 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_v = \frac{z_v}{h_s} = 11.64 \%$$

$$z_g = \frac{w_1^2}{2} \left(\frac{1}{\eta^2} - 1 \right) = \frac{358^2}{2} \left(\frac{1}{0.96^2} - 1 \right) = 5.451$$

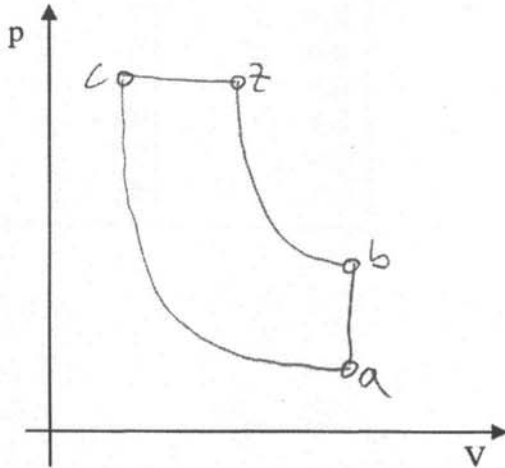
$$\eta_g = 2.207 \%$$

$$z_i = \frac{c_2^2}{2} = \frac{189.5^2}{2} = 17.96$$

$$= 17.96$$

$$\eta_i = 7.269 \%$$

4.(30%) Določite termični izkoristek in efektivno moč štiristaktnega diesel motorja pri 3.000 min⁻¹, če ima gibno prostornino 1600 cm³. Predpostavi, da je srednji efektivni tlak motorja 60% indiciranega tlaka, ki ga izračunaj za idealni krožni proces. Delovni medij je zrak (R=287 J/kgK, c_p=1005 J/kgK, κ=1.40). Ostali podatki: ekvivalentni razmernik zrak/gorivo 1.05; prostorninsko kompresijsko razmerje 20; stehiometrijsko število 14,2; spodnja kurilna vrednost 40,0 MJ/kg; začetno stanje zraka 0.89 bar in 310 °K.



	p[bar]	v[m ³ /kg]	T[°K]
a	0.89	0.9997	310
c	59.0	0.04999	1027
z	-	0.1799	3697
b	5.348	0.9997	1863

$\eta_T = 58.44 \%$

10

$P_e = 39.62$ [kW]

10

$p_c = 0.89 \cdot 20^{1.4} = 59.00 \text{ b}$

$T_c = 310 \left(\frac{59.00}{0.89} \right)^{0.4/1.4} = 1027 \text{ K}$

$v_c = \frac{v_a}{20} = 0.04999$

c-z: p = konst

$T_z = 1027 + \frac{2.683 \cdot 6}{1005} = 3697 \text{ K}$

$v_z = 0.04999 \cdot \frac{3697}{1027} = 0.1799$

z-b: s = konst

$p_b = 59.00 \left(\frac{0.1799}{0.99997} \right)^{1.4} = 5.348 \text{ b}$

$T_b = \frac{0.9997 \cdot 5.348 \cdot 5}{287} = 1863 \text{ K}$

$q_{odw} = c_v (T_b - T_a) = \frac{1005}{1.4} (1863 - 310) = 1.115 \text{ MJ/kg}$

$w = 2.683 - 1.115 = 1.568$

$\eta_T = \frac{1.568}{2.683} = 58.44 \% \quad + \text{ Turbo Komp.}$

$P_{it} = \frac{1.568 \cdot 6}{0.9997 - 0.04999} = 17.55 \text{ 16.51 b}$

$p_e = 10.46 \cdot 0.04999$
 0.9076

$P_e = 39.62 \text{ kW} = 41.83 \text{ kW}$

Ime in priimek:
Št. indeksa:

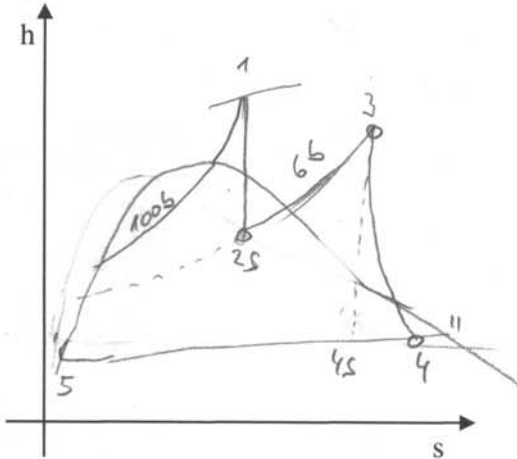
40	30	30

TOPLOTNI 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. (40 %) V parni kotel dovajamo vodo tlaka 100 bar. Pridobljeno paro segrevamo na ~~500~~⁵²⁰ °C in jo vodimo v visokotlačno turbino, kjer izentropno ekspandira na tlak 6 bar. To paro pregrejemo na 450°C in vodimo v nizkotlačno turbino, kjer ekspandira z notranjim izkoristkom 0,86 na tlak 0,04 bar. Izračunajte termodinamični izkoristek η_T ! Kolikšna je suhost pare x na izstopu iz niskotlačne turbine, ter kolikšen je masni tok pare m , če je moč turbine 500 MW. Pri zračunu upoštevajmo tudi delo črpalke z izkoristkom 90%.



	T[°C]	p[bar]	h[kJ/kg]	s[kJ/kgK]
1	520	100	3425	6.664
2s	158.5	66	2715	-11-
2	-11-	-11-	-11-	xxxxxxx
3	450°	-11-	3376	7.860
4s	28.98	0.04	2378	-11-
4	-11-	-11-	2518	xxxxxxx
5	-11-	-11-	121.4	0.4225

6 bar:

$$x_{2s} = \frac{s_{2s} - s'}{s'' - s'} = \frac{6.664 - 1.931}{6.758 - -11-} = 0.9805$$

$$h_{2s} = h' + x(h'' - h') = 670.4 + 0.9805(2756 - 670.4) = 2715 \text{ kJ/kg}$$

$$x_{4s} = \frac{s_{4s} - s'}{s'' - s'} = \frac{7.860 - 0.4225}{8.476 - -11-} = 0.9273$$

$$h_{4s} = h' + x(h'' - h') = 121.4 + 0.9273(2555 - 121.4) = 2378$$

$$h_4 = h_3 - \eta_T(h_3 - h_{4s}) = 3376 - 0.86(3376 - 2378) = 2518$$

$$x_4 = \frac{h_4 - h'}{h'' - h'} = \frac{2518 - 121.4}{2555 - -11-} = 0.9847$$

$$w_{NT} = h_1 - h_{2s} = 3425 - 2715 = 710 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{NT} = h_3 - h_4 = 3376 - 2518 = 858 \text{ kJ/kg}$$

$$w_c = v_5 (p_1 - p_5) = 0.001004(100 - 0.04) \cdot 10^5 = 10.04 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{koristno} = w_{NT} + w_{NT} + w_c = 1558 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{dov} = (h_1 - h_5) + (h_3 - h_{2s}) = (3425 - 121.4) + (3376 - 2715) = 3965 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T = 1558 / 3965 = 39.30 \%$$

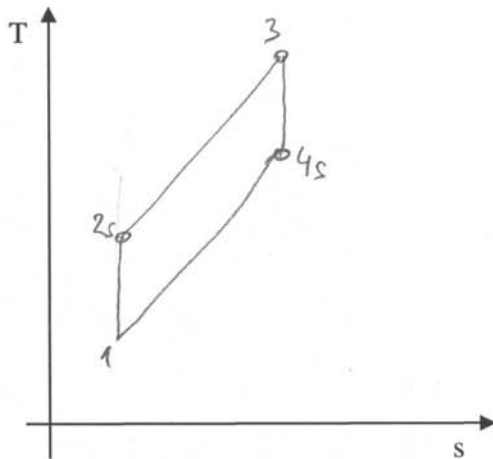
$$x = 98.47 \%$$

$$\eta_T = 39.30 \%$$

$$m = 320.9 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m} = \frac{P}{w_{kor}} = \frac{500 \cdot 10^6}{1558 \cdot 23} = 320.9 \text{ kg/s}$$

2. (30%) Plinsko turbinski stroj ima tlačno kompresijsko razmerje 12. Kompresor na isti gredi s turbino in generatorja sesa zrak tlaka 1 bar in temperature 293°K (oboje, $c_p=1.005$ kJ/kgK, $\kappa=1.40$). V gorilniku izobarno dovedemo 500 kJ/kg toplote. Za dimne pline uporabi snovske lastnosti zraka. Izračunaj specifično koristno moč za pogon električnega generatorja in termični izkoristek pogona, če predpostavimo izentropno kompresijo in ekspanzijo! Izračunaj še potrebni masni tok zraka \dot{m} če želimo imeti moč 1 MW!



	p[bar]	T[°K]
1	1	293
2s	12	595.5
3	12	1093
4s	1	537.6

$$\eta_T = 50.84 \quad [\%]$$

~~$$P = \dots$$~~

$$\dot{m} = 3.934 \quad [\text{kg/s}]$$

$$T_{2s} = 293 (12)^{0.4/1.4} = 595.9$$

$$q_{\text{dov}} = c_p (T_3 - T_{2s}) \Rightarrow T_3 = T_{2s} + \frac{q_{\text{dov}}}{c_p} = 595.9 + \frac{500}{1.005} = 1093 \text{ K}$$

$$T_{4s} = 1093 \left(\frac{1}{12}\right)^{0.4/1.4} = 537.6$$

$$w_{\text{komp}} = c_p (T_{2s} - T_1) = 1.005 (595.5 - 293) = 304.0 \text{ kJ/kg}$$

