

Termoelektrane
Hidroelektrane
Nuklearne elektrane
Potrošnja električne energije
Skladištenje energije
Energija, okoliš i održivi razvoj

Zadatci prije ZI
Energijske tehnologije
FER 2008.



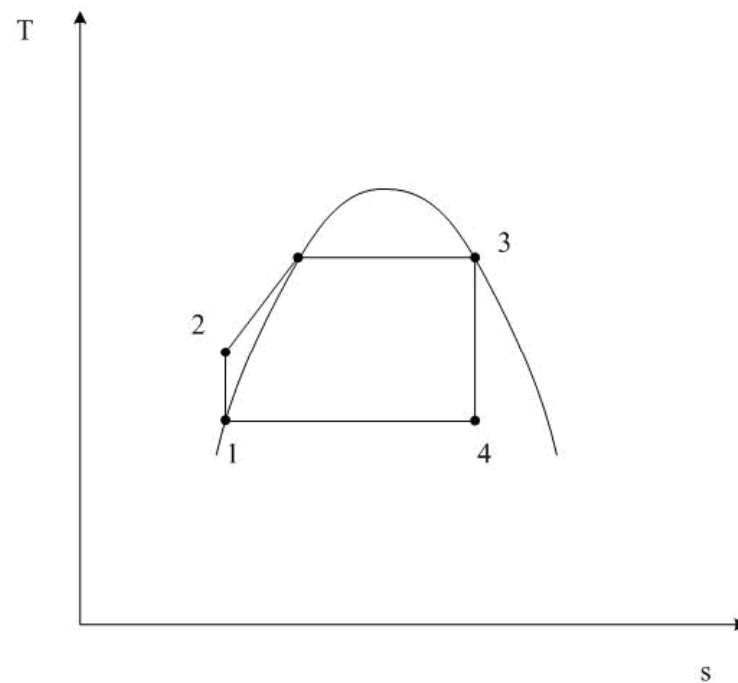
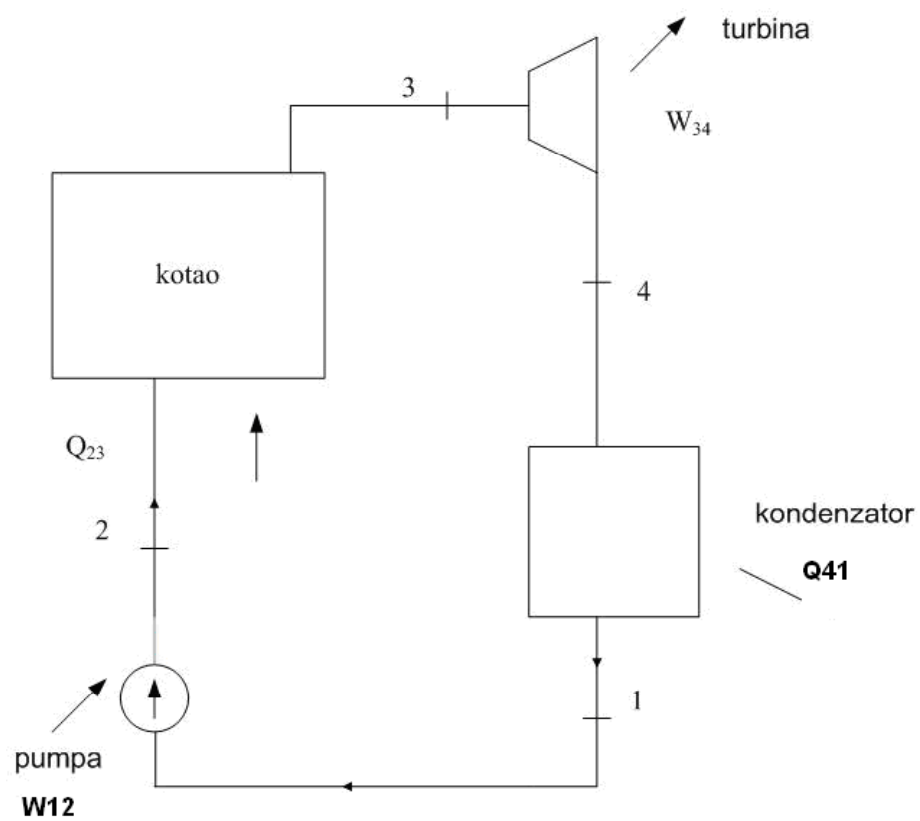
Termoelektrane

Zadatak TE.1

Termoelektrana koristi idealni Rankine-ov ciklus s zasićenom vodenom parom. Tlak u parnom kotlu je 40 bar a tlak u kondenzatoru je 0.075 bar. Toplinska snaga kotla je 100 MW. Izračunajte potrebni protok radnog medija, efikasnost toplinskog ciklusa, snagu turbine i specifičnu potrošnju pare. Specifična potrošnja pare (s.p.p.) definirana je kao broj kg pare potrebnih za proizvodnju 1 kWh neto mehaničkog rada u procesu.

Iz parnih tablica su poznati sljedeći podaci: temperatura zasićenja na višem tlaku $T_v = 523.728$ K, entalpija zasićene vode $h_{fv} = 1087.42$ kJ/kg, entalpija zasićene pare $h_{gv} = 2800.913$ kJ/kg, temperatura zasićenja na nižem tlaku $T_n = 313.465$ K, entalpija zasićene vode $h_{fn} = 168.74$ kJ/kg, entalpija zasićene pare $h_{gn} = 2575$ kJ/kg, gustoća zasićene vode $\rho_{fn} = 992.1$ kg/m³, gustoća zasićene vodene pare $\rho_{gn} = 0.052$ kg/m³.
Entalpija pare na kraju ekspanzije je 1890.2 kJ/kg.
Skicirati ciklus u T-s dijagramu.

Zadatak TE.1 - rješenje



Zadatak TE.1 - rješenje

$$h_1 = 168,74 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{12} = h_1 - h_2 = v_1 \times (p_1 - p_2) = \\ 1,008 \cdot 10^{-3} \times (7,5 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^6) = -4,024 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + 4,024 = 172,76 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{\text{turb}} = w_{34} = h_3 - h_4 = 2800,9 - 1890,2 = 910,7 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{23} = h_3 - h_2 = 2800,9 - 172,76 = 2628,2 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{41} = h_1 - h_4 = 168,74 - 1890,2 = -1721,5 \text{ kJ/kg}$$

$$m = Q_{\text{kotla}} / q_{23} = 100 \cdot 10^6 / 2628,2 \cdot 10^3 = 38,05 \text{ kg/s}$$

$$\eta = m \times (|w_{12}| + w_{34}) / Q_{\text{kotla}} = 0,345$$

$$W_{\text{turb}} = m \times w_{\text{turb}} = 34,652 \text{ MW}$$

$$\text{s.p.p.} = 3600 / (|w_{12}| + w_{34}) = 3,97 \text{ kg/kWh}$$

Zadatak TE.1 - rješenje (dopuna)

Ako je na višem tlaku poznata entropija zasićene pare $s_{gv}=6.07$ kJ/kgK i entropija zasićene vode $s_{fn}=0.576$ kJ/kgK i entropija zasićene pare $s_{gn}=8.25$ kJ/kgK na nižem tlaku možemo odrediti sadržaj pare i entalpiju na kraju ekspanzije.

$$s_4=s_3=s_{gv}=6.07 \text{ kJ/kgK}$$

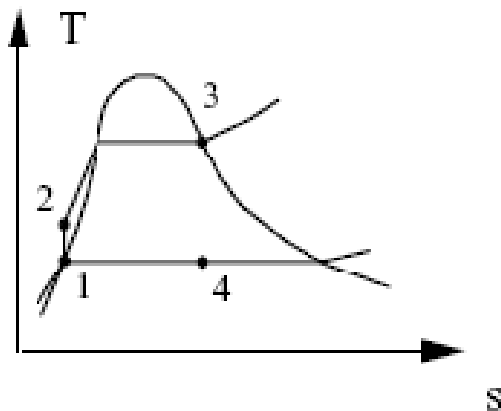
$$s_4=s_{fn}+x_4 \times s_{fgn}$$

$$x_4=(6.07-0.576)/(8.25-0.576)=0.716$$

$$h_4=h_{fn}+x_4 \times h_{fgn}=168.74+0.716 \times (2575-168.74)=1891.6 \text{ kJ/kg}$$

Zadatak TE.2

Rankineov je kružni proces zadan slikom. Koliki je termički stupanj djelovanja termoelektrane? Uračunajte i rad pumpanja.



$$\begin{aligned} p_3 &= 3,0 \text{ MPa}; p_4 = 10,0 \text{ kPa}; v_1 = v_2 = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg} \\ h_3 &= h_3'' = 2802,3 \text{ kJ/kg}; h_1 = h_1' = 191,83 \text{ kJ/kg}; \\ s_3 &= s_3'' = s_4 = 6,18 \text{ kJ/kgK}; s_1' = 0,65 \text{ kJ/kgK}; \\ s_1'' &= 8,15 \text{ kJ/kgK}; h_1'' = 2584,79 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Zadatak TE.2 - rješenje

