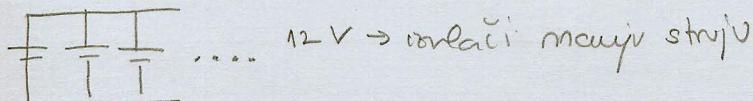


① Mali električni sustav napaja se isključivo iz obnovljivih izvora energije a sastoji se od 4 12V DC Žarulje svaka snage 1W koje se koniste maksimalno 4 sata dnevno i malih 220V AC potrošača (TV, Laptop) maksimalnog zahtijeva za snagu u iznosu od 150W tijekom 6 sati dnevno. Odredite potreban broj 65Ah (kapacitet u bateriju preduzeta od 0,95C) potrebnih za osiguranje električne energije tijekom 5-dnevnog nedostupnosti obnovljivog izvora energije u sljedeće pretpostavke: sigurnosna rezervna 20%, efikasnost akumulatora (DOD)=80%, efikasnost invertera (600W) 90%

$$DC \quad 4 \times 12V \sim P = 1W \rightarrow 4 \text{ h dnevno}$$

$$AC \quad 220V \sim P = 150W \rightarrow 6 \text{ h dnevno}$$

Invertor AC/DC \Rightarrow 220/12V



$$E_{DC/dan} = 1W \cdot 4h = 4 = 176 \text{ Wh}$$

$$E_{AC/dan} = 150 \cdot 6h = \frac{1}{\eta} = \frac{900}{0.9} = 1000 \text{ Wh}$$

$$E_{ukupno} = 176 \text{ Wh / dan} \circ 5 \text{ dana} \circ 1,2 \text{ rezervne} = 7056 \text{ Wh}$$

$$E[\text{Wh}] = E[\text{VAh}]$$

$$\frac{7056 \text{ [Wh]}}{12 \text{ [V]}} = 588 \text{ Ah} \Rightarrow 80\% \text{ ukupnih Ah} \Rightarrow \text{ukupno} = \frac{588}{0.8} = 735 \text{ Ah} \Rightarrow n = \frac{735}{65} = 11.3 \approx 12$$

$I_{max} \rightarrow$ kad je sve upaljeno

$$P_{max} = 4 \cdot 1W + \frac{150}{0.9} = 44 + 166.67 = 210.67 \text{ W}$$

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{U} = \frac{210.67}{12} = 17.5A \rightarrow I_{max} = \frac{17.5}{n} = 1.46A$$

Nakon 4 dana nedostupnosti sunca osvamlo je vladajuću jutro i u sustav je neplanirano uključena grijalica snage 0.5 kW koja je bila uključena 3h. Da li je akumulatorski sustav te večeri u stanju osigurati 4-h napajajuće žarulje i 6h napajajuće AC potrošača?

$$W_{id} = 176 \text{ Wh} \rightarrow W_{ud} = 176 \cdot 4 = 6704 \text{ Wh}$$

$$W_{uk} = 6704.67 \text{ Wh} + 176 ?$$

$$W_{gr} = 0.5kW \cdot 3h = \frac{0.5}{0.9} \cdot 3 = 1666.67 \text{ Wh}$$

$$\text{kapacitet: } 12 \cdot 65 \text{ Ah} = 780 \text{ Ah}$$

$$\frac{4704}{12} = 392 \text{ Ah} \quad SOC = \frac{780 - 392}{780} = 49.7\%$$

$$\frac{1666.67}{12} = 138.89 = 139 \text{ Ah} \quad SOC = 49.7\% - \frac{139}{780} = 31.9\%$$

$$\text{do } 20\% \text{ DOD: } (31.9\% - 20\%) \cdot 780 \text{ Ah} = 93.6 \text{ Ah}$$

$$\frac{50.0}{0.9} = \frac{556 \text{ W}}{12 - 12} = 3.86 \text{ A / akumulator}$$

\hookrightarrow manji ukupni kapacitet akumulatora

zbog ROD
Lbrojne preduzete

② Revertibilna hidroelektarala ima korisni volumen spremnika $9.75 \text{ milijuna m}^3$. Njegovim prenjeđenjem proizvede se 16.6 GWh električne energije. Prosječna visinska razlika između gornje i donje spremnika iznosi 721.8 m . Učinkovitost pumpanja je 80% . Odredite učinkovitost pretvorbe mehaničke energije u električnu. Koliko se energije potrosi na pumpanje vode iz donje u gornji spremnik? Koliko iznosi ukupna učinkovitost ciklusa spremanja energije?

$$V = 9.75 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \quad 16.6 \cdot 10^9 \cdot 3600 = mgh \text{ kJ mech} \quad m = V \cdot \rho$$

$$W = 16.6 \text{ GWh} \quad 3600 \cdot 16.6 \cdot 10^9 = 3.75 \cdot 10^6 \cdot 9.81 \cdot 721.8 = V \text{ mech}$$

$$h = 721.8 \text{ m} \quad \eta_{\text{mech}} = 0.866$$

$$\eta_p = 0.6$$

$$\eta_{\text{Mech}}$$

$$\eta_{\text{ee}} = \eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{pump}} = 0.52 \quad \eta_{\text{ee}} = \frac{E}{E_{\text{ees}}} \Rightarrow E_{\text{ees}} = \frac{E}{\eta_{\text{ee}}} = 32 \text{ GWh}$$

③ Pedesetih je godina prošlog stoljeća u Švicarskoj tvrtka Oerlikon postila u promet demonstracijski električni autobus za zanasnjakom (punji cilindar-disk mase 1500 kg , promjera 160 cm) kao spremnikom energije. Maksimalna brzina rotacije zanasnjaka bila je 3000 okr/min . Odredite maksimalnu kinetičku energiju zanasnjaka. Koliko je trajalo punjenje zanasnjaka ako je minimalna dozvoljena brzina okretanja zanasnjaka iznosila 2100 okr/min a povećje se provodilo elektromotorom snage 52 kW .

$$m = 1500 \text{ kg}$$

$$d = 1.6 \text{ m}$$

$$W_{\text{max}} = 3000 \text{ okr/min} = 3000 \cdot \frac{\pi}{30} = 314.16 \text{ rad/s}$$

$$W_{\text{min}} = 2100 \text{ okr/min} = 2100 \cdot \frac{\pi}{30} = 219.9 \text{ rad/s}$$

$$P = 52 \text{ kW}$$

$$E_{\text{max}} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad I = \frac{m r^2}{2} = \frac{1500 \cdot 1.6^2}{2 \cdot 4} = \frac{1920}{4} \text{ kgm}^2 = 480 \text{ kgm}^2$$

$$E_{\text{max}} = 480 \cdot \frac{314.16^2}{2} \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2} = 2.37 \cdot 10^7 \text{ J}$$

$$= 6.38 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{min}} = 480 \cdot \frac{219.9^2}{2} = 1.16 \cdot 10^7 \text{ J}$$

$$P \cdot t = \Delta E \Rightarrow t = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{P} = \frac{2.37 \cdot 10^7 - 1.16 \cdot 10^7}{52 \cdot 10^3} = 232.69 \text{ s}$$

$$= 3.87 \text{ min}$$

④ Vjerovatnošnu krvlju protoka na mjestu gdje je postavljena protočna hidroelektarala, instaliranog protoka od $8 \text{ m}^3/\text{s}$, aproksimira čvor $Q = 10 - \frac{t}{2} [\text{m}^3/\text{s}]$ (t u mjesecima). Koliko iznosi vjerovatna godišnja proizvodnja električne energije, najveća i najmanja radna snaga hidroelektarale te faktor opterećenja ako je neto visina 50 m ?

a) stupanj djelovanja Francis turbine je 0.75 i netansan u protoku

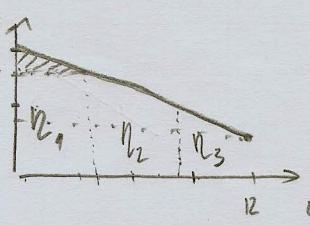
b) proujedinjeni stupanj djelovanja zadani kao funkcija protoka grafom - aproksimirati funkciju ovisnost s tri konstantna segmenta

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

$$Q = 10 - \frac{t}{2} [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$y = 0.75$$