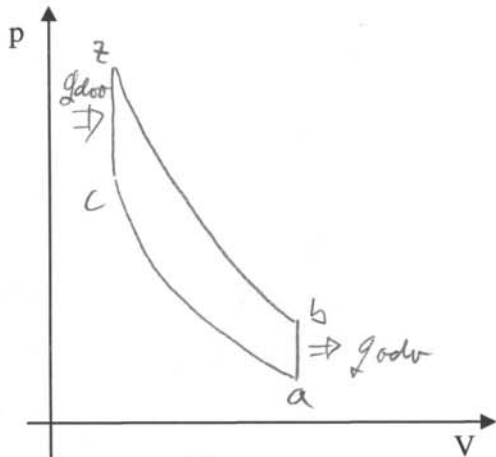
$$w_{\text{tur}} = c_p (T_3 - T_{4s}) = 1.005 (1093 - 537.6) = 558.2 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{\text{kor}} = 558.2 - 304.0 = 254.2 \text{ kJ/kg} = P$$

$$\eta_T = \frac{254.2}{500} = 50.84 \quad \%$$

$$P = \dot{m} \cdot w_{\text{kor}} \Rightarrow \dot{m} = \frac{1 \cdot 10^6}{254.2 \cdot 10^3} = 3.934 \text{ kg/s}$$

3.(30%) Določite termični izkoristek in efektivno moč štiriktaknega Otto motorja pri 6.000 min^{-1} , če ima gibno prostornino 2100 cm^3 . Predpostavi, da je srednji efektivni tlak motorja 60% indiciranega tlaka, ki ga izračunaj za idealni krožni proces. Delovni medij je zrak ($R=287 \text{ J/kgK}$, $c_p=1005 \text{ J/kgK}$, $\kappa=1.40$), razen ekspanzije, ki poteka po politropi s koeficientom 1.2. Ostali podatki: ekvivalentni razmernik zrak/gorivo 1.02; prostorninsko kompresijsko razmerje 8; stehiometrijsko število 14,1; spodnja kurilna vrednost $41,0 \text{ MJ/kg}$; začetno stanje zraka 0.89 bar in $310 \text{ }^\circ\text{K}$.



	p[bar]	v[m ³ /kg]	T[°K]
a	0.89	0.9997	310
c	16.36	0.1250	712.5
z	107.5	—	4684
b	8.869	0.3997	3089

$$\eta_T = 30.02 \text{ [%]}$$

$$P_e = 61.65 \text{ [kW]}$$

$$p_c = 0.89 \cdot 8^{1.4} = 16.36$$

$$v_a = \frac{R \cdot T}{p_a} = \frac{287 \cdot 310}{0.8925} = 0.9997$$

$$T_c = \frac{p_c \cdot v_c}{R} = \frac{16.36 \cdot 0.1250}{287} = 712.5$$

$$q_{dov} = \frac{H_d}{\alpha \cdot l_0} = \frac{41 \cdot 10^6}{1.02 \cdot 14.1} = 2.851 \text{ MJ/kg} = c_p (T_z - T_c)$$

$$T_z = T_c + q_{dov}/c_p = 712.5 + \frac{2.851 \cdot 10^6}{1.005 \cdot 1.4} = 4684 \text{ K}$$

$$p_z = \frac{T_z \cdot R}{v_z} = \frac{4684 \cdot 287}{0.1250} = 107.5 \text{ bar}$$

$$p_b = 107.5 \cdot \left(\frac{1}{8}\right)^{1.2} = 8.869$$

$$T_b = \frac{8.869 \cdot 0.9997}{287} = 3089$$

$$q_{odv} = c_v (T_b - T_a) = \frac{1005}{1.4} (3089 - 310) = 1.995 \text{ MJ/kg}$$

$$w = q_{dov} - q_{odv} = 0.856 \text{ MJ/kg}$$

$$\eta = \frac{0.856}{2.851} = 30.02 \text{ %}$$

$$p_i = \frac{0.856 \cdot 6}{(0.9997 - 0.1250)} = 9.786 \text{ bar}$$

$$P_e = 5.872 \text{ bar}$$

$$P_e = 5.872 \cdot 5 \cdot 2.12 \cdot 3 \cdot \frac{6000}{60} \cdot \frac{2}{4} = 61.65$$

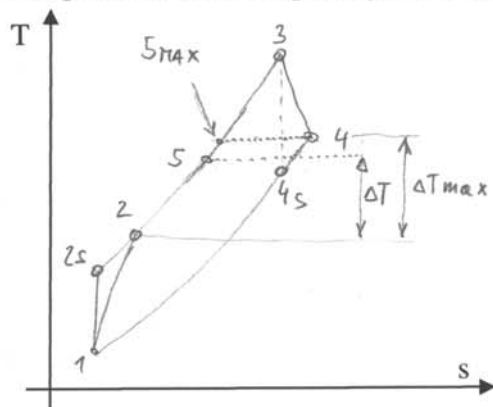
Ime in priimek: REŠITEV
Št. indeksa:

40	30	30

TOPLOTNI 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. (40%) Plinsko turbinski stroj ima tlačno kompresijsko razmerje 5. Zrak iz kompresorja segrevamo z izpušnimi plini za turbino s stopnjo regeneracije 80%. Kompresor je na isti gredi s turbino in generatorjem. Začetno stanje zraka je tlak 1 bar in temperatura 273°K. V gorilniku dodatno izobarno segrejemo pline do 1273 K. Za dimne pline uporabi snovske lastnosti zraka (oboje, $c_p=1.005$ kJ/kgK, $\kappa=1.40$). Izračunaj termični izkoristek pogona z in brez regeneracije, če predpostavimo izentropni izkoristek kompresorja in turbine 0.9!



	p[bar]	T[°K]
1	1	273
2s	5,0	432,4
2	- -	450,1
3	- -	1273
4s	1	803,8
4	- -	850,7

$\eta_{z\ reg} = 48.80$ [%] (15)
 $\eta_{brez} = 29.79$ [%] (15)

$$T_{2s} = 273 \cdot 5^{0.4/1.4} = 432.4$$

$$T_2 = 273 + \frac{432.4 - 273}{0.9} = 450.1 \Rightarrow w_k = 1.005(450.1 - 273) = 178.0 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{4s} = 1273 \left(\frac{1}{5}\right)^{0.4/1.4} = 803.8$$

$$T_4 = 1273 - 0.9(1273 - 803.8) = 850.7 \Rightarrow w_T = 1.005(1273 - 850.7) = 424.4$$

$$w_{dob} = 424.4 - 178.0 = 246.4 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{dov} = 1.005(1273 - 450.1) = 827.0 \text{ kJ/kg}$$

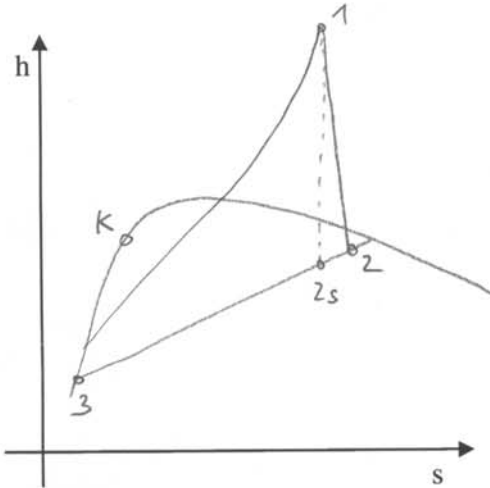
$$\eta_{brez} = \frac{246.4}{827.0} = 0.2979$$

$$\delta = \frac{\Delta T}{\Delta T_{max}} = \frac{T_5 - T_2}{T_{5max} - T_2} \Rightarrow T_5 = T_2 + \delta(T_4 - T_2) = 450.1 + 0.8(803.8 - 450.1) = 770.6 \text{ K}$$

$$q_{dov, reg} = 1.005(1273 - 770.6) = 504.9 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{z\ reg} = \frac{246.4}{504.9} = 0.4880$$

2. (30%) Stanje pare pred turbino je: 440°C, 40 bar in masni pretok 105 t/h. V turbini para ekspandira do kondenzatorske temperature 30°C. Izentropni izkoristek turbine 0.82. Upoštevajte tudi delo črpalke, ki ima izkoristek 0.7. Izračunajte termični izkoristek cikla in suhost pare na izstopu iz turbine! Koliko Trboveljskega premoga s kurilno vrednostjo 18000 kJ/kg je potrebno skuriti, da posesamo 50 m² garsonjero s 500 W sesalcem v 10 minutah?



