

2. međuispit iz Energijskih tehnologija (17.V.2007.)

1. zadatak

Toplinska pumpa zagrijava prostor na 20°C prenošenjem toplinske energije iz tla temperature 6°C u prvom slučaju i 12°C u drugom slučaju. Izračunajte (pretpostavite da je proces toplinske pumpe Carnotov kružni proces):

- faktor preobrazbe u oba slučaja;
- omjer uloženog mehaničkog rada u prvom i drugom slučaju.

Zadano:

$$T_{dov} = 20^{\circ}\text{C} = 293,15 \text{ K}$$

$$T_{odv} = 6^{\circ}\text{C} = 279,15 \text{ K}$$

$$T'_{odv} = 12^{\circ}\text{C} = 285,15 \text{ K}$$

 $\varepsilon, \varepsilon', w/w' =$

Rj.

a)

$$\varepsilon = \frac{|q_{dov}|}{|w|} = \frac{T_{dov}}{T_{dov} - T_{odv}} = \frac{293,15}{293,15 - 279,15} = 20,94$$

$$\varepsilon' = \frac{|q_{dov}|}{|w'|} = \frac{T_{dov}}{T_{dov} - T'_{odv}} = \frac{293,15}{293,15 - 285,15} = 36,64$$

b)

$$\frac{w}{w'} = \frac{\frac{|q_{dov}|}{\varepsilon}}{\frac{|q_{dov}|}{\varepsilon'}} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{36,64}{20,94} = 1,75$$

2. zadatak

Geotermalna elektrana sa separiranjem pare nakon separatora ima maseni protok pare od 15 kg/s s entalpijom 2700 kJ/kg . Sadržaj pare na ulazu u separator pare iznosi $0,15$. Entalpija na izlazu iz turbine iznosi 2300 kJ/kg . Ukupna je mehaničko–električna učinkovitost $0,88$, a vlastita potrošnja elektrane 20% proizvedene električne energije. Potrebno je odrediti:

- električnu snagu na izlazu (pragu) elektrane;
- ukupni maseni protok fluida koji se uzima iz geotermalnog nalazišta.

Zadano:

$$\dot{m}_{pare} = 15 \text{ kg/s}$$

$$h_4 = 2700 \text{ kJ/kg}$$

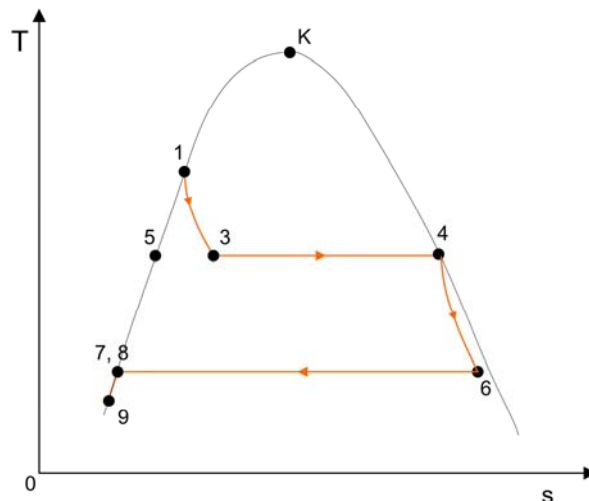
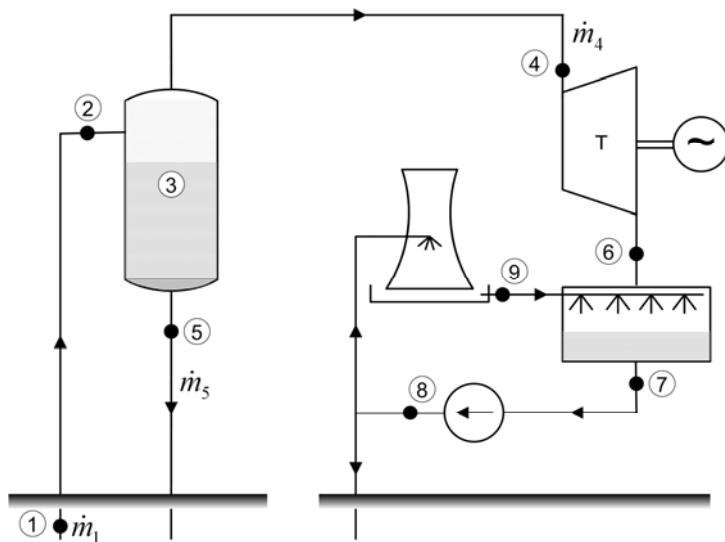
$$h_3 = 2300 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{T-SG} = 0,88$$

$$x = 0,15$$

 $P_{prag}, \dot{m}_1 = ?$

Rj.



