

Nuklearne elektrane. Hidroelektrane. Prijenos, razdioba i potrošnja električne energije.

1. Koliko grama Po-210 je potrebno za proizvodnju 25 W električne energije na kraju jednogodišnje misije svemirske sonde i koja je početna aktivnost radioaktivnog materijala? Električna energija se proizvodi u uređaju efikasnosti 10%. Kao izvor energije koristi se α -raspad Po-210. Vrijeme poluraspada Po-210 je 138 dana, a energija po raspadu $Q = 5,4 \text{ MeV}$.

$$m = 10,8 \text{ g}, A_0 = 1,8 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

2. Jezgra nuklearnog reaktora sastavljena je od 121 gorivnog elementa. Gorivni elementi su tipa 16x16 s 20 mjesta za kontrolne šipke i jednim za instrumentaciju. Aktivna dužina goriva je 3,7 m a nazivna linearna gustoća snage je 19,2 kW/m (prosječna snaga proizvedena po metru gorivne šipke u nominalnim uvjetima). Reaktor je radio 7 mjeseci na punoj snazi i onda je zaustavljen. Izračunati koliki je maksimalni porast temperature hladioca u jezgri 12 sati nakon konačne obustave ako pretpostavimo da sustav za odvođenje ostatne topline ima aktivne dvije grane i protok hladioca u svakoj od njih je 96,25 kg/s. Kolika se toplinska energija odvede iz reaktora tijekom četvrtog dana nakon obustave? Specifični toplinski kapacitet hladioca $c_p = 4,2 \text{ kJ/kgK}$.

$$\Delta T = 12,3 \text{ K}, Q_{4,\text{dan}} = 5,4 \text{ MWd}$$

3. Nuklearna elektrana PWR tipa s 4 rashladne petlje ima ukupan maseni protok primarnog hladioca $75 \cdot 10^6 \text{ kg/h}$, a entalpije primarne vode na ulazu i izlazu iz generatora pare su 1518,1 kJ/kg i 1337,3 kJ/kg. U kondenzatoru se predaje toplina riječnoj vodi u iznosu od 2542 MW_t a ukupni stupanj djelovanja generatora je 0,95. Entalpija pojne vode generatora pare je 382,3 kJ/kg a entalpija zasićene pare na izlazu je 2772,1 kJ/kg. Svaka od 4 primarne pumpe unese u krug toplinsku snagu od 3 MW. Odrediti električnu snagu na stezaljkama generatora, stupanj djelovanja elektrane, maseni protok pare po generatoru pare, i srednji neutronske tok u jezgri koja sadrži 101 t 3% obogaćenog UO₂, efektivnog udarnog presjeka za fisiju 580 barn (1 barn = 10^{-28} m^2).

$$P_e = 1163 \text{ MW}, \eta_T = 0,31, \dot{m}_{\text{sek}} = 394 \text{ kg/s}, \Phi = 2,96 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2\text{s}$$

4. Nuklearni reaktor PWR tipa ima termičku snagu jezgre 3800 MW_t, pri čemu je 96 % te snage proizvedeno u gorivu. Jezgra se sastoji od 241 gorivnog elementa s 236 gorivnih šipki po elementu. Širina gorivnog elementa je 20,7 cm, duljina gorivne šipke je 3,81 m, radijus šipke je 4,85 mm. Odrediti: ekvivalentni promjer jezgre, srednju volumnu gustoću snage u jezgri [MW/m³], srednju snagu proizvedenu po metru duljine gorivne šipke (linearna gustoća snage šipke) [kW/m], i srednji toplinski tok na površini gorivne šipke [MW/m²].

$$D = 3,6 \text{ m}, Q''' = 96,6 \text{ MW/m}^3, q' = 16,8 \text{ kW/m}, q'' = 0,55 \text{ MW/m}^2$$

5. Specifična snaga jezgre nuklearnog reaktora tipa PWR na punoj snazi je 36,88 kW/kgU. Odrediti srednji neutronske tok za 3 % obogaćeno gorivo. Mikroskopski udarni presjek za fisiju je $580 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$. Po jednoj fisiji oslobodi se $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ energije. Odrediti snagu jezgre ako ona sadrži 76,33 t urana. Odrediti potreban 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.

$$\phi = 2,6 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2\text{s}, P_j = 2815 \text{ MW}, \dot{m} = 14973 \text{ kg/s}, n_{\text{RK}} = 4, \eta_t = 0,33, P_{\text{el}} = 896 \text{ MW}$$

6. Srednji godišnji protok rijeke se povećava prema $Q_{sr} = 2 \cdot (1300 - H)/3$ [visina u m, protok u m³/s]. Odredite: a) bruto energiju vodotoka, ako je izvor rijeke na 700 m n.v. i ušće na 100 m n.v., b) snagu pribranske hidroelektrane s branom visine 100 m na 400 m n.v. i stupnjem iskorištenja 90%, c) snagu derivacijske hidroelektrane sa zahvatom na 400 m n. v., pregradom visine 100 m, postrojenjem na 200 m n. v. i stupnjem iskorištenja 85%, i d) kao pod c), ali se na mjestu zahvata u osnovni vodotok

propušta biološki minimum od $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Odredite godišnju proizvedenu električnu energiju u elektranama pod b), c) i d) kada bi se raspoloživi protok za proizvodnju električne energije prikazao kao srednji protok dostupan 70% vremena.

a) $W_{\text{brutto}} = 31 \text{ TWh}$, b) $P_p = 530 \text{ MW}$, c) $P_{d,c} = 1500 \text{ MW}$, d) $P_{d,d} = 1375 \text{ MW}$, e) $W_b = 3250 \text{ GWh}$, $W_c = 9204 \text{ GWh}$, $W_d = 8432 \text{ GWh}$

7. Tlačnim se tunelom, sa zahvatom na koti 100 m n.v. , iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine čiji je izlaz na koti 40 m n.v. Razina vode je u jezeru na koti 120 m n. v. , a razina donje vode (odvodni kanal) na koti 32 m n. v. Odredite: a) snagu turbine pri protoku od $100 \text{ m}^3/\text{s}$ u slučaju kada nema difuzora na izlazu iz turbine (promjer izlaznog otvora turbine iznosi 3 m), i b) snagu turbine pri istom protoku, ali kada se postavi difuzor čiji je polumjer izlaznog otvora za 1 m veći od polumjera izlaznog otvora turbine.

$P_a = 69 \text{ MW}$, $P_b = 85 \text{ MW}$

8. Vjerojatnosnu krivulju protoka na mjestu gdje je postavljena protočna hidroelektrana, instaliranog protoka od $8 \text{ m}^3/\text{s}$, aproksimira izraz $Q = 10 - t/2 \text{ [m}^3/\text{s]}$ (t u mjesecima). Koliko iznosi vjerojatna godišnja proizvodnja električne energije? Koliko iznose najveća i najmanja snaga hidroelektrane? Odrediti faktor opterećenja za hidroelektranu. Pojednostavljeno uzeti da je neto visina 50 m i stupanj djelovanja $0,75$ cijelo vrijeme.

$W = 21,5 \cdot 10^9 \text{ Wh}$, $P_{\text{max}} = 2,94 \text{ MW}$, $P_{\text{min}} = 1,47 \text{ MW}$, $m_{\text{HE}} = 0,83$

9. Odredite moguću godišnju proizvodnju derivacijske hidroelektrane izgrađene na vodotoku s godišnjom krivuljom trajanja protoka $Q=300-200 \cdot t/12$. 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. Konsumpcijska krivulja na zahvatu zadana je izrazom $H_z=Q/20+40$. 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.

$W = 2,3 \cdot 10^9 \text{ kWh}$

10. Za neki elektroenergetski sustav poznato je dnevno opterećenje prema podacima u tablici. Potrebno je nacrtati dnevnu krivulju trajanja opterećenja, odrediti iznos varijabilne energije, konstantne energije, dnevno utrošene energije, faktora opterećenja, te vrijeme korištenja maksimalne snage.

$W_V = 10700 \text{ MWh}$, $W_K = 14400 \text{ MWh}$, $W = 25100 \text{ MWh}$, $m = 0,697$, $T_{P_{\text{max}}} = 16,7 \text{ h}$

11. Dnevna krivulja trajanja opterećenja nekog EES-a aproksimirana s tri pravca definirana je sljedećim izrazima:

$W = 15000 \text{ MWh}$, $m = 0,625$, $T_{P_{\text{max}}} = 15 \text{ h}$

12. Dnevna krivulja trajanja opterećenja nekog EES-a aproksimirana je s tri pravca. Poznati su sljedeći podaci o krivulji: $P_{\text{max}} = 1000 \text{ MW}$, $P_{\text{min}} = 550 \text{ MW}$, $T_v = 18 \text{ h}$, $W = 18000 \text{ MWh}$, $\beta = 0,6$. Potrebno je izračunati koeficijent α , nacrtati krivulju trajanja opterećenja i napraviti u njoj razmještaj elektrana za slučaj kada je nuklearna elektrana u remontu. Poznato je :

$\alpha = 0,5852$

13. U sustavu je raspoloživo sedam elektrana: nuklearna elektrana nazivne snage 600 MW , četiri termoelektrane nazivnih snaga 450 MW i tehničkih minimuma 50 MW , te dvije protočne hidroelektrane koje cijeli dan mogu davati 200 MW svaka. Cijena električne energije proizvedene iz TE je različita, najjeftinija iz TE_1 , pa redom do najskuplje TE_4 . Zanimarite sve gubitke snage. Dnevna krivulja trajanja opterećenja određena je s $P_{\text{max}} = 1700$, $P_{\text{min}} = 700$, $T_v = 20 \text{ h}$, $\alpha = 0,6$ i $\beta = 0,8$. Odredite: a) ukupnu energiju koju proizvede TE_2 , i b) faktor opterećenja sustava.

