

05. 06. '08.

# **ENERGIJSKE TEHNOLOGIJE**

dodatni zadaci – prof. Mikulicic

by: crni ovac & quartz

- 1) Spremnik sadrži 3.12 kmol dusika, 0.84 kmol kisika i 0.04 kmol argona. Odredi kilomolske udjele konstituenata, molekularnu masu smjese i masene udjele konstituenata.

Rjesenje:

$$N = 3.12 + 0.84 + 0.04 = 4 \text{ kmol}$$

$$\text{molarna masa smjese: } M = 0.78 \cdot 28 + 0.21 \cdot 32 + 0.01 \cdot 40 = 28.96$$

$$\text{masa smjese: } m = 3.12 \cdot 28 + 0.84 \cdot 32 + 0.04 \cdot 40 = 115.84 \text{ kg}$$

(ovih 28, 32 i 40 se očitavaju iz PSE)

maseni udjeli u smjesi:

$$w_{N_2} = 3.12 \cdot \frac{28}{115.8} = 0.754$$

$$w_{Ar} = 0.04 \cdot \frac{40}{115.8} = 0.0138$$

$$w_{O_2} = 0.84 \cdot \frac{32}{115.8} = 0.232$$

- 2) 325 W toplinska je snaga toplinske energije koja se dovodi vodi sto isparuje. Odredi kolicinu vode koja se u 1 s pretvara u paru. Voda je izložena stalnom tlaku okolice 1 bar te je stoga temp. isparavanja 100 °C. Latentna je toplota isparavanja vode 2257.93 kJ/kg

$$dQ = dU + p \cdot dV = dH - v \cdot dp = dH = h'' \cdot dm$$

$$\frac{dQ}{dt} = h'' \cdot \frac{dm}{dt} \rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{h''} = 0.144 \frac{g}{s}$$

(za ovaj je naglaseno da je pretezak)

- 3) Pretpostavi da automobil troši dnevno 5 l benzina. Neka je gustoca benzina 0.78 kg/l, a 44000 kJ/kg toplinske energije oslobadja se se izgaranjem 1 l benzina. Pretpostavi dalje da je moguće ostvariti pogon automobila pomocu U-235. Raspolaze li se s 0.1 kg U-235, nakon koliko dana ce trebati auto trebati opskrbiti s novih 0.1 kg U-235, rabi li se na opisani nacin? Raspadom jedne jezgre oslobadja se 200 MeV toplinske energije.

Rjesenje:

masa benzina koja dnevno izgori u automobilu:  $m_{ben} = \rho \cdot V = 3.75 kg / dan$

dnevno potrebna energija za korištenje automobila:

$$Energija = m_{ben} \cdot Q = 3.75 \cdot 44000 = 165000 kJ / dan$$

u 0.1 kg U-235 ima:

$$N_{U-235} : m = N_A : A_{U-235}$$

$$N_{U-235} = \frac{m \cdot N_A}{235} = 2.56 \times 10^{23}$$

toplinska energija oslobodjena fisijom svih jezgara U-235 →

$$2.56 \times 10^{23} \cdot 200 MeV \cdot 1.6 \times 10^{-13} = 8.2 \times 10^9 kJ$$

broj dana voznje automobilom:

$$B_{dana} = \frac{8.2 \times 10^9 kJ}{165000 kJ / dan} = 49696.79 dana$$

- 4) 1 kg idealnog plina (287 J/kgK,  $\kappa = 1.4$ ) ekspandira izentropski u zatvorenom sustavu od 1 Mpa, 327 °C do 100 kPa. Tlak je okolice 100 kPa, a temperatura 27 °C. Koliki je korisni rad obavio plin?

$$T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 311 K$$

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{p_1} = 0.1722 m^3 / kg$$

$$v_2 = \frac{R \cdot T_2}{p_2} = 0.8926 m^3 / kg$$

$$w_{12} = \frac{R \cdot (T_1 - T_2)}{\kappa - 1} = 207 kJ / kg$$

$$w_{ok} = p_{ok} \cdot (v_2 - v_1)$$

$$w_{kor} = w_{12} - w_{ok}$$

- 5) Spremnik obujma 1 m<sup>3</sup> sadrži idealni plin (287 J/kgK,  $\kappa = 1.4$ ) tlaka 1 Mpa i temperature 327 °C. Ukoliko je tlak okolice 100 kPa, a temperatura 300 K koliki je maksimalan rad sto moze obaviti plin?