a)

$$P_{el} = \dot{m}(h_4 - h_6)\eta_{T-SG} =$$

$$= 15 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (2700 - 2300) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,88 = 5,28 \text{ MW}$$

$$P_{prag} = P_{el} \cdot 0,8 = 4,224 \text{ MW}$$

b)

$$\dot{m}_{pare} = x \cdot \dot{m}_{MK} \Rightarrow \dot{m}_{MK} = \frac{\dot{m}_{pare}}{x} = \frac{15 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0,15} = 100 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Isti rezultat dobivamo rezonirajući ovako (slika):

$$\dot{m}_4 + \dot{m}_5 = \dot{m}_1 = x\dot{m}_1 + (1-x)\dot{m}_1 =$$

$$= 15 \frac{\text{kg}}{\text{s}} + 0,85\dot{m}_1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = \dot{m}_1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_1 = \frac{15}{(1-0,85)} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 100 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

3. zadatak

Za promatranu lokaciju protočne hidroelektrane (HE) vjerojatnosna krivulja trajanja protoka ima oblik $Q_{\text{vjerojatno}}(t) = 300 - 25t$ [m^3/s] (t u mjesecima). Istovremeno za promatranu godinu stvarno trajanje protoka opisuje izraz $Q_{\text{stvarno}}(t) = 252 - 21t$. Pod pretpostavkom konstantne aktivne visine 20 m i ukupnog stupanja djelovanja 85% potrebno je odrediti za HE:

- snagu uz instalirani protok jednak srednjem vjerojatnom protoku;
- vjerojatnu i stvarnu godišnju proizvodnju električne energije korištenjem instaliranog protoka jednakog srednjem vjerojatnom protoku;
- potrebni instalirani protok da bi faktor opterećenja iznosio 80% za zadanu vjerojatnosnu krivulju trajanja protoka.

Zadano:

$$Q_{\text{vjerojatno}}(t) = 300 - 25t \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$Q_{\text{stvarno}}(t) = 252 - 21t$$

$$H_n = 20 \text{ m}$$

$$\eta_{T-SG} = 0,80$$

$$Q_{v, sr}, Q_v(t_i), W_v, Q_s(t_i), W_s, Q_i = ?$$

Rj.

a)

- srednji vjerojatni protok

$$Q_{v,sr} = \frac{1}{12} \int_0^{12} (300 - 25t) dt = \frac{1}{12} \left(\left| 300t \right|_0^{12} - \frac{25}{2} \left| t^2 \right|_0^{12} \right) \\ = \frac{1}{12} \left(300 \cdot 12 - \frac{25}{2} \cdot 12^2 \right) = 150 \frac{m^3}{s}$$

$Q_i = Q_{v,sr} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ (instalirani protok jednak je srednjem vjerojatnom protoku)

$$P = 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot Q_i \cdot \eta = 9,81 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 150 \cdot 0,85 = 25,0 \text{ MW}$$

b)

- vjerojatno trajanje instaliranog protoka:

$$Q_v(t_i) = 300 - 25t_{i,v} \Rightarrow t_{i,v} = \frac{300 - Q_i}{25} = \\ = \frac{300 - 150}{25} = 6 \text{ mj.}$$

- vjerojatna godišnja proizvodnja:

$$W_v = 8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot \eta \cdot \frac{1}{12} \cdot \left[\int_0^{t_i} Q_i dt + \int_{t_i}^{12} (300 - 25t) dt \right] = \\ = 8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot 20 \cdot 0,85 \cdot \frac{1}{12} \cdot \left[\left| Q_i t \right|_0^{t_i} + \left| 300t \right|_{t_i}^{12} - \frac{25}{2} \left| t^2 \right|_{t_i}^{12} \right] = \\ = 8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot 20 \cdot 0,85 \cdot \frac{1}{12} (150 \cdot 6 + 300(12 - 6) - \frac{25}{2} (12^2 - 6^2)) = \\ = 164,4 \text{ GWh}$$

- stvarno trajanje instaliranog protoka:

$$Q_s(t_i) = 252 - 21t \equiv Q_{s,v} = 150 \frac{m^3}{s} \Rightarrow \\ \Rightarrow t_i = \frac{252 - 150}{21} = 4,86 \text{ mj}$$