	T[°C]	p[bar]	h[kJ/kg]	s[kJ/kgK]
1	440	40	3308	6.907
2s	30	0.04241	2087	-11-
2	-11-	-11-	2307	XXXXX
3	-11-	-11-	125.7	✓

(10)	x = 89.74 [%]	η _T = 31.27 [%]
(5)	m = 0.05330 [kg]	(10)

T = 30°C u' = 125.7 kJ/kg
 u'' = 2556

s' = 0.4365 kJ/kgK
 s'' = 8.455 -11-

$$x_{2s} = \frac{6.907 - 0.4365}{8.455 - 11-} = 0.8069$$

$$h_{2s} = 125.7 + 0.8069(2556 - 125.7) = 2087 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 3308 - 0.82(3308 - 2087) = 2307 \text{ -11-}$$

$$x_2 = \frac{2307 - 125.7}{2556 - 125.7} = 0.8974$$

$$w_T = 3308 - 2307 = 1001 \text{ kJ/kg}$$

$$w_c = 0.001004(40 - 0.04) \frac{10^5}{0.7} = 5.731 \text{ kJ/kg}$$

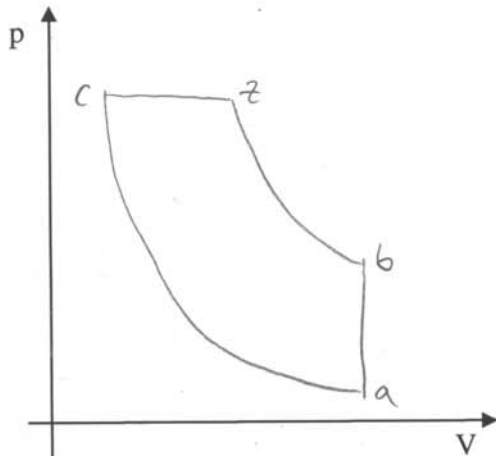
$$w_{dob} = 1001 - 6 = 995.0 \text{ -11-}$$

$$q_{dob} = 3308 - 125.7 = 3182 \text{ -11-}$$

$$\eta_T = \frac{995.0}{3182} = 0.3127$$

$$W = m \cdot \frac{h_1 - h_2}{\eta_T} \cdot P \cdot t \Rightarrow m = \frac{500 \cdot 600}{18000 \cdot 10^3 \cdot 0.3127} = 0.05330 \text{ kg}$$

3.(30%) Določite termični izkoristek in efektivno moč štiriktaktnega Diesel motorja pri 2000 min⁻¹, če ima gibno prostornino 3000 cm³. Predpostavi, da je srednji efektivni tlak motorja 60% indiciranega tlaka, ki ga izračunaj za idealni krožni proces. Delovni medij je zrak (R=287 J/kgK, c_p=1005 J/kgK, κ=1.40). Ostali podatki: ekvivalentni razmernik zrak/gorivo 1.04; prostorninsko kompresijsko razmerje 8.5; stehiometrijsko število 14,1; spodnja kurilna vrednost 40,0 MJ/kg; začetno stanje zraka 0.89 bar in 273 °K.



	p[bar]	v[m ³ /kg]	T[°K]
a	0.89	0.8803	273
c	17.81	0.1036	642.9
z	-	0.5410	3357
b	9.009	0.8803	2763

$$\eta_T = 34.46 \quad [\%]$$

$$P_e = 36.31 \quad [\text{kW}]$$

$$v_a = \frac{287 \cdot 273}{0.89 \cdot 25} = 0.8803, \quad v_c = \frac{v_a}{8.5} = 0.1036$$

$$p_c = 0.89 \cdot 8.5^{1.4} = 17.816, \quad T_c = \frac{17.816 \cdot 273}{287} = 642.9 \text{ K}$$

$$q_{dov} = \frac{40}{1.04 \cdot 14.1} = 2.728 \text{ MJ/kg}$$

$$= c_p (T_z - T_c) \Rightarrow T_z = T_c + \frac{q_{dov}}{c_p} = 3357 \text{ K}$$

$$v_z = \frac{287 \cdot 3357}{17.816 \cdot 25} = 0.5410$$

$$p_b = 17.81 \left(\frac{0.5410}{0.8803} \right)^{1.4} = 9.0096$$

$$T_b = 0.8803 \cdot 9.0096 \cdot 25 / 287 = 2763 \text{ K}$$

$$q_{odv} = \frac{1005}{1.4} (2763 - 273) = 1.788 \text{ MJ/kg}$$

$$w = q_{dov} - q_{odv} = 2.728 - 1.788 = 0.940 \text{ MJ/kg}$$

$$\eta_T = \frac{0.940}{2.728} = 34.46 \%$$

$$P_{it} = \frac{w}{v_a - v_c} = \frac{0.940 \cdot 26}{(0.8803 - 0.1036)} = 12.10 \text{ bar}$$

$$P_e = 0.6 \cdot 12.10 = 7.261 \text{ bar}$$

$$P_e = 7.261 \cdot 5 \cdot 3000 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2000}{60} \cdot \frac{2}{4} = 36.31 \text{ kW}$$

Izkoristek in moč sta nista nista zaradi nizekega kompresijskega razmerja! +5

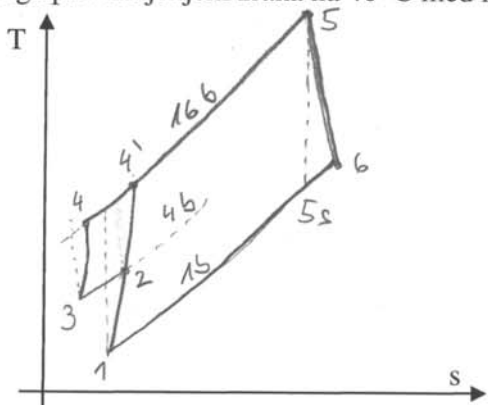
Ime in priimek: REŠITEV
Št. indeksa:

40	30	30

TOPLOTNI 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 računске 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. (40%) Kompresija v plinsko turbinskem postroju je izvedena z dvema stopnjama. Vsaka ima tlačno kompresijsko razmerje 4 in izentropni izkoristek 0.85. Kompresorja sta na isti gredi s turbino in generatorjem. Izentropni izkoristek turbine je 0.9. Začetno stanje zraka je tlak 1 bar in temperatura 273°K. V gorilniku izobarno segrejemo pline do 1273 K. Za dimne pline uporabi snovske lastnosti zraka (c_p=1.005 kJ/ kgK, κ=1.40). Izračunaj termični izkoristek pogona za dve varianti. Prva je brez, druga pa z hlajenjem zraka na 40 °C med kompresijama.



	p[bar]	T[°K]
1	1	273
2	4	429.1
3	- -	313
4	16	492.0
4'	- -	674.4
5	- -	1273
6	1	646.1

η_{brez} = 37.65 [%] (15)
η_z = 37.33 [%] (15)

BREZ HLAJENJA

$$T_{2s} = 273 \cdot 4^{0.4/1.4} = 405.7 \text{ K}$$

$$T_2 = 273 + \frac{405.7 - 273}{0.85} = 429.1$$

$$w_{12} = c_p (T_2 - T_1) = 1.005 (429.1 - 273) = 156.9 \text{ kJ/kg}$$

$$2-4' \Rightarrow T_{4's} = 429.1 \cdot 4^{0.4/1.4} = 637.6 \text{ K}$$

$$T_{4'} = 429.1 + \frac{637.6 - 429.1}{0.85} = 674.4 \text{ K}$$

$$w_{24'} = 1.005 (674.4 - 429.1) = 246.6 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{5s} = 1273 \cdot \left(\frac{1}{16}\right)^{0.4/1.4} = 576.5 \text{ K}$$

$$T_5 = 1273 - 0.9 (1273 - 576.5) = 646.1$$

$$w_{56} = 1.005 (1273 - 646.1) = 630.0 \text{ kJ/kg}$$

$$w = 630.0 - 156.9 - 246.6 = 226.5 \text{ -||-}$$

$$q_{dev} = 1.005 (1273 - 674.4) = 601.6 \text{ -||-}$$

$$\eta_{BREZ} = \frac{226.5}{601.6} = .3765$$

z klajenje

$$T_{4s} = 313 \cdot 4^{0.4/1.4} = 465.1 \text{ K}$$

$$T_4 = 313 + \frac{465.1 - 313}{0.85} = 492.0 \text{ K}$$

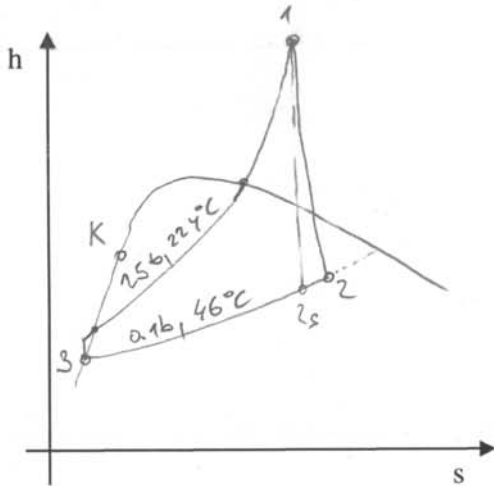
$$W_{34} = 1.005 (492.0 - 313) = 179.9 \text{ kJ/kg}$$

$$W = 630.0 - 156.9 - 179.9 = 293.2 \text{ --''--}$$

$$q_{dov} = 1.005 (1273 - 492.0) = 784.9 \text{ --''--}$$

$$\eta_z = \frac{293.2}{784.9} = 0.3733$$

2. (30 %) Vir toplote v Rankinovem ciklusu so dimni plini pretoka 200 kg/s in temperature 520°C. Dimni plini se ohladijo do 120°C. Stanje pare pred turbino je: 460°C in 25 bar. V turbini para ekspandira do tlaka 0.1 bar. 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. Dimni plini imajo naslednje snovske lastnosti ($R=280 \text{ J/kgK}$, $c_p=1.2 \text{ kJ/kgK}$, $\kappa=1.36$).



