

**Hidroelektrane**  
**Nuklearne elektrane**  
**Potrošnja električne energije**  
**Energija Sunca**  
**Energija vjetra**  
**Energija biomase**  
**Skladištenje energije**  
**Energija, okoliš i održivi razvoj**  
**Termoelektrane**

---

Zadatci prije ZI  
Energijske tehnologije  
FER 2007.



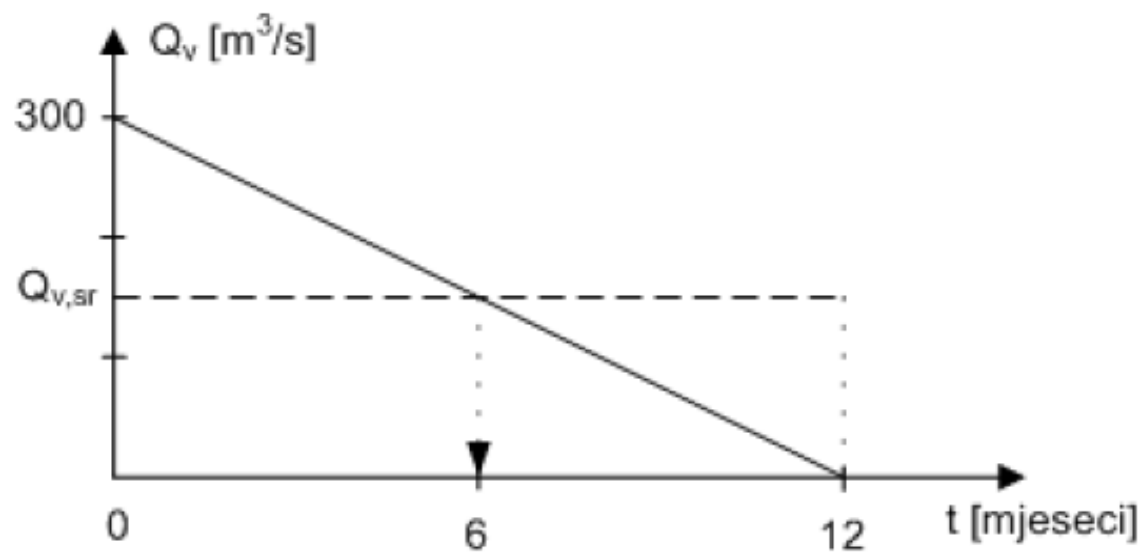
## Zadatak 1: Hidroelektrana

Za promatranu lokaciju protočne hidroelektrane (HE) vjerojatnosna krivulja trajanja protoka ima oblik  $Q_{\text{vjerojatno}}(t) = 300 - 25t$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] ( $t$  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.

a)

grafički:



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

ili

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

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

b)

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

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

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

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

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

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

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

slijedi:

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

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 jednačina koja u sređenom obliku glasi:  $Q'_i (2,4 - 0,02 Q'_i) = 0$

slijedi:  $Q'_i = 120 \text{ m}^3/\text{s}$

## Zadatak 2: Nuklearna elektrana

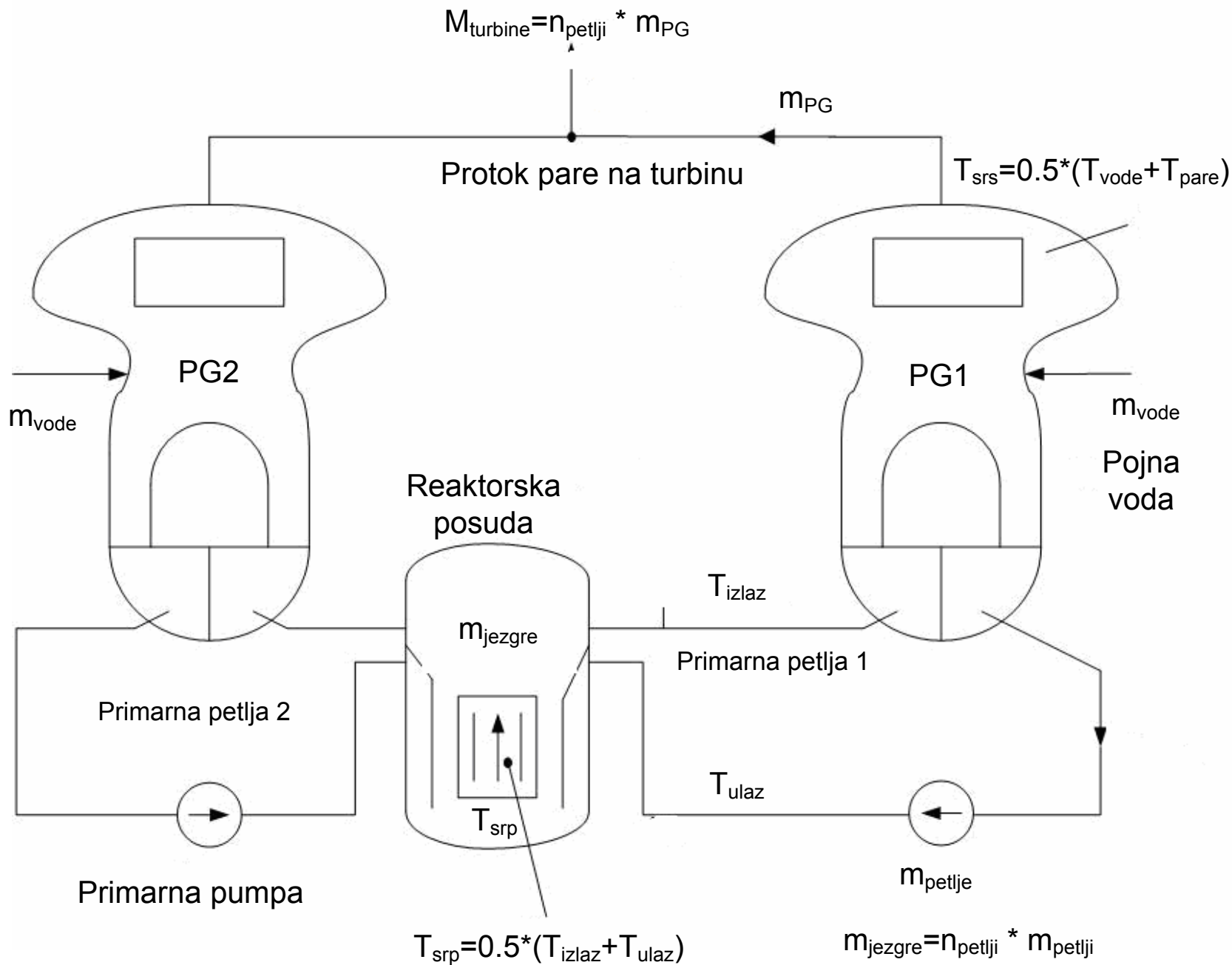
Nuklearna elektrana PWR tipa, stupnja djelovanja 33%, s 2 rashladne petlje, daje u mrežu snagu od 690 MWe. Svaka od 2 primarne pumpe predaje hladiocu toplinsku snagu u iznosu od 3 MW. Temperatura pojne vode je 224 °C, a temperatura zasićene pare na izlazu parogeneratorske petlje je 275.6 °C. Entalpija pojne vode i zasićene pare su  $9.63 \times 10^5$  J/kg i  $2.785 \times 10^6$  J/kg. Srednja temperatura primarne vode je 305 °C, srednja gustoća primarne vode 716 kg/m<sup>3</sup>, a srednji specifični toplinski kapacitet je 5.16 kJ/kgK. Porast temperature hladioca u jezgri reaktora je 40 K.