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



$$Q(0) = 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q(12) = 10 - 6 = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_i = 10 - \frac{t}{2} \Rightarrow \frac{t}{2} = 10 - 8 = 2 \Rightarrow t_i = 4 \text{ m/s}$$

$$W = \eta g H \int (Q_i \cdot t_i + \int (10 - \frac{t}{2}) dt) =$$

$$= 367.875 (8 \cdot 4 + 10 \cdot 8 - \frac{1}{4} (12^2 - 4^2)) \cdot 10^3 =$$

$$= 29430 \text{ kWm} \cdot 12 = 29430 \cdot \frac{365 \cdot 24}{12} = 21.484 \text{ GWh}$$

$$P_{\text{max}} = \eta g H \cdot Q_i = 2.943 \text{ MW}$$

$$P_{\text{min}} = \eta g H (2(t=12)) = 1.471 \text{ MW}$$

$$W = \frac{W}{P_{\text{max}} \cdot 12} = \frac{29430 \text{ kWm}}{2.943 \text{ kW} \cdot 12 \text{ m/s}} = 0.834$$

$$b) \frac{Q}{Q_i} = 0.5 - 0.75 \Rightarrow \eta = 0.8$$

$$0.75 - 0.99 \Rightarrow 0.86 = \eta_2 \quad 6 = 10 - \frac{t}{2} \Rightarrow t = 8$$

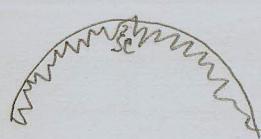
$$1 \rightarrow 0.85 = \eta_1$$

$$W = HgS \cdot (Q_i \cdot t_i + \int_Q^8 (10 - \frac{t}{2}) dt + \int_8^{12} (10 - \frac{t}{2}) dt) =$$

$$= 490.5 \cdot 10^3 (27.2 + 24.08 + 16) = 33.000.8 \text{ kWm}$$

$$P_{\text{max}} = \eta g H \cdot Q_i = 3.3354 \text{ MW} \quad P_{\text{min}} = \eta g H \cdot t_i = 1.57 \text{ MW}$$

$$⑤ \text{ Darcy - Weisbach} \quad h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_{sr}^2}{2g}$$



- ⇒ max visina neravnine unutar cijevi
- ⇒ između slojeva vode postoji trenje
- ⇒ ut rubove vktori

Moody dijagram → $f(Re)$ za pogodinu gruboci cijevi ($\frac{e}{D}$)

$$\text{veli } \frac{e}{D} \rightarrow f \quad Re = \frac{\rho V_{sr} d}{\mu} = \frac{d V_{sr}}{r - \text{kinematička viskornost}} \quad [St]$$

\downarrow
dinamička
viskornost

[St] $\hookrightarrow Stokes = 0.001 \text{ m}^2/\text{s}$

$$[kg/m s] = [Pa \cdot s]$$

Upotrebovi Darcy - Weisbachove formule i Moodyevog dijagraama odredi gubitak u
čeličnom vratnom cijevnici ($e=0.6 \text{ mm}$) promjera 900 mm i duljine 500 m uz
srednji protok vode od $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ i njegovu temperaturu od 10°C

$$e = 0.6 \text{ mm}$$

$$d = 900 \text{ mm}$$

$$l = 500 \text{ m}$$

$$Q_{sr} = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 10^\circ\text{C}$$

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_{sr}^2}{2g}$$

$$V_{sr} = A \cdot V_{sr} \Rightarrow V_{sr} = \frac{Q_{sr}}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{1.2 \cdot 4}{\pi \cdot 0.9^2} = 1.886 \text{ m/s}$$

$$V \approx 1.3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \Rightarrow \text{iz dijagraama} \rightarrow Re = \frac{d \cdot V_{sr}}{r} = 1.3 \cdot 10^6$$

$$\frac{e}{d} = \frac{0.6}{900} = 6.67 \cdot 10^{-4}$$

$$e \stackrel{?}{=} Re \rightarrow \text{Moody dijagram} \Rightarrow f \approx 0.019$$

$$h_f = 0.019 \cdot \frac{500}{0.9} \cdot \frac{1.886^2}{2 \cdot 9.81} = 1.91366 \text{ m}$$

⑥ Krivulja protoka na ujelu gdje je postavljena mala protična derivacijska elektrana a preostala rava je tablicom. Instalirani protok iznosi $6 \text{ m}^3/\text{s}$, a efikasnost turbine prikazana je tablicom kroz vrijednosti za određeni interval protoka. Dostupan pad iznosi 120 m .

Gubitke u cjevovodu izračunajte uporabom Darcy - Weisbachove formule uz upotrebu instaliranog protoka, oduzeto instalirane srednje brzine protoka vode, ako su poznati sljedeći podaci: kinematička viskornosć vode je $1.004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, pravper cjevovoda 1200 mm , duljina cjevi je 500 m , grubočina cjevi $c = 0.12 \text{ mm}$.

Određite:

a) gubitke pada u cjevovodu pri instaliranom protoku

b) tonos vjerovatne godišnje proizvedene energije (prosječno 730h u mjesecu)

$t [mij]$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q [\text{m}^3/\text{s}]$	20	15	17	9	5	2	1	3	4	3	5	8
Q/Q_i	$\geq 30\%$	$\geq 30\%, < 50\%$	$> 50\%, < 65\%$	$\geq 65\%, < 80\%$	$\geq 80\%$							
η_e	0	0.3		0.5		0.7		0.85				

$$Q_i = 6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 120 \text{ m}$$

$$\nu = 1.004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$d = 1200 \text{ mm}$$

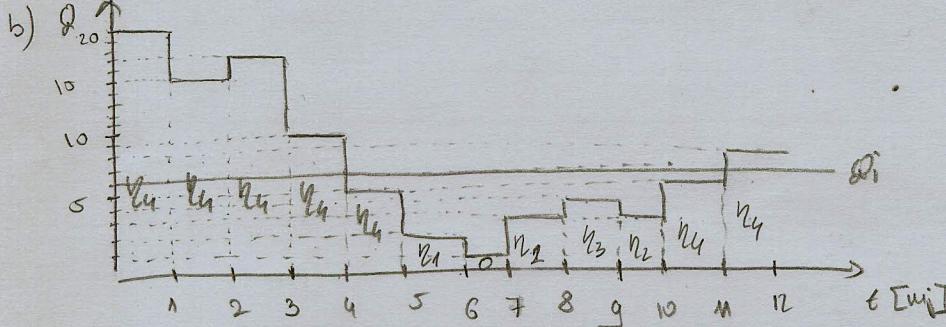
$$l = 500 \text{ m}$$

$$c = 0.12 \text{ mm}$$

$$Q_i = A \cdot V_i \rightarrow V_i = \frac{Q_i}{A} = \frac{6}{\frac{\pi \cdot 12^2 \cdot 10^{-4}}{4}} = \frac{6 \cdot 4}{\pi \cdot 12^2 \cdot 10^{-4}} = 5.31 \text{ m/s}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{0.12}{1200} = 1 \cdot 10^{-4}$$

$$Re = \frac{d \cdot V_i}{\nu} = \frac{1.2 \cdot 5.31}{1.004 \cdot 10^{-6}} = 6.33 \cdot 10^6 \quad f \approx 0.012 \quad H_f = 0.012 \cdot \frac{500}{1.2} \cdot \frac{15.31^2}{2 \cdot 9.81} = 7.15 \text{ m}$$



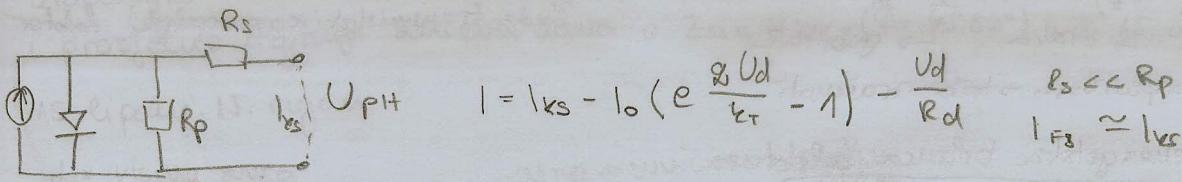
$$Q_1 = 0.3 \cdot Q_i = 1.8 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \eta_1$$

$$Q_2 = 3 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \eta_2$$

$$Q_3 = 0.65 \cdot 6 = 3.9 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \eta_3$$

$$Q_4 = 4.8 \rightarrow \eta_4$$

$$\begin{aligned}
 W &= g S H (\eta_4 \cdot 5 \cdot 6 + \eta_4 \cdot 5 \cdot 2 + \eta_1 \cdot 2 + 2 \cdot 3 \cdot \eta_2 + 4 \cdot \eta_3) = \\
 &= 9.81 \cdot 10^3 \cdot (120 - 7.15) \cdot (0.85 \cdot 30 + 0.85 \cdot 10 + 2 \cdot 0.3 + 6 \cdot 0.5 + 4 \cdot 0.7) = \\
 &= 107.06 \cdot 10^3 \cdot 40.4 = 44725.22 \text{ kW} \cdot \text{mij} \Rightarrow 730 = 32,64 \text{ GWh}
 \end{aligned}$$