$W_{TE2} = 2400 \text{ MWh}$; $m = 0,755$

1. Koliko grama Po-210 je potrebno za proizvodnju 25 W električne energije na kraju jednogodišnje misije svemirske sonde i koja je početna aktivnost radioaktivnog materijala? Električna energija se proizvodi u uređaju efikasnosti 10%. Kao izvor energije koristi se α -raspad Po-210. Vrijeme poluraspada Po-210 je 138 dana, a energija po raspadu $Q = 5,4 \text{ MeV}$.

$$P_e = 25 \text{ W}$$

$$t = 1 \text{ god}$$

$$\eta = 0,1$$

$$T_{1/2} = 138 \text{ dana}$$

$$Q = 5,4 \text{ MeV}$$

$$m, A_0 = ?$$

Toplinska snaga izvora nakon godinu dana misije sonde:

$$P = N \cdot \lambda \cdot Q = P_e / \eta = 25 / 0,1 = 250 \text{ W}$$

Konstanta radioaktivnog raspada

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0,693 / (138 \cdot 86400) = 5,81 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

Broj jezgara Po-210 nakon godinu dana

$$N = P / (\lambda \cdot Q) = 250 / (5,81 \cdot 10^{-8} \cdot 5,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}) = 4,98 \cdot 10^{21} \text{ atom Po-210}$$

Zakon radioaktivnog raspada

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

Broj jezgara u trenutku stavljanja izvora

$$N_0 = N(t) \cdot e^{\lambda t} = 4,98 \cdot 10^{21} \cdot e^{(5,81 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 365 \cdot 86400)} = 3,1 \cdot 10^{22} \text{ atom Po-210}$$

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

Masa Po-210 u trenutku stavljanja izvora

$$m = N_0 \cdot A_{\text{Po-210}} / N_A = 3,1 \cdot 10^{22} \cdot 210 / 6,022 \cdot 10^{23} = 10,81 \text{ g}$$

Početna aktivnost radioaktivnog izvora

$$A_0 = N_0 \cdot \lambda = 1,8 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

$$m = 10,8 \text{ g}, A_0 = 1,8 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

2. Jezgra nuklearnog reaktora sastavljena je od 121 gorivnog elementa. Gorivni elementi su tipa 16x16 s 20 mjesta za kontrolne šipke i jednim za instrumentaciju. Aktivna dužina goriva je 3,7 m a nazivna linearna gustoća snage je 19,2 kW/m (prosječna snaga proizvedena po metru gorivne šipke u nominalnim uvjetima). Reaktor je radio 7 mjeseci na punoj snazi i onda je zaustavljen. Izračunati koliki je maksimalni porast temperature hladioca u jezgri 12 sati nakon konačne obustave ako pretpostavimo da sustav za odvođenje ostatne topline ima aktivne dvije grane i protok hladioca u svakoj od njih je 96,25 kg/s. Kolika se toplinska energija odvede iz reaktora tijekom četvrtog dana nakon obustave? Specifični toplinski kapacitet hladioca $c_p=4,2$ kJ/kgK.

$$N = 121 \text{ gorivni element (16x16, 20 + 1)}$$

$$L = 3,7 \text{ m}$$

$$Q' = 19,2 \text{ kW/m}$$

$$t_0 = 7 \text{ mjeseci}$$

$$\tau - t_0 = 12 \text{ sati}$$

$$\dot{m} = 96,25 \text{ kg/s}$$

$$c_p = 4,2 \text{ kJ/kgK}$$

$$\Delta T, Q_{4.dan} = ?$$

Snaga jezgre u nominalnim uvjetima

$$P_0 = (256 - 21) \cdot 121 \cdot 3,7 \text{ m} \cdot 19,2 \text{ kW/m} = 2020 \text{ MW}$$

Ostatna toplinska snaga u ovisnosti o vremenu τ [dan] nakon t_0 dana pogona na snazi P_0

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

Vrijeme pogona je 210 dana, vrijeme nakon obustave $\tau - t_0$ je 0,5 dana

$$P = 6,1 \cdot 10^{-3} \cdot P_0 \cdot [(210 + 0,5 - 210)^{-0,2} - (210 + 0,5)^{-0,2}] = 9,93 \text{ MW}$$

Snaga odvedena rashladnim sustavom, pri masenom protoku \dot{m} i porast temperature ΔT

$$P = 2 \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \text{ (sustav za odvođenje ostatne topline ima 2 grane)}$$

Porast temperature vode u rashladnom sustavu

$$\Delta T = P / (2 \dot{m} \cdot c_p) = 9,93 \cdot 10^6 / (96,25 \cdot 2 \cdot 4,2 \cdot 10^3) = 12,3 \text{ K}$$

Integriranjem izraza za snagu od kraja trećeg dana nakon obustave do kraja četvrtog dana (granice integracije od $\tau = 213$ do $\tau = 214$)

$$Q_{4.dan} = 6,1 \cdot 10^{-3} / 0,8 \cdot P_0 [(\tau - t_0)^{0,8} \Big|_{213}^{214} - \tau^{0,8} \Big|_{213}^{214}]$$

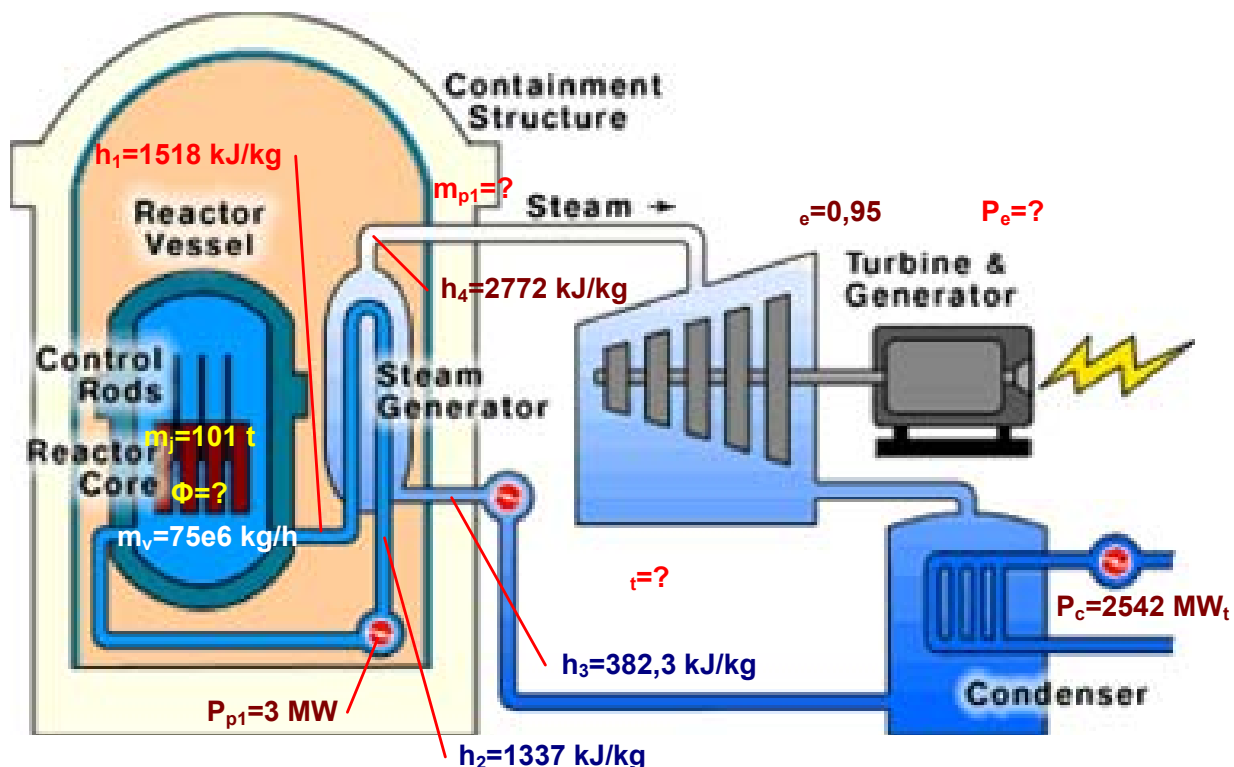
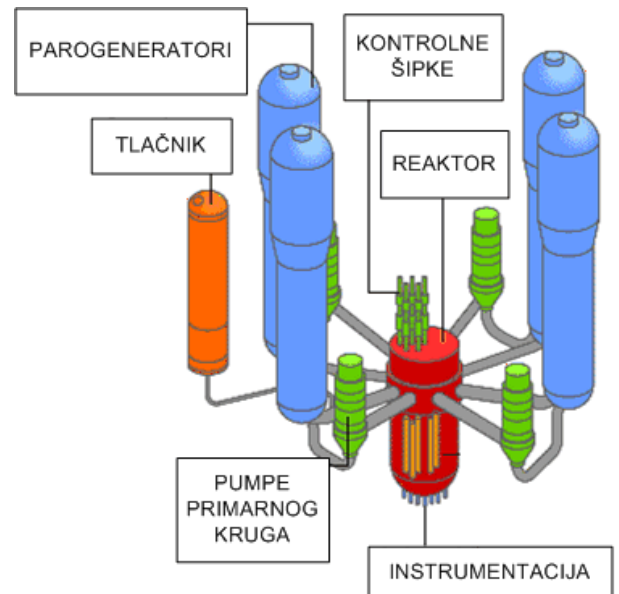
$$Q_{4.dan} = 6,1 \cdot 10^{-3} / 0,8 \cdot P_0 \cdot [(214 - 210)^{0,8} - (213 - 210)^{0,8} - (214^{0,8} - 213^{0,8})] = 5,38 \text{ MWd}$$

