

## Energijske tehnologije - 2. MI 2008 – Postupak rješavanja

HE. Predvidivi protok derivacijske HE kroz godinu aproksimira izraz

$Q=90-5 \cdot t$  [ $m^3/s$ ],  $t$  u [mj]. Prosječno je stupanj djelovanja 80%, gornja voda na 500 m n.v., a izlaz turbine na 300 m n.v. Odrediti:

1. HE predvidivu godišnju proizvodnju el. en. ako je instalirani protok jednak srednjem protoku uz zanemarenje gubitaka kinetičke en.

Energija u ovo zadatku ovisi samo o konstantnim veličinama izuzev protoka i to nam omogućava računanje sa prosječnim protokom uzimajući u obzir ograničenje na instalirani protok.

$$W = 8760 \cdot 9.81 \cdot H_n \cdot \eta \cdot Q_{si}$$

$$H_n = 500 - 300 = 200 \text{ m}$$

$Q_{si}$  se može izračunati geometrijski iz vjerojatnosne krivulje protoka uzimajući u obzir da je  $Q_i = Q_{sr} = Q(6) = 90 - 5 \cdot 6 = 60 \text{ m}^3/s$

$$Q_{si} = [Q_{sr} + (Q(6) + Q(12))/2]/2 = [60 + (60 + 30)/2]/2 = [60 + 45]/2 = 52.5 \text{ m}^3/s$$

$$W = 8760 \cdot 9.81 \cdot 200 \cdot 0.80 \cdot 52.5 = 722 \text{E}+06 \text{ kW} = \mathbf{722 \text{ GWh}}$$

2. HE -neiskorištenu snagu uz srednji protok ako se izlaz turbine, promjer 3 m, nalazi 5 m iznad donje vode (uz prosječni stupanj djelovanja).

Neiskorišten dio snage određuje visina između izlaza iz turbine i donje vode te kinetička energija određena protokom i promjerom izlaza turbine.

$$P_{gubitaka} = P_{gravitacijske\_potencijalne} + P_{konetiček}$$

$$P_{gravitacijske\_potencijalne} = 9.81 \cdot H \cdot Q \cdot \eta = 9.81 \cdot 5 \cdot 60 \cdot 0.80 = 2355 \text{ kW}$$

$$P_{konetiček} = 9.81 \cdot H_k \cdot Q \cdot \eta$$

-visinu kinetičkih gubitaka možemo izraziti preko odgovarajućeg člana Bernoullijeve jedn. izražene kao visine.

$$H_k = c^2/2 \quad \text{-brzinu protok i površinu izlaza turbine} \quad c = Q/A = 60/(1.5^2 \cdot 3.14) = 8.49 \text{ m/s}$$
$$= 8.14^2 / (2 \cdot 9.81) = 3.67 \text{ m}$$

$$P_{konetiček} = 9.81 \cdot 3.67 \cdot 60 \cdot 0.80 = 1729 \text{ kW}$$

$$P_{gubitaka} = \mathbf{4084 \text{ kW}}$$

3. HE -faktor opterećenja uz instalirani protok jednak protoku koji je vjerojatno dostupan 4 mjeseca tijekom godine.

Uz sve konstantno osim protoka faktor opterećenja se može izraziti kao omjer srednjeg instaliranog i instaliranog protoka:

$$\text{Protok vjerojatno dostupan 4 mjeseca iznosi prema vj. krivulji protoka } Q(4) = 90 - 5 \cdot 4 = 70 \text{ m}^3/s$$

$$Q_{si} = [Q_i \cdot t_i + (12 - t_i)(Q_i + Q(12))/2]/12 = [70 \cdot 4 + (12 - 4)(70 + 30)/2]/12 = 56.7 \text{ m}^3/s$$

$$m = 56.7/70 = \mathbf{0.81}$$

GE. Binarna geotermalna TE u Costa Rici ima organski Rankineov kružni proces u kome je maseni protok 200 kg/s, a specifične entalpije na ulazu u turbinu 530 kJ/kg, na izlazu iz turbine 453 kJ/kg i na izlazu iz pojne pumpe 18.2 kJ/kg. Specifični rad pojne pumpe iznosi 3,14 kJ/kg. Odrediti:

4. **GE** -termički stupanj djelovanja procesa.

Termički stupanj djelovanja je određen omjerom neto dobivenog rada i uložene topline.

Neto dobiveni rad je jednak radu dobivenom na turbini (jednako razlici entalpija na izlazu i ulazu turbine) umanjenom za rad pumpanja, a uložena toplina je jednaka razlici entalpija na izlazu iz generatora pare (jednako entalpiji na ulazu u turbinu) i na izlazu iz pumpe.

$$\eta = (h_{ul.turb.} - h_{izl.turb.} - w_{pump}) / (h_{ul.turb.} - h_{izl.pumpe}) = (530 - 453 - 3.14) / (530 - 18.2)$$
$$\eta = 73.86 / 511.8 = \mathbf{0.144}$$

5. **GE** -idealnu mehaničku snagu turbine ako je unutrašnji stupanj djelovanja turbine 0,82.