- ① Odredite srednju dnevnu ozačenost plohe u Karlovcu u mjesecu svibnju, postavljenoj pod nagibom jednakim zemljopisnoj širini Karlovca ($\varphi = 45^\circ 30'$). Ozačenost na horizontalnu plohu za prosječni dan u mjesecu iznosi $H = 19.94 \text{ MJ/m}^2$ dok prosječna elektroterestrička ozačenost za svibanj iznosi $H_0 = 39.09 \text{ MJ/m}^2$. Albedo (faktor refleksije) iznosi 0.2. Prosječna deklinacija Sunca iznosi 18.8° .

$$\delta = \text{deklinacija sunca} = 18.8^\circ$$

$$\beta = \text{nagib plohe} = \varphi = 45^\circ 30' = 45.5^\circ$$

→ najčešće se uputi ozačenost na horizontalnu plohu

→ faktor refleksije → dekoline na plohu $R = 0.2$

$$\bar{H}_p = ?$$

$\bar{H}_p = \bar{H}_{b\beta} + \bar{H}_{d\beta} + \bar{H}_{r\beta}$

directna difuzna reflektirana

$$\bar{H}_{b\beta} = (\bar{H} - \bar{H}_d) \cdot R_{b\beta}$$

$\bar{H}_b \rightarrow$ na horizontalnu plohu

$$\bar{R}_{b\beta} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin w_s' + \frac{\pi}{180} w_s' \cdot \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin w_s + \sin \varphi \sin \delta \frac{\pi}{180} w_s} = \frac{1 \cdot \cos 18.8 \sin 69.73 + 0}{\cos 45.5 \cos 18.8 \sin 69.73 + \sin 45.5 \sin 18.8 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 69.73} = 0.984$$

w_s' = kut izlaska/zalaska sunca na horizontalnu plohu

w_s = kut zalaska na ugnutu plohu

$$w_s = \arccos(-\tan(\varphi - \beta) \tan \delta) = \arccos(-\tan(45.5) \tan(18.8)) = 69.73^\circ$$

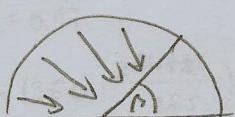
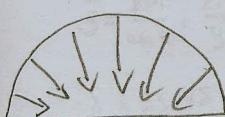
$$w_s' = \min \{ w_s, \arccos[-\tan(\varphi - \beta) \tan \delta] \} = \{ 69.73^\circ, 90^\circ \} = 69.73^\circ$$

\bar{H}_d → ovisi o stanju atmosfere → use uodene pare → veće raspršenje → jača je

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.6 - 4.17 K_T + 5.29 K_T^2 - 2.86 K_T^3 \quad \text{i} \quad \frac{\bar{H}_d}{H} = 1.05 + 1.125 K_T$$

$$K_T = \text{indeks prozračnosti} = \frac{\bar{H}}{H_0} = \frac{19.94}{39.09} = 0.51 \Rightarrow \bar{H}_d = 9.37 \text{ MJ/m}^2 \quad \text{i} \quad 32.37 \text{ MJ/m}^2$$

$$\bar{H}_{b\beta} = (\bar{H} - \bar{H}_d) \cdot R_{b\beta} = (19.94 - 9.37) \cdot 0.984 = 10.40 \text{ MJ/m}^2$$



izotropna atmosfera → jednako se ponosi

$$\bar{H}_{d\beta} = H_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} = 7.968 \text{ MJ/m}^2$$

$$\bar{H}_{r\beta} = S \bar{H} \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} = 0.6 \text{ MJ/m}^2$$

$$\bar{H}_p = 10.4 + 7.97 + 0.6 = 18.97 \text{ MJ/m}^2$$

$$② q = k \cdot (T_a - T_z) \quad \Phi = q A_c$$

↓ zraka ↓ gubitak
apsorbera → teško računati

$\gamma \cdot d$ = transmisijski i apsorptivni faktor

→ ukupna energetska bilanca kolektora

$$q = F_R [\gamma \cdot d \cdot G_1 - k \cdot (T_a - T_z)]$$

↓ ↓ ukupna temp. vode u kolektoru
avisi o karakteristikama
radnog medija (maseni protokol i c)

$$q = F_R' [\gamma \cdot d \cdot G_1 - k (\bar{T}_p - T_z)]$$

↓ ↓ srednja temperatura fluida
dovršenja snaga ↓ okolno kolektora zagrijava fluid

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot c}{k \cdot A_c} \left[1 - e^{-\frac{k(F') \cdot A_c}{\dot{m} \cdot c}} \right]$$

geometrija
kolektora

$$\rightarrow \text{efikasnost} \quad \eta = \frac{q_1}{G_1}, \quad \eta < 0 \rightarrow \text{zagrijava okolinu}$$

$$A_c = 5 \text{ m}^2$$

$$G_1 = 48, 135, 200, 245, 255, 220, 145, 55 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = 30^\circ \text{C}$$

$$T_z = 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3, 2.5^\circ \text{C}$$

$$\gamma \cdot d = 0.86$$

$$G_{ok} = 1313 \text{ W/m}^2$$

$$k = 5 \text{ W/m}^2 \text{K}$$

$$q = 0.86 \cdot [0.86 \cdot G_1 - 5 \cdot (30 - T_z)] =$$

$$F_R = 0.86$$

$$= -93.4892, -24.854, 32.766, 60.802, 70.348, 46.612, \\ -8.858, -77.572 \text{ W/m}^2$$

↓ faktor prijenosa topline

$$Q[\text{Wh}] = q \cdot A_c \cdot t = q \cdot 5 \cdot 1 = -467.5, -124.27, 163.83, 304.01, 351.74, 233.06, -44.79, -387.86$$

$$\eta = \frac{Q}{G_1} = -1.95, -0.18, 0.16, 0.25, 0.28, 0.21, -0.08, -1.41$$

$$Q_{ok}[\text{Wh}] = 1052.66 = \sum Q > 0 \rightarrow \text{korisna toplina}$$

$$\eta_{ok}(\text{duvni}) = \frac{\sum Q > 0}{G_{ok}} = \frac{210.528}{1313} = 0.160341203$$

→ poljov i apsorber na kolektoru

↓ ↓ što može upiti
transmisijski → = 1 upito se svo vraćanje (crno tijelo)
↓ x 1 → proto je kompletno vraćanje

- ③ Izračunajte visinu sunca u svjetlu podne, vrijeme dolaska i zalaska sunca i prosječnu trajanje sunčeva dana u Zagrebu ($\varphi = 45,82^\circ$) za 15. ožujak,

15. lipanj, 15. rujan

$$L = \text{visina sunca}$$

$$W=0 \rightarrow \text{svjetlu podne}$$

$$\delta = 90 - \varphi + \delta$$

$$\varphi = 45,82^\circ$$

$$\delta = 23,45 \sin \left(360^\circ \cdot \frac{284+15}{365} \right)$$

$$15^\circ \rightarrow 1 \text{ sat}$$

$$\frac{w_s}{15} = \text{broj sati} \rightarrow 12 - \text{ta vrijednost} = \text{vrijeme dolaska}$$

$$12 + \text{ta vrijednost} = \text{vrijeme zalaska}$$

$$u_1 = 31 + 28 + 15 = 74$$

$$u_2 = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 15 = 166$$

$$u_3 = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 15 = 258$$

$$\delta_1 = -2,819^\circ \quad \delta_1 = 90 - 45,82 - 2,819^\circ = 41,361^\circ$$

$$\delta_2 = 23,314^\circ \quad \delta_2 = 90 - 45,82 + 23,314 = 67,494^\circ$$

$$\delta_3 = 2,217^\circ \quad \delta_3 = 90 - 45,82 + 2,217 = 46,387^\circ$$

$$w_{s1} = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) = 87,0936^\circ \rightarrow \frac{w_s}{15^\circ} = 5,8064 \text{ h}$$