$$\Delta T = 12,3 \text{ K}, Q_{4.dan} = 5,4 \text{ MWd}$$

3. Nuklearna elektrana PWR tipa s 4 rashladne petlje ima ukupan maseni protok primarnog hladioca $75 \cdot 10^6 \text{ kg/h}$, a entalpije primarne vode na ulazu i izlazu iz generatora pare su $1518,1 \text{ kJ/kg}$ i $1337,3 \text{ kJ/kg}$. U kondenzatoru se predaje toplina riječnoj vodi u iznosu od 2542 MW_t a ukupni stupanj djelovanja generatora je $0,95$. Entalpija pojne vode generatora pare je $382,3 \text{ kJ/kg}$ a entalpija zasićene pare na izlazu je $2772,1 \text{ kJ/kg}$. Svaka od 4 primarne pumpe unese u krug toplinsku snagu od 3 MW . Odrediti električnu snagu na stezaljkama generatora, stupanj djelovanja elektrane, maseni protok pare po generatoru pare, i srednji neutronske tok u jezgri koja sadrži 101 t 3% obogaćenog UO_2 , efektivnog udarnog presjeka za fisiju 580 barn ($1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$).

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{ukupni}} &= 75 \cdot 10^6 \text{ kg/h} \\ h_{\text{prim ulaz}} &= 1518,1 \text{ kJ/kg} \\ h_{\text{prim izlaz}} &= 1337,3 \text{ kJ/kg} \\ P_{\text{kond}} &= 2542 \text{ MW}_t \\ \eta_{TG} &= 0,95 \\ h_{FW} &= 382,3 \text{ kJ/kg} \\ h_{ST} &= 2772,1 \text{ kJ/kg} \\ P_{\text{pump}} &= 3 \text{ MW} \\ m_{\text{UO}_2} &= 101 \text{ t} \\ e &= 0,03 \\ \sigma &= 580 \text{ barn} \end{aligned}$$

$$P_e, \eta_T, \dot{m}_{\text{sek}}, \Phi = ?$$



Ukupna toplinska snaga predana parogeneratorima

$$P_T = \dot{m}_{\text{ukupni}} \cdot (h_{\text{ulaz}} - h_{\text{izlaz}}) = 75 \cdot 10^6 / 3600 \cdot (1518,1 - 1337,3) = 3766,67 \text{ MW}$$

Električna snaga

$$P_e = \eta_{TG} \cdot (P_T - P_{\text{kond}}) = 0,95 (3766,67 - 2542) = 1163,44 \text{ MW}$$

Stupanj djelovanja na stezaljkama generatora

$$\eta_T = P_e / P_T = 1163,44 / 3766,67 = 0,3089$$

Protok pare po parogeneratoru

$$\dot{m}_{\text{sek}} = P_T / 4 / (h_{\text{sizlaz}} - h_{\text{sulaz}}) = 3766,67 \cdot 10^6 / 4 / (2772,1 \cdot 10^3 - 382,3 \cdot 10^3) = 394,05 \text{ kg/s}$$

$$P_{\text{jezgre}} = P_T - 4 \cdot P_{\text{pumpa}} = 3766,67 - 12 = 3754,67 \text{ MW}$$

Toplinska snaga nuklearnog reaktora

N – broj jezgara U-235,

σ_f – mikroskopski udarni presjek za fisiju

Φ – neutronske tok

$$P = 200 \cdot 1.6 \cdot 10^{-13} N \cdot \sigma_f \cdot \phi$$

e – obogaćenje goriva (težinski udjel U-235 u ukupnom uranu)

N_A – Avogadrov broj

Pretpostavljene su aproksimativne vrijednosti za atomske mase urana i kisika:

$$N = e m \frac{238}{270} \cdot \frac{N_A}{235} = 0.03 \cdot 101000 \cdot \frac{238}{270} \cdot \frac{6.022 \cdot 10^{26}}{235} = 6.844 \cdot 10^{27}$$

$$\phi = P / (200 \cdot 1.6 \cdot 10^{-13} N \cdot \sigma_f)$$

$$\phi = 3754.67 \cdot 10^6 / (3.2 \cdot 10^{-11} \cdot 6.844 \cdot 10^{27} \cdot 580 \cdot 10^{-28}) = 2.96 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2 \text{ s}$$

$$P_e = 1163 \text{ MW}, \eta_T = 0,31, \dot{m}_{\text{sek}} = 394 \text{ kg/s}, \Phi = 2.96 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2 \text{ s}$$

4. Nuklearni reaktor PWR tipa ima termičku snagu jezgre 3800 MWt, pri čemu je 96 % te snage proizvedeno u gorivu. Jezgra se sastoji od 241 gorivnog elementa s 236 gorivnih šipki po elementu. Širina gorivnog elementa je 20,7 cm, duljina gorivne šipke je 3,81 m, radijus šipke je 4,85 mm. Odrediti: ekvivalentni promjer jezgre, srednju volumnu gustoću snage u jezgri [MW/m³], srednju snagu proizvedenu po metru duljine gorivne šipke (linearna gustoća snage šipke) [kW/m], i srednji toplinski tok na površini gorivne šipke [MW/m²].

$$P_t = 3800 \text{ MWt}$$

$$N_{ge} = 241$$

$$N_s = 236$$

$$a_{ge} = 20,7 \text{ cm}$$

$$l_s = 3,81 \text{ m}$$

$$r_s = 4,85 \text{ mm}$$

$$D, Q''', q', q'' = ?$$

$$\text{Površina presjeka gorivnog elementa: } a_{ge}^2 = (0,207)^2 = 0,04285 \text{ m}^2$$

$$\text{Površina presjeka jezgre: } A_j = 241 \cdot 0,04285 \text{ m}^2 = 10,327 \text{ m}^2$$

$$\text{Ekvivalentni promjer jezgre: } D = \sqrt{\frac{4A_j}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10,327}{\pi}} = 3,626 \text{ m}$$

$$\text{Aktivna visina jezgre: } L = l_s$$

$$\text{Aktivni volumen jezgre: } V = A_j \cdot L = 39,34 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumna gustoća snage jezgre: } Q''' = \frac{P_t}{V} = \frac{3800}{39,34} = 96,59 \text{ MW} / \text{m}^3$$

$$\text{Linearna gustoća snage šipke: } q' = \frac{0,96 \cdot P_t}{N_{ge} \cdot N_s \cdot l_s} = \frac{0,96 \cdot 3800 \cdot 10^3}{241 \cdot 236 \cdot 3,81} = 16,834 \text{ kW} / \text{m}$$

Toplinski tok na površini šipke:

$$q'' = \frac{0,96 \cdot P_t}{2\pi \cdot r_s \cdot N_{ge} \cdot N_s \cdot l_s} = \frac{0,96 \cdot 3800}{2\pi \cdot 4,85 \cdot 10^{-3} \cdot 241 \cdot 236 \cdot 3,81} = 0,5524 \text{ MW} / \text{m}^2$$

$$D = 3,6 \text{ m}, Q''' = 96,6 \text{ MW/m}^3, q' = 16,8 \text{ kW/m}, q'' = 0,55 \text{ MW/m}^2$$

