

Auditorne vježbe, lipanj 2008.

Ponovljeni završni ispit 2007.

Energijske tehnologije

FER 2008.



PONOVVLJENI ZI 2007. - ZADATCI

Zadatak 1.

Kilogram idealnog plina ($R = 287 \text{ J/kgK}$ i $\kappa = 1,4$), tlaka 1,5 bar, temperature 200°C , promatrajte kao zatvoreni mirujući sustav koji se, pri konstantnom tlaku, 1,5 bar, hladi do temperature 100°C . Odredite mehanički rad zatvorenog sustava i toplinsku energiju koju pritom sustav izmjenjuje s okolicom tlaka 1 bar i temperature 20°C .

Rj.

$$w_{12} = -28,7 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{12} = -100 \text{ kJ/kg}$$

Zadatak 2.

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: $v' = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$, $h'' = 2645 \text{ kJ/kg}$,
 $h' = 340,5 \text{ kJ/kg}$, $s' = 1,1 \text{ kJ/kgK}$, $s'' = 7,59 \text{ kJ/kgK}$.

$$Rj: \quad P_{\text{dov.top.}} = 3521 \text{ MW}$$

Zadatak 3.

Instalirani protok male protočne hidroelektrane iznosi $125 \text{ m}^3/\text{s}$. Na mjestu zahvata postavljena je brana visine 30 m. Konsumpcijska krivulja na mjestu zahvata opisana je izrazom $H_Z = Q/10$, a na mjestu odvoda $H_O = Q/20$. Srednja vrijednost protoka na mjestu zahvata je $125 \text{ m}^3/\text{s}$, a vjerojatnosna krivulja protoka opisana je izrazom $Q(t) = -Q_{sr} \cdot t/6 + 300$. Izračunajte snagu hidroelektrane za vrijeme maksimalnog i minimalnog protoka.

$$\text{Rj.: } P_{\min} = 1,23 \text{ MW} \qquad P_{\max} = 18,4 \text{ MW}$$

Zadatak 4.

Toplinska snaga jezgre PWR reaktora iznosi 3500 MW. Reaktor ima 4 primarna rashladna kruga. Maseni je protok vode u svakom rashladnom krugu 3889 kg/s, a toplina predana vodi u primarnoj pumpi 4MW. Entalpija pojne vode generatora pare je 380 kJ/kg, a entalpija zasićene pare na izlazu iz generatora pare 2780 kJ/kg. Koliki je maseni protok pare kroz turbinu i koliki je porast temperature vode u jezgri reaktora? Nakon 11 mjeseci rada na punoj snazi elektrana će biti obustavljena zbog remonta i izmjene goriva planiranog trajanja mjesec dana. Koliko je iznosio faktor opterećenja opisane elektrane i koliki je potrebni maseni protok vode kroz jezgru 3 dana nakon obustave reaktora ako je izmjereni porast temperature rashladne vode od ulaza do izlaza jezgre 10 K? Specifična toplina vode je 5,875 kJ/kgK. Ako je termički stupanj djelovanja 34%, ukupna efikasnost pretvorbe mehaničke u električnu energiju 0,94 i snaga vlastite potrošnje 25 MW odrediti snagu na pragu elektrane.

Zadatak 4. - rješenje

- ukupni maseni protok vode kroz jezgru = 15556 kg/s
- porast temperature vode u nuklearnom reaktoru:
 $\delta T = 38,3 \text{ K}$
- toplinska snaga predana pari $P_t = 3516 \text{ MW}$
- maseni protok vode kroz turbinu = 1465 kg/s
- maseni protok kroz jezgru 3 dana nakon obustave reaktora = 177 kg/s
- faktor opterećenja = 91,7%
- $P_{\text{prag}} = 1099 \text{ MW}$

Zadatak 5.

Fotonaponski paneli solarne elektrane stupnja djelovanja 9% postavljeni su pod optimalni kut na mjesto gdje je godišnja ozračenost na horizontalnu površinu 1400 kWh/m^2 . Povećanje ozračenosti pod optimalnim kutom iznosi 19%.

