

Auditorne vježbe, lipanj 2008.

Završni ispit 2007.
Energijske tehnologije
FER 2008.



Zadatak 1.

Idealni se Rankineov kružni proces provodi s pregrijanom parom tlaka 3 MPa, temperature 350 °C. Tlak je u kondenzatoru 50 kPa.

Karakteristične su vrijednosti stanja kružnog procesa:
za tlak 3 MPa i 350 °C: $h = 3116,3 \text{ kJ/kg}$, $s = 6,74 \text{ kJ/kgK}$
za tlak 50 kPa: $v' = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$, $h'' = 2645 \text{ kJ/kg}$,
 $h' = 340,5 \text{ kJ/kg}$, $s' = 1,1 \text{ kJ/kgK}$, $s'' = 7,59 \text{ kJ/kgK}$.

Nacrtati T-s dijagram i odrediti termički stupanj djelovanja procesa. Računati s radom pumpanja vode u kotao. Vodu smatrati nestlačivom.

Zadatak 1. - rješenje

$$s_4 = s' + x_4 \cdot (s'' - s') = s_3 \quad \Rightarrow \quad x_4 = \frac{s_3 - s'}{s'' - s'} = \frac{6,74 - 1,1}{7,59 - 1,1} = 0,869$$

$$h_4 = h_4' + x_4 \cdot (h_4'' - h_4') = 340,5 + 0,869 \cdot (2645 - 340,5) = \mathbf{2343 \text{ kJ/kg}}$$

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

$$(h_1 = h' = 340,5 \text{ kJ/kg})$$

- termički stupanj djelovanja:

$$\begin{aligned} \eta_t &= 1 - \frac{|q_{odv}|}{q_{dov}} = 1 - \frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} = \\ &= 1 - \frac{2343 - 340,5}{3116,3 - 343,5} = 0,278 \end{aligned}$$

Zadatak 2.

Pribranska i derivacijska hidroelektrana imaju zahvat na 400 m n.v. s prosječnim protokom od 100 m³/s. Pribranska HE ima instalirani protok jednak prosječnom. Obje HE imaju korisnu visinu vode na zahvatu ispred pregrade od 20 m. Derivacijska HE ima 10% manji stupanj djelovanja. Na koju n.v. treba postaviti postrojenje derivacijske HE da ima tri puta veću snagu od pribranske uz zahtjev da se mora osigurati protok biološkog minimuma od 10 m³/s.

$$\begin{array}{ll} H_{\text{zah}} = 400 \text{ m n.v.} & H_p = 20 \text{ [m]} \\ Q_z = 100 \text{ m}^3/\text{s} = Q_i & Q_{\text{BM,d}} = 10 \text{ m}^3/\text{s} \\ \eta_d = 0,9 \eta_p & P_d = 3 P_p \end{array}$$

$$H_{\text{odv}} = ? \text{ m n.v.}$$

Zadatak 2. - rješenje

$$H_{n,p} = H_p$$

$$H_{n,d} = H_p + (H_{zah} - H_{odv})$$

$$P_d = 9,81 \cdot \rho \cdot H_{n,d} \cdot (Q_Z - Q_{BM}) \cdot \eta_d$$

$$P_p = 9,81 \cdot \rho \cdot H_{n,p} \cdot Q_Z \cdot \eta_p$$

$$3 P_p = P_d$$

$$3 \cdot 9,81 \cdot \rho \cdot H_{n,p} \cdot Q_Z \cdot \eta_p = 9,81 \cdot \rho \cdot H_{n,d} \cdot (Q_Z - Q_{BM}) \cdot \eta_d$$

$$3 \cdot H_p \cdot Q_Z \cdot \eta_p = [H_p + (H_{zah} - H_{odv})] \cdot (Q_Z - Q_{BM}) \cdot 0,9 \eta_p$$

$$3 \cdot H_p \cdot Q_Z = [H_p + (H_{zah} - H_{odv})] \cdot (Q_Z - Q_{BM}) \cdot 0,9$$

$$3 \cdot 20 \cdot 100 = [20 + 400 - H_{odv}] \cdot (100 - 10) \cdot 0,9$$

$$6000 = 34020 - 81 \cdot H_{odv}$$

$$H_{odv} = \mathbf{346 \text{ m n.v.}}$$

Zadatak 3.