➤ rad pumpanja

$$|w_p| = h_2 - h_1 = \int v dp = v_1(p_2 - p_1) = 0.001(3000 - 10) = 2,99 \text{ kJ / kg}$$

$$h_2 = h_1 + |w_p| = 191,83 + 2,99 = 194,82 \text{ kJ / kg}$$

➤ dovedena toplina

$$q_{dov} = h_3 - h_2 = 2802,3 - 194,82 = 2607,48 \text{ kJ / kg}$$

$$s_4 = 6,18 = s'_1 + x_4(s''_1 - s'_1) = 0,65 + x_4 \cdot 7,50 \Rightarrow x_4 = 0,74$$

$$h_4 = h'_1 + x_4(h''_1 - h'_1) = 191,83 + 0,74(2584,79 - 191,83) = 1962,62 \text{ kJ / kg}$$

Zadatak TE.2 - rješenje

➤ rad turbine

$$w_t = h_3 - h_4 = 2802,3 - 1962,62 = 839,68 \text{ kJ / kg}$$

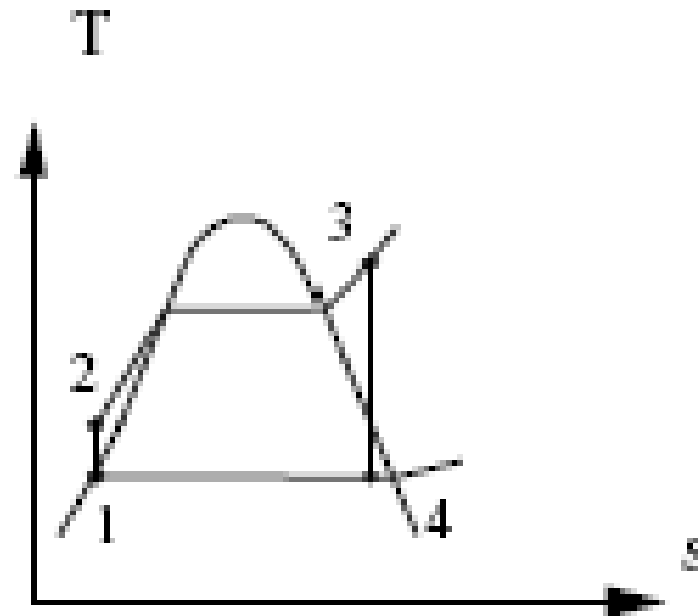
➤ termički stupanj djelovanja termoelektrane

$$\eta_t = \frac{w_t - |w_p|}{q_{dov}} = \frac{839,68 - 2,99}{2607,48} = 0,32$$

Zadatak TE.3

Tlak je pregrijane pare 5 MPa, a tlak u kondenzatoru 15 kPa. Sadržaj vodene pare na izlazu iz turbine je 0,95. Snaga je parne turbine 7,5 MW. Kolika je temperatura pregrijane pare i njezin maseni protok?

Slika: $w_t = h_3 - h_4$



Zadatak TE.3 - rješenje

Iz Tablica za 15 kPa i $x_4 = 0,95$:

$$s_4 = s_3 = 7,6466 \text{ kJ/kgK}; h_4 = 2480,5627 \text{ kJ/kg}$$

Iz Tablica za 5000 kPa i $s_4 = s_3 = 7,6466 \text{ kJ/kgK}$:

$$h_3 = 4033,8817 \text{ kJ/kg},$$

$$T_3 = (273,15 + 757,4917)\text{K} = \mathbf{1030,64\text{K}}$$

$$w_t = h_3 - h_4 = 4033,88 - 2480,56 = 1553,32 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_t}{w_t} = \frac{7500}{1553,32} = 4,83 \text{ kg / s}$$

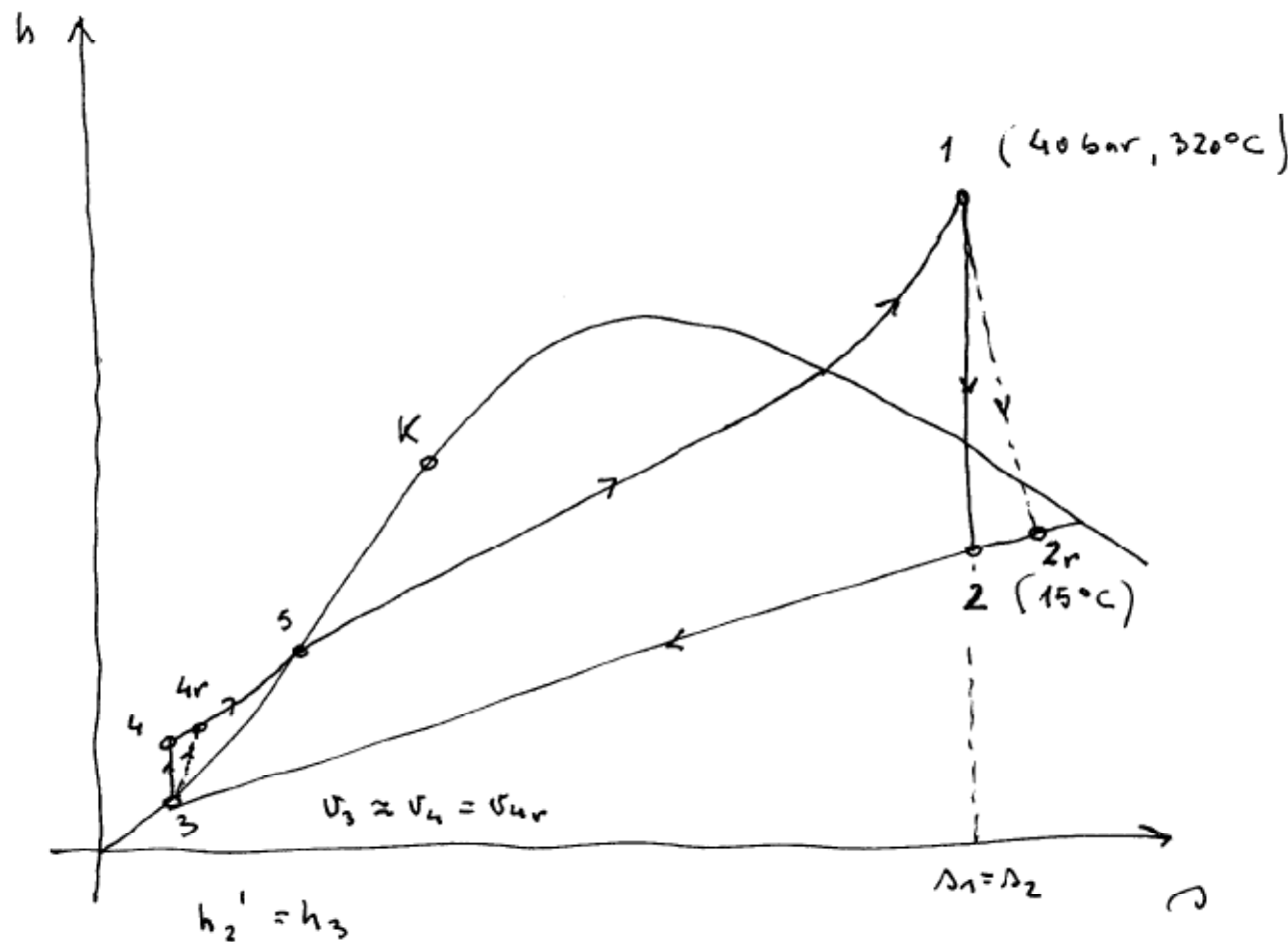
Zadatak TE.4

Rankineov se kružni proces odvija u termoelektrani s pregrijanom parom tlaka 40 bar i temperature 320 °C, slika. Temperatura je kondenzata 15 °C. Odredite termički stupanj djelovanja procesa ako su svi procesi:

- a) povratljivi;
- b) unutrašnji stupanj djelovanja turbine 0,85 a pumpe 0,9.