Potrebno je odrediti:

- efektivni toplinski otpor cijevi parogeneratorske petlje  $R_T$  [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 UO<sub>2</sub> goriva u jezgri reaktora ako znamo da je srednji neutronske tok  $2.8 \times 10^{17}$  n/m<sup>2</sup>s, 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?



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

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

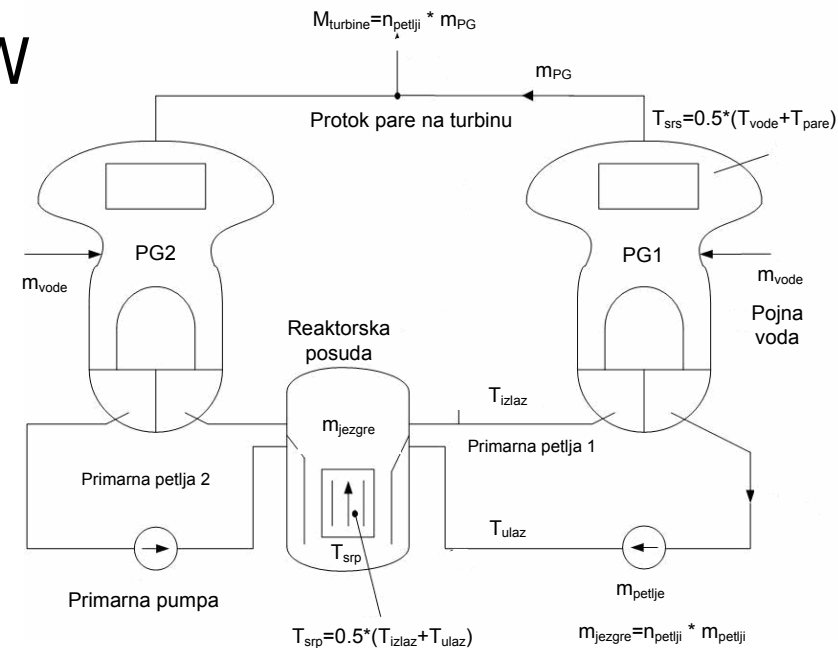
- Broj petlji  $n_{\text{petlji}}$

- Snaga jezgre:  

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

- Snaga parogeneratora:

$$P_{PG} = P_T / n_{\text{petlji}} = 2090,9 / 2 = 1045,45 \text{ MW}$$





- Entalpija pare  $h_{\text{pare}}$   
entalpija pojne vode  $h_{\text{vode}}$
- Maseni protok pare na turbinu  $m_{\text{turb}}$   

$$m_{\text{turb}} = P_T / (h_{\text{pare}} - h_{\text{vode}}) =$$

$$2090,9 \times 10^6 / (2,785 \times 10^6 - 9,63 \times 10^5) = 1147,1 \text{ kg/s}$$
- maseni protok kroz jezgru  $m_{\text{jezgre}}$   

$$m_{\text{jezgre}} = P_{\text{jezgre}} / (c_p \Delta T_{\text{jezgre}}) =$$

$$2084,9 \cdot 10^6 / (5,16 \cdot 10^3 \times 40) = 10101,3 \text{ kg/s}$$
- protok kroz petlju  $m_{\text{petlje}}$   

$$m_{\text{petlje}} = m_{\text{jezgre}} / n_{\text{petlji}} = 10101,3 / 2 = 5050,65 \text{ kg/s}$$
- Volumni protok hladioca u petlji  $v_{\text{petlje}}$   

$$v_{\text{petlje}} = m_{\text{petlje}} / \rho = 5050,65 / 716 = 7,054 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 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  $\Delta p_{pumpe}$   

$$P_{pumpe} = v_{petlje} \Delta p_{pumpe}, \text{ pa je}$$

$$\Delta p_{pumpe} = P_{pumpe} / v_{petlje} = 3 \cdot 10^6 / 7,054 = 425,3 \text{ kPa}$$

- $P_{\text{jezgre}} = 200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot \Phi \cdot \sigma_{\text{fis}} \cdot N_{235} \rightarrow$   
 $N_{235} = 2084,9 \cdot 10^6 / (200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 2,8 \cdot 10^{17} \cdot 580 \cdot 10^{-28})$   
 $= 4.0119092 \cdot 10^{27}$
- $N_{235} = e \times 238/270 \cdot m_{\text{UO}_2} \cdot 6,022 \cdot 10^{26} / 235 \rightarrow$   
 $m_{\text{UO}_2} = 59203 \text{ kg}$

e-obogaćenje U235

## “Hlađenje”

- $t = 365 + 3 = 368$  dana (od početka pogona)
- $t_0 = 365$  dana (na snazi)
- Ostatna toplina  
 $P_{\text{ostatno}} = 6,1 \cdot 10^{-3} \cdot P_{\text{jezgre}} \cdot ((t - t_0)^{-0,2} - t^{-0,2})$   
 $P_{\text{ostatno}} = 6,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2084,9 \cdot (3^{-0,2} - 368^{-0,2}) = 6,3 \text{ MW}$