- stvarna godišnja proizvodnja:

$$W_s = 8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot \eta \cdot \frac{1}{12} \cdot \left[\int_0^{t_i} Q_i dt + \int_{t_i}^{12} (252 - 21t) dt \right] = \\ = 8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot 20 \cdot 0,85 \cdot \frac{1}{12} \cdot \left[\left| Q_i t \right|_0^{t_i} + \left| 252t \right|_{t_i}^{12} - \frac{21}{2} \left| t^2 \right|_{t_i}^{12} \right] = \\ = 8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot 20 \cdot 0,85 \cdot \frac{1}{12} (150 \cdot 4,86 + 252(12 - 4,86) - \frac{21}{2} (12^2 - 4,86^2)) = \\ = 153,9 \text{ GWh}$$

c)

- faktor opterećenja i potrebni instalirani protok:

$$m = \frac{W_{v,god}}{8760 P_{\max}} = \frac{8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot Q_{sr}}{8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot Q_i} =$$

$$= \frac{Q_{sr}}{Q_i} \Rightarrow Q_{sr} = m \cdot Q_i$$

$$Q_{sr} = \frac{1}{12} \cdot \left[\int_0^{t_i} Q_i dt + \int_{t_i}^{12} (300 - 25t) dt \right] =$$

$$= \frac{1}{12} \left[Q_i t \Big|_0^{t_i} + \left[300t - \frac{25}{2} t^2 \right]_{t_i}^{12} \right] =$$

$$= \frac{1}{12} \left[Q_i \cdot t_i + 300(12 - t_i) - \frac{25}{2} (12^2 - t_i^2) \right] \equiv$$

$$\equiv \frac{1}{12} \left[Q_i \cdot t_i + \frac{Q_i (12 - t_i)}{2} \right] = \frac{Q_i}{12} \left(\frac{t_i}{2} + 6 \right)$$

- trajanje traženog instaliranog protoka:

$$Q_{sr} = \frac{Q_i}{12} \left(\frac{t_i}{2} + 6 \right) \Rightarrow \frac{Q_{sr}}{Q_i} = \frac{1}{12} \left(\frac{t_i}{2} + 6 \right) \equiv$$

$$\equiv m = 0,8 \Rightarrow t_i = 0,8 \cdot 24 - 12 = 7,2 \text{ mj}$$

- instalirani protok s obzirom na zahtijevani faktor opterećenja:

$$Q_i = Q_v(t_i) = 300 - 25t_i = 300 - 25 \cdot 7,2 = 120 \text{ m}^3/\text{s}$$

Do rezultata smo došli služeći se „grafičkim“ pristupom. Dakako, isti rezultat moramo dobiti služeći se analitičkom metodom:

$$Q_{sr} = \frac{1}{12} \cdot \left[\int_0^{t_i} Q_i dt + \int_{t_i}^{12} (300 - 25t) dt \right] =$$

$$= \frac{1}{12} \left[Q_i t \Big|_0^{t_i} + \left[300t - \frac{25}{2} t^2 \right]_{t_i}^{12} \right] =$$

$$= \frac{1}{12} \left[Q_i \cdot t_i + 300(12 - t_i) - \frac{25}{2} (12^2 - t_i^2) \right]$$

$$t_i = \frac{300 - Q_i}{25} \Rightarrow$$

$$Q_{sr} = \frac{1}{12} \left[Q_i \cdot \frac{300 - Q_i}{25} + 300 \left(12 - \frac{300 - Q_i}{25} \right) - \frac{25}{2} \left[12^2 - \left(\frac{300 - Q_i}{25} \right)^2 \right] \right] \equiv$$

$$\equiv m \cdot Q_i$$

$$\begin{aligned} & \frac{300Q_i - Q_i^2}{25} + 300 \cdot 12 - \frac{300^2 - 300Q_i}{25} - \frac{25}{2} \cdot 12^2 + \frac{25}{2} \cdot \frac{1}{25^2} (300^2 - 600Q_i + Q_i^2) = \\ & = 12Q_i - \frac{Q_i^2}{25} + 3600 - 3600 + 12Q_i - 1800 + \frac{1}{50} (Q_i^2 - 600Q_i + 90000) = \\ & = 24Q_i - \frac{Q_i^2}{25} - 1800 + \frac{Q_i^2}{50} - 12Q_i + 1800 = 12Q_i - \frac{Q_i^2}{50} = 12Q_i - 0,02Q_i^2 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{12} (12Q_i - 0,02Q_i^2) = 0,8Q_i \Rightarrow$$