Kolika je potrebna površina FN panela da bi se godišnje proizvela električna energija kao i u elektrani snage 350 MW i faktora opterećenja 0,9?

Kolika je vršna snaga i faktor opterećenja FN elektrane uz pretpostavku da je vršna snaga Sunčeva zračenja na panele 1 kW/m^2 ?

$$\text{Rj: } A = 18,4 \text{ km}^2 \quad P_n = 1656 \text{ MW} \quad m = 0,190$$

Zadatak 6.

Vjetroagregat (promjer lopatica 76 m, nazivna snaga 1,5 MW) ima ukupni stupanj djelovanja 49% kod brzine vjetra od 7 m/s koja se javlja tijekom 30% vremena u godini. Brzina vjetra između nazivne (12 m/s) i maksimalne se javlja tijekom 15% vremena (kada VA cijelo vrijeme postiže nazivnu snagu), a ostatak vremena VA ne radi. Kolika je predvidiva godišnja proizvodnja električne energije? Koliko iznosi c_{pe} za nazivnu brzinu i koliki je faktor opterećenja VA?

$$\text{Rj.: } W = 3198 \text{ MWh} \quad c_{pe12} = 0,312$$

Zadatak 7.

Dnevna krivulja trajanja opterećenja nekog EES-a aproksimirana je s tri pravca. Maksimalno opterećenje sustava je 1200 MW, minimalno opterećenje traje 6 sati i iznosi 600 MW, $\alpha = 4/9$, $\beta = 5/6$. Sustav raspolaže sa sljedećim elektranama:

- NE: $P_{NE} = 300$ MW
- TE₁: $P_{TE1n} = 250$ MW; $P_{TE1min} = 50$ MW; $c_{TE1} = 30$ lp/kWh
- TE₂: $P_{TE2n} = 250$ MW; $P_{TE2min} = 50$ MW; $c_{TE2} = 25$ lp/kWh
- TE₃: $P_{TE3n} = 250$ MW; $P_{TE3min} = 50$ MW; $c_{TE3} = 35$ lp/kWh
- HE₁: $P_{HE1n} = 100$ MW; protočna
- HE₂: $P_{HE2n} = 200$ MW; protočna
- RHE: $P_{HE2n} = 300$ MW; reverzibilna (crpno-akumulacijska)

Zadatak 7. - nastavak

Potrebno je :