**Zadatak 3.** 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

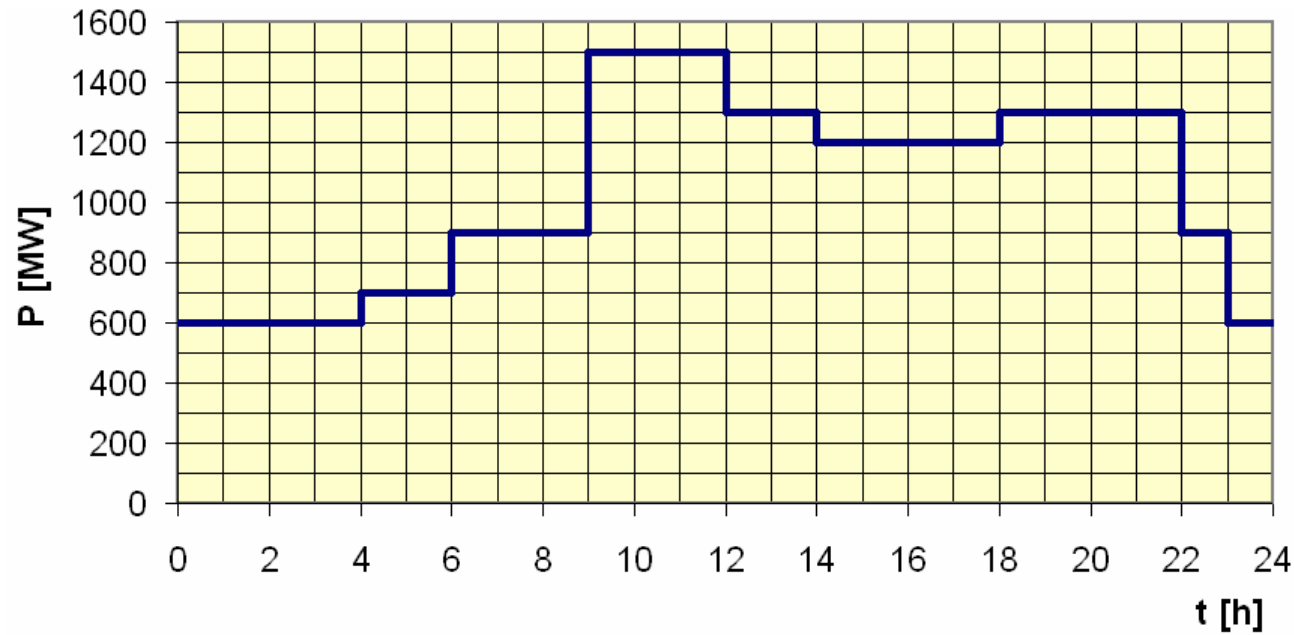
$$P_{\max} = 1500 \text{ MW}$$

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

Raspoloživo:

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

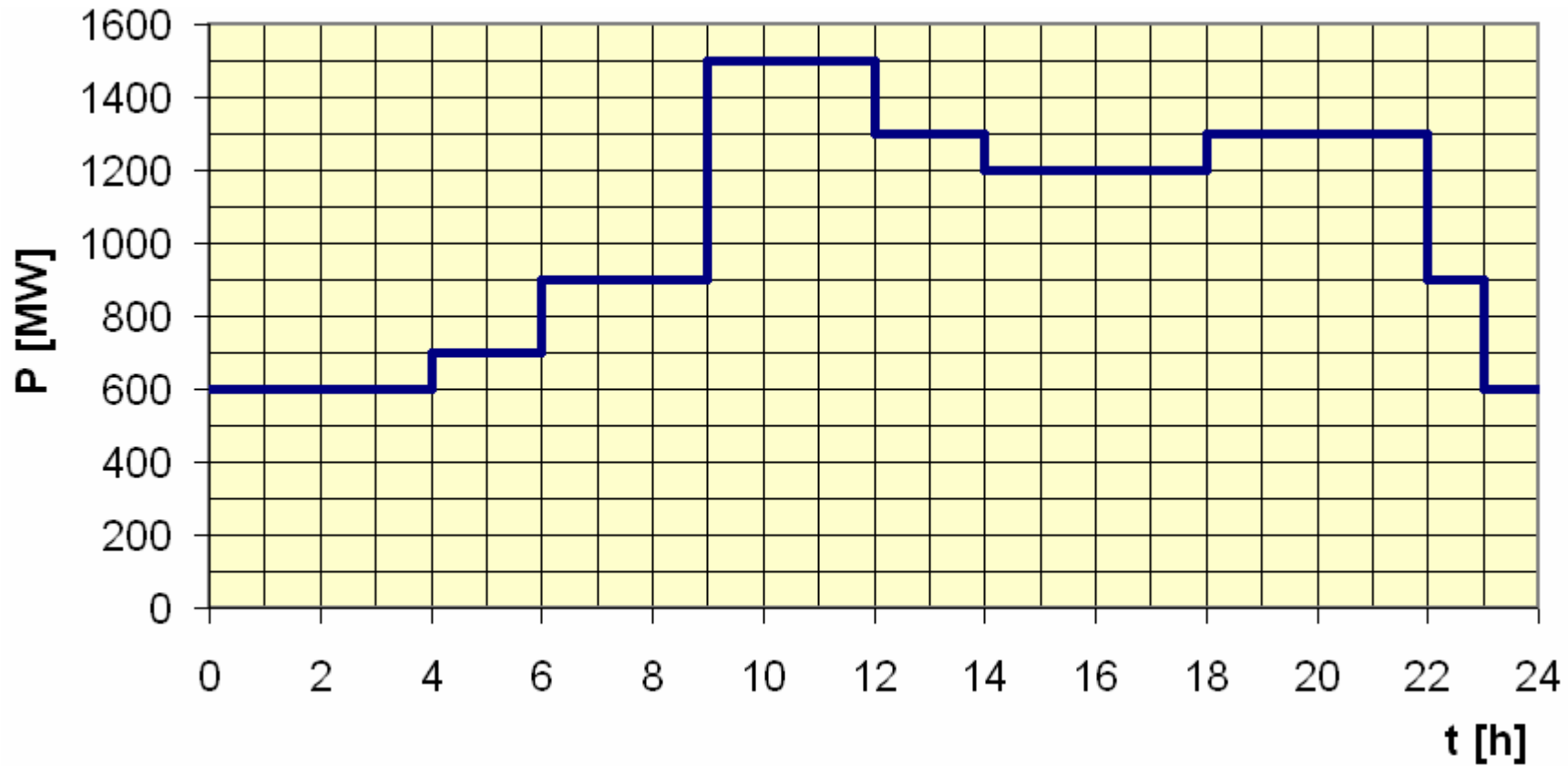
Prvo nacrtamo dnevnu krivulju (dijagram) opterećenja