Reverzibilna hidroelektrana snage 100 MW tijekom dana radi 2 h na punoj snazi.

Visinska razlika između gornjeg i donjeg spremnika iznosi 100 m. Učinkovitost rada pumpe iznosi 0,70, a učinkovitost pretvorbe mehaničke u električnu energiju 0,88.

Koliko je dnevno potrebno električne energije za pumpanje vode u gornji spremnik da bi se proizvela navedena el. en.?

Zadatak 3. - rješenje

- potrebna potencijalna energija vode da bi reverzibilna elektrana proizvela 200 MWh električne energije u jednom danu

$$E_{\text{pot}} = P \cdot t / \eta_{\text{el,meh}} = 100 \text{ MW} \cdot 2 \text{ h} / 0,88 = 227,27 \text{ MWh}$$

- potrebna električna energija vode za pumpanje vode u gornji spremnik

$$\begin{aligned} E_{\text{elen}} &= E_{\text{pot}} / \eta_p = 227,27 \text{ MWh} / 0,7 \\ &= 324,68 \text{ MWh dnevno} \end{aligned}$$

Zadatak 4.

Specifična snaga jezgre nuklearnog reaktora tipa PWR na punoj snazi je **36,88 kW/kgU**. Odrediti srednji neutronske tok za 3% obogaćeno gorivo i mikroskopski udarni presjek za fisiju jednak **$580 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$** . Po jednoj fisiji oslobodi se **$3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$** energije. Odrediti snagu jezgre ako ona sadrži **76,33 t** urana. Odrediti potrebni maseni protok vode kroz jezgru reaktora ako je temperatura vode na ulazu u reaktor **296 °C**, a srednja temperatura vode u jezgri **312 °C**. (Specifična toplina primarne vode je **5,875 kJ/kgK**.) Ako jedna primarna pumpa dovodi **3889 kg/s** vode u nuklearni reaktor, koliko primarnih rashladnih krugova ima nuklearna elektrana? U nominalnim uvjetima svaka primarna pumpa predaje vodi **4 MW** topline, a u kondenzatoru se rashladnom vodom odvodi **1889 MW** topline. Koliki je termički stupanj djelovanja ove elektrane, a kolika je snaga na stezaljkama generatora ako je unutrašnji stupanj djelovanja turbine **0,95**? Stupanj djelovanja sinkronog generatora jednak je **1**.

Zadatak 4. - rješenje

-broj jezgara U-235 u 1 kg obogaćenog urana

$$N_{235} (1\text{kg U}) = 1 \cdot 0,03 \cdot 6,022 \cdot 10^{26} / 235 = \mathbf{7,688 \cdot 10^{22}}$$

jezgara U-235

-specifična snaga jezgre nuklearnog reaktora

$$P_{\text{spec}} = k \cdot N_{235} \cdot \Phi \cdot \sigma \quad [\text{W/kg urana}]$$

$$36,88 \cdot 10^3 = 3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 7,688 \cdot 10^{22} \cdot 580 \cdot 10^{-28} \cdot \Phi$$

- neutronske tok

$$\Phi = \mathbf{2,585 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2\text{s}}$$

- toplinska snaga jezgre

$$P_{\text{jezgre}} = 36,88 \cdot 10^3 \cdot 76,33 \cdot 10^3 = \\ = \mathbf{2815 \text{ MW}}$$