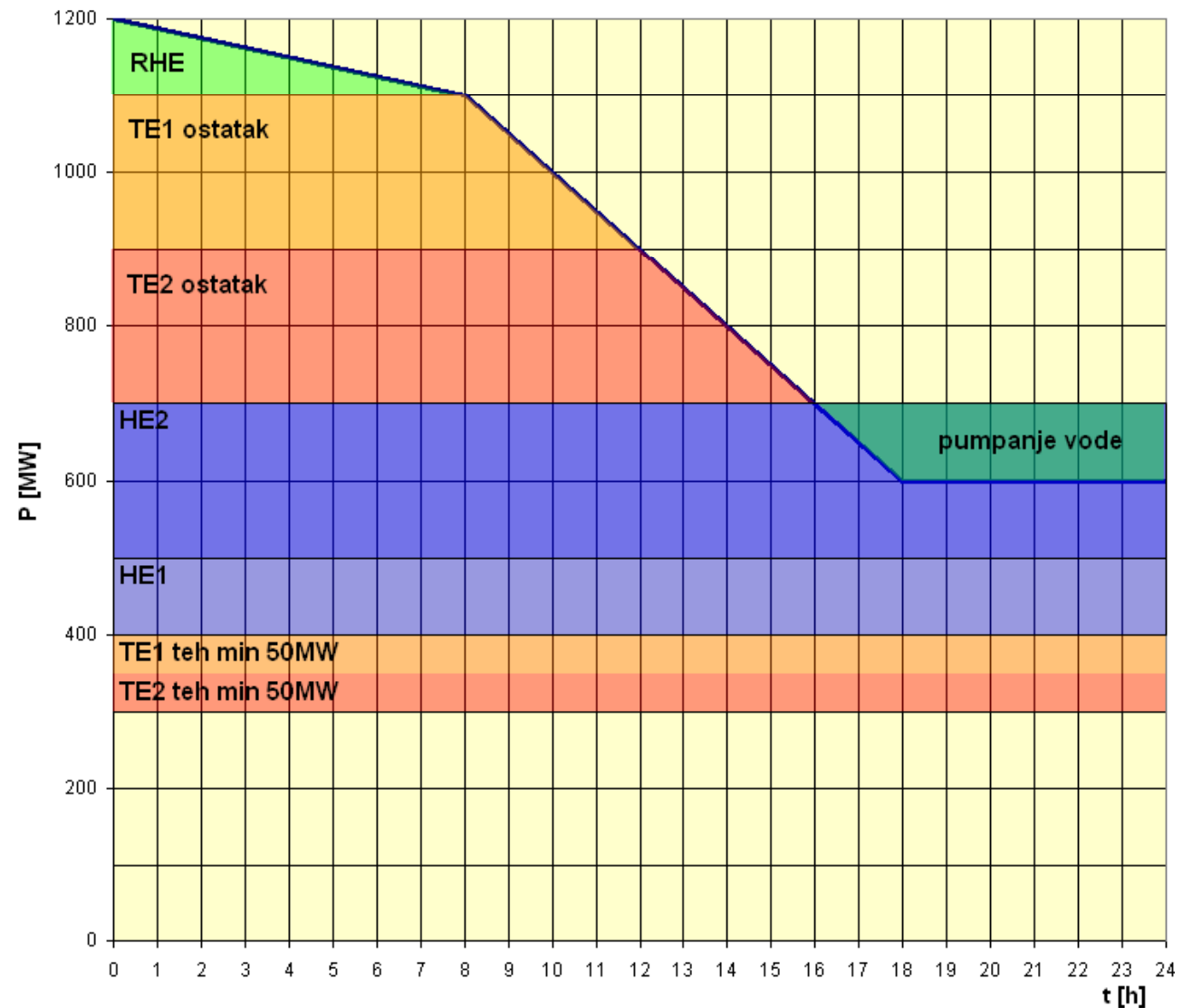
- - nacrtati dnevnu krivulju trajanja opterećenja i raspored rada proizvodnih jedinica
- - izračunati faktor opterećenja
- - ukupnu učinkovitost ciklusa skladištenja energije u reverzibilnoj hidroelektrani (uz pretpostavku da je u razmatranom danu ista količina vode podignuta pumpanjem u gornji spremnik upotrijebljena za proizvodnju tijekom vršnog opterećenja).

Zadatak 7. - rješenje

Rj.: Krivulja trajanja opterećenja: _____

$$m = 0,74$$

$$\eta = 0,57$$



Zadatak 8.

Termoelektrana kao gorivo koristi ugljen ogrjevnice moći 26 MJ/kg, s masenim udjelom sumpora jednakim 1%. Snaga na stezaljkama generatora iznosi 400 MW, učinkovitost pretvorbe toplinske u električnu energiju 33%, a faktor opterećenja 0,74. Kolika je masa sumpornog dioksida (SO_2) ispuštenog iz elektrane tijekom jedne godine, uz pretpostavku da je izgaranje potpuno?

Rj.: masa je sumpornog dioksida godišnje ispuštena u okoliš jednaka: 21 760 t

PONOVLJENI ZI 2007. - POSTUPAK

Zadatak 1.

Kilogram idealnog plina ($R = 287 \text{ J/kgK}$ i $\kappa = 1,4$), tlaka 1,5 bar, temperature 200°C , promatrajte kao zatvoreni mirujući sustav koji se, pri konstantnom tlaku, 1,5 bar, hladi do temperature 100°C . Odredite mehanički rad zatvorenog sustava i toplinsku energiju koju pritom sustav izmjenjuje s okolicom tlaka 1 bar i temperature 20°C .