$$\rightarrow \text{V.i.} = 12 - 5,8064 = 6,19 \text{ h}$$

$$w_{s2} = 116,326^\circ \rightarrow 7,755 \text{ h} \rightarrow \text{V.i.} = 4,24 \text{ h}$$

$$\text{V.z.} = 18,76 \text{ h}$$

$$w_{s3} = 92,283^\circ \rightarrow 6,1522 \text{ h} \rightarrow \text{V.i.} = 5,85 \text{ h}$$

$$\text{V.z.} = 18,15 \text{ h}$$

$$z = \frac{2}{15} w_s = 11,62 \text{ h}, 15,51 \text{ h}, 12,3 \text{ h}$$

- ④ Odredite koeficijente A i B Angstrom - Pageove formule za ekaciju potnate zemljopisne širine $\varphi = 45^\circ 30'$

$$\frac{\bar{H}}{H_0} = a + b \bar{s} = K_T$$

↳ relativno trajanje insolacije

$$H_0 = \frac{86400}{\pi} G_0 \left(1 + 0,034 \cos \frac{360^\circ u}{365} \right) \left(\frac{2\pi}{360} w_s \sin \varphi \sin \delta + \sin w_s \cos \varphi \cos \delta \right)$$

$$w_{sj} = 48,4 \text{ h} \rightarrow \bar{s}_{pr} = \frac{48,4}{31} = 1,56$$

$$0,29871$$

$$\text{moguće trajanje} = 9,17 \text{ h}$$

$$\bar{G}_0 = 1367 \text{ W/m}^2$$

$$\bar{H} = 3,6 \text{ MJ/m}^2$$

$$H_0 = 28406,04 \cdot 0,29871 \bar{G}_0 = 11,6 \text{ MJ/m}^2$$

$$\bar{s} = \frac{\bar{s}_{pr}}{w_{sj}} = \frac{1,56}{9,17} = 0,17$$

$$\delta = 23,45 \sin \left(360^\circ \cdot \frac{284+15}{365} \right) = 21,27^\circ$$

$$w_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) = 66,669$$

→ sredina u faza za vektor
mjerac!

⑤ Odredite vrijednost direktnog komponente sunčeva zračenja u solarno podne 21. svibnja, neoblačnog dana, u atlanti ($\ell = 33,7^\circ$), na plohu okruglju prema jug i istoku pod kutom 20° u odnosu na jug i magnitu pod kutom od 52° uporabom ASHRAE modela.

$$H_B = ?$$

$$U = 31 + 28 + 31 + 30 + 21 = 141$$

$$\alpha_c = 20^\circ$$

$$\beta = 52^\circ$$

$$\psi = 33,7^\circ$$

$$45,82^\circ$$

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 - \frac{284+U}{365} \right) = 20,138^\circ$$

$$\lambda = 90 - \psi + \delta = 76,4^\circ$$

$$G_B = A \cdot e^{-km}$$

↳ proporcionalno s debjinom atmosfere
koju mora preći

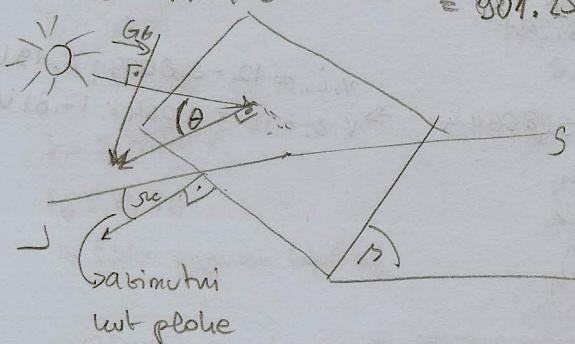
$A \rightarrow$ prividni ekstraterestrički fluks

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (U - 275) \right] = 1104 \text{ W/m}^2$$

$$k = 0,174 + 0,035 \sin \left[\frac{360}{365} (U - 100) \right] = 0,197$$

$$m = \frac{1}{\sin \delta} = 1,03 \rightarrow \text{blizu podne } \approx 1 \rightarrow \text{u drugo vjetrenje veći}$$

$$G_B = 1104 e^{-1,03 \cdot 0,197} = 801,25 \text{ W/m}^2$$



$$G_{BC} = G_B \cos \theta$$

↳ direktna komponenta

$\alpha_S \rightarrow$ satimutni kut sunca

$$\sin \alpha_S = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \lambda} \rightarrow \text{kut u odnosu na jug} \rightarrow \text{istok} + \rightarrow \text{zapad} -$$

$$\alpha_S = 0 \rightarrow \text{solarno podne}$$

↳ na jugu

$$\alpha_c = +20^\circ \rightarrow \beta - 1$$

$$\cos \theta = \cos \alpha_c \cos (\alpha_S - \alpha_c) \sin \beta + \sin \alpha_c \cos \beta$$

$$= 0,7725208761$$

$$G_{BC} = 6196,23 \text{ W/m}^2$$

Za prethodni sljedeći odredite eliksu i reflektivnu komponentu zračenja ako je faktor refleksije okoline plohe 0,2

$$G_B = 801,25 \text{ W/m}^2$$

$$G_{DH} = C \cdot G_B$$

$$C = 0,095 + 0,04 \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (U - 100) \right] = 0,121 \quad G_{DH} = 109,05 \text{ W/m}^2$$

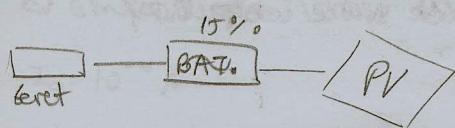
$$G_{DB} = G_{DH} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} = 88,1 \text{ W/m}^2$$

↳ svedeno za satimut

$$G_E = (G_{BH} + G_{DH}) \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \cdot S = 37,8 \text{ W/m}^2$$

$$G_{BH} = G_B \sin \lambda$$

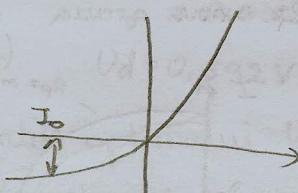
- ⑥ Odredi potrebnu površinu PV sustava za zadovljavanje potreba za električnu energiju učenice u Karlovcu u mjesecu svibnju ($9,25 \text{ kWh/danu}$) ako ukupna dobitna energija na platu PV sistema iznosi $18,97 \text{ MJ/m}^2$. Pretpostavljena ukupna efikasnost PV sistema iznosi 10% . Ukupni gubici iznose 15% .



$$PV_{out} = 9,25 (1 + 0,15) \text{ kWh} = 10,6375 \text{ kWh} = 38,295 \text{ MJ} \quad MWS = 38,295 \text{ MJ}$$

$$38,295 \text{ MJ} = H \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right] \cdot A \left[\text{m}^2 \right] \cdot \eta \rightarrow A = \frac{38,295}{18,97 \cdot 0,1} = 20,187 \text{ m}^2$$

⑦



$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{qU_d}{kT}} - 1 \right)$$

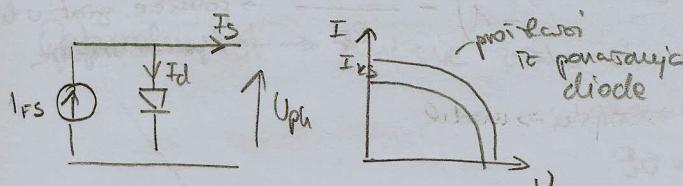
mali pozitivni napon diode
varijacija skok struje

Promatra se fotovoltaička celijska površine 100 cm^2 s reverznom strujom zasićenja

$I_0 = 10^{-12} \text{ A/cm}^2$ koja radi na temperaturi od 25°C .

Uz puno osvjetljenje struja kroz krajnjog spoja iznosi 40 mA/cm^2 .