### Zadatok 3.

Raspoloživ:

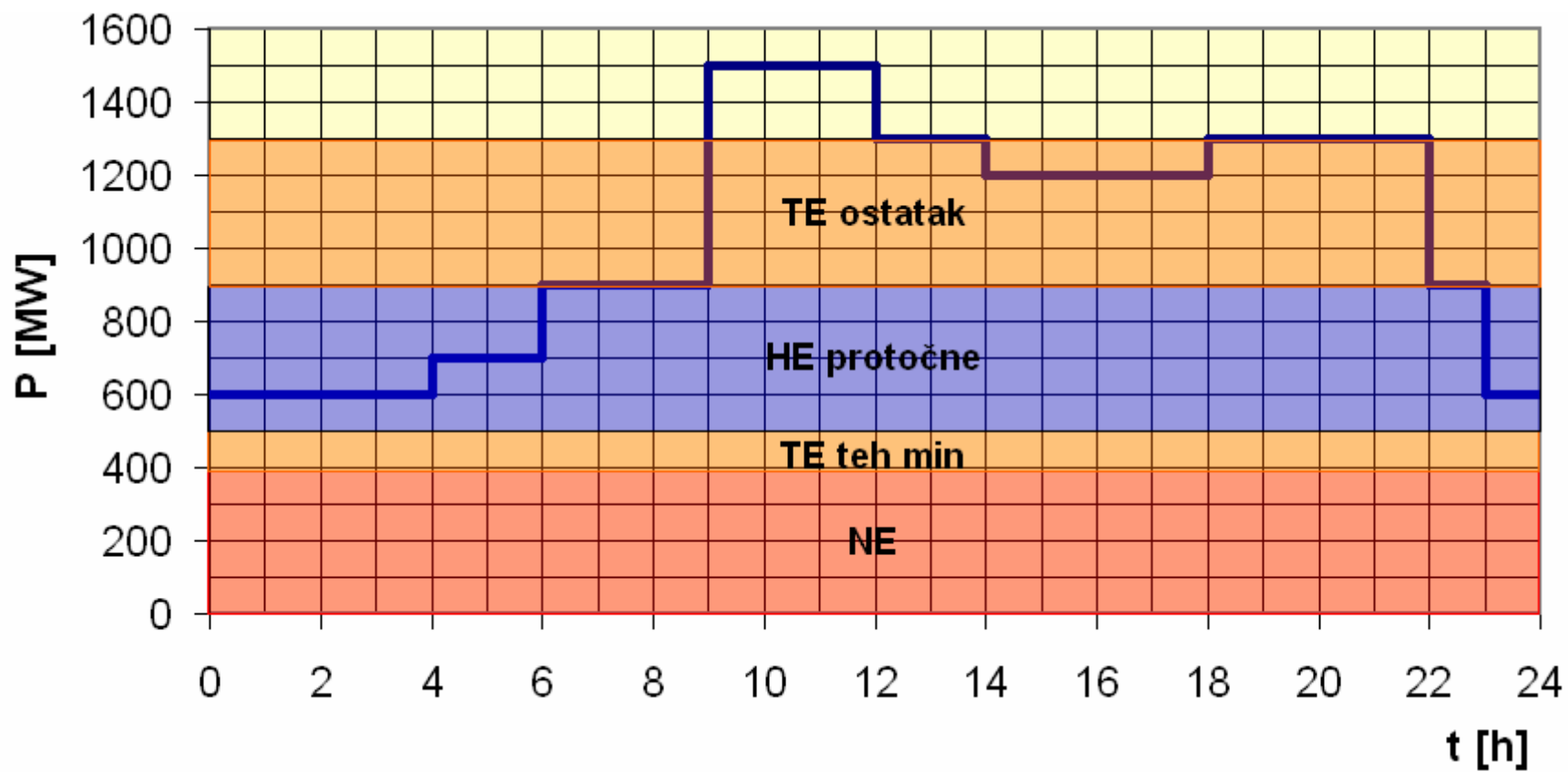
- NE – 400 MW
- TE teh.min. – 100 MW
- HE protoč – 400 MW
- TE ostatak – 400 MW
- HE rev. – 300 MW



### Zadatok 3.

Raspoloživó:

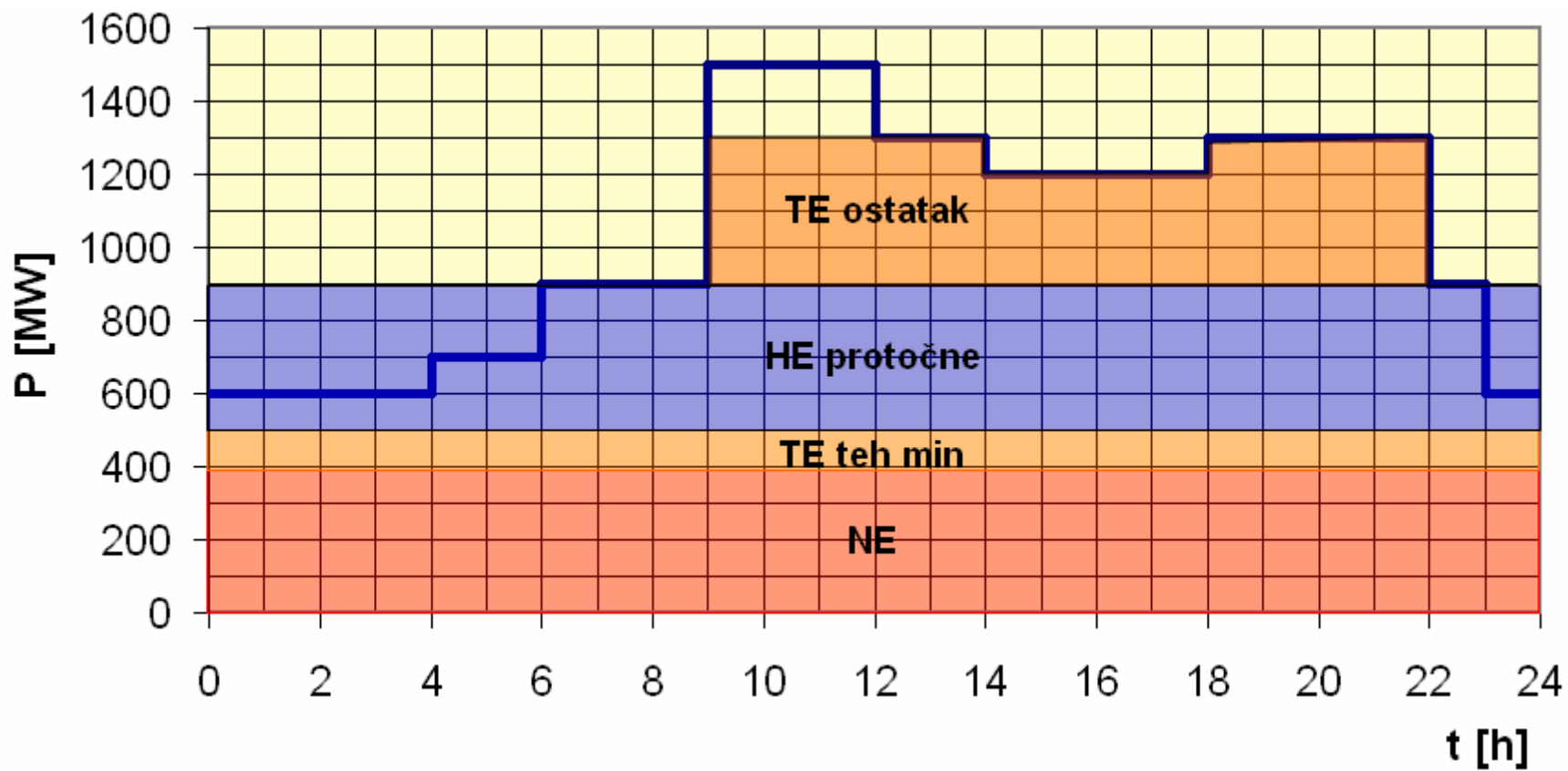
- NE – 400 MW
- TE teh.min. – 100 MW
- HE protoč – 400 MW
- TE ostatak – 400 MW
- HE rev. – 300 MW



### Zadatak 3.

Raspoloživo:

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

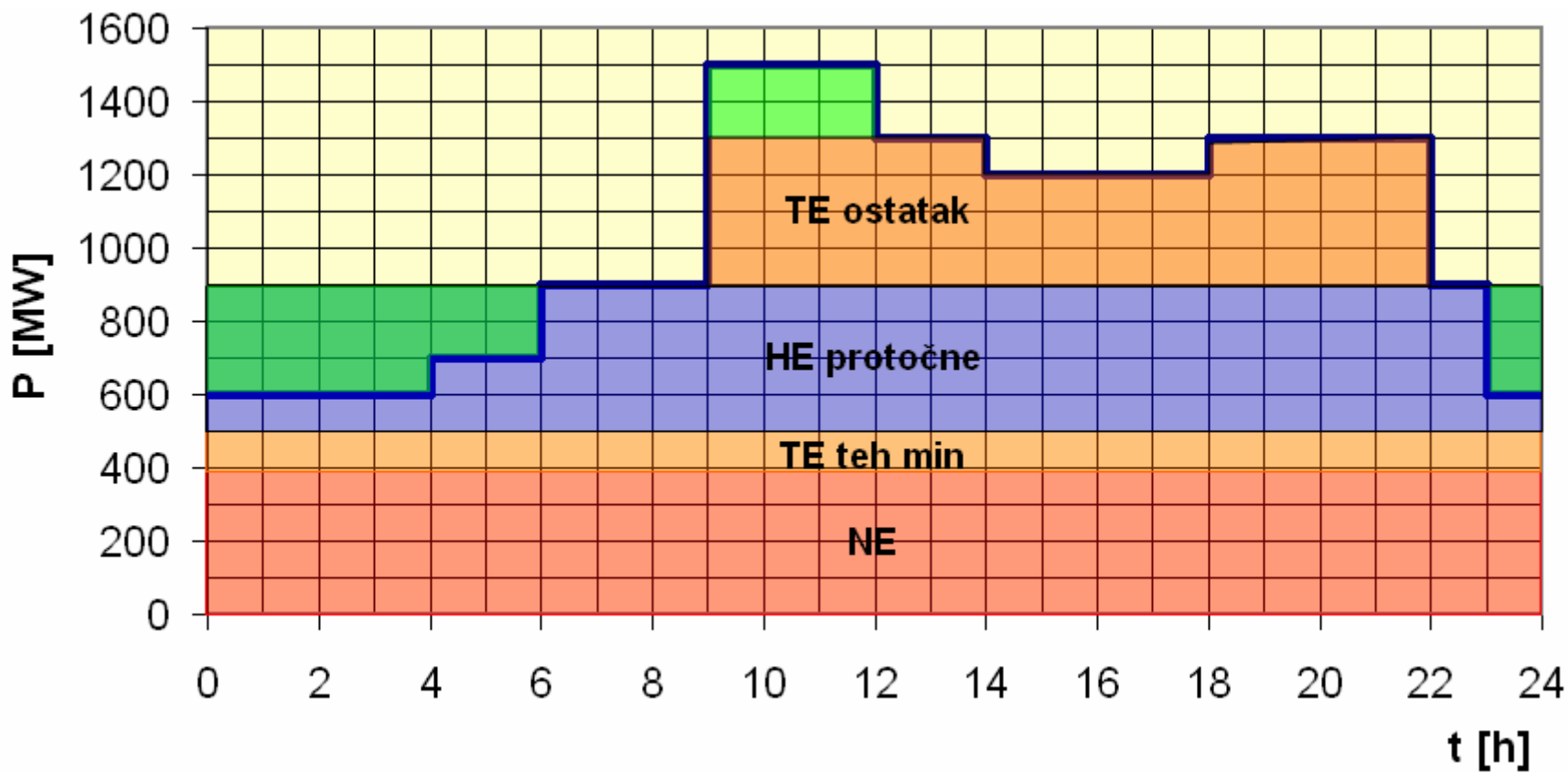


### Zadatak 3.

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.