Rj.

$$w_{12} = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1) = 0,287 \cdot (-100) = -28,7 \text{ kJ / kg} = -28700 \text{ J / kg}$$

$$\begin{aligned} q_{12} &= u_2 - u_1 + w_{12} = c_p (T_2 - T_1) = \frac{R \cdot \kappa}{\kappa - 1} (T_2 - T_1) = \frac{0,287 \cdot 1,4}{0,4} \cdot (-100) = \\ &= -100,45 \text{ kJ / kg} = -100450 \text{ J / kg} \end{aligned}$$

Zadatak 2.

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: $v' = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$, $h'' = 2645 \text{ kJ/kg}$,

$h' = 340,5 \text{ kJ/kg}$, $s' = 1,1 \text{ kJ/kgK}$, $s'' = 7,59 \text{ kJ/kgK}$.

Zadatak 2. - rješenje

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

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

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

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

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

Zadatak 3.

Instalirani protok male protočne hidroelektrane iznosi $125 \text{ m}^3/\text{s}$. Na mjestu zahvata postavljena je brana visine 30 m. Konsumpcijska krivulja na mjestu zahvata opisana je izrazom $H_Z = Q/10$, a na mjestu odvoda $H_O = Q/20$. Srednja vrijednost protoka na mjestu zahvata je $125 \text{ m}^3/\text{s}$, a vjerojatnosna krivulja protoka opisana je izrazom $Q(t) = -Q_{sr} \cdot t/6 + 300$. Izračunajte snagu hidroelektrane za vrijeme maksimalnog i minimalnog protoka.

Zadatak 3.

- zadano:

- $Q_i = 125 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H_B = 30 \text{ m}$
- $H_Z = Q/10$
- $H_O = Q/20$
- $Q_{\text{sr},Z} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q(t) = - Q_{\text{sr}} \cdot t/6 + 300$
- -----
- $P_{\text{min}} , P_{\text{max}} = ?$

Zadatak 3. - rješenje

a) minimalan protok

- $Q_{\min} = Q(t = 12 \text{ mj}) = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H_n = H_Z - H_O = 5 - 2,5 = 2,5 \text{ m}$
- $P_{\min} = 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot Q_{\min} = 9,81 \cdot 1000 \cdot 2,5 \cdot 50 = 1,23 \text{ MW}$

b) maksimalan potok

- $Q_{\max} = Q(t = 0 \text{ mj}) = 300 \text{ m}^3/\text{s}$, ali
- $Q_{\max} \leq Q_i = 125 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow Q_{\max} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H_n = H_Z - H_O = 30 - 15 = 15 \text{ m}$
- $P_{\max} = 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot Q_{\max} = 9,81 \cdot 1000 \cdot 15 \cdot 125 = 18,39 \text{ MW}$

Zadatak 4.

Toplinska snaga jezgre PWR reaktora iznosi 3500 MW. Reaktor ima 4 primarna rashladna kruga. Maseni je protok vode u svakom rashladnom krugu 3889 kg/s, a toplina predana vodi u primarnoj pumpi 4MW. Entalpija pojne vode generatora pare je 380 kJ/kg, a entalpija zasićene pare na izlazu iz generatora pare 2780 kJ/kg. Koliki je maseni protok pare kroz turbinu i koliki je porast temperature vode u jezgri reaktora? Nakon 11 mjeseci rada na punoj snazi elektrana će biti obustavljena zbog remonta i izmjene goriva planiranog trajanja mjesec dana. Koliko je iznosio faktor opterećenja opisane elektrane i koliki je potrebni maseni protok vode kroz jezgru 3 dana nakon obustave reaktora ako je izmjereni porast temperature rashladne vode od ulaza do izlaza jezgre 10 K? Specifična toplina vode je 5,875 kJ/kgK. Ako je termički stupanj djelovanja 34%, ukupna efikasnost pretvorbe mehaničke u električnu energiju 0,94 i snaga vlastite potrošnje 25 MW odrediti snagu na pragu elektrane.