Zadatak TE.4 - rješenje

h,s – dijagram procesa



Zadatak TE.4 - rješenje

a)

Iz Tablica (40bar, 320 °C, stanje pregrijane pare na ulazu u turbinu):

$$h_1 = 3017,50 \text{ kJ/kg}; s_1 = 6,4594 \text{ kJ/kgK}$$

Iz Tablica (15 °C; stanje pare u kondenzatoru i kondenzata):

$$h_2' = h_3 = 62,9413 \text{ kJ/kg};$$

$$h_2'' = 2529,0645 \text{ kJ/kg};$$

$$s_2' = 0,2243 \text{ kJ/kgK}; s_2'' = 8,7826 \text{ kJ/kgK};$$

$$v_3 = v_4 = 1,001 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg};$$

$$p_2 = p_3 = 0,017 \text{ bar}$$

$$s_1 = s_2 \text{ (povratljivi /izentropski/ proces)}$$

Zadatak TE.4 - rješenje

$$s_2 = s_2' + x_2(s_2'' - s_2') \Rightarrow x_2 = \frac{6,4594 - 0,2243}{8,7826 - 0,2243} = 0,729$$

$$\begin{aligned} h_2 &= h_2' + x_2(h_2'' - h_2') = \\ &= 62,9413 + 0,729(2529,0645 - 62,9413) = \\ &= 1860,745 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Rad turbine

$$\begin{aligned} w_{tp} &= h_1 - h_2 = 3017,50 - 1860,745 = \\ &= 1156,76 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Zadatak TE.4 - rješenje

Rad pumpe

$$w_{pp} = - \int_{p_K}^{p_{PK}} v dp = -1,001 \cdot 10^{-3} (40 - 0,017) \cdot 10^2 =$$
$$= -4,002 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$-w_{pp} = h_4 - h_3 \Rightarrow h_4 = h_3 - w_{pp} =$$
$$= 62,9413 - (-4,002) = 66,9433 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{dov} = h_1 - h_4 = 3017,50 - 66,94 = 2950,56 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = \frac{w_{tp} - |w_{pp}|}{q_{dov}} = 0,39$$

Zadatak TE.4 - rješenje

b)

$$\eta_{it} = \frac{h_1 - h_{2r}}{h_1 - h_2} \Rightarrow h_{2r} =$$
$$= h_1 - \eta_{it} (h_1 - h_2)$$

$$h_{2r} = 2034,26 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{ip} = \frac{h_4 - h_3}{h_{4r} - h_3} \Rightarrow h_{4r} =$$
$$= (h_4 - h_3 + \eta_{ip} h_3) \frac{1}{\eta_{ip}}$$

Zadatak TE.4 - rješenje

$$h_{4r} = 67,388 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{tr} = h_1 - h_{2r} = 3017,50 - 2034,26 = 983,24 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{pr} = - (h_{4r} - h_3) = 67,388 - 62,9413 = \\ = 4,45 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{dovr} = h_1 - h_{4r} = 3017,50 - 67,388 = 2950,1 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{tr} = \frac{w_{tr} - |w_{pr}|}{q_{dovr}} = \frac{983,24 - 4,45}{2950,1} = 0,33$$

Hidroelektrane

Zadatak HE.1

Rijeka ima srednji godišnji protok $Q_{sr} = 300 \cdot H/2$ [m³/s]. Izgradnjom pribranske hidroelektrane na nadmorskoj visini 200 m želi se omogućiti rad agregata 80 MVA nazivnog faktora snage 0,8 i stupnja iskorištenja 0,93 punom snagom. Koliko visoka pregrada se mora izgraditi ako znamo da je instalirani protok elektrane jednak srednjem godišnjem protoku na toj elevaciji?

Zadatak HE.1 – rješenje

$$P_n = S_n \cdot \cos \varphi_n = \rho \cdot g \cdot Q_{sr} \cdot H \cdot \eta$$

$$Q\text{-}H \text{ dijagram } H = 2 \cdot (300 - Q_{sr})$$

$$H = 0 \text{ m } Q_{sr} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{sr} = 0 \text{ m}^3/\text{s}, H = 600 \text{ m}$$

H zahvata je 200 m

$$\text{Za } H_z = 200, Q_i = Q_{sr} = 300 - 100 = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$

Visina pregrade H_p je ujedno i neto visina vode H

$$H_p = (80 \cdot 10^6 \cdot 0.8) / (9.81 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 0.93) = \\ = 35 \text{ m}$$

Zadatak HE.2

Odredite moguću godišnju proizvodnju derivacijske hidroelektrane izgrađene na vodotoku s godišnjom krivuljom trajanja protoka $Q=300-200 \cdot t/12$, (t [mjeseci], Q [m^3/s]) i Q - H dijagramom $H=400-3 \cdot Q/2$, (Q [m^3/s], H [m]). Zahvat se ostvaruje na 100 m n. v, a veličina izgradnje (instalirani protok) jednaka je očekivanom srednjem godišnjem protoku na tom mjestu. Postrojenje HE izrađeno je na morskoj obali. Konsumpciona krivulja na zahvatu zadana je izrazom $H_z=Q/20+40$, (Q [m^3/s], H [m]). Brana je visine 55 m s ugrađenim zapornicama koje se reguliraju tako da propuštaju višak vode. Tijekom pogona nije potrebno poštivati biološki minimum. Turbina je u stanju raditi s bilo kojim protokom od maksimalnog instaliranog do nultog. Utjecaj ostalih veličina koje nisu zadane treba zanemariti.

Zadatak HE.2 - rješenje

Srednji protok iz Q-H krivulje za zahvat na 100 m n.v.

**$Q_{sr} = 2/3 \cdot (400 - H) = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ što je u suglasnosti s
srednjim protokom određenim iz vjerojatnosne krivulje**

Srednji protok je $Q_{sr} = 300 - 200 \cdot 6/12 = 200 \text{ m}^3/\text{s}$

**Prema vjerojatnosnoj krivulji protok na mjestu zahvata
varira od $Q_{min} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ za $t = 12 \text{ mj}$ do $Q_{max} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$
za $t = 0 \text{ mj}$**

H gornje vode se pritom mijenja od 45 m do 55 m

$$\begin{aligned} P &= \rho \cdot g \cdot Q(t) \cdot H(t) \cdot \eta \\ &= 1000 \cdot 9.81 \cdot Q(t) \cdot (300/20 - 200 \cdot t/240 + 40 + 100) \cdot 1 \\ &= 1000 \cdot 9.81 \cdot Q(t) \cdot (155 - 5 \cdot t/6) \cdot 1 \end{aligned}$$

Zadatak HE.2 - rješenje

- **Proizvedena energija od 0 do 6 mjeseci je**

$$W_1 = 730 * 9.81 * \int_0^6 (Q_i h(t)) dt = 730 * 9.81 * \int_0^6 \left(200 * \left(155 - \frac{5}{6} t \right) \right) dt = 1432260 * \left(155 * t - \frac{5}{6} \frac{t^2}{2} \right)_0^6 = 1.31e9 kWh$$

- $24 * 365 / 12 = 730$ sati ili samo $24 * 30 = 720$ sati

- **Proizvedena energija od 6 do 12 mjeseci je**

$$W_2 = 730 * 9.81 * \int_6^{12} (Q(t) h(t)) dt = 730 * 9.81 * \int_6^{12} \left(\left(300 - \frac{200 * t}{12} \right) * \left(155 - \frac{5}{6} t \right) \right) dt = 7161.3 * 133e3 = 0.9524e9 kWh$$

- **Ukupna proizvedena energija je**
- **$W_{uk} = 2.26e9$ kWh**

Zadatak HE.3

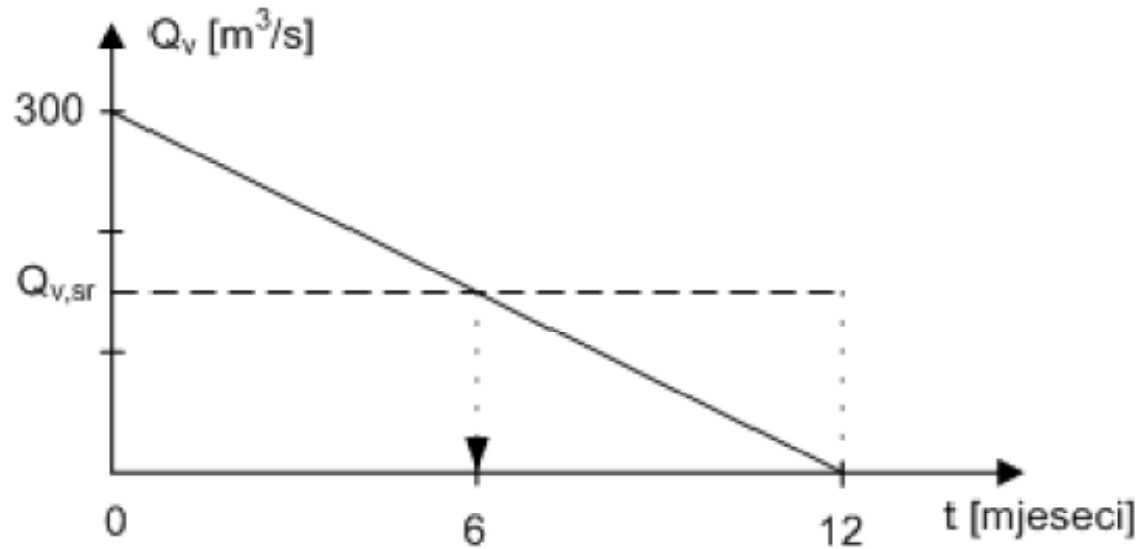
Za promatranu lokaciju protočne hidroelektrane (HE) vjerojatnosna krivulja trajanja protoka ima oblik $Q_{\text{vjerojatno}}(t) = 300 - 25t$ [m^3/s] (t u mjesecima). Istovremeno za promatranu godinu stvarno trajanje protoka opisuje izraz $Q_{\text{stvarno}}(t) = 252 - 21t$. Pod pretpostavkom konstantne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

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

Zadatak HE.3 - rješenje

a)

grafički:



$$Q_{v,sr} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$$

ili

$$\text{analitički: } Q_i = Q_{v,sr} = \frac{1}{12} \int_0^{12} (300 - 25t) dt = 150 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P = 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot \eta \cdot Q_i = 9,81 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 0,85 \cdot 150 = 25,0 \text{ MW}$$