$$w_{max} = eks = c_v (T - T_{ok}) + p_{ok} (v - v_{ok}) - T_{ok} \left[ c_v \cdot \ln \frac{T}{T_{ok}} + R \cdot \ln \frac{V}{V_{ok}} \right]$$

$$m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = 5.81 kg$$

$$v = \frac{V}{m} = 0.172 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_{ok} = R \cdot \frac{T_{ok}}{p_{ok}} = 0.861 \frac{m^3}{kg}$$

$$w_{max} = 157 \frac{kJ}{kg}$$

$$W_{max} = m \cdot w_{max} = 912. nesto$$

- 6) Tlak je pare na ulazu u turbinu 3 Mpa, temperatura 350 °C, a brzina 15 m/s. Kolika je specifična eksergija pare? Tlak je okolice 100 kPa, a temperatura 20 °C. Iz parnih tablica je očitano;  $h=3117.55$  kJ/kg,  $s=6.75$  kJ/kg,  $h_{ok}=83.95$  kJ/kg i  $s_{ok}=0.296$  kJ/kgK.

$$w_{max} = eks = (h - h_{ok}) - T_{ok} \cdot (s - s_{ok}) + \frac{c^2}{2} = 1254.11 \frac{kJ}{kg}$$

- 7) 1 kg idealnog plina ( $287 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa = 1.4$ ) tlaka 100 kPa, temperature  $27^\circ\text{C}$ , komprimira se adijabatski na tlak 900 kPa zagrijavajući se pritom na temperaturu  $327^\circ\text{C}$ . Koliki je gubitak mehanickog rada uzrokovan takvim procesom?

$$w_g = T_{ok} \cdot \delta s_{AS}$$

$$\delta s_{AS} = \delta s_S + \delta s_{ok}$$

$$w_{12} = u_2 - u_1; (q_{12} = 0; \delta s_{ok} = 0)$$

$$v_1 = R \cdot \frac{T_1}{p_1} = 0.861 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v_2 = R \cdot \frac{T_2}{p_2} = 0.1914 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$w_g = T_{ok} \cdot \left[ c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} \right] = 19.68 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

- 8) Tlak je pare na ulazu u turbinu 3 Mpa, a temp. 400 °C. Na izlazu iz turbine tlak je pare 50 kPa, a temp. 100 °C. Ako je snaga turbine 2 MW, odredi:
- izentropski (idealni) unutrašnji stupanj djelovanja turbine
  - maseni protok pare kroz turbinu

Proces pare u turbini smatraj jednodimenzionalnim i stacionarnim. Također se može zanemariti promjena kinetičke i potencijalne energije.

Iz parnih tablica su očitane ove vrijednosti:

$$h_1 = 3232.5084 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_1 = 6.9247 \frac{kJ}{kgK}$$

*realni proces :*

$$p_2 = 50 kPa$$

$$t_2 = 100^\circ C$$

$$h_{2R} = 2682.5677 \frac{kJ}{kg}$$

*idealni proces :*

$$p_2 = 50 kPa$$

$$h_2' = 340.5661 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_2'' = 2645.9959 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_2' = 1.0912 \frac{kJ}{kgK}$$

$$s_2'' = 7.5948 \frac{kJ}{kgK}$$

a) sadržaj pare na izlazu iz turbine:

$$x_2 = \frac{s_2' - s_2''}{s_2' - s_2} = 0.897$$

$$h_{2i} = h_2' + x_2 \cdot (h_2'' - h_2') = 2408.54 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta_{ti} = \frac{h_1 - h_{2r}}{h_1 - h_{2i}} = 0.6673$$

$$\dot{m} \cdot h_1 = \dot{W}_{tr} + \dot{m} \cdot h_{2r}$$

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_{2r})$$

$$b) 2 MW \cdot \frac{1000 kJ}{1 MW} = \dot{m} \cdot (3232.5084 - 2682.5677) \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{m} = 3.64 \frac{kg}{s}$$

- 9) Odredi snagu automobilskog motora ako se na osovini motora primjenjuje konstantan moment jednak 200 Nm, a osovina rotira s 4000 okretaja u minuti.