Odredite napon pravog koda na punom i na 50% osvjetljenju.



$$\frac{kT}{q} = \frac{T}{1600} \text{ V kekuljima}$$

$$I_s = I_{F_s} - I_d = 0 \quad I_d = I_{F_s} = I_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$$

$$I_{F_s} \approx I_{K_s} = 40 \cdot 100 \text{ mA} = 4 \text{ A}$$

$$\frac{I_{F_s}}{I_0} + 1 = e^{\frac{qU}{kT}} \rightarrow U_d = \frac{kT}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_{F_s}}{I_0} + 1 \right) = 0,0257 \text{ ln} \left(\frac{4}{10^{-12}} + 1 \right) = 0,627 \text{ V}$$

$$I_{K_s} = 0,5 \cdot I_{K_s} = 2 \text{ A} \rightarrow U_d = 0,0257 \text{ ln} \left(\frac{2}{10^{-12}} + 1 \right) = 0,6096 \text{ V}$$

- ⑧ Pri obraćenju od 1 kW/m^2 elektromotorna sila solarne celijske površine 4 cm^2 je $0,54 \text{ V}$, a struja je kroz krajnjog spoja 50 mA . Maksimalna snaga dobiva se pri opterećenju od $9,2$ i naponu $0,43 \text{ V}$. Kolika je efikasnost celije i faktor punjenja.

$$E = 0,54 \text{ V}$$

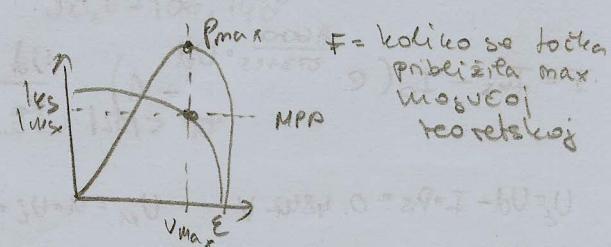
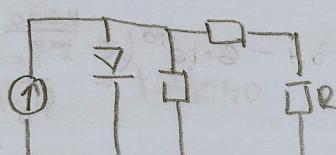
$$I_{K_s} = 50 \text{ mA}$$

$$G = 1 \text{ kW/m}^2$$

$$A = 4 \text{ cm}^2$$

$$R = 9,2 \Omega$$

$$U = 0,43 \text{ V}$$



$$P_{max} = I_{max} U_{max} = \frac{U_{max}^2}{R} = 0,0205 \text{ W}$$

$$P_{MPP} = E I_{K_s} = 0,027 \text{ W}$$

$$F = \frac{P_{max}}{P_{MPP}} = 0,759$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_u} = \frac{P_{max}}{G \cdot A} = 0,051 = 5,1\%$$

⑨ PV model napravljen je od 36 identičnih solarnih celija spojenih serijski. Pri otvaranju od 1000 W/m^2 i temperaturi od 25°C struja kroz celije je svačaka celija iznosi 3.4 A , a reverzna struja je $6 \cdot 10^{-10} \text{ A}$. Paralelni i serijski otpor svake celije iznosi 6.6Ω i 0.005Ω . Odredite napon, struju, snagu modula ako je napon diode svake celije 0.5 V .

$$G = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$T = 25^\circ\text{C}$$

$$U = 36$$

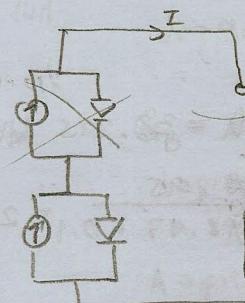
$$I_{FS} = 3.4 \text{ A}$$

$$I_0 = 6 \cdot 10^{-10} \text{ A}$$

$$R_p = 6.6 \Omega$$

$$R_s = 0.005 \Omega$$

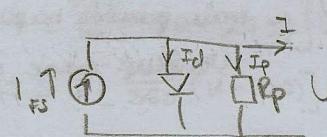
$$U_d = 0.5 \text{ V}$$



ukupna struja je 0

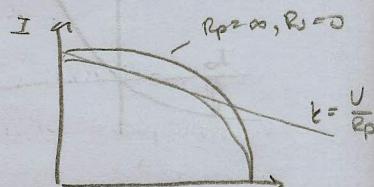
je poslednji reverzna struja
prema ovoj skemom

dodata se $R_p \rightarrow$ nova građa

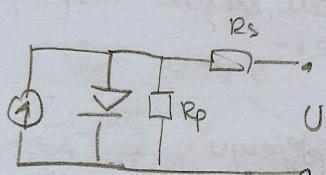


$$I = I_{FS} - I_0 - I_p$$

$$I_p = \frac{U}{R_p}$$



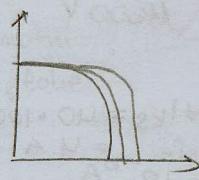
$$R_p > \frac{1000 \text{ W/m}^2 \cdot 0.5 \text{ V}}{I_{FS} \cdot 1.7 \text{ A}} > 9 \Omega \Rightarrow \text{da gubici u celiji budu manji od } 1\%.$$



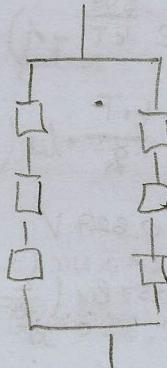
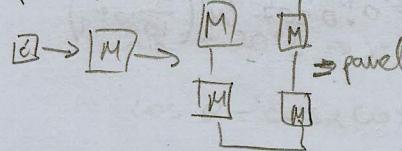
$$I = I_{FS} - I_0 \left(e^{\frac{q}{kT}(U+IR_s)} - 1 \right) - \frac{U+IR_s}{R_p}$$

→ pomiče graf u levo
→ upit se mijenja

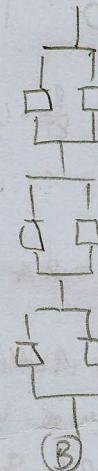
→ jedna celija oko $0.6 \text{ V} \Rightarrow$ zato ih spajamo serijski \Rightarrow modul



→ panel



ili



A
boge
B
ugor sigurnosti

$$I = I_{FS} - I_0 \left(e^{\frac{1600}{273+25} \cdot 0.5} - 1 \right) - \frac{U_d}{R_p} = 3.4 - 6 \cdot 10^{-10} \left(e^{\frac{1600}{298} \cdot 0.5} - 1 \right) - \frac{0.5}{6.6} = 3.16 \text{ A}$$

$$U_c = U_d + I \cdot R_s = 0.4842 \text{ V}$$

$$U_M = U \cdot U_c = 36 \cdot 0.4842 = 17.43 \text{ V}$$

$$P = U \cdot I = 55 \text{ W}$$

10) Ratmatra se p-n dioda na temperaturi od 25°C s reverznom strujom, zasilećući od 10^{-9} A . Odredite napon diode za sljedeće slučajevе:

- napon otvorenog kruga (napon pravnog kada)
- struja diode činjeni 1 A
- struja diode činjeni 10 A

$$I_0 = 10^{-9}\text{ A}$$

$$\text{a)} \quad I_d = 0 = I_0 (e^{\frac{qU}{kT}Vd} - 1) \rightarrow e^{\frac{qU}{kT}Vd} = 1 \rightarrow qU = \frac{q}{kT}Vd \Rightarrow Vd = 0$$

$$\text{b)} \quad Vd = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{Id}{I_0} + 1 \right) = \frac{T}{n600} \ln \left(\frac{1d}{10^{-9}} + 1 \right) = 0,0257 \cdot \ln \left(\frac{1d}{10^{-9}} + 1 \right) \\ = 0,532\text{ V}$$

$$\text{c)} \quad Vd = 0,532\text{ V}$$

11) Odredite optimalni kut nagiba za PV modul okrenut prema jugu i smješten u Zagrebu u solarne podne 1. ožujka. Zenitopisna širina Zagreba je $\varphi = 45,82^\circ$

$$h = 31 + 28 + 1 = 60$$

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \cdot \frac{284+60}{365} \right) = -8,3^\circ$$

$$\alpha = 90 - \varphi + \delta = 35,88^\circ$$

Optimalni kut \rightarrow Sunčeve zrake okončane na površini

$$180 = 90 + \alpha + \beta$$

$$90 = \alpha + \beta \rightarrow \beta = 90 - \alpha = 54,12^\circ$$



$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega$$

satni kut sunca
u podne = 0

12) Odredite visinu sunca i azimutni kut sunca u 3 sata poslije podne u Zagrebu na dan sjetnog solsticija.

$$\varphi = 45,82^\circ \quad 21.6$$

$$h = 31$$

$$\alpha = ?$$

$$h = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 21 = 172$$

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \cdot \frac{284+172}{365} \right) = 23,45^\circ$$

$$\omega = 3 \cdot 15^\circ = 45^\circ \rightarrow \text{jer je poslije podne !!}$$

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \\ = 0,73748 \rightarrow \alpha = 47,52^\circ$$

$$\sin \Omega_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} = -0,96057 \rightarrow \begin{cases} \Omega_1 = -73,857^\circ \\ \Omega_2 = -106,143^\circ \end{cases} \rightarrow \text{tegulju od } \mu \text{ gde}$$

$$\cos \alpha \geq \frac{\tan \delta}{\tan \varphi} \rightarrow |\Omega| \leq 90^\circ \quad \text{inace } |\Omega| > 90^\circ$$

- (13) PV modul s šestdeset čelija ima idealizirano pravokutnu I-U karakteristiku

uz struju krozog spoja 4 A i napon pratiog koda od 20 V.