- potrebni maseni protok vode kroz jezgru ako je $\delta T = T_{\text{iz}} - T_{\text{u}}$ porast temperature vode u jezgri
- temperatura vode na ulazu u reaktor je $T_{\text{u}} = \mathbf{296}^\circ\text{C}$, a srednja temperatura vode u jezgri $T_{\text{sr}} = \mathbf{312}^\circ\text{C}$; treba odrediti temperaturu vode na izlazu iz nuklearnog reaktora (T_{iz}):

$$T_{\text{sr}} = \frac{T_{\text{u}} + T_{\text{iz}}}{2} \Rightarrow T_{\text{iz}} = 2T_{\text{sr}} - T_{\text{u}}$$

$$\delta T = T_{\text{iz}} - T_{\text{u}} = 2T_{\text{sr}} - T_{\text{u}} - T_{\text{u}} = 2(T_{\text{sr}} - T_{\text{u}})$$

$$\delta T = 2 \cdot (T_{\text{sr}} - T_{\text{u}}) \text{K} = 2 \cdot (312 - 296) \text{K} = \mathbf{32 \text{K}}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_v \cdot \delta T} = \frac{2815 \cdot 10^6}{5,875 \cdot 10^3 \cdot 32} = \mathbf{14973,4 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

Zadatak 4. - rješenje

- broj primarnih rashladnih krugova

$$n_{RK} = 14973,4/3889 = \mathbf{3,85}$$

=> **4** rashladna kruga

- toplinska snaga koja se predaje u parogeneratoru vodi u sekundarnom krugu nuklearne elektrane (jednaka je snazi jezgre uvećanoj za količinu energije koju pumpe primarnog kruga predaju vodi)

$$P_{dov} = 2815 + 4 \cdot 4 = \mathbf{2831 \text{ MW}}$$

- termički stupanj djelovanja nuklearne elektrane (u kondenzatoru se odvodi 1889 MW topline)

$$\begin{aligned} \eta_t &= 1 - P_{odv}/P_{dov} = \\ &= 1 - 1889/2831 = \\ &= 0,333; \eta_t = \mathbf{33,3\%} \end{aligned}$$

- snaga na stezaljkama sinkronog generatora

$$\begin{aligned} P_{el} &= 2831 \cdot 0,333 \cdot 0,95 = \\ &= \mathbf{895,6 \text{ MW}} \end{aligned}$$

Zadatak 5.

Fotonaponska elektrana (stupnja djelovanja **5%**) vršne snage **10 kW** postavlja se pod optimalni kut (**34°**) na mjesto gdje je godišnja ozračenost na horizontalnu površinu **1150 kWh/m²**. Povećanje ozračenosti pod optimalnim kutom iznosi **15%**.

Izračunati: potrebnu površinu FN panela uz pretpostavku da je vršna snaga Sunčeva zračenja na panele **1 kW/m²**, procijenjenu godišnju proizvodnju električne energije i faktor opterećenja.

$$A = \frac{P_n}{\eta \cdot P_s} = \frac{10kW}{0,05 \cdot 1 \frac{kW}{m^2}} = 200m^2$$

$$W = A \cdot w \cdot \eta = 200m^2 \cdot 1150 \text{ kWh/m}^2 \cdot$$

$$1,15 \cdot 0,05 = 230000 \cdot 0,05 = \mathbf{13225 \text{ kWh}}$$

$$m = W/W_n = 13225/(10 \ 8760) = \mathbf{0,15}$$

Zadatak 6.

Vjetroatagregat (promjer lopatica 76 m, nazivna snaga 1,5 MW) ima snagu 500 kW kod brzine vjetra od oko 7 m/s tijekom 28% vremena, nazivnu snagu postiže tijekom 17% vremena i ostatak vremena ne radi. Koji je broj VA potreban da bi se godišnje proizvela jednaka količina električne energije kao i u elektrani snage 350 MW i faktora opterećenja 0,9?

Koliko iznosi c_{pe} za brzinu od 7 m/s i koliki je faktor opterećenja VA?