**Zadatak 4.** Solarna fotonaponska elektrana vršne snage **1 MW** godišnje proizvede **1952 MWh** el. en. FN ćelije imaju **14%** stupanj djelovanja i aktivnu površinu **8403 m<sup>2</sup>**. Gubitci u elektrani iznose **15%**. Ukupna potrebna površina za elektranu je **50%** veća od aktivne površine. Godišnje ozračenje na panele pod optimalnim kutom iznosi **1952 kWh/m<sup>2</sup>**. Potrebno je odrediti:

a) faktor opterećenja

b) potrebnu specifičnu površinu elektrane [m<sup>2</sup>/MWh]

c) vršno ozračenje

d) ozračenost na horizontalnu površinu ako je povećanje za optimalni kut 22%

a) faktor opterećenja

$$m = W / (P_n \cdot t_{\text{god}}) \\ = 1952 / (1.8760) = 0,224$$

b) potrebnu specifičnu površinu

$$a = A_{\text{ukupno}} / W \\ A_{\text{ukupno}} = 1,5 \cdot A_{\text{aktivno}} \\ = 1,5 \cdot 8403 = 12604,5 \text{ m}^2 \\ a = 12604,5 / 1952 = 6,5 \text{ m}^2/\text{MWh}$$

c) vršno ozračenje

$$G_v = P_n / \eta_{\text{ukupno}} / A_{\text{aktivno}} \\ = 1000 / (0,14 \cdot 0,85) / 8403 = 1 \text{ kW/m}^2$$

d) ozračenost na horizontalnu površinu ako je povećanje za optimalni kut 22%

$$H_{\text{hor.}} = H_{\text{opt}} / 1,22 = 1952 / 1,22 = 1600 \text{ kWh/m}^2$$

**Zadatak 5.** Vjetroagregat (VA), promjera lopatica **54 m**, godišnje proizvede **2271 MWh** el. en. Faktor opterećenja iznosi **32,4%**. Tijekom **27%** vremena u godini brzina vjetra je ispod početne, a tijekom **10%** vremena iznad maksimalne. Za **28%** vremena brzina vjetra iznosi oko **6 m/s** i VA ima  $C_{pe6}=0,528$ . Za **23%** vremena brzina vjetra iznosi oko **9 m/s** i VA ima  $C_{pe9}=0,469$ . Potrebno je odrediti:

a. nazivnu snagu VA

b. snagu na 6 i 9 m/s

c. vrijeme koje VA radi na  $P_n$

d. vrijeme koje VA radi

e. vrijeme koje bi VA trebala raditi na  $P_n$  za proizvodnju iste el. en.

a. nazivna snaga VA

$$P_n = W / (m \cdot t_{god.}) \\ = 2271 / (0,324 \cdot 8760) = 2271 / 2838 = 0,8 \text{ MW}$$

b. snaga na 6 m/s

$$P = c_{pe} \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ P_6 = 0,528 \cdot 0,5 \cdot 1,225 \cdot (54/2)^2 \cdot \pi \cdot 6^3 \\ = 159982 = 160 \text{ kW} \\ P_9 = 480 \text{ kW}$$

c. vrijeme koje VA radi na nazivnoj snazi

$$W = P_n (p_6 \cdot t_6 + p_9 \cdot t_9 + p_n \cdot t_n) = P_n (p_6 \cdot t_6 + p_9 \cdot t_9 + 1 \cdot t_n) \\ t_n = W / P_n - p_6 \cdot t_6 - p_9 \cdot t_9 \\ t_n = 2271 / 0,8 - 0,2 \cdot 0,28 \cdot 8760 - 0,6 \cdot 0,23 \cdot 8760 = 1139 \text{ h}$$

$$p_i = P_i / P_n \\ p_6 = 160 / 800 = 0,20 \\ p_9 = 480 / 800 = 0,60$$

d. vrijeme koje VA radi

$$t_{rada} = t_{god.} - t_{nerada} = 8760 \cdot (1 - 0,27 - 0,10) = 5519 \text{ h}$$

e. vrijeme  $t_m$

$$t_m = W / P_n = m \cdot t_{god.} \\ = 2828 \text{ h}$$

**Zadatak 6.** Termoelektrana (TE) na biomasu radi na nazivnoj snazi 7446 h tijekom godine i proizvede 18615 MWh el. en. Površina na kojoj se uzgaja biomasa i površina koju zauzima TE (dodatnih 15 %) iznosi 2460 ha. Stupanj djelovanja TE iznosi 31%, a ogrjevna vrijednost biomase H 13,5 MJ/kg. Potrebno je odrediti:

a) faktor opterećenja

b) nazivnu snagu

c) potrebni prinos M biomase [t/ha]

d) potrebnu specifičnu površinu elektrane [m<sup>2</sup>/MWh]

a) faktor opterećenja

$$m = t_m / t_{\text{god}} \\ = 7446 / 8760 = 0,85$$

b) nazivna snaga

$$P_n = W / (m \cdot t_{\text{god.}}) \\ = 18615 / (0,85 \cdot 8760) = 2,5 \text{ MW}$$

c) potrebni prinos biomase

$$W_t = A \cdot M \cdot H / f_A = W_e / \eta$$

$$M = W_e \cdot f_A / (\eta \cdot A \cdot H)$$

$$M = \frac{18,615 \cdot 10^6 \text{ kWh} \cdot 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \cdot 1,15}{0,31 \cdot 2460 \text{ ha} \cdot 13,5 \cdot \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{t}}} = 7,5 \frac{\text{t}}{\text{ha}}$$

d) potrebna specifična površinu

$$a = A_{\text{ukupno}} / W$$

$$a = \frac{2460 \text{ ha} \cdot 10^4 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}{18,615 \cdot 10^3 \text{ MWh}} = 1322 \frac{\text{m}^2}{\text{MWh}}$$

## **Zadatak 7.**

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.

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

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

$$\eta_{\text{el\_meh}} = 87\%$$

$$\eta_p = 60\%$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{visinska razlika } h &= E_{\text{el}} / \eta_{\text{el\_meh}} V\rho g \\ &= 120 \cdot 10^9 \cdot 3600 / 0,87 \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 337 \text{ m} \end{aligned}$$

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

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 8.** Plinska elektrana radi u kombiniranom ciklusu uz učinkovitost od 42%. Kao gorivo koristi metan ( $\text{CH}_4$ ), ogrjevnice moći 34 MJ/m<sup>3</sup>.