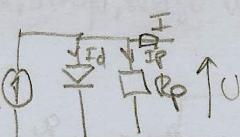
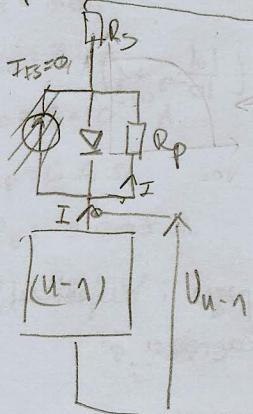
Paralelni otpor svake čelije iznosi 5 Ω, a serijski je tanjemariv.

Slučajte I-U karakteristiku u slučaju da je jedna čelija potpuno zasjenjena

$$I_{RS} = 4 \text{ A}$$

$$U_{PH} = 20 \text{ V}$$

$$R_p = 5 \Omega$$



$$0.6 = U - I R_p = 10$$

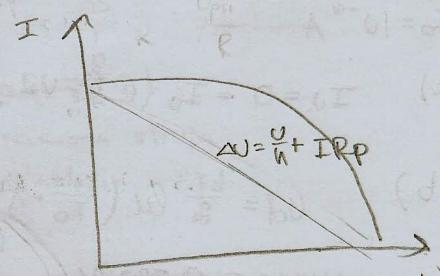
$$I = 1$$

$$U_z = U_{u-1} - I(R_p + R_s)$$

$$U_{u-1} = \frac{n-1}{n} U$$

$$U_z = \frac{n-1}{n} U - I(R_p + R_s)$$

$$\Delta U = U - U_z = U \left(1 - \frac{n-1}{n}\right) + I(R_p + R_s) = \frac{1}{n} U + I R_p$$



- (14) Odredite temperaturu modula, napon pratiog koda i mlesivalju snagu za modul 100 W BP2150S na 1000 W/m^2 i ambijentalnu temperaturu od 30°C

NOCT modula je 47°C .

$$T_{cell} = T_{amb} + \frac{NOCT - 20}{0.8} \cdot G [kW/m^2] = 30 + \frac{47 - 20}{0.8} \cdot 1 = 63.75^\circ\text{C} \approx 64^\circ\text{C}$$

↳ podatak o modulu
↳ podatak o modulu

$$U_{PH} = 42.8 - 0.16 \frac{V}{^\circ\text{C}} (T_{cell} - T_{cell,standard}) = 42.8 - 0.16 \cdot (64 - 25) = 36.56 \text{ V}$$

↳ tablica

↳ tablica
↳ koliko pada napon ovisno o tempi

$$P = 100 \left(1 - \frac{0.5}{100} (64 - 25)\right) = 121 \text{ W}$$

15) Fotovoltaični modul sastavljen je od 36 celijsa. Paralelni otpor svake celine iznosi 6.6Ω . Pri punom osvjetljenju i struji od $2.14 A$ napon modula je $19.41 V$. Ako je jedna celijsa zaštejena a struja ostala ista odrediti:

- napon i snagu modula
- pad napona na zaštejenoj celiji
- snagu rasipanja na zaštejenoj celiji

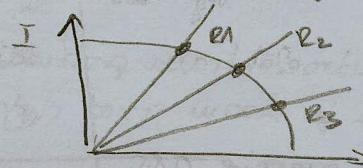
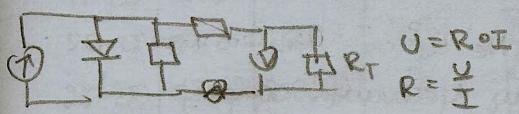
$$a) \Delta U = \frac{U}{n} + I R_p = \frac{19.41}{36} + 2.14 \cdot 6.6 = 14.66 V \quad \Delta U = U - U_z \Rightarrow U_z = 4.75 V$$

$$P = U_z I = 10.16 W$$

$$b) U_z = I R_p = 6.6 \cdot 2.14 = 14.1 V$$

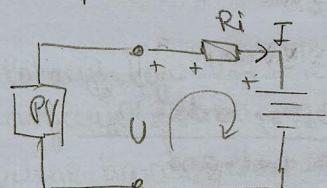
$$c) P = U_z I = 14.1 \cdot 2.14 = 30.2 W$$

Kako nacrtati $I-U$ karakteristiku modula/pavla/celijsa



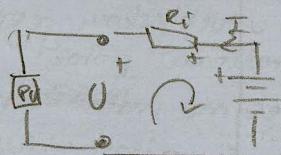
16) Prepostavite da gotovo prazan $12 V$ olouivi akumulator ima napon pravog koda od $11.7 V$ i unutarnji otpor od 0.03Ω

- Na kojem naponu radi PV modul ako puni akumulator strujom od $6 A$



$$U = I R_i + U_{ph} = 6 \cdot 0.03 + 11.7 = 11.88 V$$

- Ako se akumulator pravi pri naponu ph. od $12.7 V$ i struji od $20 A$, koliki bi bio napon PV module?



$$-U - I R_i + U_{ph} = 0$$

$$U = U_{ph} - I R_i = 12.7 - 20 \cdot 0.03 = 12.1 V$$

- ① Reversibilna hidroelektrana ima volumen spremnika $150 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Prafijerativni spremnik proizvede se 120 GWh električne energije. Učinkovitost pretvaranje mehaničke u električnu energiju je 87% , a učinkovitost pumpanja 60% . Kolika je visinska razlika između goruće i dolje spremnika? Koliko se energije troši na pumpanje vode iz dolje u gorući spremnik? Koliko crnog gubici čitavog ciklusa ekploracije energije?

$$V = 150 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \quad 120 \text{ GWh} \cdot 3600 \frac{\text{J}}{\text{h}} = \eta_{meh} \cdot Vgh = \eta_{meh} \cdot 3 \cdot V \cdot g \cdot h$$

$$W = 120 \text{ GWh}$$

$$\eta_{meh} = 87\%$$

$$\eta_p = 60\%$$

$$h = \frac{120 \cdot 3600 \cdot 10^6}{10^3 \cdot 0.87 \cdot 9.81 \cdot 150 \cdot 10^6} = 337,4 \text{ m}$$

$$\eta_{lek} = \eta_{meh} \cdot \eta_p = 0,522 \quad W = W_{os} \eta_{lek} \rightarrow W_{os} = \frac{120}{0,522} = 229,88 \text{ GWh}$$

$$W_g = W_{os} - W = 230 - 120 = 110 \text{ GWh} \quad \approx 230 \text{ GWh}$$

- ② Gornjo-akumulacijska hidroelektrana proizvodi 100 MW tracioni 4 h . Gornja akumulacija smještena je 200 m nad rijeke. Stupanj djelovanja crpljenja vode 0.65 a proizvodi el. energije 0.85 . Odredite električnu energiju (MWh) potrebanu za danino crpljenje vode u gornju akumulaciju kako bi hidroelektrana proizvodila 400 MWh dnevno, te volumen vode koja se dnevno prebacuje u gornju akumulaciju.

$$P = 100 \text{ MW}_e \quad \eta_{lek} = \eta_m \eta_p = 0,553 \quad W_t = \frac{400}{0,85} = 470,59 \text{ MWh}$$

$$t = 4 \text{ h}$$

$$h = 200 \text{ m}$$

$$\eta_m = 0.65$$

$$\eta_p = 0.85$$

$$W = 400 \text{ MWh}$$

$$W_{os} = \frac{W}{\eta_{lek}} = 723,98 \text{ MWh/dan}$$

$$W_A = wgh = 8Vgh \cdot 10^6$$

$$V = \frac{470,59 \cdot 3600 \cdot 10^6}{10^3 \cdot 9.81 \cdot 200} = 8,63 \cdot 10^5 \text{ m}^3$$