Zadatak 4. - rješenje

- ukupni maseni protok vode kroz jezgru =
 $4 \cdot 3889 = 15556 \text{ kg/s}$
- porast temperature vode u nuklearnom reaktoru
 $\delta T = 3500 \cdot 10^6 / (15556 \cdot 5,875 \cdot 10^3) = 38,3 \text{ K}$
- toplinska snaga predana pari
 $P_t = 3500 + 4 \cdot 4 = 3516 \text{ MW}$
- maseni protok vode kroz turbinu =
 $= 3516 \cdot 10^6 / (2780 \cdot 10^3 - 380 \cdot 10^3) = 1465 \text{ kg/s}$

Zadatak 4. - rješenje

maseni protok kroz jezgru 3 dana nakon obustave reaktora:

- $P = P_0 \cdot 0,0061 [(t-t_0)^{-0,2} - t^{-0,2}]$
- $P = 2815 \cdot 0,0061 \cdot [3^{-0,2} - 330^{-0,2}] = 10,4 \text{ MW}$
- $P = m \cdot c_v \cdot \delta T$
- maseni protok kroz jezgru 3 dana nakon obustave reaktora $= 10,4 \cdot 10^6 / (10 \cdot 5,875 \cdot 10^3) = 177 \text{ kg/s}$
- faktor opterećenja $= 11/12 = 91,67\%$
- $P_{\text{prag}} = 3516 \cdot 0,34 \cdot 0,94 - 25 = 1098,7 \text{ MW}$

Zadatak 5.

Fotonaponski paneli solarne elektrane stupnja djelovanja 9% postavljeni su pod optimalni kut na mjesto gdje je godišnja ozračenost na horizontalnu površinu 1400 kWh/m^2 . Povećanje ozračenosti pod optimalnim kutom iznosi 19%.

Kolika je potrebna površina FN panela da bi se godišnje proizvela električna energija kao i u elektrani snage 350 MW i faktora opterećenja 0,9?

Kolika je vršna snaga i faktor opterećenja FN elektrane uz pretpostavku da je vršna snaga Sunčeva zračenja na panele 1 kW/m^2 ?

Zadatak 5. - rješenje

- $W = 350 \cdot 0,9 \cdot 8760 = 2,759 \cdot 10^6 \text{ MWh}$
- $W = A \cdot w_{\beta} \cdot \eta$
- $A = W / (w_{\beta} \cdot \eta) = 2,759 \cdot 10^6 / (1400 \cdot 1,19 \cdot 0,09) = 18.400.700 \text{ m}^2$
- $P_n = A \cdot \eta \cdot p = 18.400.700 \cdot 0,09 \cdot 1000 = 1656 \text{ MW}$
- $m = W / W_n = 2,759 \text{E}6 / (1656 \cdot 8760) = 0,190$

Zadatak 6.

Vjetroatagregat (promjer lopatica 76 m, nazivna snaga 1,5 MW) ima ukupni stupanj djelovanja 49% kod brzine vjetra od 7 m/s koja se javlja tijekom 30% vremena u godini. Brzina vjetra između nazivne (12 m/s) i maksimalne se javlja tijekom 15% vremena (kada VA cijelo vrijeme postiže nazivnu snagu), a ostatak vremena VA ne radi. Kolika je predvidiva godišnja proizvodnja električne energije? Koliko iznosi c_{pe} za nazivnu brzinu i koliki je faktor opterećenja VA?

Zadatak 6. - rješenje

- $P_7 = 0,49 \cdot 1,225 \cdot (76/2)^2 \cdot 3,14 \cdot 7^3 / 2 =$
 $= 466759,5 \text{ W} = 467 \text{ MW}$
- $W = 8760 \cdot (0,30 \cdot 467 + 0,15 \cdot 1500) =$
 $= 3198 \text{ MWh}$
- $m = W/W_n = 3198 / (1,500 \cdot 8760) = 0,243$
- $C_{pe12} = P_{12} / (0,5 \cdot 1,225 \cdot 38^2 \cdot 3,14 \cdot 12^3) =$
 $= 1,5 \cdot 10^6 / 4,801 \cdot 10^6 = 0,312$

Zadatak 7.