Unutrašnji stupanj djelovanja određuje omjer stvarno dobivenog i idealno mogućeg rada na turbini. Zadatak opisuje realnu entalpiju na izlazu iz turbine te je idealni rad:

$$w_i = (h_{ul.turb.} - h_{izl.turb.}) / \eta_{un.turb.} = (530 - 453) / 0.82 = 77 / 0.82 = 93.90 \text{ kJ/kg}$$

Idealna snaga je prema tome:  $P_i = w_i \cdot \dot{m} = 93.90 \cdot 200 = \mathbf{18780 \text{ kW}}$

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

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

6.EE Sustav opskrbljuje šest elektrana i to:

dvije jednake protočne hidroelektrane, svaka nazivne snage 200 MW; i četiri termoelektrane:

T<sub>1</sub>: nazivne snage 500 MW, teh.min. 100 MW;

T<sub>2</sub>: nazivne snage 300 MW, teh.min. 100 MW,

T<sub>3</sub>: nazivne snage 250 MW, teh.min. 50 MW, i

T<sub>4</sub>: nazivne snage 150 MW, teh.min. 50 MW.

Ukoliko termoelektrane manje snage imaju veću jediničnu cijenu, odredite koliko sati dnevno termoelektrana T<sub>1</sub> radi nazivnom snagom?

Potrebna maksimalna snaga: 1500 MW

Maksimalna snaga bez najmanje TE: 1450 MW – slijedi da sve četiri TE moraju raditi

Stalni rad: protočne HE punom snagom (2x200 MW) i tehnički minimumi TE (100 MW + 100 MW + 50 MW + 50 MW) = 700 MW > 600 MW (konstantno opterećenje) > imamo preljev HE (**nije važno u ovom zadatku**).

TE podižu snagu prema jediničnoj cijeni, manja cijena – ranije uključivanje. Prema tome, kada potrošnja preraste snagu elektrana u stalnom radu, prvo TE<sub>1</sub> povećava proizvodnju prema potrebi do nazivne snage, kad je TE<sub>1</sub> na nazivnoj snazi, TE<sub>2</sub> počinje povećavati proizvodnju do svoje nazivne snage, onda TE<sub>3</sub> pa TE<sub>4</sub>.

Kad T<sub>1</sub> radi na nazivnoj snazi, opterećenje sustava iznosi najmanje 2x200 + 100 + 2x50 + 500 MW = 1100 MW. Znači, T<sub>1</sub> radi na nazivnoj snazi između 9 i 22 h (ukupno 13 h) kad je opterećenje sustava veće od 1100 MW.

Za primjer, kad T<sub>2</sub> radi nazivnom snagom, opterećenje sustava iznosi najmanje 2x200 + 2x50 + 500 + 300 MW = 1300 MW. T<sub>2</sub> radi na nazivnoj snazi između 9 i 12 h i između 18 i 22 h – ukupno 7h. Kad T<sub>2</sub> radi minimalnom snagom, opterećenje mora biti manje ili jednako 2x200 + 2x50 + 500 + 100 MW = 1100 MW. (Ako opterećenje poraste, T<sub>2</sub> mora povisiti snagu i više ne radi na minimumu.) T<sub>2</sub> radi minimalnom snagom između 22 i 9 h odnosno 11 h.

7.EE Ukoliko trajanje opterećenja iz prethodnog zadatka prikažemo s tri pravca, te je poznato da je  $\alpha = 0,9 \times \beta$ , odredi  $\alpha$ .

$$\alpha + \beta = \frac{2W_v}{T_v P_v} \rightarrow 1,9\beta = \frac{2[(300 \times 3 + 900 \times 3 + 600 \times 6 + 700 \times 4)]}{16 \times 900}$$

$$\alpha = 0,9\beta = 0,9 \left( \frac{20000}{14400} \div 1,9 \right) = 0,658$$

**8.EE (Nema veze s prethodnim zadacima!)**

Poznati podaci o opterećenju u jednom danu su  $P_{\max}=2 \times P_{\min}$  i  $W_k=3.1 \times W_v$ . Ukoliko dnevnu krivulju opterećenja prikazemo s tri pravca, pri čemu su  $\alpha=\beta=0,5$ , odredite trajanje varijabilnog opterećenja.