5. Specifična snaga jezgre nuklearnog reaktora tipa PWR na punoj snazi je $36,88 \text{ kW/kgU}$. Odrediti srednji neutronske tok za 3 % obogaćeno gorivo. Mikroskopski udarni presjek za fisiju je $580 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$. Po jednoj fisiji oslobodi se $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ energije. Odrediti snagu jezgre ako ona sadrži 76,33 t urana. Odrediti potreban maseni protok vode kroz jezgru reaktora ako je temperatura vode na ulazu u reaktor $296 \text{ }^\circ\text{C}$, a srednja temperatura vode u jezgri $312 \text{ }^\circ\text{C}$. (Specifična toplota primarne vode je $5,875 \text{ kJ/kgK}$.) 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.

$$P_s = 36,88 \text{ kW/kgU}$$

$$e = 3 \%$$

$$\sigma = 580 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$k = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$m_U = 76,33 \text{ t}$$

$$T_{ul} = 296 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{sr} = 312 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_v = 5,875 \text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{m}_1 = 3889 \text{ kg/s}$$

$$P_p = 4 \text{ MW}$$

$$P_{odv} = 1889 \text{ MW}$$

$$\eta_T = 0,95$$

$$\eta_G = 1$$

$$\Phi, P_j, \dot{m}, n_{RK}, \eta_b, P_{el} = ?$$

$$N_{U235} = e \cdot m \cdot \frac{N_A}{A} = 0,03 \cdot 1 \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{26}}{235} = 7,688 \cdot 10^{22} / \text{kg}$$

$$P_s = k \cdot N_{U235} \cdot \Phi \cdot \sigma$$

$$\Phi = \frac{P_s}{k \cdot N_{U235} \cdot \sigma} = \frac{36,88 \cdot 10^3}{3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 7,688 \cdot 10^{22} \cdot 580 \cdot 10^{-28}} = 2,585 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2\text{s}$$

$$\text{Toplinska snaga jezgre: } P_j = P_s \cdot m_U = 2815 \text{ MW}$$

Potrebni maseni protok vode kroz jezgru:

$$T_{sr} = \frac{T_{ul} + T_{iz}}{2}$$

$$\Delta T = T_{iz} - T_{ul} = 2(T_{sr} - T_{ul}) = 32 \text{ K}$$

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

Broj primarnih rashladnih krugova:

$$n_{RK} = \dot{m} / \dot{m}_1 = 14973,4 / 3889 = 3,85 \approx 4 \text{ kruga}$$

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

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

Termički stupanj djelovanja nuklearne elektrane (u kondenzatoru se odvodi 1889 MW topline):

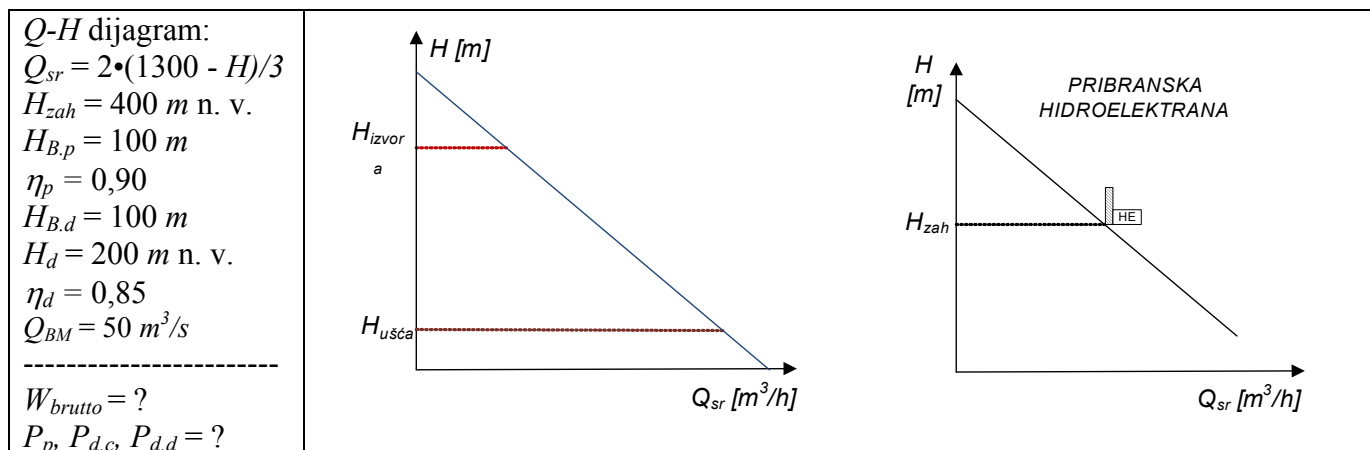
$$\eta_t = 1 - P_{odv}/P_{dov} = 1 - 1889/2831 = 0,33$$

Snaga na stezaljkama sinkronog generatora

$$P_{el} = 2831 \cdot 0,333 \cdot 0,95 = 895,6 \text{ MW}$$

$$\phi = 2,6 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2\text{s}, P_j = 2815 \text{ MW}, \dot{m} = 14973 \text{ kg/s}, n_{RK} = 4, \eta_t = 0,33, P_{el} = 896 \text{ MW}$$

6. Srednji godišnji protok rijeke se povećava prema $Q_{sr} = 2 \cdot (1300 - H)/3$ [visina u m , protok u m^3/s]. Odredite: a) bruto energiju vodotoka, ako je izvor rijeke na 700 m n.v. i ušće na 100 m n.v., b) snagu pribranske hidroelektrane s branom visine 100 m na 400 m n.v. i stupnjem iskorištenja 90%, c) snagu derivacijske hidroelektrane sa zahvatom na 400 m n. v., pregradom visine 100 m, postrojenjem na 200 m n. v. i stupnjem iskorištenja 85%, i d) kao pod c), ali se na mjestu zahvata u osnovni vodotok propušta biološki minimum od $50 m^3/s$. Odredite godišnju proizvedenu električnu energiju u elektranama pod b), c) i d) kada bi se raspoloživi protok za proizvodnju električne energije prikazao kao srednji protok dostupan 70% vremena.



a) Bruto energija vodotoka je:

$$W_{brutto} = 8760 \cdot P = 8760 \cdot 9,81 \cdot 10^3 \cdot \int_{H_u}^{H_i} Q_{sr}(H) dH = 8760 \cdot 9,81 \cdot 10^3 \cdot \int_{100}^{700} \frac{2}{3} \cdot (1300 - H) dH =$$

$$= 8760 \cdot 9,81 \cdot 10^3 \cdot 0,667 \cdot [1300 \cdot (700 - 100) - 0,5 \cdot (700^2 - 100^2)] = 30,92 \text{ TWh}$$

b) pribranska hidroelektrana

$$H_n \equiv H_{B,p} = 100 \text{ m}$$

$$Q_{sr,p}(H_{zah} = 400 \text{ m}) = 0,667 \cdot (1300 - 400) = 600 m^3/s$$

$$P_p = 9,81 \cdot Q_{sr,p} \cdot H_n \cdot \eta_p = 9,81 \cdot 600 \cdot 100 \cdot 0,90 = 529740 \text{ kW} = 530 \text{ MW}$$

c) derivacijska hidroelektrana

$$H_n \equiv H_{B,d} + (H_{zah} - H_d) = 100 + (400 - 200) = 300 \text{ m}$$

$$Q_{sr,d}(H_{zah} = 400 \text{ m}) = 0,667 \cdot (1300 - 400) = 600 m^3/s$$

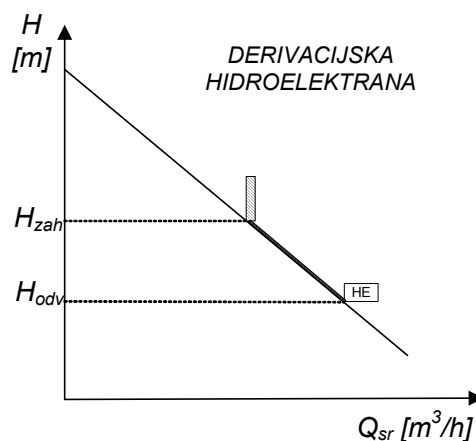
$$P_{d,c} = 9,81 \cdot Q_{sr,d} \cdot H_n \cdot \eta_d = 9,81 \cdot 600 \cdot 300 \cdot 0,85 = 1500930 \text{ kW} = 1501 \text{ MW}$$

d) derivacijska hidroelektrana uz propuštanje biološkog minimuma protoka

$$H_n \equiv H_B + (H_{zah} - H_d) = 100 + (400 - 200) = 300 \text{ m}$$

$$Q_{sr,d-BM} = Q_{sr,d}(H_{zah} = 400 \text{ m}) - Q_{BM} = 600 - 50 = 550 m^3/s$$

$$P_{d,d} = 9,81 \cdot Q_{sr,d-BM} \cdot H_n \cdot \eta_d = 9,81 \cdot 550 \cdot 300 \cdot 0,85 = 1375385 \text{ kW} = 1375 \text{ MW}$$



e) Pribranska HE: $W = 8760 \cdot 0,7 \cdot P_p = 8760 \cdot 0,7 \cdot 530$

$$= 3,250 \cdot 10^6 \text{ MWh} = 3250 \text{ GWh}$$

$$\text{Derivacijska HE: } W = 8760 \cdot 0,7 \cdot P_{d,c} = 8760 \cdot 0,7 \cdot 1501 = 9,204 \cdot 10^6 \text{ MWh} = 9204 \text{ GWh}$$

$$\text{Derivacijska HE s b. m.: } W = 8760 \cdot 0,7 \cdot P_{d,d} = 8760 \cdot 0,7 \cdot 1375 = 8,432 \cdot 10^6 \text{ MWh} = 8432 \text{ GWh}$$

a) $W_{brutto} = 31 \text{ TWh}$, b) $P_p = 530 \text{ MW}$, c) $P_{d,c} = 1500 \text{ MW}$, d) $P_{d,d} = 1375 \text{ MW}$, e) $W_b = 3250 \text{ GWh}$, $W_c = 9204 \text{ GWh}$, $W_d = 8432 \text{ GWh}$