	T[°C]	p[bar]	h[kJ/kg]	s[kJ/kgK]
1	460	25	3373	7.207
2s	45,83	0.1	2284	-11-
2	-11-	-11-	2458	xxxxxxx
3	-11-	-11-	191,8	xxxxxxx

$\eta_T = 28.65 \text{ [%]}$

$P = 27.51 \text{ [MW]}$

$p = 0.1 \text{ bar}$ $s' = 0.6493$ $s'' = 8.151$
 $x_{2s} = \frac{7.207 - 0.6493}{8.151 - \dots} = 0.8742$

$h' = 191.8$ $h'' = 2585$

$h_{2s} = 191.8 + 0.8742(2585 - 191.8) = 2284$

$h_2 = 3373 - 0.84(3373 - 2284) = 2458$

$w_p = w_3 (p_1 - p_3) / 0.7 = 0.00101 (25 - 0.1) \cdot 10^5 / 0.7 = 3.593 \text{ kJ/kg}$

$w_T = h_1 - h_2 = 915.0 \text{ kJ/kg}$

$w = w_T - w_p = 911.4$

$q_{dov} = h_1 - h_3 = 3373 - 191.8 = 3181 \text{ kJ/kg}$

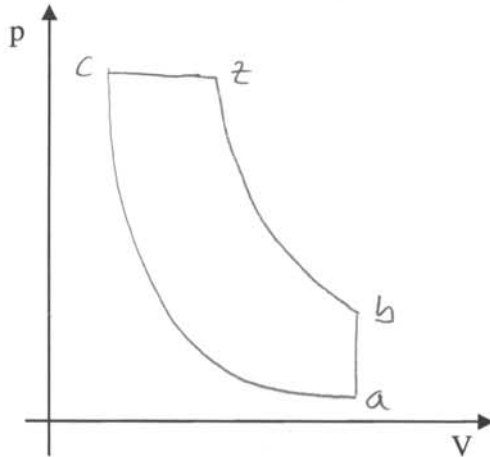
$\eta_T = \frac{w}{q_{dov}} = 0.2865$

$Q_{dov} = \dot{m} c_p (\Delta T) = 200 \text{ kg/s} \cdot (520 - 120) \cdot 1.2 \text{ kJ/kgK} = 96.00 \text{ MW}$

$= q_{dov} \cdot \dot{m}_{\text{pare}} \Rightarrow \dot{m}_{\text{pare}} = \frac{96 \cdot 10^6 \text{ W}}{3181 \cdot 10^3 \text{ J}} = 30.18 \text{ kg/s}$

$P = \dot{m} w = 30.18 \cdot 911.4 = 27.51 \text{ MW}$

3.(30%) Določite termični izkoristek in efektivno moč štiritaktnega Diesel motorja pri 2000 min⁻¹, če ima gibno prostornino 3000 cm³. Predpostavi, da je srednji efektivni tlak motorja 60% indiciranega tlaka, ki ga izračunaj za idealni krožni proces. Delovni medij je zrak (R=287 J/kgK, c_p=1005 J/kgK, κ=1.40). Ostali podatki: ekvivalentni razmernik zrak/gorivo 1.04; prostorninsko kompresijsko razmerje 20; stehiometrijsko število 14,1; spodnja kurilna vrednost 40,0 MJ/kg; začetno stanje zraka 0.89 bar in 273 °K.



	p[bar]	v[m ³ /kg]	T[°K]
a	0.89	0.8803	273
c	59.00	0.04402	904.9
z	- -	0.1761	3619
b	6.199	0.8803	1901

$$\eta_T = 57.16 \text{ [%]}$$

$$P_e = 55.93 \text{ [kW]}$$

$$v_a = \frac{287 \cdot 273}{0.89 \cdot 25} = 0.8803$$

$$v_c = v_a / 20 =$$

$$p_c = 0.89 \cdot 20^{1.4} = 59.00$$

$$T_c = 59.00 \cdot 25 \cdot 0.04402 / 287 = 904.9$$

$$q_{\text{dovr}} = 40 \text{ MJ} / 1.04 \cdot 14.1 = 2.728 \text{ MJ/kg}$$

$$T_z = 904.9 + \frac{2.728 \cdot 10^6}{1005} = 3619$$

$$v_z = 287 \cdot 3619 / 59.00 = 0.1761$$

$$p_b = 59.00 \left(\frac{0.1761}{0.8803} \right)^{1.4} = 6.199 \text{ bar}$$

$$T_b = 0.8803 \cdot 6.199 \cdot 25 / 287 = 1901$$

$$q_{\text{dovr}} = c_v (T_b - T_a) = \frac{1005}{1.4} () = 1.169 \text{ MJ/kg}$$

$$w = 2.728 - 1.169 = 1.559$$

$$\eta_T = \frac{w}{q_{\text{dovr}}} = 0.5716$$

$$p_{it} = 1.559 \cdot 26 / (0.8803 - 0.04402) = 18.64 \text{ bar}$$

$$p_e = 0.60 p_{it} = 11.19$$

$$P_e = 11.19 \cdot 25 \cdot 3000 \cdot \frac{2000}{60} \cdot \frac{2}{4} = 55.93 \text{ kW}$$

Ime in priimek:
Št. indeksa:

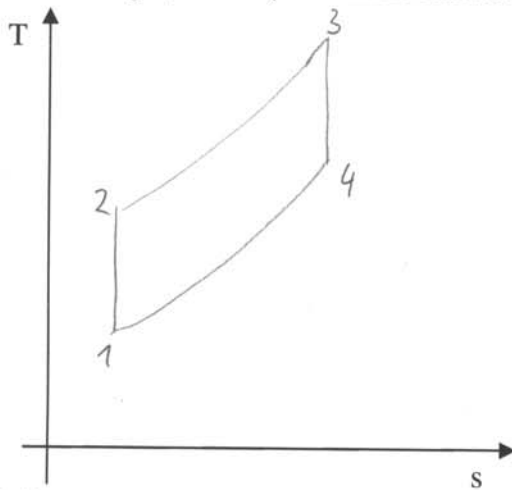
30	35	35

TOPLOTNI 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. (30%) Plinsko turbinski postroj (PTP) je sestavljen iz kompresorja in turbine na isti gredi z el. generatorjem. Vstopno stanje zraka je 20 °C in 0.96 bara ter pretoka 12.5 kg/s. Stopnja kompresije (p_2/p_1) znaša 12. V gorilniku zrak segrejemo do 1000 °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 $R=287$ J/kgK, $c_p=1005$ J/kgK, $\kappa=1.4$ (konstantne snovske lastnosti).



	p[bar]	T[°K]
1	0.96	293
2	11.52	595.9
3	-	1000
4	0.96	491.7

$\eta_T = 50.85$ [%]	(10)
$w = 206.5$ [kJ/kg]	(10)

$$1-2 \quad T_{2s} = T_1 (\pi)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 293 (12)^{0.4/1.4} = 595.9 = T_2$$

$$w_c = c_p (T_2 - T_1) = 1.005 (595.9 - 293) = 304.4 \text{ kJ/kg}$$

$$2-3 \quad q_{dov} = c_p (T_3 - T_2) = 1.005 (1000 - 595.9) = 406.1 \text{ kJ/kg}$$

$$3-4 \quad T_{4s} = T_3 \left(\frac{1}{\pi}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 1000 \left(\frac{1}{12}\right)^{0.4/1.4} = 491.7 \text{ K} = T_4$$

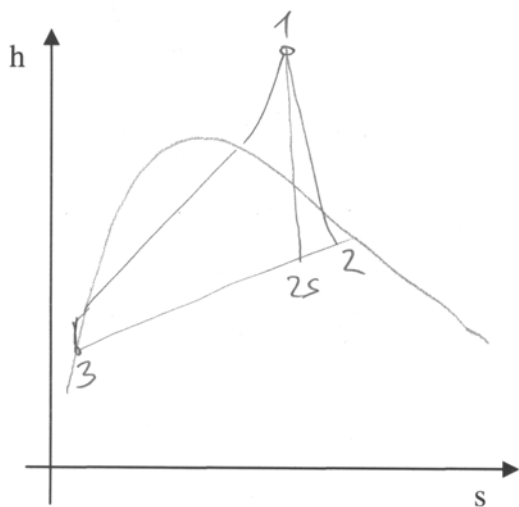
$$w_T = c_p (T_3 - T_4) = 1.005 (-491.7 + 1000) = 510.9 \text{ kJ/kg}$$

$$w = w_T - w_c = 206.5 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{dov} = 1.005 (1000 - 595.9) = 406.1$$

$$\eta = \frac{w}{q_{dov}} = 0.5085$$

2. (35 %) V Termoelektrarni je stanje pare pred turbino 520°C , 120 bar in pretoka 550 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 zgore za 20 minutno sesanje po stanovanju (50 m^2) z 1000 W sesalcem?