$$12Q_i - 9,6Q_i - 0,02Q_i^2 = 0$$

$$2,4Q_i - 0,02Q_i^2 = 0 \Rightarrow Q_i(2,4 - 0,02Q_i) = 0$$

$$Q_i = 0;$$

$$Q_{i_2} = \frac{2,4}{0,02} = 120 \frac{m^3}{s}$$

4. zadatak

Za PWR nuklearnu elektranu (lakovodni reaktor s vodom pod tlakom), s dva rashladna kruga, poznati su ovi podaci.

Primarni krug: porast temperature vode u jezgri nuklearnog reaktora 37,5 K, gustoća vode na izlazu iz pumpe 750 kg/m³, volumni protok vode na izlazu iz pumpe 6,2 m³/s, porast tlaka u pumpi 609 kPa, specifična toplina vode 5,74 kJ/kgK.

Sekundarni krug: entalpija pojne vode parogenerators 9,4·10⁵ J/kg, entalpija zasićene pare na ulazu u turbinu 2,78·10⁶ J/kg.

Tercijarni krug: porast temperature riječne vode korištene za kondenzaciju pare 15 K, specifična toplina riječne vode 4,78 kJ/kgK.

Termički stupanj djelovanja nuklearne elektrane: 33%.

Potrebno je izračunati:

- toplinsku snagu jezgre i snagu koju pumpa predaje vodi u primarnom krugu nuklearne elektrane (računajte s konstantnom gustoćom vode);
- maseni protok riječne vode za kondenzaciju pare;
- masu urana obogaćenja 4% potrebnu za pogon reaktora na srednjem neutronsom toku od 3,0·10¹⁷ n/m²s (udarni presjek za fisiju je 582 barn, a energija oslobođena po fisiji 200 MeV).

Zadano:

$$\delta T_v = 37,5 \text{ K}$$

$$\rho_p = 750 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V} = 6,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\delta p_p = 609 \text{ kPa}$$

$$\eta = 0,33$$

$$\delta T_{RV} = 15 \text{ K}$$

$$c_{RV} = 4780 \text{ J/kgK}$$

$$e_{235} = 4\%$$

$$\Phi = 3,0 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2\text{s}$$

$$\sigma_f = 582 \text{ barn} = 582 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$E_f = 200 \text{ MeV} = 200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J/fisiji}$$

$$P_j, P_p, \dot{m}_{RV}, m(U) = ?$$

Rj.

a)

- toplinska snaga jezgre nuklearnog reaktora:

$$P_j = \dot{m}_v \cdot c_v \cdot \Delta T_v [MW]; \quad \dot{m}_v = ?$$

- maseni protok vode kroz jezgru nuklearnog reaktora odredit ćemo poznavajući karakteristike protoka vode kroz pumpu rashladnog kruga:

$$\rho_v = \frac{\dot{m}_p}{\dot{V}_p} = \frac{\frac{\dot{m}_v}{2}}{\dot{V}_p} \Rightarrow \dot{m}_v = 2 \cdot \rho_p \cdot \dot{V}_p =$$
$$= 2 \cdot 750 \frac{kg}{m^3} \cdot 6,2 \frac{m^3}{s} = 9300 \frac{kg}{s}$$

$$P_j = \dot{m}_v \cdot c_p \cdot \Delta T_v = 9300 \cdot 5,74 \cdot 37,5 =$$
$$= 2001,8 MW$$

- snaga koju pumpa predaje rashladnoj vodi:

$$P_p = \frac{\dot{m}_v}{2} \cdot v_v \cdot \Delta p = \frac{9300}{2} \cdot \frac{1}{750} \cdot 609 \cdot 10^3 =$$
$$= 3,78 MW$$

b)

- snaga toplinske energije predane sekundarnom krugu (u parogeneratoru):

$$P_{SK} = P_{PK} = P_j + 2P_p = 2001,8 + 2 \cdot 3,78 =$$
$$= 2009,36 MW$$

- snaga toplinske energije koja se iz kondenzatora odvodi u okolicu:

$$P_{kond} = (1 - \eta) \cdot P_{SK} = (1 - 0,33) \cdot 2009,36 =$$
$$= 1346,27 MW$$