$$\alpha + \beta = \frac{2W_v}{T_v P_v} \rightarrow \frac{2W_v}{T_v P_v} = 1$$

$$P_v = P_{\min}; W_v = W_k/3.1; W_k = 24 P_{\min}$$

$$2W_k = 3.1 T_v P_{\min} \rightarrow 2 \cdot 24 P_{\min} = 3.1 T_v P_{\min}$$

$$T_v = \frac{2 \cdot 24}{3.1} = 15.5 h$$

**9.NE** Svemirska sonda je projektirana za dvogodišnju misiju (standardna godina od 365 dana) van granica sunčeva sustava. Ukupna snaga električnih uređaja koje nosi iznosi 100 W. Snabdijeva ih radioizotopni termoelektrični generator na bazi Po-210. Ako je efikasnost pretvorbe 15%, vrijeme poluraspada Po-210 138 dana, a energija po raspadu  $Q = 5,4$  MeV izračunati inicijalnu masu Po-210.

$$P = N \cdot \lambda \cdot Q = P_e / \eta = 100 / 0,15 = 666,7 \text{ W}$$

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0,693 / (138 \cdot 86400) = 5,813 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

$$N = P / (\lambda \cdot Q) = 666,7 / (5,813 \cdot 10^{-8} \cdot 5,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}) = 1,327 \cdot 10^{22} \text{ atoma Po-210}$$

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$N_0 = N(t) \cdot e^{\lambda t} = 1,327 \cdot 10^{22} \cdot e^{(5,813 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 365 \cdot 86400)} = 5,19 \cdot 10^{23} \text{ atoma Po-210}$$

$$N = m \cdot N_A / A_{\text{Po-210}}$$

Masa Po-210 u trenutku stavljanja izvora

$$m = N_0 \cdot A_{\text{Po-210}} / N_A = 5,19 \cdot 10^{23} \cdot 210 / 6,022 \cdot 10^{23} = 181 \text{ g}$$

**10.NE** Sustav za odvođenje ostatne topline projektiran je tako da svaki od njegova dva podsustava može odvesti toplinu u iznosu od 5,96 MW. Ako je nominalna snaga jezgre 1994 MW koliko najviše dana smije iznositi vrijeme neprekidnog pogona reaktora na punoj snazi da bi 3 dana nakon obustave za hlađenje bio dovoljan samo jedan podsustav za odvođenje topline.

$$P(\tau) = 6,1 \cdot 10^{-3} \cdot P_0 \cdot [(\tau - t_0)^{-0,2} - \tau^{-0,2}]$$

$$5,96 = 6,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1994 \cdot [3^{-0,2} - (t_0 + 3)^{-0,2}]$$

$$0,49 = 3^{-0,2} - (t_0 + 3)^{-0,2}$$

$$(t_0 + 3)^{-0,2} = 0,313$$

$$(t_0 + 3) = 0,313^{-1/0,2}$$

$$t_0 = 330 \text{ dana}$$

**11.NE** BWR reaktor u stacionarnom stanju na punoj snazi proizvodi 1950 kg/s pare s udjelom vlage 5 % pri tlaku 7,2 MPa. Entalpija pojne vode je 927 kJ/kg, a entalpije zasićene vode i pare na tlaku od 7,2 MPa su  $h_f = 1278$  kJ/kg i  $h_g = 2770$  kJ/kg. Izračunati toplinsku snagu reaktora. Zanimariti gubitke topline iz reaktora i porast energije fluida zbog rada pumpanja recirkulacijskih pumpi.

$$h_{st} = 0,05 \cdot 1278 + 0,95 \cdot 2770 = 2695,4 \text{ kJ/kg}$$

$$P = \dot{m} \cdot (h_{st} - h_{fw}) = 1950 \cdot (2695,4 - 927) = 3450 \text{ MW}$$

**12.NE** Izračunati potrebnu masu  $\text{UO}_2$  goriva obogaćenja  $e = 3$  % ako se zna da je snaga jezgre 1994 MW, srednji tok termičkih neutrona u reaktoru  $\Phi = 3 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$ , a mikroskopski udarni presjek za fisiju  $\sigma_f = 580 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ . Pri fisiji se oslobodi 200 MeV energije. Atomske mase urana računati aproksimativno.

$$P = 200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} N \cdot \sigma_f \cdot \phi$$

$$N = \frac{1994 \cdot 10^6}{200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 580 \cdot 10^{-24} \cdot 3 \cdot 10^{13}} = 3,58 \cdot 10^{27}$$

$$N = e m \frac{238}{270} \cdot \frac{N_A}{235}$$

$$m = \frac{270}{238} \cdot \frac{235}{N_A} \cdot \frac{N}{e} = \frac{270}{238} \cdot \frac{235}{6,022 \cdot 10^{26}} \cdot \frac{3,58 \cdot 10^{27}}{0,03} = 52800 \text{ kg}$$