	T[°C]	p[bar]	h[kJ/kg]	s[kJ/kgK]
1	520	120	3402	6.558
2s	20	0.02337	1919	-
2	-	-	2142	xxxxxxx
3	20	-	83.86	0.2963

$\eta_T = 37.52$ [%]
$x_2 =$ [%]
$m = 0.2830$ [kg]

15

10

$$x_{2s} = \frac{6.558 - 0.2963}{8.668 - -} = 0.7480$$

$$h_{2s} = 83.86 + 0.7480(7538 - 83.86) = 1919$$

$$h_2 = 3402 - 0.85(3402 - 1919) = 2142$$

$$w_T = h_1 - h_2 = 1260$$

$$w_c = v_3 (p_1 - p_3) / \eta_c = 0.001002(120 - 0.02337) \cdot 10^5 / 0.80 = 15.03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w = w_T - w_c = 1245 \text{ kJ/kg}$$

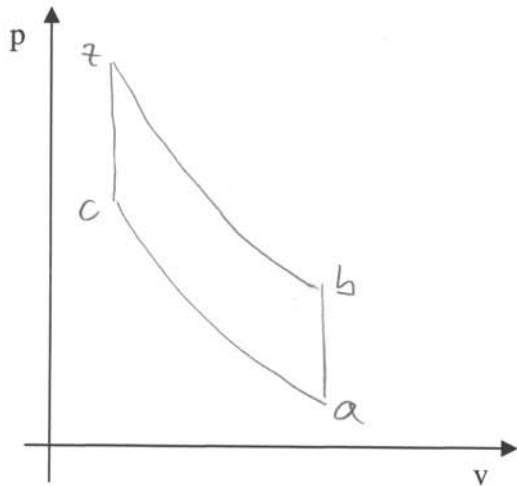
$$q_{\text{dov}} = h_1 - h_3 = 3402 - 83.86 = 3318$$

$$\eta_T = \frac{w}{q_{\text{dov}}} = \frac{1245}{3318} = 0.3752$$

$$\text{Sevalec } w = P \cdot t = 1000\text{ W} \cdot (20 \cdot 60\text{ s}) = 1200 \text{ kJ}$$

$$m = \frac{w}{\eta \cdot q_{\text{dov}}} = \frac{1200 \text{ kJ}}{0.3752 \cdot 3318 \text{ kJ}} = 0.2830$$

3 (35%) Izračunajte termični izkoristek in moč štiriktaktnega Otto motorja pri 4.000 min^{-1} , če ima gibno prostornino 1400 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 41 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	132.3	4610
b	5.268	1835

$\eta_T = 60,18 \text{ [%]}$
 $P = 51,50 \text{ [kW]}$

15
5

a-c
 $p_c = p_a \left(\frac{v_a}{v_c} \right)^{\kappa} = 0,89 \cdot 10^{1,4} = 22,36 \text{ b}$

$n_a = \frac{R T_a}{p_a} = 0,2997 \quad n_c = n_a / 10 = 0,02997$

c-z
 $T_c = 310 \left(\frac{22,36}{0,89} \right)^{0,4/1,4} = 778,7$

$g_{\text{dov}} = \frac{H_d}{l_o \cdot d} = \frac{41 \cdot 10^6}{1,05 \cdot 14,2} = 2,750 \text{ MJ/kg}$

$T_z = 778,7 + \frac{2,750 \cdot 10^6}{(1,005/1,4) \cdot 10^3} = 4610 \text{ K}$

$p_z = 287 \cdot 4610 / 0,02997 = 132,3 \text{ b}$

z-b
 $p_b = p_z \left(\frac{1}{10} \right)^{1,4} = 5,268$

$T_b = n_b \cdot p_b / R = 0,2997 \cdot 5,268 \cdot 10^5 / 287 = 1835$

$g_{\text{odv}} = c_v (T_b - T_a) = \frac{1,005}{1,4} (1835 - 310) = 1,095 \text{ MJ/kg}$

$w = g_{\text{dov}} - g_{\text{odv}} = 2,750 - 1,095 = 1,655$

$\eta = \frac{1,655}{2,750} = 0,6018$

$P_{\text{it}} = w / (n_a - n_c) = 1,655 \cdot 10^6 / (0,2997 - 0,02997) = 18,39 \text{ b}$

$P_e = 0,60 \cdot P_{\text{it}} = 11,04 \text{ b}$

$P_e = 11,04 \cdot 10^5 \cdot 1400 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4000}{60} \cdot \frac{2}{4} = 51,50 \text{ kW}$

Ime in priimek:
Št. indeksa:

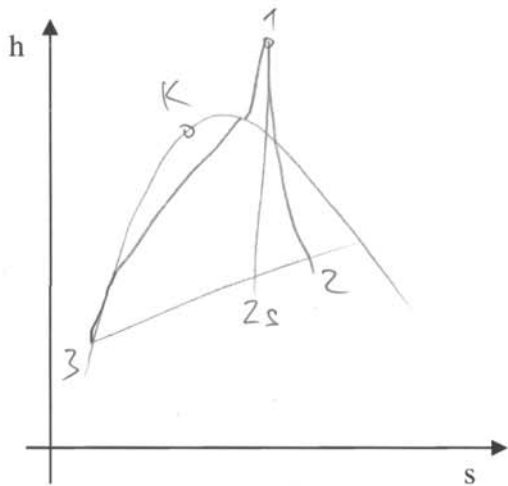
35	35	30

TOPLOTNI 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 parni kotel dovajamo vodo tlaka 160 bar. Pridobljeno paro segrevamo na 500°C in jo vodimo v turbino, kjer izentropno ekspandira z notranjim izkoristkom 0,82. Temperatura v kondenzatorju je 35°C. Izračunajte termodinamični izkoristek η_T ! Pri izračunu upoštevajte tudi delo črpalke z izkoristkom 80%. Koliko Trboveljskega premoga (kosovec) v termoelektrarni zgori za 24 urno gorenje 100 W žarnice?



	T[°C]	p[bar]	h[kJ/kg]	s[kJ/kgK]
1	500	160	3297	6,305
2s	35	0,05622	1934	-
2	-	-	2179	xxxxxxx
3	-	-	146,6	

$\eta_T = 34,86$ [%] (20)
 $m = 1,377$ [kg] (5)

$$x_{2s} = \frac{s_1 - s_1'}{s'' - s_1'} = \frac{6,305 - 0,5049}{8,354 - 0,5049} = 0,7330$$

$$h_{2s} = h_1' + x_{2s}(h'' - h_1') = 146,6 + 0,7330(2565 - 146,6) = 1934$$

$$h_2 = h_1 - \eta_T(h_1 - h_{2s}) = 3297 - 0,82(3297 - 1934) = 2179$$

$$w_T = h_1 - h_2 = 1118$$

$$w_c = v_3(p_1 - p_3) / \eta_c = 0,001006(160 - 0) \cdot \frac{10^5}{0,8} = 20,12 \text{ kJ/kg}$$

$$w = w_T - w_c = 1098$$

$$q_{dov} = h_1 - h_3 = 3150$$

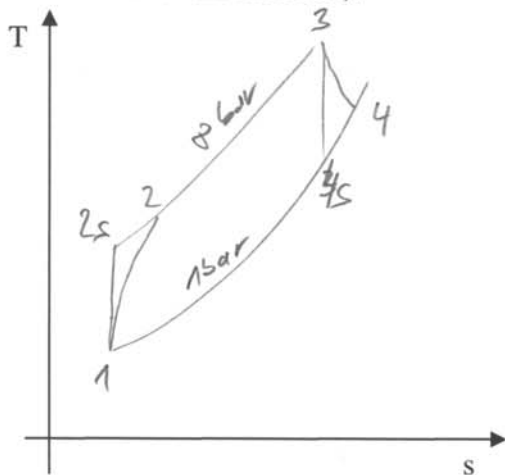
$$\eta_T = \frac{w}{q_{dov}} = 0,3486$$

žarnica delo $w = P \cdot t = 100 \cdot 24 \cdot 3600 = 8640 \text{ MJ}$

$$w = q_{dov} \cdot m \cdot \eta_T = m \cdot h_i \cdot \eta_T \rightarrow m = \frac{w}{h_i \cdot \eta_T} = \frac{8640}{18,000 \cdot 0,3486}$$

$$m = 1,377 \text{ kg}$$

2. (35%) Plinsko turbinski postroj ima tlačno kompresijsko razmerje 8. Kompresor na isti gredi s turbino in generatorjem sesa zrak tlaka 1 bar in temperature 293°K. V gorilniku izobarno segrejemo delovni medij do 1200 °K. Izračunaj termični izkoristek pogona, če predpostavimo izentropno kompresijo z izkoristkom 0.8 in izkoristek ekspanzije 0.9! Izračunaj še potrebni masni tok zraka m če želimo imeti moč 1 MW! 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.	293
2	8	530.2
3	8	1200
4	1	716.2

$\eta_T = 30,60 \text{ [%]}$ (20)
 $m = 5,333 \text{ [kg/s]}$ (5)

$$T_{2s} = 293 \cdot (8)^{0.4/1.4} = 530.8 \text{ K}$$

$$\eta_c = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \Rightarrow T_2 = T_1 + \frac{(T_{2s} - T_1)}{\eta_c} = 293 + \frac{(530.8 - 293)}{0.8} = 590.2$$

$$W_k = 1005 (590.2 - 293) = 298.7 \text{ kJ/kg}$$

$$g_{dob} = 1005 (1200 - 590.2) = 612.8 \text{ --}$$

$$T_{4s} = 1200 \left(\frac{1}{8}\right)^{0.4/1.4} = 662.4$$

$$\eta_T = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}} \Rightarrow T_4 = T_3 - \eta_T (T_3 - T_{4s}) = 716.2$$

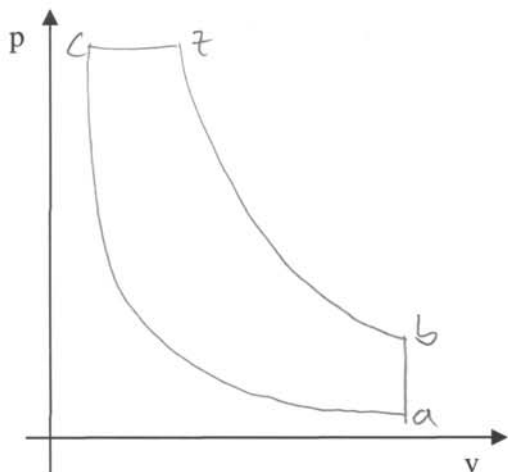
$$W_T = 1005 (1200 - 716.2) = 486.2$$

$$W_{dob} = W_T - W_k = 187.5$$

$$\eta_T = \frac{W_{dob}}{g_{dob}} = 0.3060$$

$$P = \dot{m} \cdot W \Rightarrow \dot{m} = \frac{P}{W} = \frac{1 \cdot 10^6 \text{ W}}{187.5 \cdot 10^3 \text{ J}} = 5.333 \text{ kg/s}$$

