

# Zadaci, travanj 2008.

---

Energijske tehnologije  
FER 2008.



## Zadatak 1

---

U kondenzatoru termoelektrane odvodi se u okolicu 2000 MWh toplinske energije u jednom satu. Ukoliko je temperatura rashladne vode (okolice)  $20^{\circ}\text{C}$ , a temperatura kondenzata (pare odnosno vode u kondenzatoru)  $27^{\circ}\text{C}$ , koliko se anergije iz termoelektrane odvodi u okolicu u jednom satu?

## Rješenje 1

---

anergija = energija - eksergija

$$\begin{aligned} anergija &= q_{odv} - q_{odv} \left(1 - \frac{T_{ok}}{T_{kond}}\right) = \\ &= q_{odv} \left(1 - 1 + \frac{T_{ok}}{T_{kond}}\right) = 2000 \cdot \frac{293,15}{300,15} = 1953,36 MWh \end{aligned}$$

## Zadatak 2

---

Adijabatski spremnik krutih stijenki podijeljen je adijabatskom pregradom u dva jednaka dijela,  $0,5 \text{ m}^3$  svaki.

U jednom je dijelu idealni plin ( $R=287,0 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa=1,4$ ), a drugi je zrakoprazan.

Podigne li se pregrada koliki će zbog toga biti gubitak mehaničkog rada po  $1 \text{ kg}$  plina?

Temperatura je okolice  $300\text{K}$ , a tlak  $0,1 \text{ MPa}$ .

Rj.

$$w_{\text{gub}} = T_{\text{ok}} \cdot \delta s_{\text{AS}} \text{ [J/kg]}$$

$$(\delta s_{\text{AS}} = \delta s_{\text{ukupno}} = \delta s_{\text{sustava}} + \delta s_{\text{okolice}})$$

## Rješenje 2

---

$$ds_{AS} = \frac{dq}{T} = \frac{du + pdv}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} = R \frac{dv}{v} (u = konst. \Rightarrow du = 0)$$

$$\delta s_{AS} = R \ln \frac{v_2}{v_1} = R \ln \frac{2v_1}{v_1} = R \ln 2$$

$$w_{gub} = T_{ok} \cdot R \ln 2 \text{ [J/kg]} = 300\text{K} \cdot 287,0 \text{ J/kgK} \cdot \ln 2 = 59.679,97 \text{ J/kgK}$$

## Zadatak 3

---

Odredite masu idealnog plina ( $R_\mu = 8314,3$  J/kmolK,  $\mu = 44$  kg/kmol) smještenog u spremnik volumena  $1\text{m}^3$ . Tlak je plina  $0,1$  MPa, a temperatura  $20^\circ\text{C}$ .

Rj.

$$pV = mRT$$

$$R = \frac{R_\mu}{\mu} = \frac{8314,3 \frac{\text{J}}{\text{kmolK}}}{44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = \frac{8314,3}{44} \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 188,96 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$m = \frac{pV}{RT} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1\text{m}^3}{188,96 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 293,15\text{K}} = 1,8\text{kg}$$

## Zadatak 4

---

Kilogram idealnog plina ( $R = 287 \text{ J/kgK}$  i  $\kappa = 1,4$ ), tlaka 1,5 bar, temperature  $200^\circ\text{C}$ , promatrajte kao zatvoreni mirujući sustav koji se, pri konstantnom tlaku, 1,5 bar, hladi do temperature  $100^\circ\text{C}$ .

Odredite mehanički rad zatvorenog sustava i toplinsku energiju koju pritom sustav izmjenjuje s okolicom tlaka 1 bar i temperature  $20^\circ\text{C}$ .

## Rješenje 4

---

$$w_{12} = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1) = 0,287 \cdot 100 = 28,7 \text{ kJ} / \text{kg} = 28.700 \text{ J} / \text{kg}$$

$$\begin{aligned} q_{12} &= u_2 - u_1 + w_{12} = c_p (T_2 - T_1) = \frac{R \cdot \kappa}{\kappa - 1} (T_2 - T_1) \\ &= \frac{0,287 \cdot 1,4}{0,4} \cdot 100 = 100,45 \text{ kJ} / \text{kg} = 100.450 \text{ J} / \text{kg} \end{aligned}$$



## Zadatak 5

---

Idealni se Rankineov kružni proces provodi s pregrijanom parom tlaka 3 MPa, temperature 400 °C. Tlak je u kondenzatoru 50 kPa. Ako je snaga termoelektrane 1000 MW, kolika je snaga toplinske energije koja se dovodi u kružni proces? Računajte s radom pumpanja vode u kotao. Vodu smatrajte nestlačivom. Proces nacrtajte u  $h,s$  – dijagramu. Karakteristične su vrijednosti stanja kružnog procesa:

- za tlak 3 MPa i 400 °C:  $h = 3231,69 \text{ kJ/kg}$ ,  $s = 6,92 \text{ kJ/kgK}$ ;
- za tlak 50 kPa:  $v' = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $h'' = 2645 \text{ kJ/kg}$ ,  $h' = 340,5 \text{ kJ/kg}$ ,  $s' = 1.1 \text{ kJ/kgK}$ ,  $s'' = 7,59 \text{ kJ/kgK}$

## Rješenje 5

---

$$s_4 = s_4' + x_4(s_4'' - s_4') \Rightarrow$$

$$x_4 = \frac{s_4 - s_4'}{s_4'' - s_4'} = \frac{6,92 - 1,1}{7,59 - 1,1} = 0,897$$

$$h_4 = h_4' + x_4(h_4'' - h_4') = 340,5 + 0,897(2645 - 340,5) = 2407,6 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + v_1(p_2 - p_1) = 340,5 + 0,001(3000 - 50) = 343,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_{odv}|}{q_{dov}} = 1 - \frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} = 1 - \frac{2407,6 - 340,5}{3231,69 - 343,5} = 0,284 \Rightarrow$$

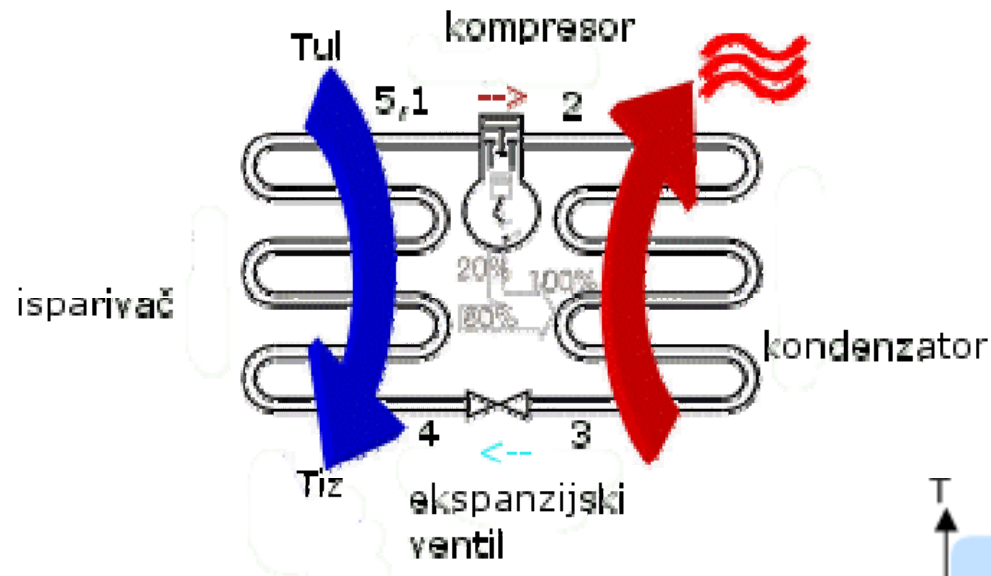
$$\dot{Q}_{dov} = \frac{\dot{W}}{\eta_t} = \frac{1000}{0,284} = 3521,1 \text{ MW}$$