Zadatak 6. - rješenje

- proizvodnja elektrane snage 350 MW
- faktora opterećenja

$$W = 350 \cdot 0,9 \cdot 8760 = 2,759 \cdot 10^6 \text{ MWh}$$

- proizvodnja VA

$$W_{VA} = 8760h (0,28 \cdot 0,5 \text{ MW} + 0,17 \cdot 1,5 \text{ MW}) = 3460 \text{ MWh}$$

- potreban broj jetroagregata

$$n_{VA} = W/W_{VA} = 797,5 = 798 \text{ vjetroatregata}$$

$$m_{VA} = \frac{W_{VA}}{1,5 \cdot 8760} = \frac{3460 \text{ MWh}}{13140} = 0,263$$

- c_{pe} za brzinu od 7 m/s

$$P = c_{pe} \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \text{ [W]}$$

$$P_7 = 500 \text{ kW} = 0,5 \text{ MW} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ W}$$

$$c_{pe7} = \frac{P_7}{(0,5 \cdot 1,225 \cdot 38^2 \cdot 3,14 \cdot 7^3)} = 0,5 \cdot 10^6 / 0,953 \cdot 10^6 = 0,525$$

Zadatak 7.

Za neki je elektroenergetski sustav poznato dnevno opterećenje prema podacima u tablici:

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	1400	900	600

Sustav raspolaže s jednom nuklearnom elektranom instalirane snage 400 MW, četiri termoelektrane ukupne instalirane snage 500 MW, od čega je 100 MW njihov kumulativni tehnički minimum, tri protočne hidroelektrane koje mogu tijekom cijelog dana davati ukupno 400 MW i jednom reverzibilnom (crpno-akumulacijskom) hidroelektranom instalirane snage 300 MW.