Dnevna krivulja trajanja opterećenja nekog EES-a aproksimirana je s tri pravca. Maksimalno opterećenje sustava je 1200 MW, minimalno opterećenje traje 6 sati i iznosi 600 MW, $\alpha = 4/9$, $\beta = 5/6$. Sustav raspolaže sa sljedećim elektranama:

- NE: $P_{NE} = 300$ MW
- TE₁: $P_{TE1n} = 250$ MW; $P_{TE1min} = 50$ MW; $c_{TE1} = 30$ lp/kWh
- TE₂: $P_{TE2n} = 250$ MW; $P_{TE2min} = 50$ MW; $c_{TE2} = 25$ lp/kWh
- TE₃: $P_{TE3n} = 250$ MW; $P_{TE3min} = 50$ MW; $c_{TE3} = 35$ lp/kWh
- HE₁: $P_{HE1n} = 100$ MW; protočna
- HE₂: $P_{HE2n} = 200$ MW; protočna
- RHE: $P_{HE2n} = 300$ MW; reverzibilna (crpno-akumulacijska)

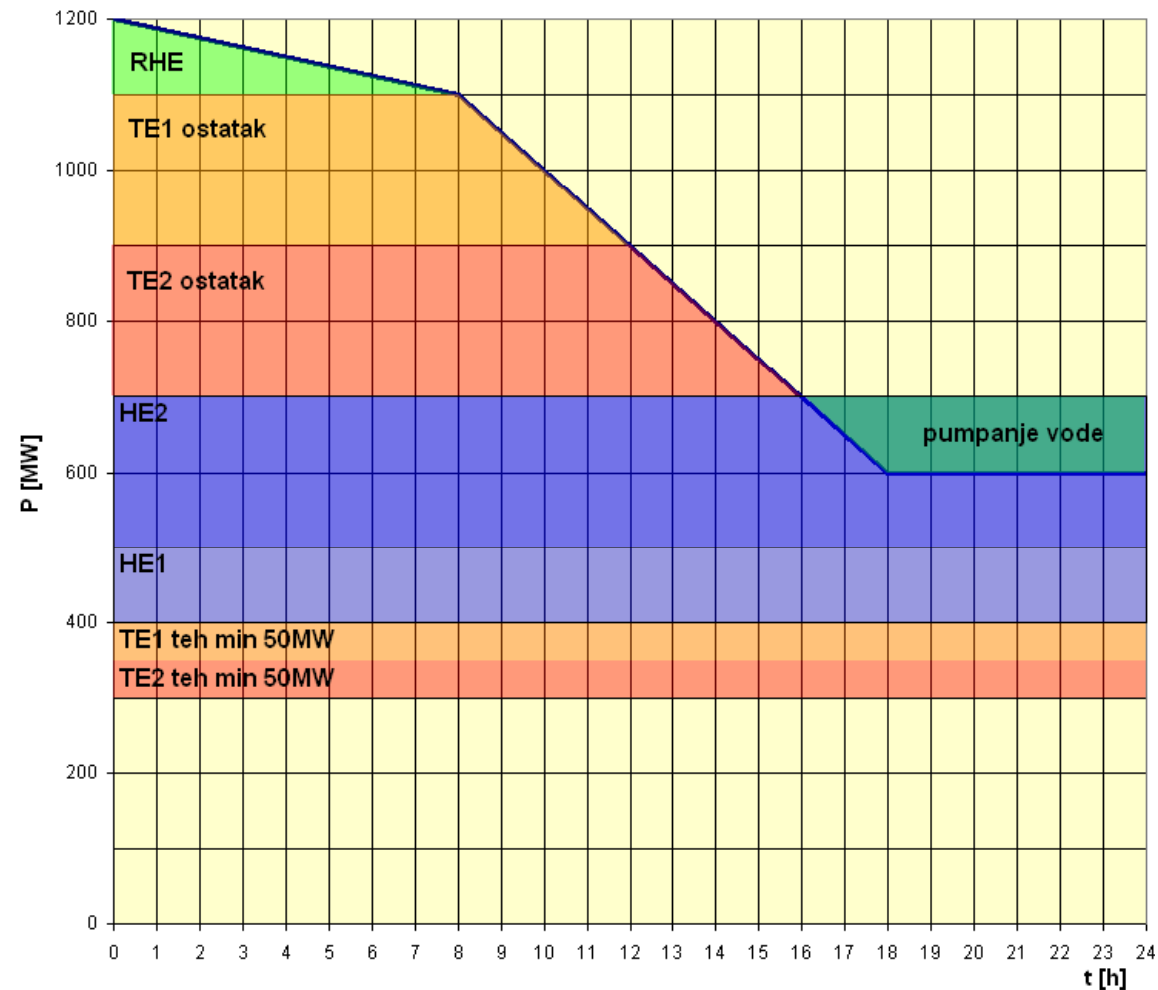
Zadatak 7. - nastavak

Potrebno je :

- - nacrtati dnevnu krivulju trajanja opterećenja i raspored rada proizvodnih jedinica
- - izračunati faktor opterećenja
- - ukupnu učinkovitost ciklusa skladištenja energije u reverzibilnoj hidroelektrani (uz pretpostavku da je u razmatranom danu ista količina vode podignuta pumpanjem u gornji spremnik upotrijebljena za proizvodnju tijekom vršnog opterećenja).

Zadatak 7. - rješenje

Nacrtajmo krivulju trajanja opterećenja.



Zadatak 7. - rješenje

- $P_{\max} = 1200 \text{ MW}$

Zbroj snaga raspoloživih elektrana je $1650 \text{ MW} \gg P_{\max}$.

Eliminiramo najskuplju termoelektanu.

Zbroj snaga preostalih elektrana je $1400 \text{ MW} > P_{\max}$.