Zadatak HE.3 - rješenje

b)

$$Q_v(t_i) = 300 - 25 \cdot t_{i,v} \rightarrow t_{i,v} = \frac{300 - Q_i}{25} = \frac{300 - 150}{25} = 6 \text{ mjeseci}$$

$$\begin{aligned} W_v &= 8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot \eta \cdot \frac{1}{12} \left\{ \int_0^{t_i} Q_i dt + \int_{t_i}^{12} (300 - 25t) dt \right\} = \\ &= 8760 \cdot 9,81 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 0,85 \cdot 112,5 = 164,4 \text{ GWh} \end{aligned}$$

$$Q_i = Q_{s,sr}$$

$$Q_s(t_i) = 252 - 21 \cdot t_i = Q_{sr} = 150 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow t_i = \frac{252 - 150}{21} = 4,86 \text{ mjeseci}$$

$$\begin{aligned} W_s &= 8760 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot H_n \cdot \eta \cdot \frac{1}{12} \left\{ \int_0^{t_i} Q_i dt + \int_{t_i}^{12} (252 - 21t) dt \right\} = \\ &= 8760 \cdot 9,81 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 0,85 \cdot 105,4 = 153,9 \text{ GWh} \end{aligned}$$

Zadatak HE.3 - rješenje

c)

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

$$Q' = \frac{1}{12} \left\{ \int_0^{t_i'} Q_i' dt + \int_{t_i'}^{12} (300 - 25t) dt \right\} = \frac{1}{12} \left[Q_i' t_i' + 300(12 - t_i') - \frac{25}{2} (12^2 - t_i'^2) \right]$$

c1) grafički

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

sljedeći:

$$\frac{Q'}{Q_i'} = \frac{1}{12} \left[\frac{t_i'}{2} + 6 \right] \equiv m = 0,8$$

za t_i' dobiva se: $t_i' = 7,2$ mjeseci

odnosno: $Q_i' = Q_v(t_i') = 300 - 25t = 300 - 25 \cdot 7,2 = 120 \text{ m}^3/\text{s}$

c2) analitički

$$t_i' = f(Q_i') = (300 - Q_i') / 25$$

Uvrštavanjem t_i' u gornji izraz za Q' i izjednačavanjem s $m \cdot Q_i'$

dobiva se kvadratna jednadžba koja u sređenom obliku glasi: $Q_i' (2,4 - 0,02 Q_i') = 0$

sljedeći: $Q_i' = 120 \text{ m}^3/\text{s}$

Nuklearne elektrane

Zadatak NE.1

Nuklearna elektrana PWR tipa, stupnja djelovanja 33%, s 2 rashladne petlje, daje u mrežu snagu od 690 MWe. Svaka od 2 primarne pumpe predaje hladioocu toplinsku snagu u iznosu od 3 MW. Temperatura pojne vode je 224 °C, a temperatura zasićene pare na izlazu parogeneratorsa je 275.6 °C. Entalpija pojne vode i zasićene pare su 9.63e5 J/kg i 2.785e6 J/kg. Srednja temperatura primarne vode je 305 °C, srednja gustoća primarne vode 716 kg/m³, a srednji specifični toplinski kapacitet je 5.16 kJ/kgK. Porast temperature hladioaca u jezgri reaktora je 40 K.

Potrebno je odrediti:

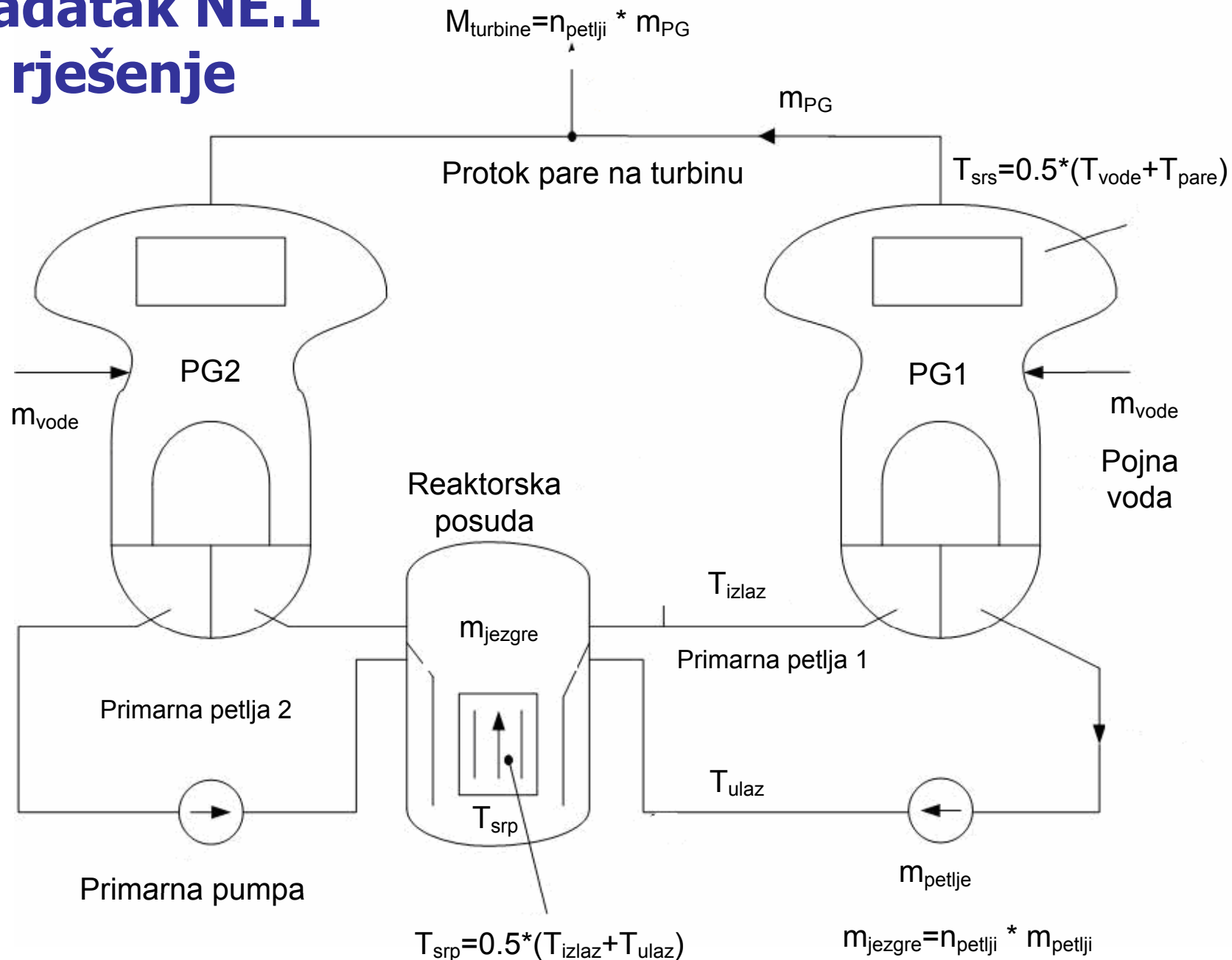
- efektivni toplinski otpor cijevi parogeneratorsa R_T [K/MW],
- ukupni protok pare u turbinu,
- ukupni maseni protok primarnog rashladnog sredstva kroz jezgru,
- toplinsku snagu jezgre i
- promjenu tlaka na primarnoj pumpi.

Potrebno je izračunati i masu UO₂ goriva u jezgri reaktora ako znamo da je srednji neutronske tok 2.8 10¹⁷ n/m²s, a obogaćenje goriva je 3% (udarni presjek za fisiju je 580 barn, a prinos energije po fisiji je 200 MeV).

Kolika je toplinska snaga ostatne topline za navedeni reaktor 3 dana nakon prekida rada koji je trajao 12 mjeseci?