- ③ Instalirana snaga reversibilne hidroelektrane Velebit ponosi u turbinskou režimu 276 MW a u pumpnom 240 MW . U turbinskou režimu instalirani protok ronosi $60 \text{ m}^3/\text{s}$ uz konstrukcijski pad 517 m . U pumpnom režimu instalirani protok ronosi $40 \text{ m}^3/\text{s}$ a konstrukcijski pad 559 m . Izračunati učinkovitost ciklusa

$$P_e = 276 \text{ MW}$$

$$P_p = 240 \text{ MW}$$

$$Q_t = 60 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_p = 40 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_t = 517 \text{ m}$$

$$h_p = 559 \text{ m}$$

$$W = \eta_t wgh = \eta_t 8Vgh$$

$$P = \eta_t 8Vgh$$

$$P_e = \eta_t 8Q_t gh_t \rightarrow \eta_t = \frac{276 \cdot 10^6}{10^3 \cdot 9.81 \cdot 60 \cdot 517} = 90,7\%$$

$$P_p \cdot \eta_p = 8Q_p g h_p \rightarrow \eta_p = \frac{10^3 \cdot 9.81 \cdot 40 \cdot 559}{240 \cdot 10^6} = 81,4\%$$

- ① Izračunaj srednju godišnju specifičnu snagu vjetra ako je poznata srednja godišnja brzina vjetra 18 m/s . Upotrijebi Weibullovu distribuciju uz sirinu klase 5 m/s
- $\Delta V = 5 \text{ m/s}$
 $S = 1.226 \text{ kg/m}^3$
 $\bar{V} = 8 \text{ m/s}$
 $k = 1.8$
 $C = 8 \text{ m/s}$
 $t = 8760$
- $f(V) = \Delta V \cdot \frac{k}{C} \cdot \left(\frac{V}{C}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^k}$
 $f(V) = 5 \cdot \frac{1.8}{8} \cdot \left(\frac{V}{8}\right)^{0.8} e^{-\left(\frac{V}{8}\right)^{1.8}}$
- svište vlasti najbolje predstavljaju srednju brzinu klase

$$P = \frac{1}{2} S V^3 A \Rightarrow \frac{P}{A} = \frac{1}{2} S V^3 = \bar{P}$$

ΔV	V	$f(V)$	$f(V) \cdot t$	\bar{P}	$\bar{P} \cdot f(V)$
0-5	2.5	0.3922	3436	9.58	8.757
5-10	7.5	0.4386	3842	258.61	113.43
10-15	12.5	0.1724	1510	1197.26	206.41
15-20	17.5	0.0352	308	3285.3	115.64
20-25	22.5	0.0041	86	6982.45	28.63
25-30	27.5	0.0003	3	12748.48	3.82
30-35	32.5	0.0000	0	21403.14	0
Σ		1.0428	9135	471.687	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

prekoračenje
zbog zadržavanja → veća sirina klase → veća srednja

- ② Na lokaciji koju karakterizira Rayleighov vjetar srednje brzine 10 m/s razmatra se postavljajuće vjetroagregata uključne brzine 4 m/s , nazivne brzine vjetra 14 m/s i uključne brzine vjetra 25 m/s . Koliko sati godišnje agregat neće biti u pogonu.

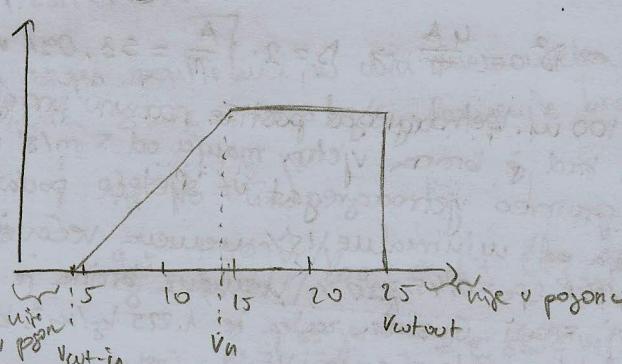
$$\bar{V} = 10 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{ut}-in} = 4 \text{ m/s}$$

$$V_n = 14 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{ut}-out} = 25 \text{ m/s}$$

$$t_{\text{out}} = ?$$



$$C = \frac{2\bar{V}}{\sqrt{\pi}}$$

$$x_1 = \frac{16\pi}{4\bar{V}^2} = \frac{4\pi}{10^2}$$

$$x_2 = \frac{625\pi}{4\bar{V}^2} = \frac{625\pi}{4 \cdot 10^2}$$

$$F = \int_0^{V_{\text{ut}-in}} f(v) dv + \int_{V_{\text{ut}-in}}^{\infty} f(v) dv = 1 - \int_{V_{\text{ut}-in}}^{V_{\text{ut}-out}} f(v) dv = 1 - \int_{x_1}^{x_2} \frac{2V}{C^2} e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^2} dv = \begin{cases} \left(\frac{v}{C}\right)^2 = x \\ dx = \frac{1}{C^2} \cdot 2v dv \end{cases}$$

$$= 1 - \int_{x_1}^{x_2} e^{-x} dx = 1 + e^{-x} \Big|_{x_1}^{x_2} = 0.12847 \rightarrow F = 0.12847 \cdot 8760 = 1099 \text{ h/godišnje}$$

$$Q_{\text{ut}} = \frac{8760 \cdot 1099}{8760 + 0.12847 \cdot 8760} = \frac{8760}{1.12847} = 7780 \text{ m}^3$$

- ③ Mjerenje vjetra rezultiralo je podacima donimima u tablici. Gushčera traka imosi 1 kg/m^3
 Odredi: a) frekvenciju svake klase
 b) specifičnu snagu vjetra za klase 5 i 10
 c) srednju brzinu i srednju specifičnu snagu vjetra

Klasa	V [m/s]	Broj čitanja	$f(V) = \frac{\text{br. oc}}{780}$	$\bar{P} = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \cdot V^3$	$\bar{P} \cdot f(V)$	$f(V) \cdot V$
1	1	20	$\frac{1}{29}$	0,5	0,01282	$\frac{1}{29}$
2	3	30	$\frac{1}{26}$	13,5	0,51923	$\frac{3}{26}$
3	5	50	$\frac{5}{78}$	62,5	4,00641	$\frac{25}{78}$
4	7	100	$\frac{5}{39}$	171,5	21,9872	$\frac{35}{39}$
5	9	180	$\frac{3}{13}$	364,5	84,11538	$\frac{27}{13}$
6	11	150	$\frac{5}{26}$	665,5	127,9807	$\frac{55}{26}$
7	13	120	$\frac{2}{13}$	1098,5	169	2
8	15	80	$\frac{4}{39}$	1687,5	178,0769	$\frac{20}{13}$
9	17	40	$\frac{2}{39}$	2456,5	125,974	$\frac{34}{39}$
10	19	10	$\frac{1}{78}$	3429,5	43,9679	$\frac{19}{78}$
Σ		780	1		750,64	10,205

$$b) \bar{P}_5 = 364,5 \frac{W}{m^2}, \bar{P}_{10} = 3429,5 \frac{W}{m^2}$$

$$c) \bar{W} = 750,64 \text{ W/m}^2, \bar{V} = 10,205 \text{ m/s}$$

- ④ Vjetroagregat nudi nizinu snage 100 kW. Prosječna brzina vjetra na lokaciji iznosi 5 m/s. Koliki je minimalan potreban proujer vjetroturbine da bi se osiguralo napajajuće hodošto pri prosječnoj brzini?

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{pe} = 0,59$$

$$P = \frac{1}{2} C_{pe} \rho V^3 A \rightarrow A = \frac{2P}{\rho V^3 C_{pe}} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 1000}{5^3 \cdot 0,59 \cdot 1,225} = 2213,767 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{D^2}{4\pi} \rightarrow D^2 = \frac{4A}{\pi} \rightarrow D = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 53,091 \text{ m}$$

- ⑤ Proujer vjetroturbine iznosi 100 m. Vjetroagregat postiže nizinu snagu od 2,88 MW uz brzinu vjetra od 11 m/s, a ne radi kad je brzina vjetra manja od 5 m/s ili veća od 25 m/s. Koliko bi energije godišnje proizveo vjetroagregat uz sljedeće podatke i pretpostavke: 40% vremena brzina manja od minimuma, 15% vremena veća je od maksimuma, 25% vremena iznosi 8 m/s i $C_{pe} = 0,45$, 20% vremena brzina je između 11 m/s i 25 m/s kada VA radi na nizinskoj snazi. Gushčera zraka je $1,225 \text{ kg/m}^3$. Koliki je C_{pe} kod nizinske brzine? Koliki je faktor opterećenja VE?