- potrebiti maseni protok rashladne (riječne) vode kroz kondenzator:

$$P_{kond} = \dot{m}_{RV} \cdot c_{RV} \cdot \Delta T_{RV} \Rightarrow$$
$$\dot{m}_{RV} = \frac{P_{kond}}{c_{RV} \cdot \Delta T_{RV}} = \frac{1346,27 \cdot 10^6}{4780 \cdot 15} =$$
$$= 18776,43 \frac{kg}{s}$$

c)

$$P_j = 200 \text{ MeV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \frac{J}{\text{MeV}} \cdot N_{235} \cdot \Phi \cdot \sigma_f \Rightarrow$$

$$N_{235} = \frac{P_j}{200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot \Phi \cdot \sigma_f} =$$

$$= \frac{2001,8 \cdot 10^6}{200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 3 \cdot 10^{17} \cdot 582 \cdot 10^{-28}} = 3,58 \cdot 10^{27}$$

$$m_{235} = \frac{N_{235}}{N_A} \cdot M_{235} = \frac{3,58 \cdot 10^{27}}{6,022 \cdot 10^{26}} \cdot 235 =$$

$$= 1397,04 \text{ kg}$$

$$m_{235} = e \cdot m(U) \Rightarrow m(U) = \frac{m_{235}}{e} =$$

$$= \frac{1397,04}{0,04} = 34926 \text{ kg}$$

5. zadatak

Poznati su sljedeći podaci o dnevnom opterećenju elektroenergetskog sustava: maksimalno opterećenje 1100 MW, minimalno opterećenje traje 4 sata i iznosi 600 MW, faktor opterećenja 0,79167. Dnevna krivulja trajanja opterećenja sustava aproksimirana je s tri pravca uz pretpostavku $\alpha = \beta + 0,1$. U sustavu su raspoložive ove elektrane:

HE₁: P_{HE1n} = 200 MW; protočna

HE₂: P_{HE2n} = 200 MW; protočna

NE: P_{NE n} = 200 MW;

TE₁: P_{TE1n} = 350 MW; P_{TE1min} = 50 MW; c_{TE1} = 35 lp/kWh

TE₂: P_{TE2n} = 250 MW; P_{TE2min} = 50 MW; c_{TE2} = 30 lp/kWh

TE₃: P_{TE2n} = 200 MW; P_{TE3min} = 50 MW; c_{TE3} = 40 lp/kWh

- Odrediti iznose konstantne energije, varijabilne energije, te ukupne dnevno potrošene energije.
- Nacrtati krivulju trajanja opterećenja i doctrtati raspored rada elektrana.
- Koliko će sati TE₁ raditi na snazi većoj od tehničkog minimuma?

Zadano:

$$P_{\max} = 1100 \text{ MW}$$

$$T_{\min} = 4 \text{ h}$$

$$P_{\min} = 600 \text{ MW}$$

$$m = 0,79167$$

$$\alpha = \beta + 0,1$$

$$W, W_k, W_v, \alpha, \beta, t = t(P_{TE1} > P_{TE1, \min}) = ?$$

Rj.

a)

$$W_k = 24 \cdot P_{\min} = 24 \cdot 600 = 14400 \text{ MWh}$$

$$m = \frac{W_d}{24 \cdot P_{\max}} \Rightarrow$$

$$W_d = m \cdot 24 \cdot P_{\max} = \\ = 0,79167 \cdot 24 \cdot 1.100 = 20.900 \text{ MWh}$$

$$W_v = 20900 - 14400 = 6500 \text{ MWh}$$

b)

$$P_v = P_{\max} - P_{\min} = 1100 - 600 = 500 \text{ MW}$$

$$T_v = 24 - T_{\min} = 24 - 4 = 20 \text{ h}$$

$$\alpha + \beta = \frac{2W_v}{P_v \cdot T_v} = \frac{2 \cdot 6500}{500 \cdot 20} = 1,3$$

$$\alpha + \beta = 1,3$$

$$\alpha - \beta = 0,1$$

$$\Rightarrow \alpha = 0,7 \Rightarrow \beta = 0,6$$

T_L (slika)

$$x = \alpha T_v = 0,7 \cdot 20 = 14 \text{ h}$$

$$y = P_{\min} + \beta P_v = 600 + 0,6 \cdot 500 = 900 \text{ MW}$$

c)

$$t = \alpha T_v = 0,7 \cdot 20 = 14 \text{ h (slika)}$$