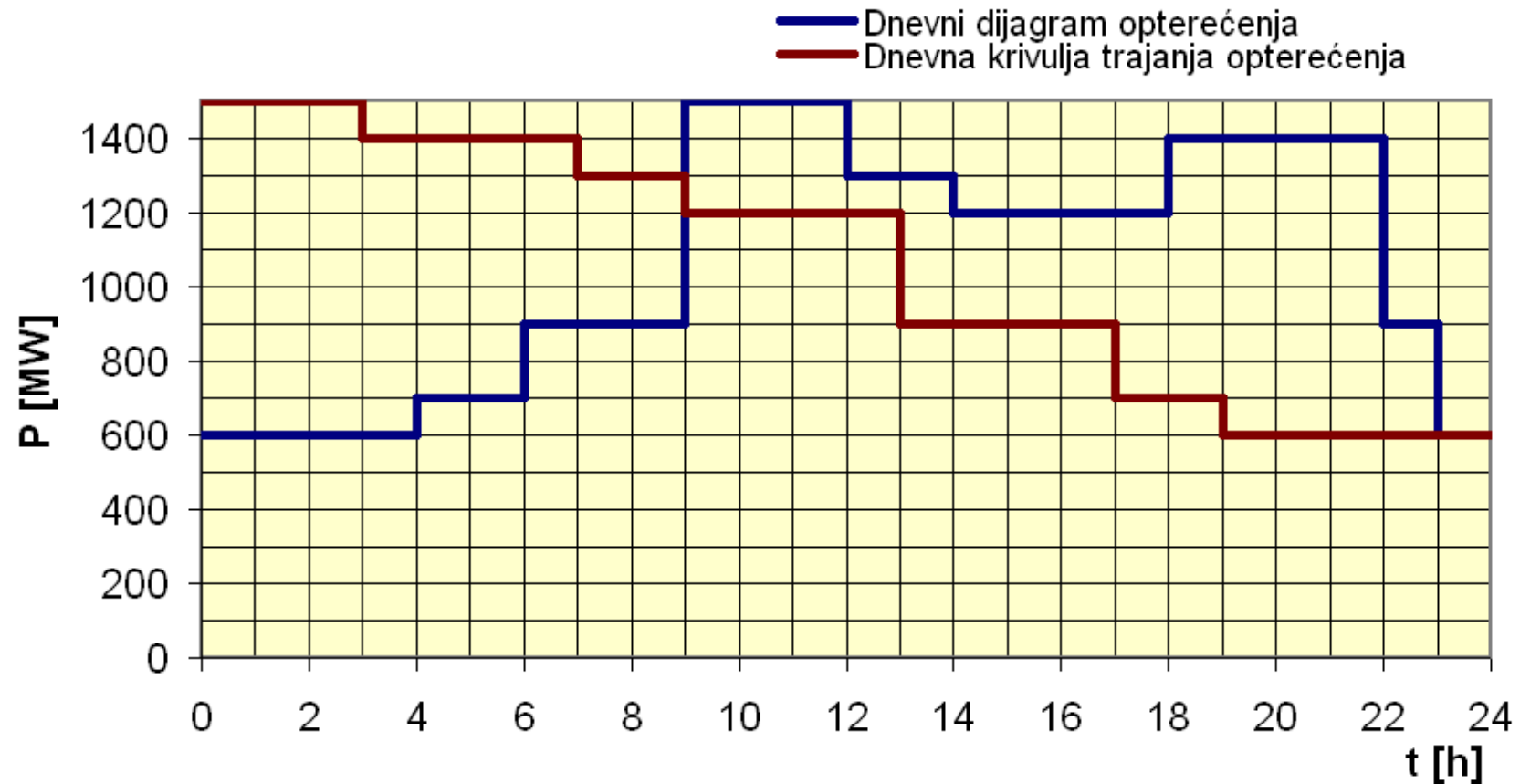
Zadatak 7. - nastavak

Potrebno je: nacrtati dnevnu krivulju trajanja opterećenja i raspored rada proizvodnih jedinica (označiti kada agregat reverzibilne HE radi kao turbina, a kada kao pumpa), odrediti faktor opterećenja i $\alpha + \beta$ (kada bismo dnevnu krivulju opterećenja aproksimirali s tri pravca).

Rj.

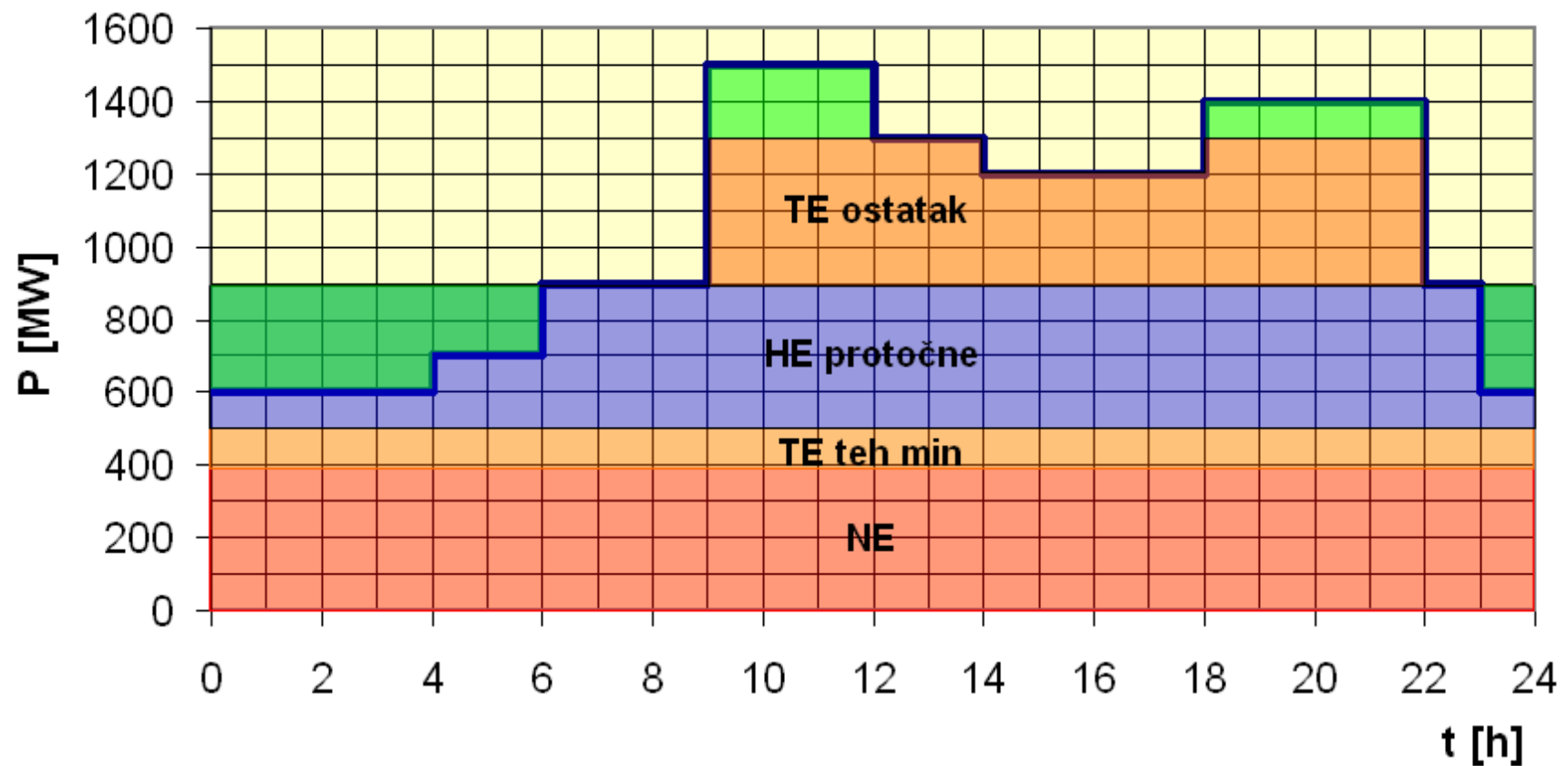
Prvo crtamo dnevnu krivulju (dijagram) opterećenja i krivulju trajanja opterećenja.