Kolika je masa ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) 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 jednadžbi:  
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

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

$$\eta = 42\%$$

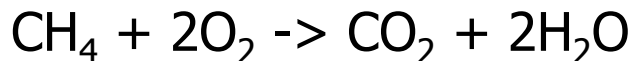
$$H = 34 \text{ MJ/ m}^3$$

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

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

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

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



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 9.** Termoelektrana kao gorivo koristi ugljen ogrjevnog 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 (CO<sub>2</sub>) i sumpornog dioksida (SO<sub>2</sub>) 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 + O<sub>2</sub> -> CO<sub>2</sub> i S + O<sub>2</sub> -> SO<sub>2</sub>.

---

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

$$\eta = 33\%$$

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

$$\omega(\text{C}) = 65\%$$

$$\omega(\text{S}) = 3\%$$

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

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

$$\mu(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$$

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

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

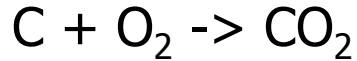
$$m_g = E_{\text{topl}} / H = 10,91 \text{ [MJ]} / 26 \text{ [MJ/kg]} = 0,42 \text{ kg}$$

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

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

## Zadatak 9.

---

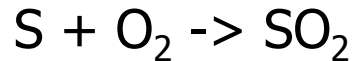


za 1 mol C, potreban je 1 mol O<sub>2</sub>

za 12 g/mol C, potrebno je 32 g/mol O<sub>2</sub>

za 1 kg C, potrebno je 32/12 kg O<sub>2</sub>

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



za 1 mol S, potreban je 1 mol O<sub>2</sub>

za 32 g/mol S, potrebno je 32 g/mol O<sub>2</sub>

za 1 kg S, potrebno je 32/32 kg O<sub>2</sub>

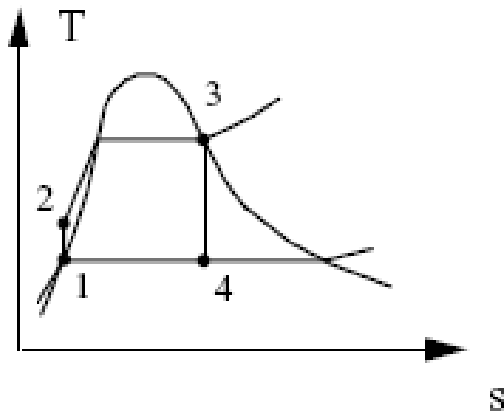
$$m(\text{SO}_2) = m(\text{S}) + m(\text{O}_2) = m(\text{S})(1 + 32/32) = 0,0126 \cdot 2 = 0,025 \text{ kg}$$

# **Termoelektrane**



## Zadatak 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 2

➤ 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 2

➤ rad turbine

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

➤ termički stupanj djelovanja termoelektrane

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

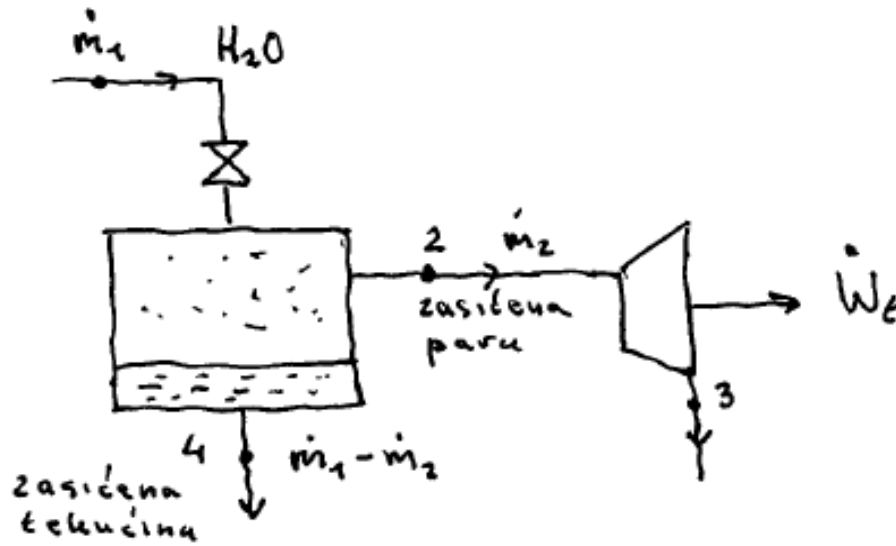
## Zadatak 7

Geotermalna elektrana koristit će se energijom vode tlaka 1,5 MPa i temperature 180 °C. U procesu prigušivanja, slika, tlak će se vode snižavati na 400 kPa, i time dobivati mokra para, iz koje će se odvajati tekuća komponenta, a zasićena će para obavljati rad u parnoj turbini.

Ako će tlak te pare na izlazu iz turbine biti 10 kPa, a sadržaj pare 0,9, te ako će snaga turbine biti 1 MW, koliki mora biti maseni tijek geotermalne vode na ulazu u geotermalnu elektranu?

# Zadatak 7

## Shema geotermalne elektrane



- u procesu prigušivanja entalpija se fluida ne mijenja:  
entalpija je vode,  $h_1 = 763,3716 \text{ kJ/kg}$  (tablice),  
entalpija mokre pare tlaka 400 kPa čije su ostale  
vrijednosti (tablice):  $h' = 604,6731 \text{ kJ/kg}$  i  
 $h'' = 2737,6372 \text{ kJ/kg} = h_2$  (entalpija zasićene pare na  
ulazu u parnu turbinu)

## Zadatak 7

Dakle je entalpija mokre pare:

$$h_{mp} = 763,37 = h_{mp}' + x(h_{mp}'' - h_{mp}') = 604,67 + x(2737,64 - 604,67) \text{ kJ/kg, a sadržaj pare:}$$

$$x = \frac{763,37 - 604,67}{2737,64 - 604,67} = 0,0744$$

Vrijedi prema tome za odnos tijekova mase zasićene pare i geotermalne vode, slika:

$$x = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} = 0,0744.$$

## Zadatak 7

Entalpija je mokre pare na izlazu iz turbine:

$$h_3 = h' + x(h_3'' - h_3')$$

U tablicama očitavamo (tlak je pare 10 kPa):

$$h' = 191,83 \text{ kJ/kg i } h'' = 2584,79 \text{ kJ/kg,}$$

pa dobivamo:

$$\begin{aligned} h_3 &= 191,83 + 0,9(2584,79 - 191,83) = \\ &= 2345,5 \text{ kJ/kg.} \end{aligned}$$