7. Tlačnim se tunelom, sa zahvatom na koti 100 m n.v., iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine čiji je izlaz na koti 40 m n.v. Razina vode je u jezeru na koti 120 m n. v., a razina donje vode (odvodni kanal) na koti 32 m n. v. Odredite: a) snagu turbine pri protoku od $100 \text{ m}^3/\text{s}$ u slučaju kada nema difuzora na izlazu iz turbine (promjer izlaznog otvora turbine iznosi 3 m), i b) snagu turbine pri istom protoku, ali kada se postavi difuzor čiji je polumjer izlaznog otvora za 1 m veći od polumjera izlaznog otvora turbine.

$$H_{zah} = 100 \text{ m n. v.}$$

$$H_t = 40 \text{ m n. v.}$$

$$H_{gv} = 120 \text{ m n. v.}$$

$$H_{dv} = 32 \text{ m n. v.}$$

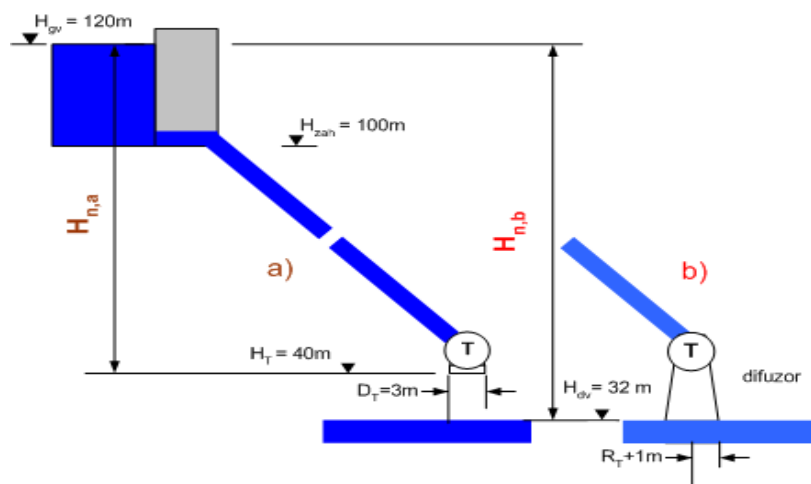
$$Q_a = Q_b = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_t = 3 \text{ m}$$

$$D_d = 5 \text{ m}$$

$$P_a, P_b = ?$$

Napomena: zbog kavitacije dužina difuzora mora biti ograničena na 8 m.



a) bez difuzora Površina izlaznog otvora turbine je: $A_t = \frac{D_t^2 \cdot \pi}{4} = \frac{3^2 \cdot \pi}{4} = 7,07 \text{ m}^2$

Iz jednadžbe kontinuiteta $Q_t = A_t \cdot c_t$ slijedi izraz za brzinu vode na izlazu iz turbine:

$$c_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{100}{7,07} = 14,15 \text{ m/s}$$

Neto visina je: $H_n = H_{gv} - H_t - \frac{c_t^2}{2 \cdot g} = 120 - 40 - \frac{14,15^2}{2 \cdot 9,81} = 120 - 40 - 10,2 = 69,8 \text{ m}$

Snaga turbine je: $P_a = 9,81 \cdot Q_a \cdot H_{n,a} = 9,81 \cdot 100 \cdot 69,8 = 68474 \text{ kW} = 69 \text{ MW}$

b) s difuzorom Difuzor je uređaj na izlazu iz turbine koji omogućava potpuno iskorištenje potencijalne energije te smanjenje gubitaka kinetičke energije vode između izlaza iz turbine i razine donje vode.

Površina izlaznog otvora difuzora je: $A_d = \frac{D_d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{5^2 \cdot \pi}{4} = 19,63 \text{ m}^2$

Iz jednadžbe kontinuiteta $Q_d = A_d \cdot c_d$ slijedi izraz za brzinu vode na izlazu iz difuzora:

$$c_d = \frac{Q_d}{A_d} = \frac{100}{19,63} = 5,1 \text{ m/s}$$

Neto visina je: $H_n = H_{gv} - H_{dv} - \frac{c_d^2}{2 \cdot g} = 120 - 32 - \frac{5,1^2}{2 \cdot 9,81} = 120 - 32 - 1,3 = 86,7 \text{ m}$

Snaga turbine je: $P_b = 9,81 \cdot Q_b \cdot H_{n,b} = 9,81 \cdot 100 \cdot 86,7 = 85052 \text{ kW} = 85 \text{ MW}$

$$P_a = 69 \text{ MW}, P_b = 85 \text{ MW}$$

8. Vjerojatnosnu krivulju protoka na mjestu gdje je postavljena protočna hidroelektrana, instaliranog protoka od $8 \text{ m}^3/\text{s}$, aproksimira izraz $Q = 10 - t/2 \text{ [m}^3/\text{s]}$ (t u *mjesecima*). Koliko iznosi vjerojatna godišnja proizvodnja električne energije? Koliko iznose najveća i najmanja snaga hidroelektrane? Odrediti faktor opterećenja za hidroelektranu. Pojednostavljeno uzeti da je neto visina 50 m i stupanj djelovanja $0,75$ cijelo vrijeme.

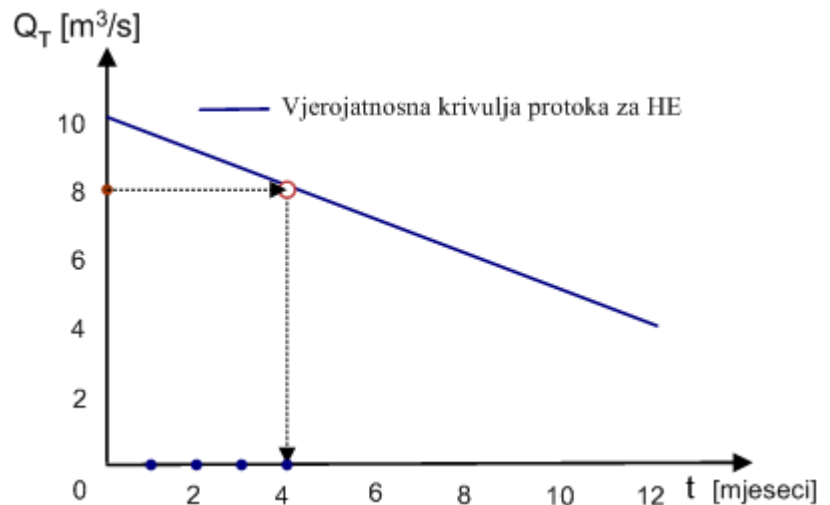
$$H_n = 50 \text{ m}$$

$$Q_i = 8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\eta = 0,75$$

$$Q = 10 - t/2 \text{ [m}^3/\text{s]} \text{ (} t \text{ u mjesecima)}$$

$$W, P_{\max}, P_{\min}, m_{HE} = ?$$



Vjerojatnosna krivulja protoka je: $Q = 10 - t/2 \text{ [m}^3/\text{s]} \text{ (} t \text{ u mjesecima)}$

Uvrštavanjem za $Q = Q_i$ dobiva se $t_i = 4 \text{ mjeseca}$.