Ucrtamo elektrane kao na slici.

- $W \text{ (sa slike)} = 21300 \text{ MWh}$
- $m = W/(24\text{h} \cdot P_{\max}) = 21300/28800 = 0,74$
- $\eta = E_{\text{proizvedeno}}/E_{\text{potrošeno}} = \text{(sa slike)} = 400/700 = 0,57$

Zadatak 8.

Termoelektrana kao gorivo koristi ugljen ogrjevnice moći 26 MJ/kg, s masenim udjelom sumpora jednakim 1%. Snaga na stezaljkama generatora iznosi 400 MW, učinkovitost pretvorbe toplinske u električnu energiju 33%, a faktor opterećenja 0,74. Kolika je masa sumpornog dioksida (SO_2) ispuštenog iz elektrane tijekom jedne godine, uz pretpostavku da je izgaranje potpuno?

Zadatak 8. - rješenje

- $E_{el} = 400 \cdot 10^6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0,74 =$
 $= 9334,656 \cdot 10^{12} \text{ Ws}$
- $E_{topl} = E_{el} / \eta = 28286,836 \cdot 10^{12} \text{ J}$
- $m_g = E_{topl} / H = 1087,955 \cdot 10^6 \text{ kg}$
- $m(S) = m_g \cdot \omega(S) = 10,88 \cdot 10^6 \text{ kg}$
- $1 \text{ kmol S} + 1 \text{ kmol O}_2 = 1 \text{ kmol SO}_2$
- $32 \text{ kg S} + 32 \text{ kg O}_2 = 64 \text{ kg SO}_2$
- $1 \text{ kg S} + 1 \text{ kg O}_2 = 2 \text{ kg SO}_2$
- masa je sumpornog dioksida godišnje ispuštena u okoliš jednaka:
 $10,88 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot 2 = 21,76 \cdot 10^6 \text{ kg} = 21\,760 \text{ t}$