Rjesenje:

Mehanicki rad se cesto osigurava pomocu osovine, gdje je primjenjeni moment najcesece konstantan, pa dakle i primjenjena sila. Rad obavljen za n okretaja se odredjuje:

$$M = F \cdot r$$

- sila F djeluje na putu s koji je povezan s r:  $s = (2 \cdot \Pi \cdot r) \cdot n$ , pa je tehnicki rad, rad na osovini stroja jednak:

$$W_{t12} = F \cdot s = \left(\frac{M}{r}\right) \cdot (2 \cdot \Pi \cdot r \cdot n) = 2 \cdot \Pi \cdot n \cdot M [J]$$

- snaga prenesena osovinom jest tehnicki rad u jedinici vremena:

$$\dot{W}_{t12} = 2 \cdot \Pi \cdot \dot{n} \cdot M [W]$$

gdje je  $\dot{n}$  broj okretaja u jedinici vremena

- 10) Geotermalna elektrana proizvodi elektricnu energiju koristeći vodu temperature 180 °C. Na izlazu iz elektrane temperatura je vode 85 °C, pa je zelja da se s tom vodom griju prostorije. Proracuni pokazuju da se radi o toplinskoj energiji jednako  $527.4 \times 10^6$  kWh u godini dana. Odredi kolicine NO<sub>x</sub> i CO<sub>2</sub> koje zbog toga nece biti emitirane u okolicu ako su prosjecne emitirane kolicine prilikom oslobadjanja 29.3 kWh toplinske energije jednake 0.0047 kg NO<sub>x</sub> i 6.4 kg CO<sub>2</sub>.

Rjesenje:

- kolicine plinova koje nece biti emitirane:

$$\frac{527.4 \times 10^6 \text{ kWh}}{29.3 \text{ kWh}} = 18 \times 10^6$$

$$NO_x = 0.0047 \cdot \frac{\text{kg}}{29.3 \text{ kWh}} \cdot 18 \times 10^6 \cdot \frac{29.3}{\text{god}} = 8.46 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{god}}$$

$$CO_2 = 1. \text{nesto} \times 10^{\text{nesto}}$$

(nismo stigli prepisati, ali radi se po istom principu)

- 11) Temperatura je vodene pare na ulazu u turbinu 923 K. U slučaju izentropskog procesa u turbini temperatura bi pare na izlazu iz turbine bila 303 K. Međutim, zbog nesavršenosti procesa u turbini, stvarna je temperatura pare na izlazu iz turbine 323 K. Porast je entropije zbog toga 205 kJ/kgK. Koliki je tehnički rad turbine? Zanimari promjenu potencijalne i kinetičke energije, a vodena para se smatra idealnim plinom.

$$w_t = (h_1 - h_3) = \delta h = c_p \cdot (T_1 - T_3) \rightarrow \text{realni proces}$$

$$ds = \frac{dh - v \cdot dp}{T} = c_p \cdot \frac{dT}{T} + 0; (p = \text{konst.})$$

$$\delta s = c_p \cdot \ln \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow c_p = \frac{\delta s}{\ln \frac{T_3}{T_2}}$$

$$w_t = \frac{\delta s}{\ln \frac{T_3}{T_2}} \cdot (T_1 - T_3) = 1924.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- 12) U kondenzatoru se ukapljuje 1500 kg pare na sat, temperature 100 °C, tlaka 1 bar, tako da se mijesa sa 14300 kg/h rashladne vode. Kondenzat nastao mijesanjem temperature je 75 °C. Kolika je temperatura rashladne vode?  $c_{\text{vode}} = 4.186 \text{ kJ/kg}$ , entalpija isparivanja  $h_{\text{sp}} = 2257 \text{ kJ/kg}$

$$Q_v = -Q_p$$

$$m_v \cdot c_v \cdot (t_{2v} - t_{1v}) = m_p \cdot [r + c_v \cdot (t_{p1} - t_{2v})]$$

$$14300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (75 - t_{1v}) \text{K} = 1500 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \left[ 2257 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} + 4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (100 - 75) \text{K} \right]$$

$$t_{1v} = 15.82^\circ \text{C}$$



13) Tlak je pare na ulazu u turbinu 1 Mpa, a temp. 300 °C. Izlazni je tlak pare 15 kPa, a izmjereni rad turbine 600 kJ/kg pare. Koliki je unutrašnji stupanj djelovanja turbine? Iz parnih tablica je očitano:

- za tlak 1 Mpa i temp. 300 °C:

$$h_1 = 3051.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_1 = 7.1229 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = s_{2p}$$

- za tlak 15 kPa:

$$s_2' = 0.7549 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s_2'' = 8.0085 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$h_2' = 22.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2'' = 2599.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Rjesenje:

$$s_1 = s_{2p} = 7.1229 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$x_2 = \frac{s_{2p} - s_2'}{s_2'' - s_2'} = 0.8779$$

$$h_{2p} = h_2' + x_2 \cdot (h_2'' - h_2') = 2309.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_p = h_1 - h_{2p} = 741.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_t = \frac{w_r}{w_p} = \frac{600}{741.8} = 0.809$$