Zadatak NE.1

- rješenje



Zadatak NE.1 - rješenje

- Termička snaga elektrane u parogeneratorima P_T
- Stupanj djelovanja: $\eta = P_E / P_T$

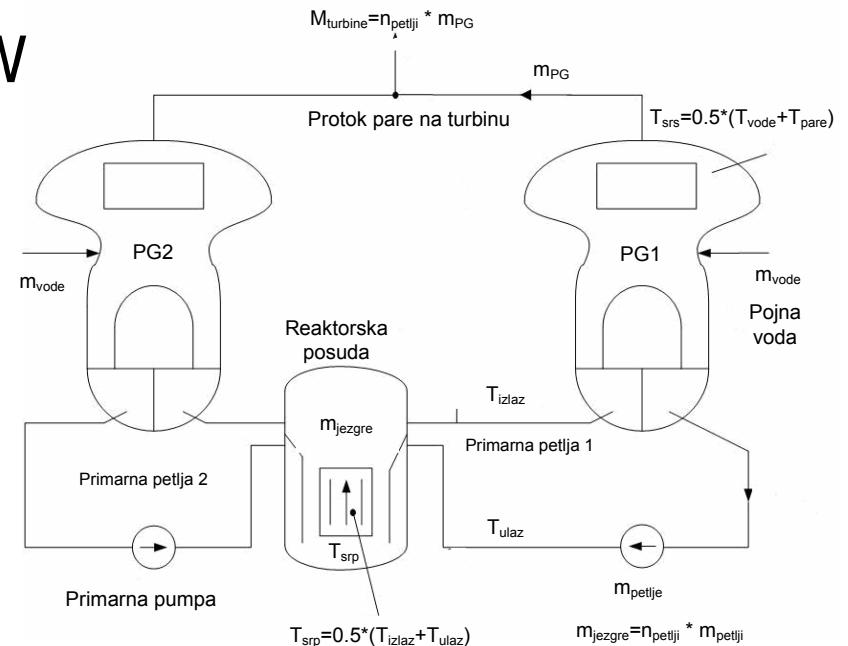
- $P_T = P_F / \eta = 690 / 0,33 = 2090,9 \text{ MW}$

- Broj petlji n_{petlji}

- Snaga jezgre:

$$P_{\text{jezgre}} = P_T - n_{\text{petlji}} P_{\text{pumpe}} = 2090,9 - 2 * 3 = 2084,9 \text{ MW}$$

- Snaga parogeneratorsa:
 $P_{PG} = P_T / \eta_{petlji} = 2090,9 / 2 = 1045,45 \text{ MW}$



Zadatak NE.1 - rješenje

- Entalpija pare h_{pare}
entalpija pojne vode h_{vode}
- Maseni protok pare na turbinu m_{turb}
$$m_{\text{turb}} = P_T / (h_{\text{pare}} - h_{\text{vode}}) = 2090,9 \times 10^6 / (2,785 \times 10^6 - 9,63 \times 10^5) = 1147,1 \text{ kg/s}$$
- maseni protok kroz jezgru m_{jezgre}
$$m_{\text{jezgre}} = P_{\text{jezgre}} / (c_p \Delta T_{\text{jezgre}}) = 2084,9 \times 10^6 / (5,16 \times 10^3 \times 40) = 10101,3 \text{ kg/s}$$
- protok kroz petlju m_{petlje}
$$m_{\text{petlje}} = m_{\text{jezgre}} / n_{\text{petlji}} = 10101,3 / 2 = 5050,65 \text{ kg/s}$$
- Volumni protok hladioca u petlji v_{petlje}
$$v_{\text{petlje}} = m_{\text{petlje}} / \rho = 5050,65 / 716 = 7,054 \text{ m}^3/\text{s}$$

Zadatak NE.1 - rješenje

- Srednje temperature hladioca na primarnoj strani
 $T_{srp} = 0,5 \times (T_{ulaz} + T_{izlaz}) = 305 \text{ C}$
- Srednje temperature hladioca na sekundarnoj strani T_{srs}
 $T_{srs} = 0,5 \times (T_{pare} + T_{vode})$
- $T_{srs} = 0,5 \times (275,55 + 224) = 249,8 \text{ C}$
- Efektivni toplinski otpor
 $R_T = (T_{srp} - T_{srs}) / P_{SG} =$
 $(305 - 249,8) / 1045,45 = 0.0528 \text{ K/MW}$
- promjenu tlaka na primarnoj pumpi Δp_{pumpe}
 $P_{pumpe} = v_{petlje} \Delta p_{pumpe}$, pa je
 $\Delta p_{pumpe} = P_{pumpe} / v_{petlje} = 3 \cdot 10^6 / 7,054 = 425,3 \text{ kPa}$

Zadatak NE.1 - rješenje

- $$P_{\text{jezgre}} = 200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot \Phi \cdot \sigma_{\text{fis}} \cdot N_{235} \rightarrow$$

$$N_{235} = 2084,9 \cdot 10^6 / (200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 2,8 \cdot 10^{17} \cdot 580 \cdot 10^{-28})$$

$$= 4.0119092 \cdot 10^{27}$$
- $$N_{235} = e \times 238 / 270 \cdot m_{\text{UO}_2} \cdot 6,022 \cdot 10^{26} / 235 \rightarrow$$

$$m_{\text{UO}_2} = 59203 \text{ kg}$$

e-obogaćenje U235

“Hlađenje”

- $t = 365 + 3 = 368 \text{ dana (od početka pogona)}$
- $t_0 = 365 \text{ dana (na snazi)}$
- Ostatna toplina

$$P_{\text{ostatno}} = 6,1 \cdot 10^{-3} \cdot P_{\text{jezgre}} \cdot ((t - t_0)^{-0,2} - t^{-0,2})$$

$$P_{\text{ostatno}} = 6,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2084,9 \cdot (3^{-0,2} - 368^{-0,2}) = 6,3 \text{ MW}$$

EES, Skladištenje i utjecaj na okoliš

Zadatak EE.1 Za neki elektroenergetski sustav poznato je dnevno opterećenje prema podacima u tablici. Sustav raspolaže jednom nuklearnom elektranom instalirane snage 400 MW; dvije termoelektrane na ugljen ukupne instalirane snage 500 MW od čega je 100 MW njihov tehnički minimum; dvije protočne hidroelektrane koje s obzirom na raspoloživi protok vode mogu tijekom cijelog dana davati ukupno 400 MW i jednom reverzibilnom (crpno-akumulacijskom) hidroelektranom instalirane snage 300 MW. Uz pretpostavku da reverzibilna hidroelektrana u gornjem i donjem spremniku ima dovoljno vode, te da se oba neće prepuniti, koliko će sati dnevno ta elektrana raditi u pumpnom, a koliko u generatorskom modu rada?

t [h]	0 – 4	4 – 6	6 – 9	9 – 12	12 – 14	14 – 18	18 – 22	22 – 23	23 – 24
P [MW]	600	700	900	1500	1300	1200	1300	900	600

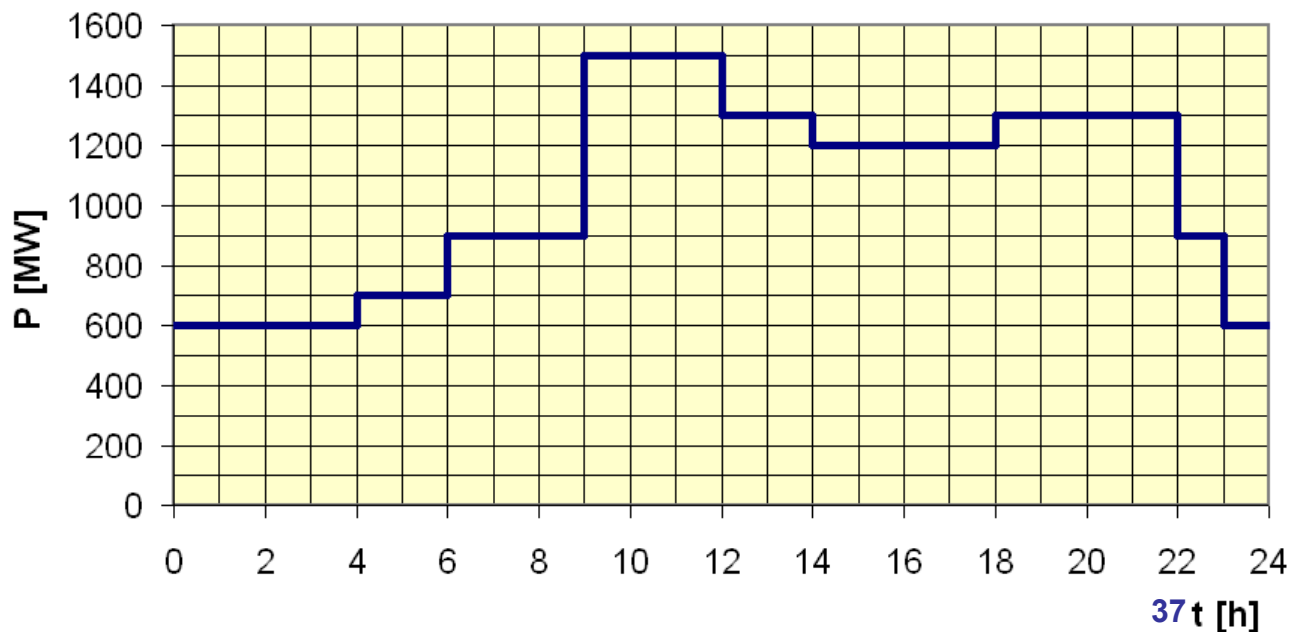
$$P_{\max} = 1500 \text{ MW}$$

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

Raspoloživo:

- NE – 400 MW
- TE teh. min. – 100 MW
- HE protoč – 400 MW
- TE ostatak – 400 MW
- HE rev. – 300 MW