3. (30%) Izračunajte termični izkoristek in moč štiritaktnega diesel motorja pri 2.000 min^{-1} , če ima gibno prostornino 1800 cm^3 . Predpostavite, da je srednji efektivni tlak motorja 55% indiciranega tlaka, ki ga izračunate za idealni (diesel) krožni proces. Ekvivalentni razmernik zrak/gorivo 1.03; prostorninsko kompresijsko razmerje 19; stanje na začetku kompresije 0.89 bar, 310 K; stehiometrijsko število 14.8; spodnja kurilna vrednost goriva 41 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	54.91	1007
z	-11-	3683
b	5.471	1906

$\eta_T = 57.42 \text{ [%]}$ (10)
 $P = 26.90 \text{ [kW]}$ (5)

$pV = mRT$
 $pV = RT$
 $\eta = \frac{EP}{cH}$

$v_a = \frac{R \cdot T_a}{p_a} = \frac{287 \cdot 310}{0.89 \cdot 10^5} = 0.9997 \text{ m}^3/\text{kg}$

$v_c = v_a / \epsilon = \frac{0.9997}{19} = 0.05261$

$p_c = p_a \cdot \epsilon^\kappa = 0.89 \cdot 19^{1.4} = 54.91 \text{ bar}$

$T_c = \frac{p_c v_c}{R} = \frac{54.91 \cdot 10^5 \cdot 0.05261}{287} = 1007 \text{ K}$

$q_{dov} = \frac{H_i}{d \cdot \lambda_0 \cdot 14.8 \cdot 1.03} = \frac{41}{14.8 \cdot 1.03} = 2.690 \text{ MJ/kg}$

$T_z = T_c + q_{dov} / c_p = 1007 + \frac{2.690}{1.005} = 3683 \text{ K}$

$v_z = \frac{R \cdot T_z}{p_z} = \frac{287 \cdot 3683}{54.91 \cdot 10^5} = 0.1925 \text{ m}^3/\text{kg}$

$p_z v_z^\kappa = p_b v_b^\kappa \Rightarrow p_b = 54.91 \cdot \left(\frac{0.1925}{0.9997} \right)^{1.4} = 5.471$

$T_b = \frac{p_b v_b}{R} = \frac{5.471 \cdot 10^5 \cdot 0.9997}{287} = 1906 \text{ K}$

$q_{odv} = c_v (T_b - T_a) = \frac{1005}{1.4} (-11 - 310) = 1.146 \text{ MJ/kg}$

$w = q_{dov} - q_{odv} = 1.544 \text{ MJ/kg}$

$\eta_T = w / q_{dov} = 0.5742$

$p_{it} = w / (v_a - v_c) = \frac{1.544 \cdot 10^6}{(0.9997 - 0.05261)} = 16.30 \text{ bar}$

$p_e = 0.55 p_{it} = 8.966 \text{ bar}$

$P_e = p_{it} \cdot \eta \cdot V_h \cdot \frac{z}{\sigma} = 16.30 \cdot 0.5742 \cdot \frac{2000}{60} \cdot 1800 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2}{4} = 26.90 \text{ kW}$

3.(30%) Preračunaj in nariši trikotnike hitrosti za enakotlačno stopnjo aksialne turbine srednjega premera 1.0 m. Vstopni kot na rotor α_1 je 17° . Kota lopatic sta povezana z relacijo $\beta_1 = \beta_2$. Celotni entalpijski padec je 247 kJ/kg, razmerje obodne in vstopne hitrosti u/c_1 znaša 0.50. Hitrostni koeficient kanalov vodilnika je 0.94, gonilnih kanalov pa 0.96. Določi hitrostne kote, št. vrtljajev turbine in izkoristek na obodu! Izračunaj tudi izgube v vodilniku ζ_v , gonilniku ζ_g , iztočne izg. ζ_i !

$$c_1 = \varphi \sqrt{2 \cdot h_s} = 0.94 \sqrt{2 \cdot 247 \cdot 10^3} = 660.7 \text{ m/s}$$

$$u/c_1 = 0.5 \Rightarrow u = c_1 \cdot 0.5 = 330.4$$

$$u = \frac{\omega}{\pi \cdot D} = \frac{330.4}{\pi \cdot 1} = 105.2/\text{s} = 6310 \text{ /min}$$

$\beta_1 = 32.66$	[°]
$\alpha_2 = 102.5$	[°]
$\eta_u = 79.03$	[%]
$\zeta_v = 11.64$	[%]
$\zeta_g = 2.207$	[%]
$\zeta_i = 7.269$	[%]

6x5%

$$u = 6310 \text{ /min}$$

$$w_{1u} = c_1 \cos \alpha_1 - u = 660.7 \cdot \cos 17^\circ - 330.4 = 301.4$$

$$w_{1a} = c_1 \sin \alpha_1 = 193.2$$

$$\alpha_1 = \arctan\left(\frac{a}{u}\right) = 32.66^\circ$$

$$w_1 = \sqrt{w_{1u}^2 + w_{1a}^2} = \sqrt{301.4^2 + 193.2^2} = 358.0$$

$$w_2 = \eta w_1 = 0.96 \cdot 358.0 = 343.7$$

$$c_{2a} = w_{2a} = w_2 \sin \beta_2 = 343.7 \cdot \sin 37.66 = 185.1$$

$$w_{2u} = w_2 \cos \beta_2 = 343.7 \cdot \cos 37.66 = 289.4$$

$$c_{2u} = w_{2u} - u = 289.4 - 330.4 = -41.04 \text{ m/s}$$

$$c_2 = \sqrt{c_{2u}^2 + c_{2a}^2} = 189.5 \text{ m/s} \quad \alpha_2 = \arctan\left(\frac{c_{2a}}{c_{2u}}\right) = \arctan\left(\frac{185}{-41.04}\right) = 177.64^\circ$$

$$\alpha_2 = 180 - \alpha_2' = 102.5^\circ$$

$$h_u = u(w_{1u} + w_{2u}) =$$

$$= 330.4 (301.4 + 289.4) = 195.2 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_u = \frac{h_u}{h_s} = \frac{195.2}{247} = 79.03 \%$$

$$\zeta_v = \frac{c_1^2}{2} \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) = \frac{660.7^2}{2} \left(\frac{1}{0.94^2} - 1 \right) = 28.75 \text{ kJ/kg}$$

$$\zeta_v = \frac{\zeta_v}{h_s} = 11.64 \%$$

$$\zeta_g = \frac{w_1^2}{2} \left(\frac{1}{\eta^2} - 1 \right) = \frac{358^2}{2} \left(\frac{1}{0.96^2} - 1 \right) = 5.451$$

$$\zeta_g = 2.207 \%$$

$$\zeta_i = \frac{c_2^2}{2} = \frac{189.5^2}{2} = 17.96$$

$$\zeta_i = 7.269 \%$$

Ime in priimek:
Št. indeksa:

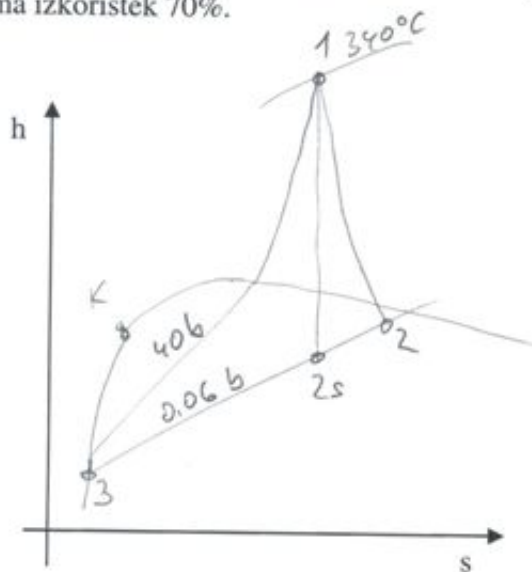
35	35	30

TOPLOTNI 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

$C_p = 1,005 \text{ kJ/kgK}$

1. (35 %) Na razpolago imamo 80 kg/s dimnih plinov temperature 920°C. Uporabimo jih za gretje pare v Rankinovem ciklusu, kjer se dimni plini ohladijo do 80°C. Stanje pare pred turbino je: 340°C, 40 bar. V turbini para ekspandira do tlaka 0.06 bara. Narišite h-s diagram, izračunajte karakteristične točke, termični izkoristek in moč turbine! Izentropni izkoristek turbine je 0.84. Upoštevajte delo črpalke, ki ima izkoristek 70%.