Vjerojatna godišnja proizvodnja električne energije određuje se prema izrazu:

$$\begin{aligned} W &= 9,81 \rho \cdot \left\{ Q_i \cdot \eta_i \cdot \int_0^{t_i} H_n(t) \cdot dt + \int_{t_i}^{12} Q(t) \cdot H_n(t) \cdot \eta(t) \cdot dt \right\} = 9,81 \cdot \rho \cdot \left(Q_i \cdot \eta \cdot H_n \cdot t_i + H_n \cdot \eta \cdot \int_{t_i}^{12} Q(t) \cdot dt \right) \\ &= 367875 \cdot \left(32 + \left(10 \cdot t - \frac{t^2}{2 \cdot 2} \right) \Big|_4^{12} \right) = 9,81 \cdot 10^3 \cdot 0,75 \cdot 50 \cdot \left(8 \cdot 4 + \int_4^{12} \left(10 - \frac{t}{2} \right) \cdot dt \right) = 29,4 \cdot 10^6 \text{ Wmj} = \\ &= 29,4 \cdot 10^6 \cdot 8760 / 12 = 21,5 \cdot 10^9 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Najveća snaga hidroelektrane:

$$P_{\max} = P_i = 9,81 \cdot Q_i \cdot H_n \cdot \eta = 9,81 \cdot 8 \cdot 50 \cdot 0,75 = 2943 \text{ kW} = 2,94 \text{ MW}$$

Najmanja snaga hidroelektrane:

$$P_{\min} = 9,81 \cdot Q_{\min} \cdot H_{\min} \cdot \eta = 9,81 \cdot Q(12 \text{ mj}) \cdot 50 \cdot 0,75 = 9,81 \cdot 4 \cdot 50 \cdot 0,75 = 1472 \text{ kW} = 1,47 \text{ MW}$$

Faktor opterećenja za hidroelektranu:

$$m_{HE} = W/W_i = W / (P_i \cdot T) = 21,5 \cdot 10^9 / (2,94 \cdot 10^6 \cdot 8760) = 21,5 \cdot 10^9 / 25,4 \cdot 10^9 = 0,83$$

$$W = 21,5 \cdot 10^9 \text{ Wh}, P_{\max} = 2,94 \text{ MW}, P_{\min} = 1,47 \text{ MW}, m_{HE} = 0,83$$

9. Odredite moguću godišnju proizvodnju derivacijske hidroelektrane izgrađene na vodotoku s godišnjom krivuljom trajanja protoka $Q=300-200 \cdot t/12$. 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. Konsumpcijska krivulja na zahvatu zadana je izrazom $H_z=Q/20+40$. Brana je visine 55 m s ugrađenim zapornicama koje se reguliraju tako da propuštaju višak vode. Tijekom pogona nije potrebno poštovati biološki minimum. Turbina je u stanju raditi s bilo kojim protokom od maksimalnog instaliranog do nultog. Utjecaj ostalih veličina koje nisu zadane treba zanemariti.

$$Q=300-200 \cdot t/12$$

$$H_{zah} = 100 \text{ m n. v.}$$

$$H_z=Q/20+40$$

$$H_B = 55 \text{ m}$$

$$H_{post} = 0 \text{ m n. v.}$$

$$W = ?$$

Srednji godišnji protok (odnosni instalirani protok) se dobije kada se u izraz za Q uvrsti $t=6$ mjeseci.

$$Q_i=300-200 \cdot 6/12 = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$

U prvih 6 mjeseci maksimalno iskoristivi protok je $200 \text{ m}^3/\text{s}$ i on je konstantan, nakon toga se linearno u idućih 6 mjeseci smanjuje do $100 \text{ m}^3/\text{s}$ što se direktno dobije ako se u izraz za Q uvrsti $t=12$ mjeseci:

$$Q_{min}=300-200 \cdot 12/12 = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

Visina gornje vode varira između 45 m i 55 m što se vidi iz konsumpcijske krivulje.

$$H_{zmin}=100/20 + 40 = 45 \text{ m}$$

$$H_{zmax}=300/20 + 40 = 55 \text{ m}$$

Primijetiti da je $H_B = 55 \text{ m}$ te je zato moguće iskoristiti najvišu visinu gornje vode. Kad bi H_B bio manji od 55 m, H_{zmax} bi bio jednak H_B .

Primijetiti da je $Q_{max} = 300 \text{ m}$ što se vidi iz godišnje krivulje trajanja protoka. Maksimalna visina vode na mjestu zahvata bit će upravo određena tim iznosom. No, na žalost, tehnička izvedba postrojenja ne dozvoljava da mi taj protok propustimo kroz cjevovode i turbinu pa je zato maksimalni protok ograničen na $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Snaga hidroelektrane iznosi:

$$P = \rho \cdot g \cdot H(t) \cdot Q(t) \cdot \eta$$

$$H(t) = H_z + H_{zah} = Q/20 + 40 + H_{zah} = (300-200 \cdot t/12)/20 + 40 + 100$$

$$P = 1000 \cdot 9.81 \cdot (300/20-200 \cdot t/240+40+100) \cdot Q(t) \cdot 1$$

$$P = 1000 \cdot 9.81 \cdot (155-5 \cdot t/6) \cdot Q(t)$$

Proizvedena energija od 0 do 6 mjeseci je: (broj sati u mjesecu iznosi $24 \cdot 365/12=730$ h)

$$W_{0-6} = 730 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot \int_0^6 Q_i \cdot H(t) dt = 7161300 \cdot \int_0^6 200 \cdot (155 - \frac{5}{6}t) dt = 1,432 \cdot 10^9 \cdot \left(155t - \frac{5}{6} \frac{t^2}{2} \right)_0^6 = 1,31 \cdot 10^9 \text{ kWh}$$

Proizvedena energija od 6 do 12 mjeseci je:

$$W_{6-12} = 730 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot \int_6^{12} Q(t) \cdot H(t) dt = 7161300 \cdot \int_6^{12} (300 - 200 \frac{t}{12}) \cdot (155 - \frac{5}{6}t) dt = 0,95 \cdot 10^9 \text{ kWh}$$

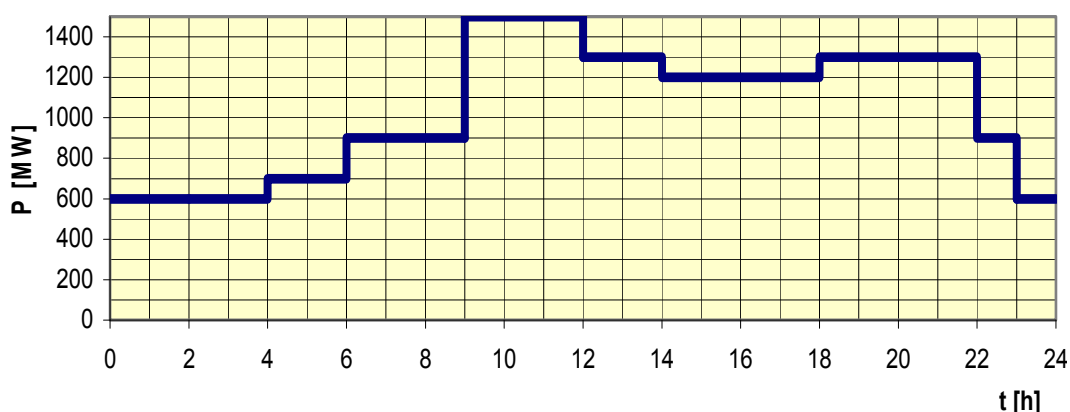
Ukupna proizvedena energija je $W = W_{0-6} + W_{6-12} = 2,26 \cdot 10^9 \text{ kWh}$

$$W = 2,3 \cdot 10^9 \text{ kWh}$$

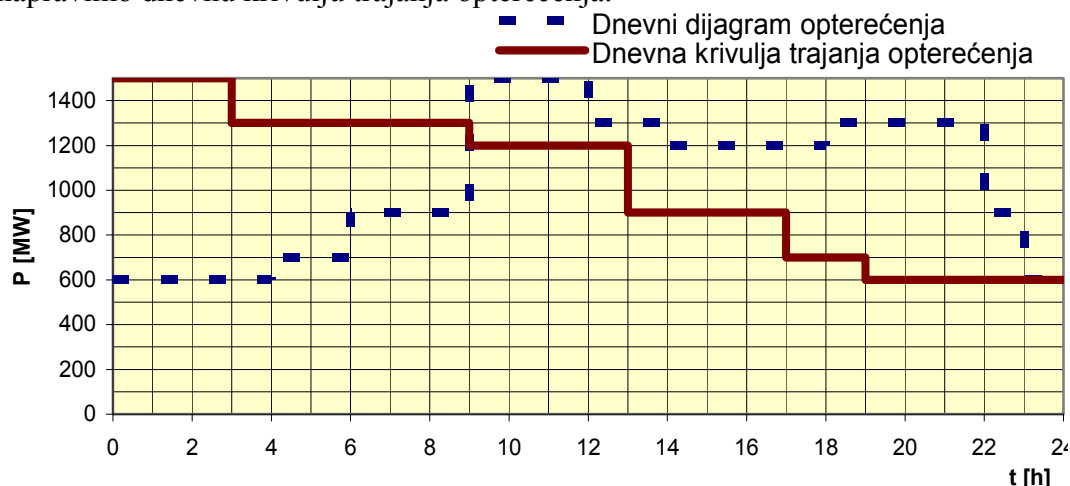
10. Za neki elektroenergetski sustav poznato je dnevno opterećenje prema podacima u tablici. Potrebno je nacrtati dnevnu krivulju trajanja opterećenja, odrediti iznos varijabilne energije, konstantne energije, dnevno utrošene energije, faktora opterećenja, te vrijeme korištenja maksimalne snage.

$t [h]$	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

Prvo nacrtamo dnevnu krivulju (dijagram) opterećenja:



Iz koje napravimo dnevnu krivulju trajanja opterećenja.