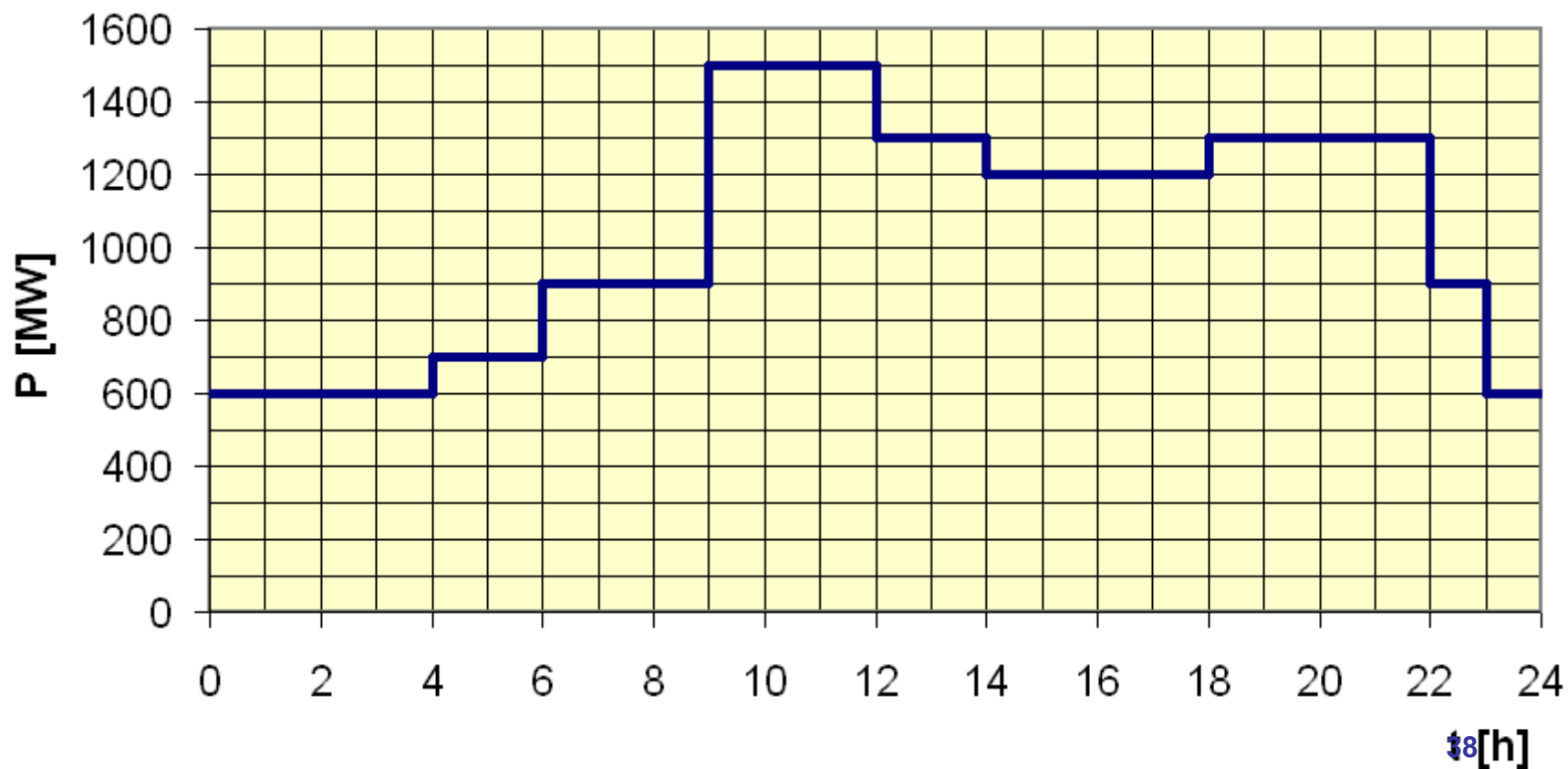
Prvo nacrtamo dnevnu krivulju (dijagram) opterećenja



Zadatak EE.1 - rješenje

Raspoloživo:

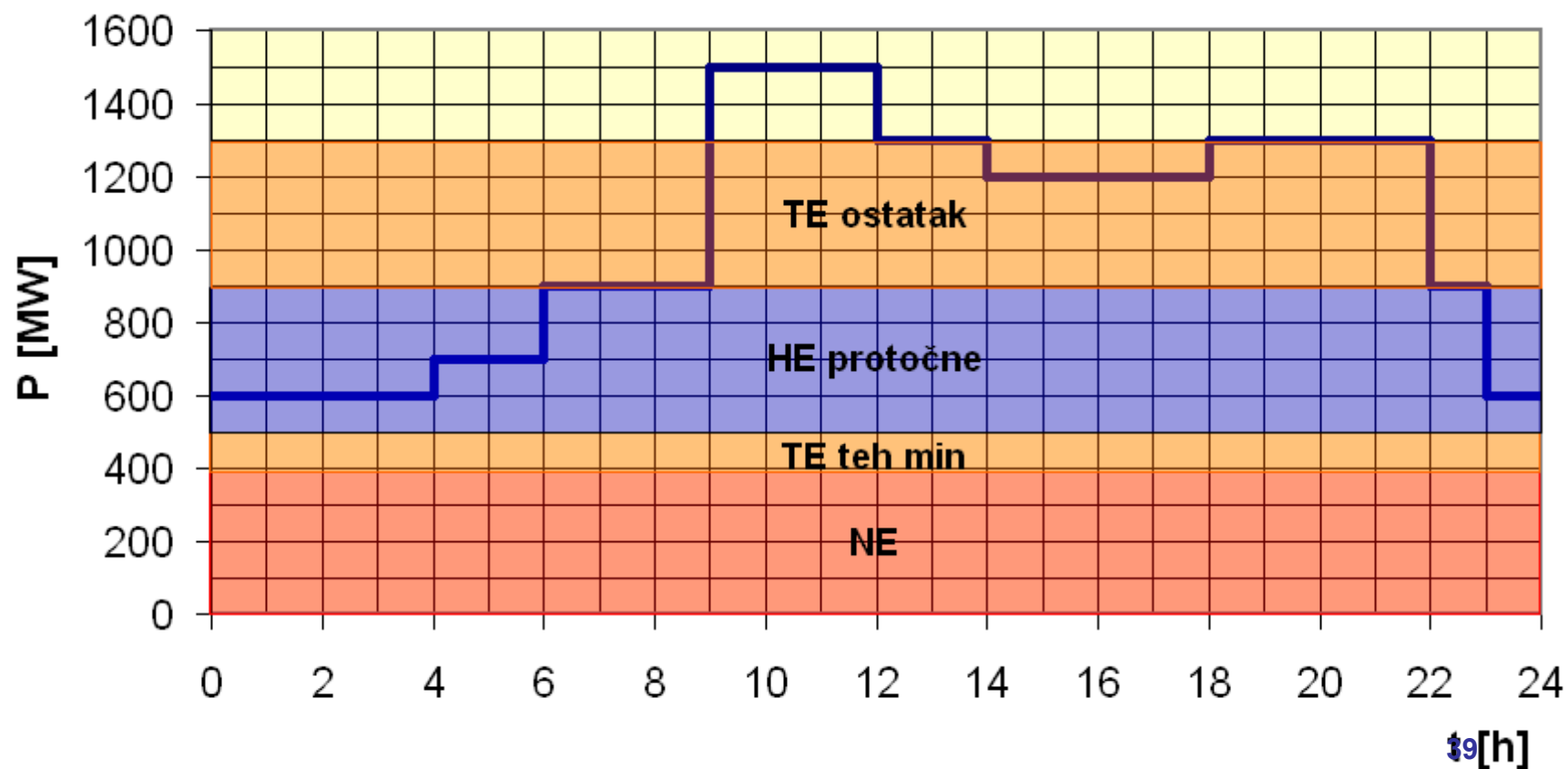
- NE – 400 MW
- TE teh.min. – 100 MW
- HE protoč – 400 MW
- TE ostatak – 400 MW
- HE rev. – 300 MW



Zadatak EE.1 - rješenje

Raspoloživo:

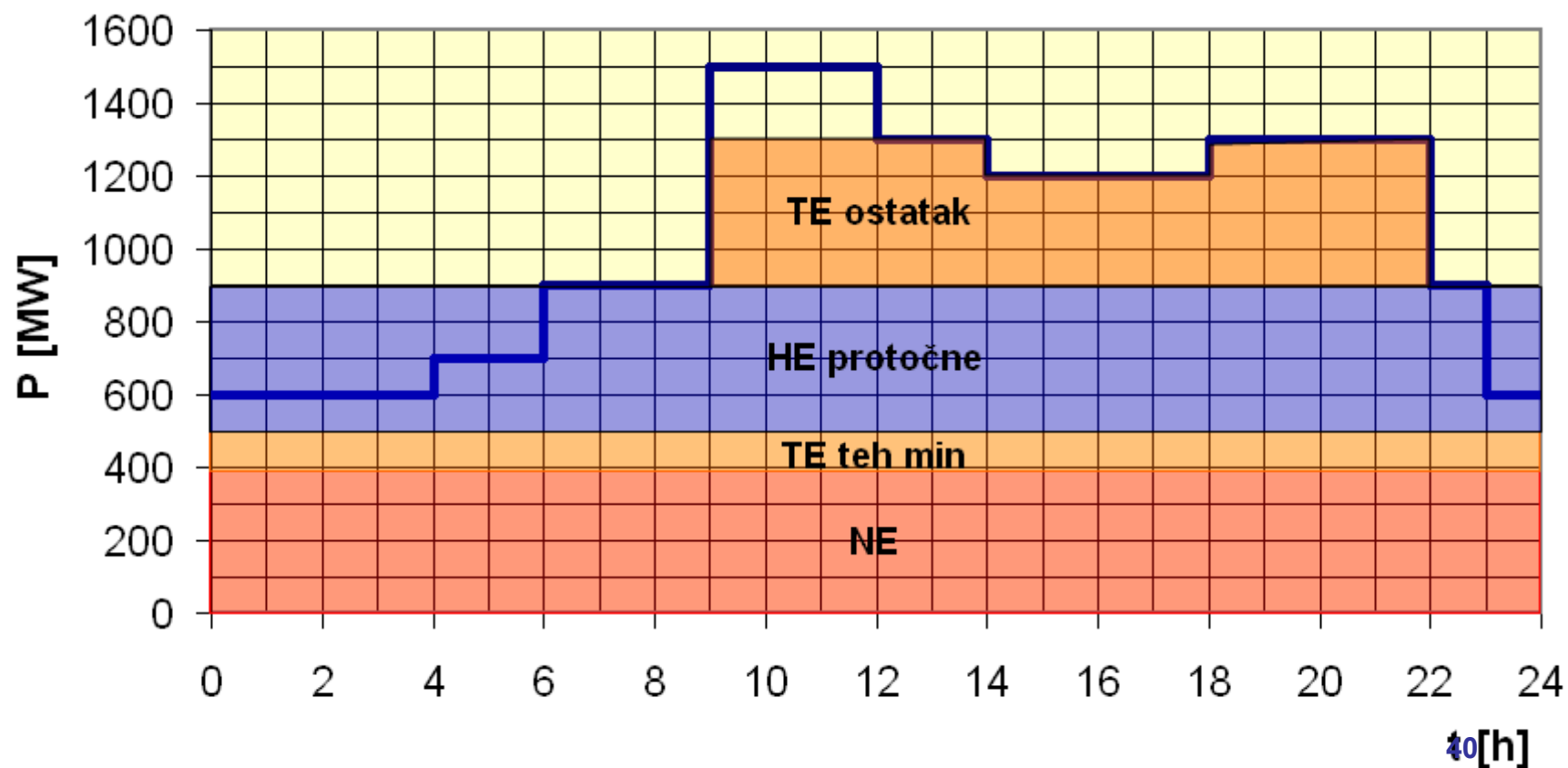
- NE – 400 MW
- TE teh.min. – 100 MW
- HE protoč – 400 MW
- TE ostatak – 400 MW
- HE rev. – 300 MW



Zadatak EE.1 - rješenje

Raspoloživo:

- NE – 400 MW
- TE teh.min. – 100 MW
- HE protoč – 400 MW
- TE ostatak – 400 MW
- HE rev. – 300 MW

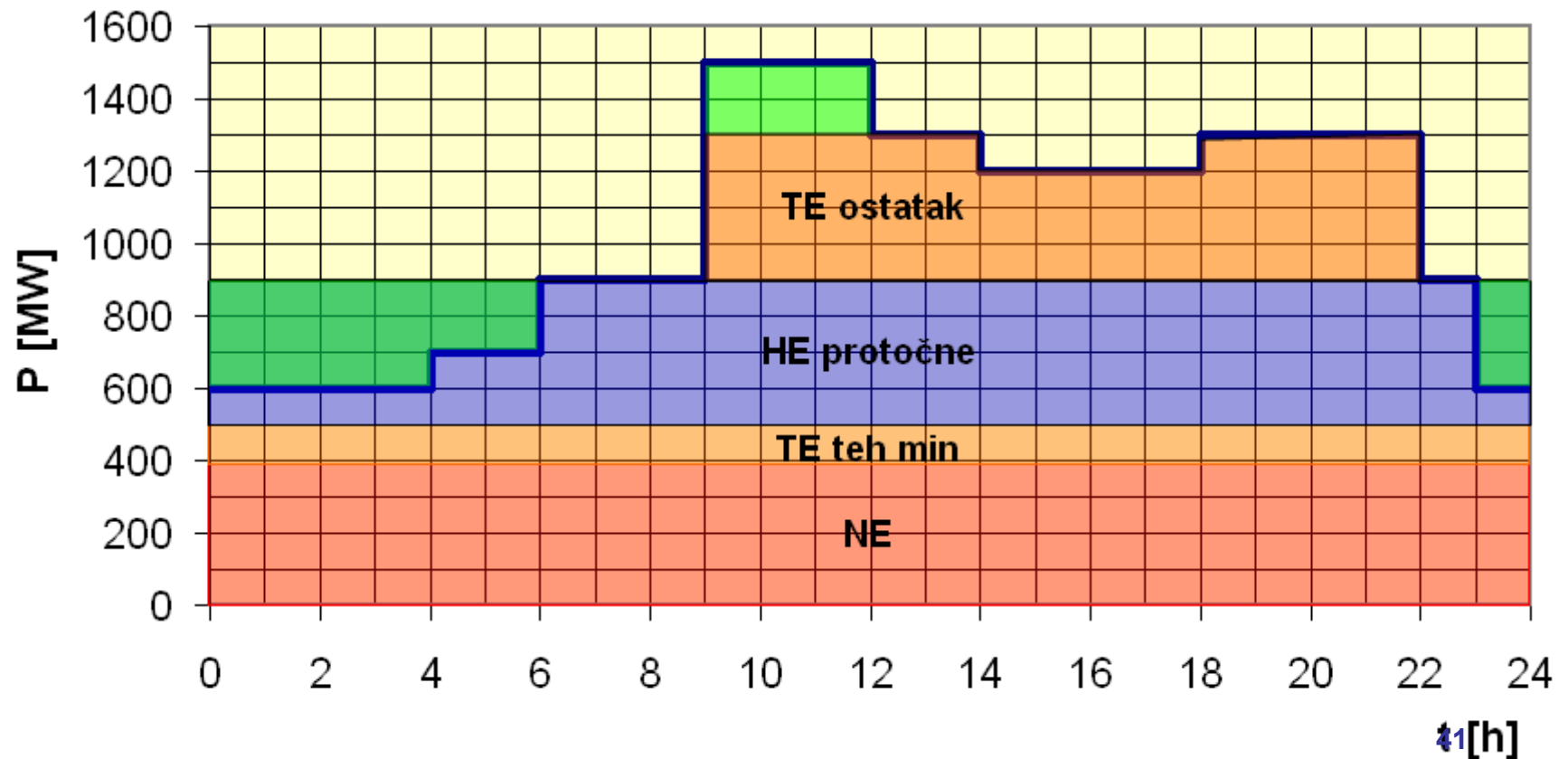


Zadatak EE.1 - rješenje

Raspoloživo:

- NE – 400 MW
- TE teh.min. – 100 MW
- HE protoč – 400 MW
- TE ostatak – 400 MW
- HE rev. – 300 MW

Reverzibilna hidroelektrana će 9-12 sati raditi kao elektrana, kako bi pokrila vršno opterećenje sustava, a tijekom noći 23-6 će pumpati vodu u gornji spremnik koristeći višak iz protočnih hidroelektrana.



EE.2

Poznati su sljedeći podaci o dnevnom opterećenju elektroenergetskog sustava: maksimalno opterećenje sustava je 1200 MW, minimalno opterećenje traje 4 sata i iznosi 700 MW, dok je potrošena konstantna energija 2,8 puta veća od varijabilne. Dnevna krivulja trajanja opterećenja sustava aproksimirana je s tri pravca uz pretpostavku $\alpha = \beta$. U sustavu su raspoložive sljedeće elektrane:

HE₁: $P_{HE1n} = 200$ MW; protočna

HE₂: $P_{HE2n} = 200$ MW; protočna

NE: $P_{NEn} = 300$ MW;