Zadatak 7. - rješenje



Zatim docrtamo elektrane (u jednu ili drugu krivulju).

Zadatak 7. - rješenje



Zadatak 7. - rješenje

- vrijednost faktor opterećenja

$$T_V = 19 \text{ h}, P_{\min} = 600 \text{ MW}$$

$$P_{\max} = 1500 \text{ MW}, P_V = 900 \text{ MW}$$

$$W = (\text{površina ispod krivulje}) = 25500 \text{ MWh}$$

$$\begin{aligned} W_K &= 24\text{h} \cdot P_{\min} = 24\text{h} \cdot 600 \text{ MW} = \\ &= 144000 \text{ MWh} \end{aligned}$$

$$W_V = W - W_K = 11100 \text{ MWh}$$

$$\begin{aligned} m &= W / (24\text{h} \cdot P_{\max}) = 25500 / (24 \cdot 1500) = \\ &= 0,71 \end{aligned}$$

određivanje sume $\alpha + \beta$

$$\begin{aligned} \alpha + \beta &= 2W_V / (T_V \cdot P_V) \\ &= 2 \cdot 11100 / (19 \cdot 900) = \\ &= 1,298 \end{aligned}$$

Zadatak 8.

Plinska elektrana snage 100 MW radi u kombiniranom ciklusu uz učinkovitost od 42% i faktor opterećenja 0,46.

Kao gorivo koristi se metan (CH_4) ogrjevnice moći 34 MJ/m^3 .

Kolika je masa ugljičnog dioksida (CO_2) ispuštenog iz elektrane tijekom jedne godine?

Zadatak 8. - rješenje

- električna energija koju elektrana proizvede u godini dana

$$E_{el} = 100 \cdot 10^6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0,46 = 1450,656 \cdot 10^{12} \text{ Ws}$$

- potrebna toplinska energija za tu proizvodnju

$$E_{topl} = E_{el} / \eta_t = 3453,94 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

- potreban količina (obujam) metana

$$V_{(CH_4)} = E_{topl} / H = 101,59 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = V_{(CO_2)}$$

- masa ispuštenog CO₂ u godini dana

$$\begin{aligned} m_{(CO_2)} &= V_{(CO_2)} \cdot \mu_{(CO_2)} / v_\mu = \\ &= 101,59 \cdot 10^6 \cdot (12 + 2 \cdot 16) / 22,4 = \\ &= 199,552 \cdot 10^6 \text{ kg} = \\ &= \mathbf{199552 \text{ t}} \end{aligned}$$