Ukupna proizvedena energija jednaka je površini ispod krivulje trajanja opterećenja:

$$W = 1500 \text{ MW} \cdot 3 \text{ h} + 1300 \text{ MW} \cdot 6 \text{ h} + 1200 \text{ MW} \cdot 4 \text{ h} + 900 \text{ MW} \cdot 4 \text{ h} + 700 \text{ MW} \cdot 2 \text{ h} + 600 \text{ MW} \cdot 5 \text{ h}$$

$$W = 25100 \text{ MWh}$$

$$W_K = 24 \text{ h} \cdot P_{\min} = 24 \text{ h} \cdot 600 \text{ MW} = 14400 \text{ MWh}$$

$$W_V = W - W_K = 10700 \text{ MWh}$$

$$\text{Faktor opterećenja } m = \frac{W}{24 \text{ h} \cdot P_{\max}} = \frac{25100 \text{ MWh}}{24 \text{ h} \cdot 1500 \text{ MW}} = 0,697$$

$$\text{Vrijeme korištenja maksimalne snage } T_{P_{\max}} = \frac{W}{P_{\max}} = \frac{25100 \text{ MWh}}{1500 \text{ MW}} = 16,7 \text{ h}$$

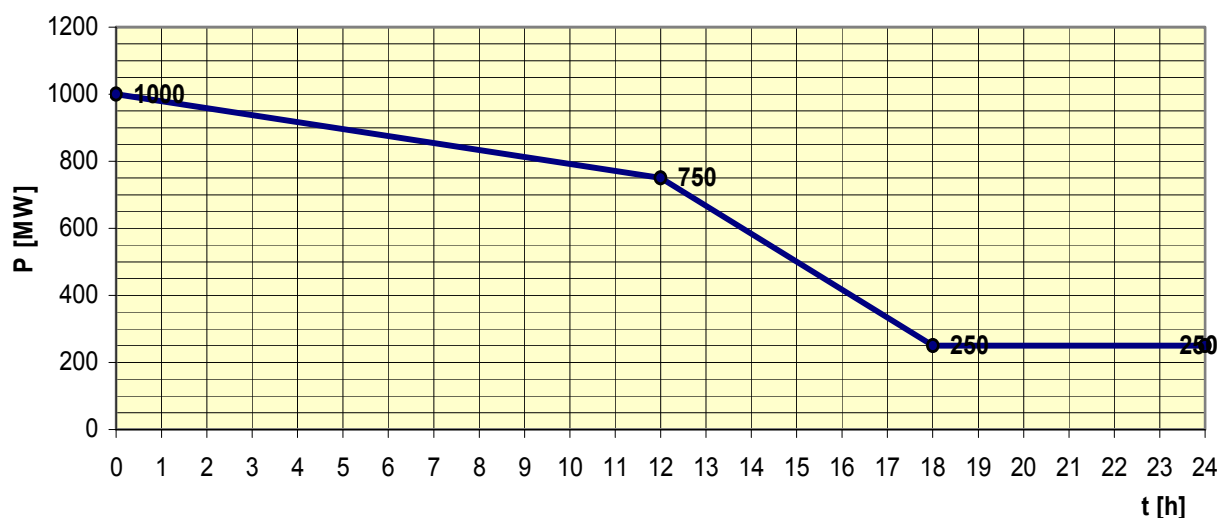
$$W_V = 10700 \text{ MWh}, W_K = 14400 \text{ MWh}, W = 25100 \text{ MWh}, m = 0,697, T_{P_{\max}} = 16,7 \text{ h}$$

11. Dnevna krivulja trajanja opterećenja nekog EES-a aproksimirana s tri pravca definirana je slijedećim izrazima:

Vrijeme [h]	0 – 12	12 – 18	18 – 24
Snaga [MW]	$-\frac{250}{12}t + 1000$	$-\frac{500}{6}t + 1750$	250

Odredite iznos dnevno potrošene energije, faktora opterećenja, te vrijeme korištenja maksimalne snage.

Dnevno potrošena energija je površina ispod krivulje trajanja opterećenja, može se izračunati iz površina ispod krivulje (zbrajanjem kvadrata i trokuta) ili integracijom krivulje:



iz površina (grafički):

$$W_K = 24 \text{ h} \cdot P_{\min} = 6000 \text{ MWh}$$

$$W_V = \frac{1}{2} (250 \text{ MW} \cdot 12 \text{ h}) + (500 \text{ MW} \cdot 12 \text{ h}) + \frac{1}{2} (500 \text{ MW} \cdot 6 \text{ h}) = 9000 \text{ MWh}$$

$$W = W_K + W_V = 15000 \text{ MWh}$$

Integracijom (analitički):

$$W = \int_0^{12} \left(-\frac{250}{12}t + 1000 \right) dt + \int_{12}^{18} \left(-\frac{500}{6}t + 1750 \right) dt + \int_{18}^{24} 250 dt$$

$$W = -\frac{250}{12 \cdot 2} (12^2 - 0^2) + 1000(12 - 0) - \frac{500}{6 \cdot 2} (18^2 - 12^2) + 1750(18 - 12) + 250(24 - 18)$$

$$W = 15000 \text{ MWh}$$

$$\text{Faktor opterećenja } m = \frac{W}{24 \text{ h} \cdot P_{\max}} = \frac{15000 \text{ MWh}}{24 \text{ h} \cdot 1000 \text{ MW}} = 0,625$$

$$\text{Vrijeme korištenja maksimalne snage } T_{P_{\max}} = \frac{W}{P_{\max}} = \frac{15000 \text{ MWh}}{1000 \text{ MW}} = 15 \text{ h}$$

$$W = 15000 \text{ MWh}, m = 0,625, T_{P_{\max}} = 15 \text{ h}$$

12. Dnevna krivulja trajanja opterećenja nekog EES-a aproksimirana je s tri pravca. Poznati su sljedeći podaci o krivulji: $P_{\max} = 1000 \text{ MW}$, $P_{\min} = 550 \text{ MW}$, $T_v = 18 \text{ h}$, $W = 18000 \text{ MWh}$, $\beta = 0,6$. Potrebno je izračunati koeficijent α , nacrtati krivulju trajanja opterećenja i napraviti u njoj razmještaj elektrana za slučaj kada je nuklearna elektrana u remontu. Poznato je :

HE ₁ :	$P_{\text{HE1n}} = 200 \text{ MW}$;	protočna	
HE ₂ :	$P_{\text{HE2n}} = 300 \text{ MW}$;	protočna	
NE:	$P_{\text{NEn}} = 300 \text{ MW}$;		$c_{\text{NE}} = 15 \text{ lp/kWh}$
TE ₁ :	$P_{\text{TE1n}} = 250 \text{ MW}$;	$P_{\text{TE1min}} = 50 \text{ MW}$;	$c_{\text{TE1}} = 35 \text{ lp/kWh}$
TE ₂ :	$P_{\text{TE2n}} = 350 \text{ MW}$;	$P_{\text{TE2min}} = 50 \text{ MW}$;	$c_{\text{TE2}} = 30 \text{ lp/kWh}$

Nuklearna elektrana je u remontu, te ju ne uzimamo u obzir u ovom zadatku.

Zbroj snaga preostalih raspoloživih elektrana je $1100 \text{ MW} > P_{\max}$.

Sve preostale elektrane potrebne su nam za zadovoljavanje dnevnih potreba za energijom.

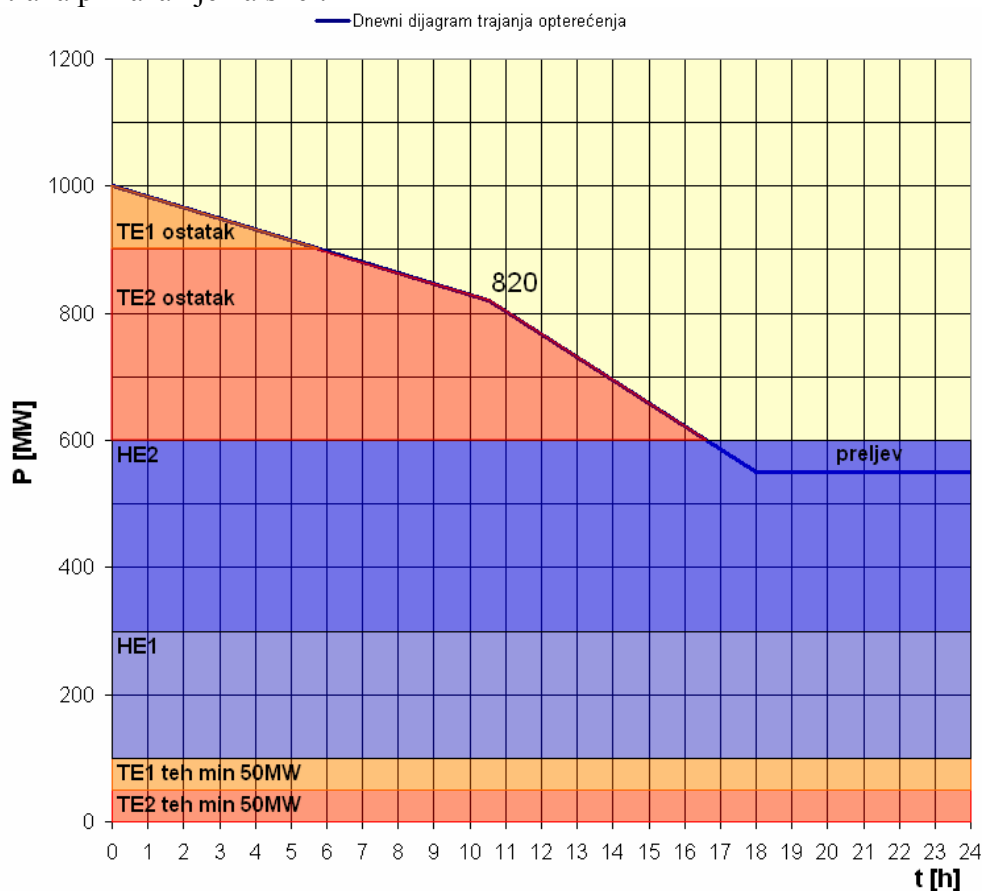
$$W_K = 24\text{h} \cdot P_{\min} = 24\text{h} \cdot 550\text{MW} = 13200 \text{ MWh}$$