TE₁: $P_{TE1n} = 250$ MW; $P_{TE1min} = 50$ MW; $c_{TE1} = 35$ lp/kWh

TE₂: $P_{TE2n} = 350$ MW; $P_{TE2min} = 50$ MW; $c_{TE2} = 30$ lp/kWh

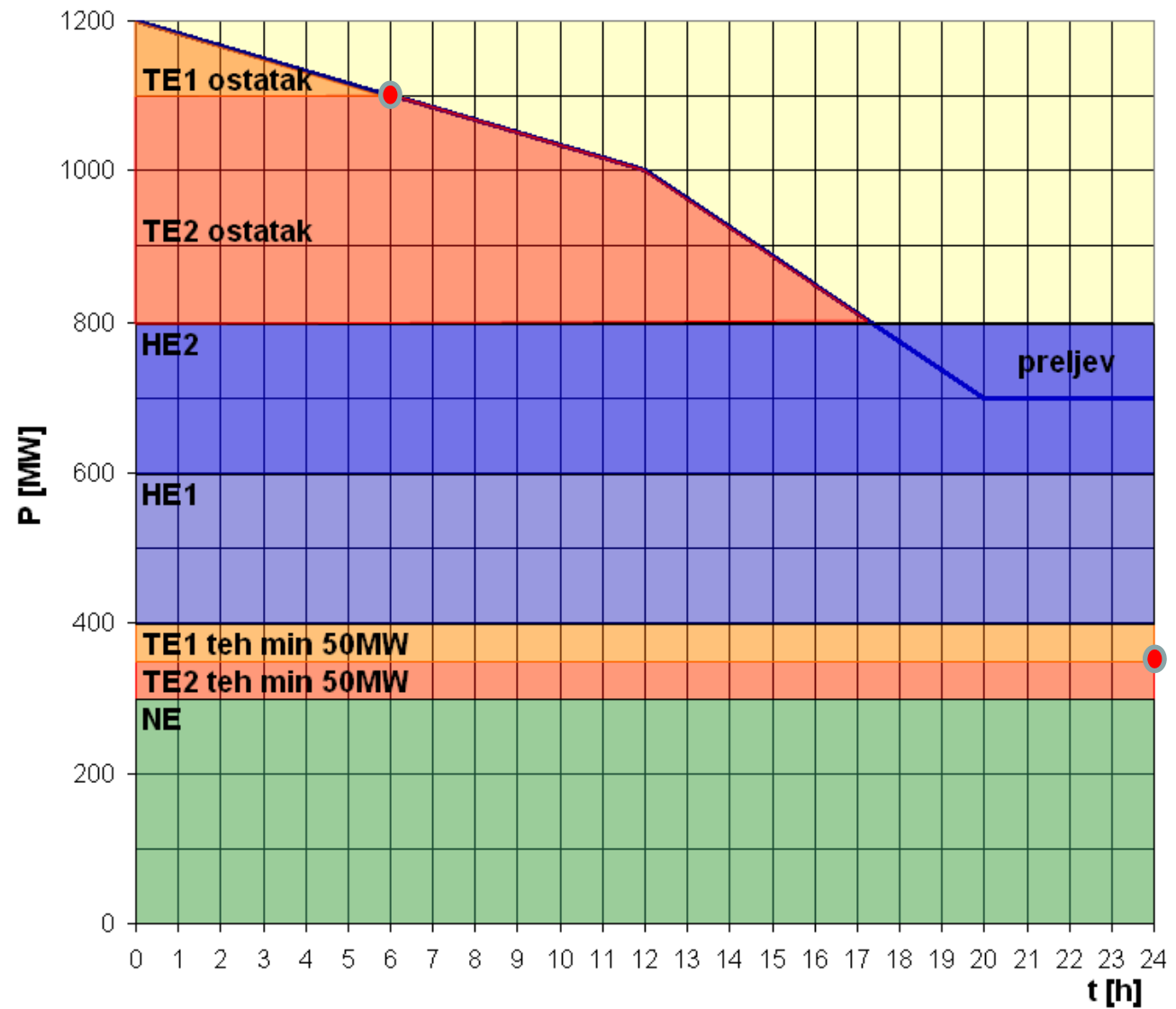
TE₃: $P_{TE3n} = 150$ MW; $P_{TE3min} = 50$ MW; $c_{TE3} = 40$ lp/kWh

Odredite faktor opterećenja i nacrtajte krivulju trajanja opterećenja.

U krivulju trajanja opterećenja do crtajte raspored rada elektrana.

Koliko sati dnevno TE₂ radi, a koliko do toga radi nazivnom snagom?

EE.2 - rješenje



Zadatak RHE.1

Reverzibilna hidroelektrana ima volumen spremnika $150 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Pražnjenjem spremnika proizvede se 120 GWh električne energije.

Učinkovitost pretvorbe mehaničke u električnu energiju je 87%, a učinkovitost pumpanja je 60%.

1. Kolika je visinska razlika između donjeg i gornjeg spremnika?
2. Koliko se energije potroši na pumpanje vode iz donjeg u gornji spremnik?
3. Koliko iznose gubici čitavog ciklusa skladištenja energije?

Pretpostaviti da gubici nastaju samo prilikom pumpanja te prilikom pretvorbe mehaničke u električnu energiju.

$$V = 150 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$E_{\text{el}} = 120 \text{ GWh}$$

$$\eta_{\text{el_meh}} = 87\%$$

$$\eta_p = 60\%$$

$$\text{Energija akumulirana u gornjem spremniku } E_{\text{pot}} = mgh = V\rho gh$$

$$E_{\text{el}} = \eta_{\text{el_meh}} E_{\text{pot}} = \eta_{\text{el_meh}} V\rho gh$$

$$\text{visinska razlika } h = E_{\text{el}} / \eta_{\text{el_meh}} V\rho g$$

$$= 120 \cdot 10^9 \cdot 3600 / 0,87 \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 337 \text{ m}$$

$$\text{ukupna učinkovitost } \eta_{\text{uk}} = E_{\text{el}} / E_{\text{EES}}$$

utrošena energija preuzeta iz EES-a:

$$E_{\text{EES}} = E_{\text{el}} / (\eta_{\text{el_meh}} \eta_p) = 120 / (0,87 \times 0,6) = 230 \text{ GWh}$$

ukupni gubici = utrošena energija – dobivena energija

$$E_g = E_{\text{EES}} - E_{\text{el}} = 230 - 120 = 110 \text{ GWh}$$

Zadatak 00.1 Plinska elektrana radi u kombiniranom ciklusu uz učinkovitost od 42%. Kao gorivo koristi metan (CH_4), ogrjevnice moći 34 MJ/m³.

Kolika je masa ugljičnog dioksida (CO_2) ispuštenog po kWh dobivene električne energije? Molarna masa ugljika iznosi 12 g/mol, kisika 16 g/mol, a molarni volumen 22,4 g/mol.

Izgaranje metana odvija se prema sljedećoj jednažbi:
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

$$E_{\text{el}} = 1 \text{ kWh}$$

$$\eta = 42\%$$

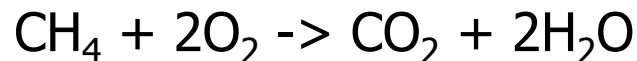
$$H = 34 \text{ MJ/m}^3$$

$$\omega(\text{CH}_4) = 100\%$$

$$E_{\text{topl}} = E_{\text{el}} / \eta = 3,6 \text{ e6} / 0,42 = 8,57 \text{ MJ}$$

$$v_g = E_{\text{topl}} / H = 8,57 / 34 = 0,25 \text{ m}^3$$

$$v(\text{CH}_4) = v_g = 0,25 \text{ m}^3$$



1 mol ima uvijek isti volumen (molarni volumen, $V_{\mu} = 22,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$)

$$v(\text{CO}_2) = v(\text{CH}_4) = 0,25 \text{ m}^3$$

$$m(\text{CO}_2) = v(\text{CO}_2) M(\text{CO}_2) / V_{\mu} = 0,25 \cdot (12 + 2 \cdot 16) / 22,4 = 0,49 \text{ kg}$$

Zadatak 00.2 Termoelektrana kao gorivo koristi ugljen ogrjevnice moći 26 MJ/kg, s masenim udjelom ugljika 65% i sumpora 3%. Učinkovitost pretvorbe toplinske u električnu energiju iznosi 33%.

Kolika je masa ugljičnog dioksida (CO₂) i sumpornog dioksida (SO₂) koja se ispusti po kWh proizvedene električne energije?

Molarna masa ugljika iznosi 12 g/mol, sumpora 32 g/mol, a kisika 2·16 g/mol.

Izgaranje ugljika i sumpora opisano je sljedećim kemijskim jednažbama: C + O₂ -> CO₂ i S + O₂ -> SO₂.

$$E_{el} = 1 \text{ kWh}$$

$$\eta = 33\%$$

$$H = 26 \text{ MJ}$$

$$\omega(C) = 65\%$$

$$\omega(S) = 3\%$$

$$\mu(C) = 12 \text{ g/mol}$$

$$\mu(S) = 32 \text{ g/mol}$$

$$\mu(O_2) = 32 \text{ g/mol}$$

$$E_{el} = 1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ e6 Ws}$$

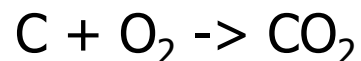
$$E_{topl} = E_{el} / \eta = 3,6 \text{ e6} / 0,33 = 10,91 \text{ e6 J} = 10,91 \text{ MJ}$$

$$m_g = E_{topl} / H = 10,91 \text{ [MJ]} / 26 \text{ [MJ/kg]} = 0,42 \text{ kg}$$

$$m(C) = m_g \omega(C) = 0,27 \text{ kg}$$

$$m(S) = m_g \omega(S) = 0,0126 \text{ kg}$$

Zadatak 00.2 - rješenje

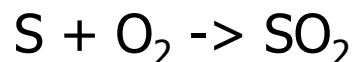


za 1 mol C, potreban je 1 mol O₂

za 12 g/mol C, potrebno je 32 g/mol O₂

za 1 kg C, potrebno je 32/12 kg O₂

$$m(\text{CO}_2) = m(\text{C}) + m(\text{O}_2) = m(\text{C})(1 + 32/12) = 0,27 (1 + 32/12) = 0,99 \text{ kg} \approx 1 \text{ kg}$$



za 1 mol S, potreban je 1 mol O₂

za 32 g/mol S, potrebno je 32 g/mol O₂

za 1 kg S, potrebno je 32/32 kg O₂

$$m(\text{SO}_2) = m(\text{S}) + m(\text{O}_2) = m(\text{S})(1 + 32/32) = 0,0126 \cdot 2 = 0,025 \text{ kg}$$