	T[°C]	p[bar]	h[kJ/kg]	s[kJ/kgK]
1	340	40	3070	6.546
2s	36.18	0.06	2016	-11-
2	-11-	-11-	2184	xxxxxxx
3	-11-	-11-	151.5	0.5209

$\eta_T = 30.16 \%$ (15)
 $P = 20.50 \text{ MW}$ (10)

$p = 0.06 \text{ bar}, h' = 151.5, h'' = 2568$
 $s' = 0.5209, s'' = 8.331$

$x_{2s} = \frac{6.546 - 0.5209}{8.331 - 0.5209} = 0.7714$

$h_{2s} = 151.5 + 0.7714(2568 - 151.5) = 2016$

$h_2 = 3070 - 0.84(3070 - 2016) = 2184$

$w_T = h_1 - h_2 = 886 \text{ kJ/kg}$ $q_{dovr} = h_1 - h_3 = 2919 \text{ kJ/kg}$

$w_c = m_3 \cdot (p_1 - p_3) / \eta_c = 0.001006(40 - 0.06) \cdot 10^5 / 0.7 = 5.740 \text{ kJ/kg}$

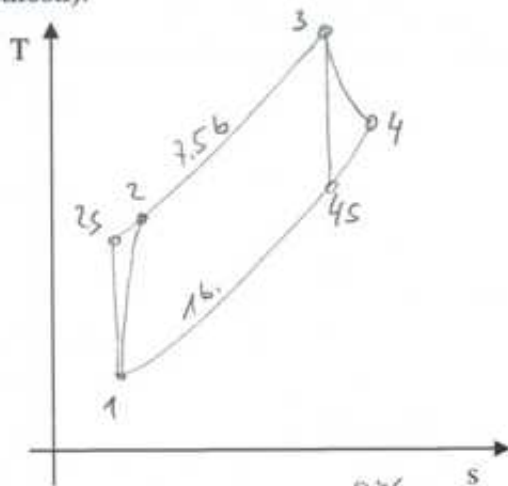
$\eta_T = w_T - w_c / q_{dovr} = 0.3016$

$Q_{dovr} = \dot{m} C_p \Delta T = 80 \cdot 1.005 \cdot (920 - 80) = 67.54 \text{ MW}$

$\dot{m}_{\text{PARE}} = Q_{dovr} / q_{dovr} = \frac{67.54 \text{ MW}}{2919 \text{ kJ}} = 23.14 \text{ kg/s}$

$P = \dot{m} \cdot w_T = 23.14 \cdot 886 \text{ kJ} = 20.50 \text{ MW}$

2. (35%) Plinsko turbinski postroj ima tlačno kompresijsko razmerje 7.5. Kompresor na isti gredi s turbino in el. generatorjem sesa zrak tlaka 1 bar in temperature 293°K. V gorilniku izobarno segrejemo delovni medij do 1000 °K. Izračunaj termični izkoristek pogona, če predpostavimo izentropno kompresijo in ekspanzijo z izkoristkom kompresorja 0.85 in turbine 0.91! Izračunaj še potrebni masni tok zraka m če želimo imeti moč el. generatorja 10 MW! Kakšen pretok kurilnega olja s spodnjo kurilno vrednostjo 41200 kJ/kg potrebujemo, če predpostavimo 80% izkoristek zgorevalnega procesa? 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.	293
2	7.5	561.3
3	=11-	1000
4	1.	601.7

$\eta_T = 29.62 \text{ [%]}$
$m_{\text{zraka}} = 76.75 \text{ [kg/s]}$
$m_{\text{olja}} = 1.027 \text{ [kg/s]}$

(15)
(5)
(5)

$$T_{2s} = 293 (7.5)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = 521.1 \text{ K}$$

$$T_2 = 293 + (521.1 - 293) / 0.85 = 561.3$$

$$w_k = 1.005 (561.3 - 293) = 269.7 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{\text{dov}} = 1.005 (1000 - 561.3) = 440.9 \text{ -''-}$$

$$T_{4s} = 1000 \left(\frac{1}{7.5}\right)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = 562.3$$

$$T_4 = 1000 - 0.91 (1000 - 562.3) = 601.7$$

$$w_T = 1.005 (1000 - 601.7) = 400.3 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{\text{dob}} = w_T - w_k = 130.6 \text{ -''-}$$

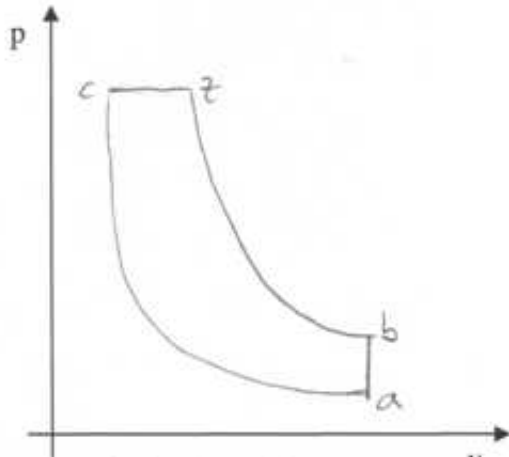
$$\eta_T = \frac{w_{\text{dob}}}{q_{\text{dov}}} = 0.2962$$

$$P = w_{\text{dob}} \cdot \dot{m}_{\text{zraka}} \Rightarrow \dot{m}_{\text{zraka}} = \frac{10 \text{ MW}}{130.3 \text{ kJ/kg}} = 76.75 \text{ kg/s}$$

$$Q_{\text{dov}} = \dot{m}_{\text{zraka}} \cdot q_{\text{dov}} = \dot{m}_{\text{olja}} \cdot H_i \cdot \eta_{\text{zg.}} = 76.75 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 440.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 33.84 \text{ MW}$$

$$\dot{m}_{\text{olja}} = \frac{33.84 \text{ MW}}{41.200 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 0.80} = 1.027 \text{ kg/s}$$

3. (30%) Izračunajte termični izkoristek in moč štiritačnega diesel motorja pri 2.000 min^{-1} , če ima gibno prostornino 3000 cm^3 . Predpostavite, da je srednji efektivni tlak motorja 65% indiciranega tlaka, ki ga izračunate za idealni (diesel) krožni proces. Ekvivalentni razmernik zrak/gorivo 1.05; prostorninsko kompresijsko razmerje 17; stanje na začetku kompresije 1.2 bar, 340 K; stehiometrijsko število 14.8; spodnja kurilna vrednost goriva 41.9 MJ/kg. Podatki za delovni medij so: $R=287 \text{ J/kgK}$, $c_p=1005 \text{ J/kgK}$, $\kappa=1.4$. Kolikšen pretok goriva m bi potrebovali, če bi želeli imeti moč 10 MW, kot v 2. nalogi? Stanje okolice 1 bar in 293K.



	p[bar]	T[°K]
a	1.2	340
c	63.36	1056
z	-11-	3739
b	7.044	1996

$\eta_T = 55.30 \text{ [%]}$
$P = 63.99 \text{ [kW]}$
$m = 0.6568 \text{ [kg/s]}$

$p \cdot \kappa = R \cdot T$

$v_a = \frac{287 \cdot 340}{1.2 \cdot 10^5} = 0.8132 \text{ m}^3/\text{kg}$ $v_c = v_a/17 = 0.04783$

$p_c = 1.2 (17)^{1.4} = 63.36 \text{ bar}$

$T_c = 340 (17)^{0.4} = 1056 \text{ K}$

$q_{dov} = \frac{41.9 \text{ MJ/kg}}{14.8 \times 1.05} = 2.696 \text{ MJ/kg} = c_p (T_z - T_c)$

$T_z = T_c + \frac{q_{dov}}{c_p} = 1056 + \frac{2.696 \cdot 10^3}{1.005} = 3739 \text{ K}$

$v_z = \frac{287 \cdot 3739}{63.36 \cdot 10^5} = 0.1693 \text{ m}^3/\text{kg}$

$p_b v_b^\kappa = p_z v_z^\kappa \Rightarrow p_b = 63.36 \left(\frac{0.1693}{0.8132} \right)^{1.4} = 7.044 \text{ bar}$

$T_b = T_z \left(\frac{v_z}{v_b} \right)^{0.4} = 1996 \text{ K}$

$q_{odv} = \frac{1.005 (1996 - 340)}{1.4} = 1.189 \text{ MJ/kg}$ $\eta_T = \frac{1.507}{2.696} = 0.5530$

$w = q_{dov} - q_{odv} = 1.507 \text{ MJ/kg}$

$p_{it} = w / (v_a - v_c) = 12.80 \text{ bar}$ $p_e = 0.65 \cdot p_i = 12.80 \text{ bar}$

$P = 12.80 \cdot 10^5 \cdot 3000 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2000}{60} \cdot \frac{2}{4} = 63.99 \text{ kW}$

$\eta_e = 0.65 \cdot \eta_T = 0.65 \cdot 0.5530 = 0.3634$

$\text{Delo} = P \cdot t = \eta_e \cdot q_{dov} = \eta_e \cdot H_i \cdot m \Rightarrow \dot{m} = \frac{P}{\eta_e \cdot H_i} = \frac{10 \cdot 10^6 \text{ W/s}}{0.3634 \cdot 41.9 \cdot 10^6 \text{ J/kg}} = 0.6568 \text{ kg/s}$

Ime in priimek:

Št. indeksa:

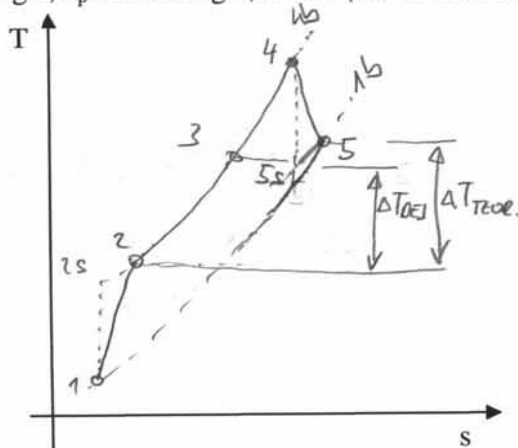
35	35	30

TOPLOTNI 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 računске 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%) Plinsko turbinski postroj (PTP) je sestavljen iz kompresorja in turbine na isti gredi. Vstopno stanje zraka je 20 °C in 0.86 bara. Stopnja tlačne kompresije (p_2/p_1) znaša 4. Za kompresorjem je izvedeno regenerativno gretje 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 $R=287 \text{ J/kgK}$, $c_p=1005 \text{ J/kgK}$, $\kappa=1.4$ (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
 $\eta_T = 47.17 \text{ [%]}$