Iz snage turbine dobivamo potrebni protok pare:

$$\dot{W}_t = \dot{m}_2 (h_2 - h_3) = 1000 \text{ kW}$$

## Zadatak 7

$$\dot{m}_2 = \frac{1000}{2737,64 - 2345,5} = 2,25 \text{ kg / s}$$

Traženi je protok geotermalne vode dakle:

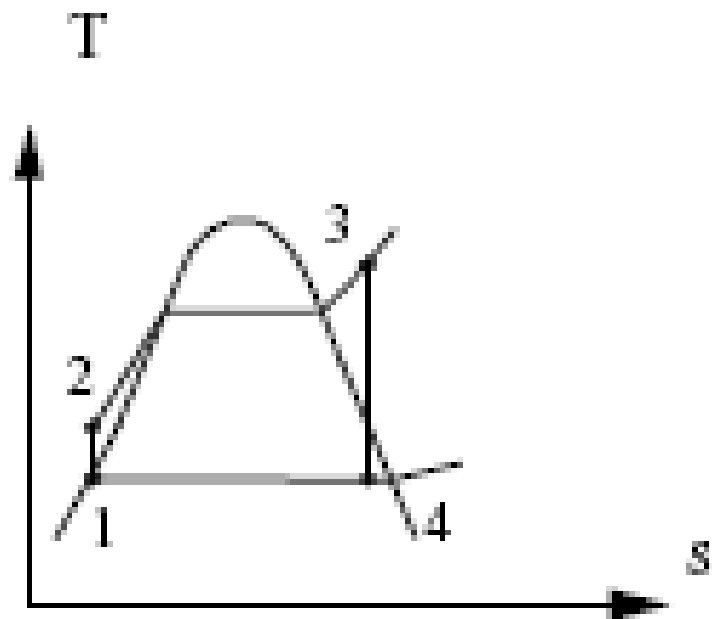
$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{m}_2}{x} = \frac{2,25}{0,074} = 34,46 \text{ kg / s.}$$



## Zadatak 12

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 12

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  $s_4 = s_3 = 7,6466 \text{ kJ/kgK}$ :

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

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

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

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

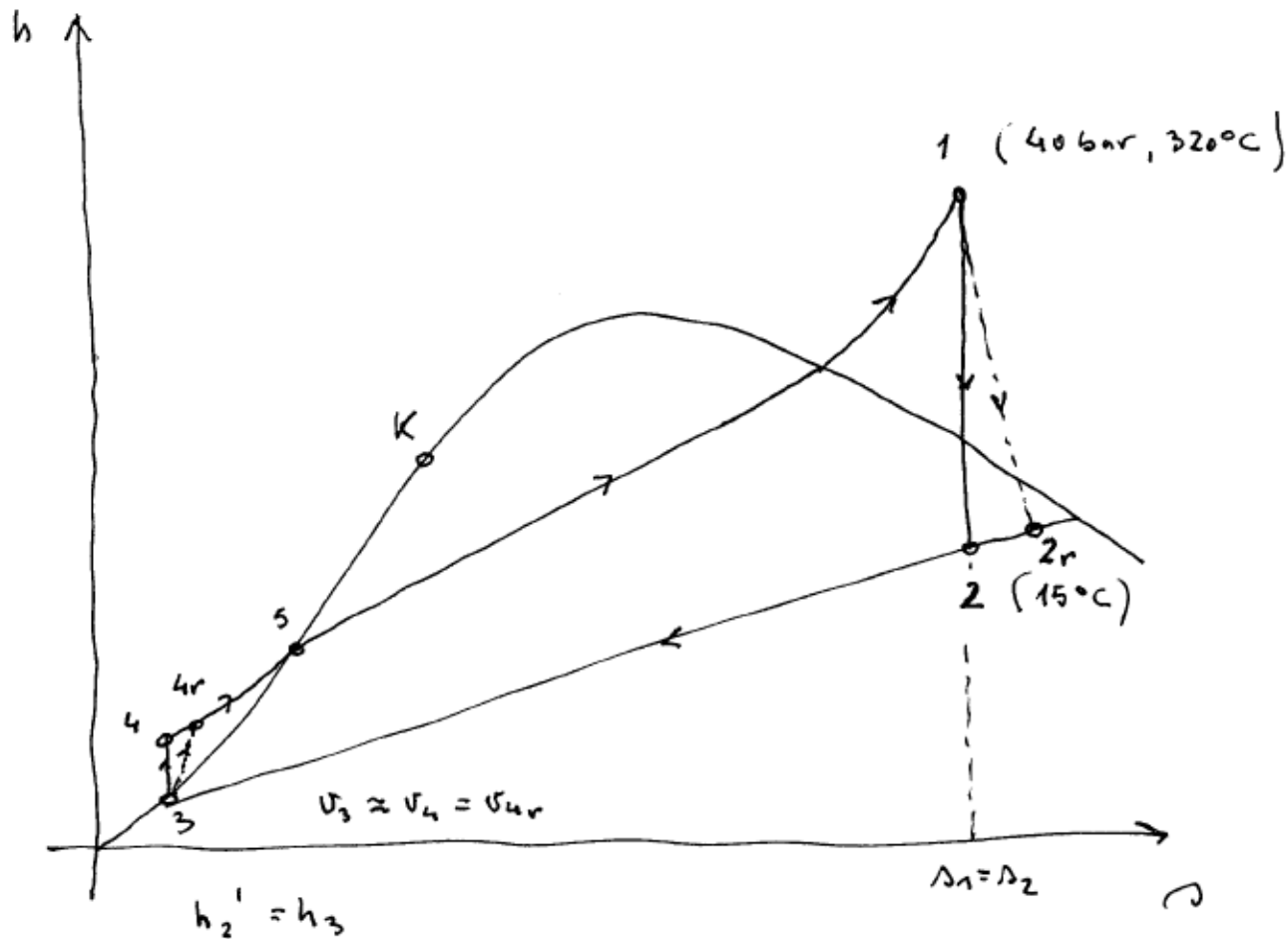
## Zadatak 15

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 15

$h,s$  – dijagram procesa



## Zadatak 15

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 15

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

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

Rad turbine

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

## Zadatak 15

Rad pumpe

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

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

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

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

## Zadatok 15

b)

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

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

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



## Zadatok 15

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

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

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

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

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