$$W_V = W - W_K = 4800 \text{ MWh}$$

$$P_V = P_{\max} - P_{\min} = 450\text{MW}, \text{ te iz relacije } \alpha + \beta = \frac{2 \cdot W_V}{T_v \cdot P_V} \text{ dobijemo:}$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot W_V}{T_v \cdot P_V} - \beta = \frac{2 \cdot 4800\text{MWh}}{18\text{h} \cdot 450\text{MW}} - 0,6 = 0,5852$$

Raspored elektrana prikazan je na slici:



$$\alpha = 0,5852$$

13. U sustavu je raspoloživo sedam elektrana: nuklearna elektrana nazivne snage 600 MW, četiri termoelektrane nazivnih snaga 450 MW i tehničkih minimuma 50 MW, te dvije protočne hidroelektrane koje cijeli dan mogu davati 200 MW svaka. Cijena električne energije proizvedene iz TE je različita, najjeftinija iz TE₁, pa redom do najskuplje TE₄. Zanimarite sve gubitke snage. Dnevna krivulja trajanja opterećenja određena je s $P_{max} = 1700$ MW, $P_{min} = 700$ MW, $T_v = 20$ h, $\alpha = 0,6$ i $\beta = 0,8$. Odredite: a) ukupnu energiju koju proizvede TE₂, i b) faktor opterećenja sustava.

NE: $P_{NEn} = 600$ MW;

HE₁: $P_{HE1n} = 200$ MW; protočna

HE₂: $P_{HE2n} = 200$ MW; protočna

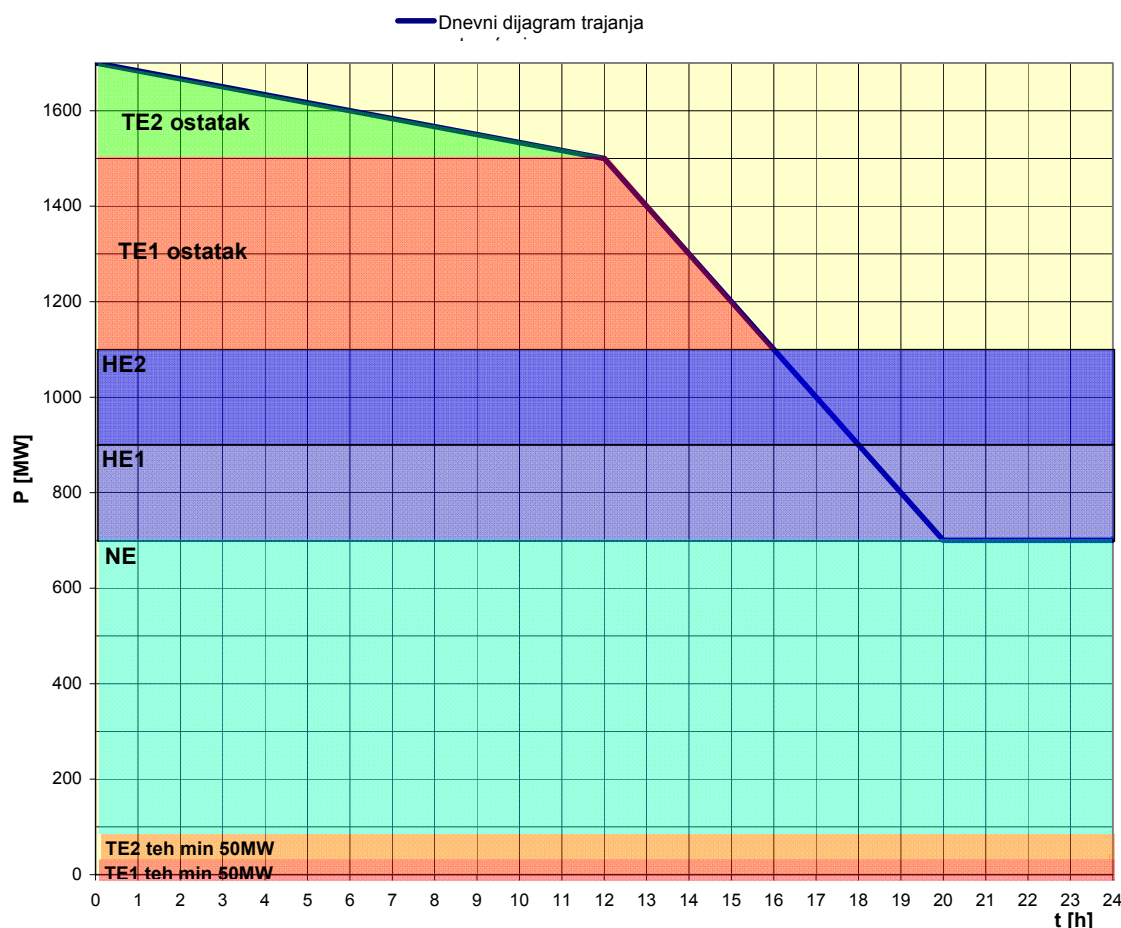
TE₁₋₄: $P_{TE1-4n} = 450$ MW; $P_{TE1-4min} = 50$ MW; $c_{TE1} < c_{TE2} < c_{TE3} < c_{TE4}$

$$\alpha \cdot T_v = 0,6 \cdot 20 = 12h$$

$$P_{min} + \beta \cdot P_v = 700MW + 0,8 \cdot 1000MW = 1500MW$$

Rezoniranje:

- Suma nazivnih snaga NE i obje protočne HE: $P_{NEn} + 2 \times P_{HEn} = 600 + 2 \times 200 = 1000$ MW $< P_{max}$
- Za pokriće razlike opterećenja od ovih 1000 MW do P_{max} , u iznosu 700 MW, koristite se još dvije TE: prvo TE₁ (najekonomičnija) i preostali dio s TE₂ (sljedeća po ekonomičnosti). Stoga treba u pokriće baznog opterećenja uključiti i snage tehničkih minimuma ove dvije elektrane.
- Tada je suma snaga: $P_{TE1min} + P_{TE2min} + P_{NEn} + 2 \times P_{HEn} = 2 \times 50 + 600 + 2 \times 200 = 1100$ MW
- Potom se dodaje preostala razlika TE₁ od 400 MW te je time pokriveno ukupno 1500 MW.
- Preostaje još pokriti 200 MW, od 1500 MW do P_{max} , iz elektrane TE₂. Zaključak: TE₂ radi s varijabilnom snagom 12 h.
- Kada se sve točno prikaže na slici uočava se da TE₂ radi:
 - 24 h na snazi tehničkog minimuma od 50 MW, te
 - 12 h promjenjivom snagom (u dodatku na teh. minimum) od 0 do najviše 200 MW.



Dnevna djelatna električna energija koja se proizvede TE₂ iznosi:

$$W_{TE2} = W_{TE2k} + W_{TE2v} = 24h \cdot 50MW + 0,5 \cdot 12h \cdot 200MW = 1200 + 1200 = 2400MWh$$

$$W_k = 24h \cdot P_{\min} = 24h \cdot 700MW = 16800MWh$$

$$W_v = 0,5 \cdot (\alpha + \beta) \cdot P_v T_v = 0,5 \cdot (0,6 + 0,8) \cdot 1000MW \cdot 20h = 14000MWh$$

$$W_{uk} = W_k + W_v = 16800MWh + 14000MWh = 30800MWh$$

Faktor opterećenja sustava, m :

$$m = \frac{W}{W_{\max}} = \frac{W}{24 \cdot P_{\max}} = \frac{30800MWh}{24h \cdot 1700MW} = 0,755$$

$$W_{TE2} = 2400 MWh; m = 0,755$$