## Zadatak 6

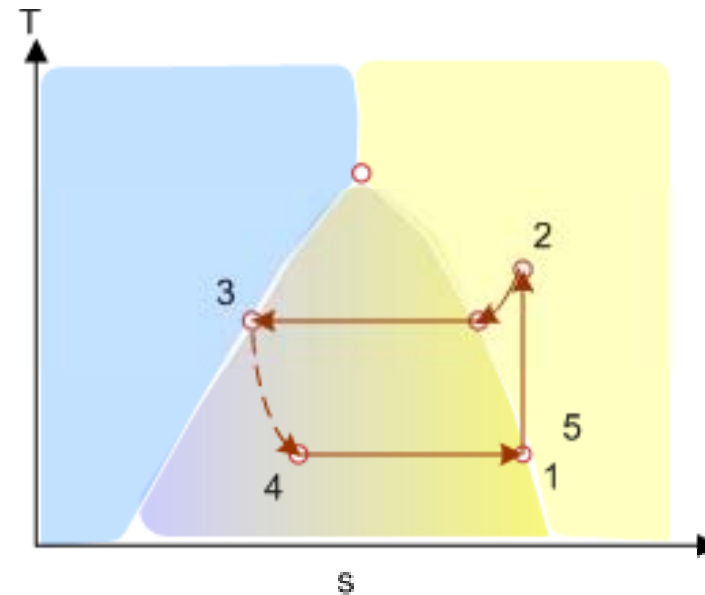
---

Toplinska pumpa upotrebljava podzemnu vodu temperature  $12^{\circ}\text{C}$  kao izvor energije. Izlazna je temperatura podzemne vode iz toplinske pumpe  $4^{\circ}\text{C}$ . Proces je izveden s freonom 12 između tlakova  $0,1\text{ MPa}$  i  $1,0\text{ MPa}$ . Koliki je minimalni protok podzemne vode nužan da bi toplinska pumpa dobavljala  $60\text{ MJ/h}$  toplinske energije? Koliko iznosi potrebna snaga kompresora? Poznate su vrijednosti entalpija za freon 12: ulaz u kompresor  $h_1 = 174,15\text{ kJ/kg}$ , ulaz u isparivač (evaporator)  $h_3 = h_4 = 76,26\text{ kJ/kg}$ , ulaz u kondenzator  $h_2 = 215\text{ kJ/kg}$ . Računajte sa specifičnim toplotom vode jednakom  $4186\text{ J/kgK}$ .

# Rješenje 6



Oznake procesa:  
1-2 kompresor  
2-3 kondenzator  
3-4 ekspanzijski  
    ventil  
4-1 isparivač



## Rješenje 6

---

$$g_{ul} = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$g_{iz} = 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_1 = 0,1 \text{ MPa}$$

$$p_2 = 1 \text{ MPa}$$

$$\dot{Q}_{dov} = -60 \text{ MJ/h} = -1,67 \cdot 10^4 \text{ W}$$

$$h_1 = 174,15 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 215 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 76,26 \text{ kJ/kg}$$

$$c_p = 4186 \text{ J/kgK}$$

---

$$\dot{Q}_{23}, P_{\text{komp}}, \dot{m}_v = ?$$

## Rješenje 6

---

Primjenom 1. GST za otvoreni sustav na kondenzator (proces 2-3):

$$q_{23} + h_2 = w_{23} + h_3 \quad (w_{23} = 0)$$

Množenjem izraza s masenim protokom freona dobiva se:

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}_F \cdot (h_3 - h_2) \equiv \dot{Q}_{dov}$$

Iz gornjeg izraza onda slijedi za maseni protok freona:

$$\dot{m}_F = \frac{\dot{Q}_{dov}}{h_3 - h_2} = \frac{-1,67 \cdot 10^4}{(76,26 - 215) \cdot 10^3} = 0,12 \text{ kg / s}$$

## Rješenje 6

---

Primjenom 1. GST za otvoreni sustav na kompresor (proces 1-2):

$$q_{12} + h_1 = w_{12} + h_2 \quad (q_{12} = 0)$$

Množenjem gornjeg izraza s masenim protokom freona dobiva se snaga kompresora kako slijedi:

$$\begin{aligned} P &= \dot{m}_F \cdot w_{12} = \dot{m}_F \cdot (h_1 - h_2) = \\ &= 0,12 \cdot (174,15 - 215) \cdot 10^3 = -4,90 \text{ kW} \end{aligned}$$

## Rješenje 6

---

1. GST za kontrolni volumen  $KV$  (isparivač je otvoreni sustav; proces 4-1):

$$Q_{KV} + \Sigma \dot{m}_u h_u = \Sigma \dot{m}_i h_i + W_{KV}$$

gdje su s  $u$  označene ulazne veličine, a s  $i$  izlazne veličine. Promatrano u jedinici vremena jednačba prelazi u oblik:

$$\dot{m}_F \cdot h_4 + \dot{m}_V \cdot h_{ul} = \dot{m}_F \cdot h_1 + \dot{m}_V \cdot h_{iz}$$



## Rješenje 6

---

Sređivanjem dobiva se za maseni protok tople vode:

$$\begin{aligned}\dot{m}_V &= \dot{m}_F \cdot \frac{h_1 - h_4}{h_{ul} - h_{iz}} = \dot{m}_F \cdot \frac{h_1 - h_4}{c_p \cdot (T_{ul} - T_{iz})} = \\ &= 0,12 \cdot \frac{(174,15 - 76,26) \cdot 10^3}{4186 \cdot 8} = 0,35 \text{ kg} / \text{s}\end{aligned}$$