Brez regeneracije
 $\eta_T = 26.45 \text{ [%]}$

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

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

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

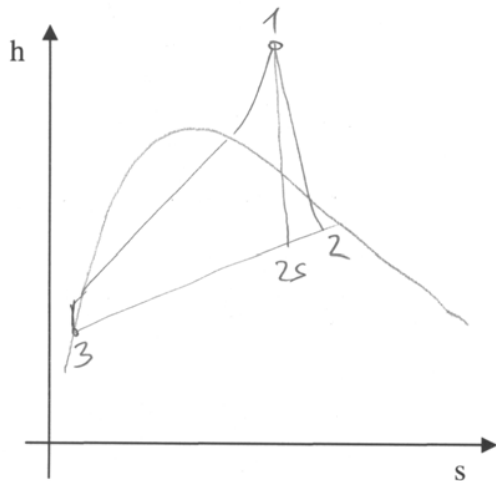
$$\text{Z REG: } q_{dov} = c_p (T_4 - T_3) = 1.005 (1300 - 824.1) = 478.3 \text{ kJ/kg}$$

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

$$\text{BREZ REG: } q_{dov} = c_p (T_4 - T_2) = 1.005 (1300 - 451.2) = 853.0 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = W / q_{dov} = 225.6 / 853.0 = 0.2645$$

2. (35%) 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	xxxxxxxx

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

15

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

5

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

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

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

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

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

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

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

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

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

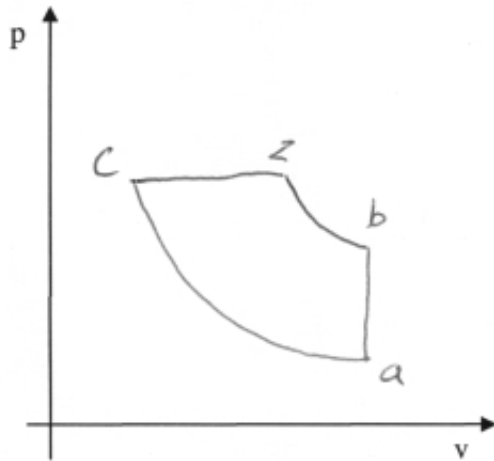
$$w_T = h_1 - h_2 = 3410 - 2239 = 1171 \text{ kJ/kg}$$

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

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

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

3. (30%) Izračunajte termični izkoristek in moč štiritaktnega diesel motorja pri 3.000 min^{-1} , če ima gibno prostornino 3000 cm^3 . Predpostavite, da je srednji efektivni tlak motorja 50% indiciranega tlaka, ki ga izračunate za idealni (diesel) krožni proces. Ekvivalentni razmernik zrak/gorivo 1.05; prostorninsko kompresijsko razmerje 10; stanje na začetku kompresije 0.87 bar, 273 K; stehiometrijsko število 13.5; spodnja kurilna vrednost goriva 44 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	0.87	273
c	21,85	685,7
z	21,85	3774,3
b	9,49	2974

$\eta_T = 37,5\%$
 $P = 53,895 \text{ [kW]}$

$$v_a = \frac{R \cdot T_a}{p_a \cdot 10^5} = \frac{287 \cdot 273}{0,87 \cdot 10^5} = 0,9 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v_c = \frac{v_a}{\epsilon} = 0,09 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$p_c = p_a \left(\frac{v_a}{v_c}\right)^\kappa = 0,87 \cdot (10)^{1,4} = 21,85$$

$$T_c = T_a \left(\frac{v_a}{v_c}\right)^{\kappa-1} = 273 \cdot (10)^{0,4} = 685,7 \text{ K}$$

$$p_b = p_c \left(\frac{v_c}{v_b}\right)^\kappa = 21,85 \cdot \left(\frac{0,496}{0,9}\right)^{1,4} = 9,49 \text{ bar}$$

$$v_z = \frac{R \cdot T_z}{p} = \frac{287 \cdot 3774,3}{21,85 \cdot 10^5} = 0,496 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$p_c = 50\%$$

$$H_i = 44 \text{ MJ/kg}$$

$$\lambda = 13,5$$

$$\lambda = 1,05$$

$$\epsilon = 10 = \frac{v_a}{v_c}$$

$$V_H = 3000 \text{ cm}^3$$

$$q_{dov} = \frac{H_i}{\lambda \cdot \lambda} = \frac{44}{13,5 \cdot 1,05} = 3,104 \text{ MJ/kg}$$

$$T_b = T_z \cdot \left(\frac{v_z}{v_b}\right)^{\kappa-1}$$

$$T_b = 3774,3 \cdot \left(\frac{0,496}{0,9}\right)^{0,4} = 2974 \text{ K}$$

$$q_{dov} = c_p (T_z - T_c) \Rightarrow T_z = \frac{q_{dov}}{c_p} + T_c =$$

$$T_z = \frac{3,104}{1,005} + 685,7 = 3774,3 \text{ K}$$

$$q_{odv} = c_v \cdot (T_b - T_a) =$$

$$c_v = \frac{1005}{1,4} = 717,8 \text{ J/kgK}$$

$$q_{odv} = 717,8 \cdot (2974 - 273) = 1939,8 \text{ kJ/kg}$$

$$W = q_{dov} - q_{odv} = 3,104 - 1939,8 = 1164,2 \text{ kJ/kg}$$

$$W = p \cdot i \cdot (v_a - v_c) \Rightarrow p \cdot i = \frac{W}{v_a - v_c}$$

$$p \cdot i = \frac{1164,2}{0,9 - 0,09} = 14,32 \text{ bar}$$

$$p_c = p \cdot i \cdot 0,5 = 7,186 \text{ bar}$$

$$\eta_T = \frac{W}{q_{dov}} = \frac{1164,2}{3,104} = 0,375 \Rightarrow 37,5\%$$

$$P_c = p_c \cdot V_H \cdot n = 7,186 \cdot 10^5 \cdot 0,9 \cdot \frac{3000}{60} \cdot \frac{1}{4} = 53895 \text{ W} = 53,895 \text{ kW}$$

3.(30%) Preračunaj in nariši trikotnike hitrosti za enakotlačno stopnjo aksialne turbine. Kolikšen je srednji premer turbine, če znaša razmerje obodne in vstopne hitrosti u/c_1 optimalnih 0.50 in zahtevamo vrtilno hitrost turbine 3000 vrt/min. Ostali podatki so: vstopni kot na rotor α_1 je 15° , tlak pare na vstopu 12 b in 400°C , celotni entalpijski padec pare 147 kJ/kg , hitrostni koeficient kanalov vodilnika 0.94, gonilnih kanalov pa 0.96. Vstopni in izstopni kot lopatic sta povezana z relacijo $\beta_2 = \beta_1 - 3^\circ$! Določi hitrostne kote, izkoristek na obodu ter iztočne izgube! Kolikšen bi bil optimalni izstopni kot lopatice?

$$c_1 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta h} = 0.94 \cdot \sqrt{2 \cdot 147 \cdot 10^3} = 509.7 \text{ m/s}$$

$$u = c_1 \cdot 0.50 = 254.8 = \frac{2\pi n}{60} \cdot D$$

$$D = \frac{u \cdot 60}{2\pi n} = 0.8112 \text{ m}$$

$D = 0.8112 \text{ m}$
$c_2 = 116.3 \text{ m/s}$
$\alpha_2 = 93.91^\circ$
$\eta = 81.80 \%$
$\zeta_i = 4.831 \%$
$\beta_{\text{optim}} =$

$$w_{1u} = c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u = 509.7 \cdot \cos 15 - 254.8 = 237.5$$

$$w_{1a} = c_1 \sin \alpha_1 = 131.9$$

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{a}{u}\right) = 29.05^\circ \quad w_1 = \sqrt{a^2 + u^2} = 271.7$$

$$\beta_2 = 26.05^\circ$$

$$w_2 = 0.96 \cdot w_1 = 260.8, \quad w_{2u} = w_2 \cos \beta_2 = 234.3$$

$$c_{2u} = w_2 \cos \beta_2 - u = 260.8 \cdot \cos 26.05 - 254.8 = -20 \text{ m/s}$$

$$c_{2a} = w_2 \sin \beta_2 = 114.5$$

$$c_2 = \sqrt{a^2 + u^2} = 116.3$$

ker $c_2 < 0$:

$$\alpha_2 = \arctan\left(\frac{a}{u}\right) = \arctan\left(\frac{114.5}{-20}\right) = 80.09^\circ; \quad \alpha_2 = 180 - \alpha_2 = 99.91^\circ$$

$$h_u = u(w_{1u} + w_{2u}) = 254.8(237.5 + 234.3) = 120.2 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_M = \frac{120.2}{147} = 81.80$$

$$\zeta_i = \frac{c_2^2}{2} = \frac{116.3^2}{2} = 6.763 \text{ kJ/kg}$$

$$\zeta_i = \frac{\zeta_i}{h} = \frac{6.763}{147} = 4.831 \%$$

β_{optim} je, kadar je $c_{2u} = 0$ (oz. $\alpha_2 = 90^\circ$)

$$0 = w_2 \cos \beta_{\text{opt}} - u \Rightarrow \cos \beta_{\text{opt}} = \frac{u}{w_2} = \frac{254.8}{260.8} \Rightarrow \beta_{\text{opt}} = 12.3^\circ$$