$$P_n = 2,88 \text{ MW}$$

$$D = 100 \text{ m}$$

$$P_8 = \frac{1}{2} \rho V_8^3 \cdot A - C_{pe} \cdot \rho = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 8^3 \cdot \frac{100^2}{4\pi} \cdot 0,45 = 1,108 \text{ MW}$$

$$V_n = 11 \text{ m/s}$$

$$C_{pen} = ?$$

$$V_{11} = 5 \text{ m/s}$$

$$m = ?$$

$$V_{25} = 25 \text{ m/s}$$

$$t = 8760 \text{ h}$$

$$V = 8 \text{ m/s}$$

$$C_8 = 0,45$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$t_{5,1} = 0,4t$$

$$t_{25,1} = 0,15t$$

$$t_8 = 0,25t$$

$$t_n = 0,2t$$

$$W = t_{5,1} \cdot P_5 + t_{25,1} \cdot P_{25} + t_8 \cdot P_8 + t_n \cdot P_n =$$

$$= 0,25 \cdot t \cdot 1,108 + 0,2 \cdot t \cdot 2,88 = \\ = 8760 \cdot (0,25 \cdot 1,108 + 0,2 \cdot 2,88) = 7472,78 \text{ MWh/god}$$

$$C_{pen} = \frac{2 \cdot P_n}{\rho \cdot V_n^3 \cdot A} = \frac{2,88 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 4}{1,225 \cdot 100^2 \cdot \pi} = 0,44979$$

$$M = \frac{W}{P_n \cdot 8760} = \frac{7472,78}{8760 \cdot 2,88} = 0,2962$$

- ⑥ Izračunajte gustoču snage vjetra pri brzini od 10 m/s na lokaciji s nadmorskom visinom 0 m i temperaturom zraka 15°C , te na lokaciji s nadmorskou visinou 1000 m i temperaturom 5°C

$$V = 10 \text{ m/s} \quad P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \rightarrow \bar{P} = \frac{P}{A}$$

$$z_0 = 0 \text{ m}$$

$$T_0 = 15^\circ\text{C}$$

$$z_A = 1000 \text{ m}$$

$$T_A = 5^\circ\text{C}$$

$$\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$K_p = e^{-\frac{9.81 \cdot 1000}{288.15 + 287}} = 0.888$$

$$P(1000 \text{ m}) = \bar{P}_0 \cdot K_p \cdot K_T = 563.48$$

$$\bar{P}_0 = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot 10^3 = 612.5 \text{ W/m}^2$$

$$\bar{P} = \frac{1}{2} K_T K_P S V^3$$

temperaturena i korekcijska kaka

$$K_T = \frac{T_0 - \text{ref temp}}{T} = \frac{15}{288.15}$$

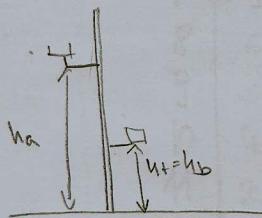
$$K_P = \frac{P}{P_0} = C - \frac{gh}{T_0 R}$$

$$R = 8.314 \text{ J/mol K}$$

$$\frac{R}{M} \rightarrow \text{ovisno o plinskoj s m pesi} \quad P = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

- ⑦ Anemometar je na mjerljivom stupu mještan na visini od 60 m nadm. Termodometar i barometar se nalaze na istom stupu na visini od 10 m . Odredite brzinu vjetra i gustoču snage vjetra na visini od 30 m , ako anemometar mjeri 6 m/s , termodometar pokazuje -10°C , a barometar tlak od 940 mbars .

Mjerljivi stup je smješten na oravini sa visokim nasadovim preuzice



$$h_a = 60 \text{ m}$$

$$V(60 \text{ m}) = 6 \text{ m/s}$$

$$h_b = h_t = 10 \text{ m}$$

$$T(10 \text{ m}) = -10^\circ\text{C}$$

$$P(10 \text{ m}) = 940 \text{ mbars}$$

$$V_t = V_0 \frac{\ln(\frac{h}{h_0})}{\ln(\frac{h_0}{h})}$$

$$V_{30} = V_{60} \cdot \frac{\ln(\frac{30}{60})}{\ln(\frac{60}{30})}$$

$$V_{30} = 6.343 \text{ m/s}$$

→ temperatura se ne mijenja malim promjenama visine! $\rightarrow K_T = 1$

$$\Rightarrow K_p = \frac{P}{P_1} = e^{-\frac{g}{RT} \frac{2-z_1}{2}} = e^{-\frac{9.81}{287.0} \frac{30-10}{(273.15-10)}} \Rightarrow P = 980.3 \text{ mbars} \Rightarrow \rho = \frac{P}{RT} = 1.2317 \text{ kg/m}^3$$

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \rho V^3 = \frac{1}{2} \cdot 1.2317 \cdot 6.343^3 = 157.166 \text{ W/m}^2$$

- ⑧ Na istom mjerljivom stupu mještanu su dva anemometra na visinama 20 m i 50 m koja mjerile brzinu vjetra 8 m/s i 9.5 m/s . Procijenite brzinu vjetra na visini od 35 m

$$V(20 \text{ m}) = 8 \text{ m/s}$$

$$V_t = V_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V(50 \text{ m}) = 9.5 \text{ m/s}$$

$$\frac{9.5}{8} = \left(\frac{50}{20} \right)^{\frac{1}{2}} / \log \frac{50}{20} \Rightarrow \lambda = \log \frac{9.5}{8} = 0.18755$$

$$V(35) = 8 \cdot \left(\frac{35}{20} \right)^{0.18755} = 8.8853 \text{ m/s}$$

- ⑨ U tablici su prikazani kumulativni podaci o trajaju vjetra dobiveni tehnikom jednogodišnjih mjeranja i odnose se na visinu od 30 m nad m. Gustota zraka na danoj visini čini 1.210 kg/m^3 . Odredite: stedaju godišnju brzinu vjetra, specifičnu snagu vjetra, parametre Weibullove raspodjele

$V [\text{m/s}]$	$T [\text{u/god}]$	$f(v) = \frac{T}{8760}$	$\bar{P} = \frac{1}{2} \cdot 1.2 \cdot V^3$	$f(v) \cdot V$	$f(v) \cdot \bar{P}$
0	265,8	0,0303	0	0	0
1	335,7	0,0323	0,605	0,0323	0,0232
2	569,5	0,065	4,84	0,13	0,3146
3	890,5	0,1017	16,335	0,3051	1,6613
4	988	0,1128	38,72	0,4512	4,3676
5	1021,7	0,1166	75,625	0,583	8,8179
6	905,8	0,1034	130,68	0,6204	13,512
7	833,2	0,0951	207,515	0,6657	19,7347
8	760,7	0,0846	309,76	0,6768	26,2057
9	593	0,0677	441,045	0,6093	29,8587
10	510,7	0,0583	605	0,583	35,2715
11	386,3	0,0461	805,255	0,4851	35,5147
12	252,5	0,0288	1045,44	0,3456	30,1086
13	162,7	0,0186	1329,185	0,2418	24,7228
14	108,2	0,0124	1660,12	0,1726	20,5855
15	72,7	0,0089	2041,875	0,1325	18,1727
16	56	0,0064	2478,08	0,1024	15,8597
17	41,8	0,0048	2972,365	0,0816	14,2674
18	16,3	0,0019	3528,36	0,0342	6,7039
19	3,2	0,0004	4148,695	0,0076	1,6599
20	0,8	0,0001	4840	0,002	0,484
Σ				6,2702	307,8434

→ sati su vizualno bolji
→ ali za statističku obradu bolja je frekvencija → trebaju se normalizirane mjerovane vrijednosti

$$E_{PF} = \frac{(V^3)_{sr}}{(V_{sr})^3} = \frac{(V^3 \cdot f(v))}{6,2702^3} = \frac{507,9}{6,2702^3} = 2,06$$

$$k = 1 + \frac{3,69}{E_{PF}^{1/2}} = 1,869 \quad k \in [1,8, 2,4] \quad C = \frac{\bar{V}}{\Gamma(1 + \frac{1}{k})} = \frac{6,267}{\Gamma(1,535)} = 7,06 \text{ m/s}$$

⑩ Izgradnja vjetroelektrane se planira na ravnom terenu koji je prekriven gustim šumom visine 10 m. Mjerenja brzine vjetra su učinjena na plavarnoj mikrolokaciji vjetroagregata na visini 70 m iznad razine u trajanju od 1 god. Odgovarajući normalizirani diskretni histogram trajanja brzina vjetra na vrijednosti visini daju se tablicom. Planira se izgradnja vjetroagregata natinne snage $P_n = 2 \text{ MW}$, čiji je promjer vjetroturbine $D = 100 \text{ m}$, a visina stupna $H = 105 \text{ m}$. Križna snaga VA se može se aproksimirati sfjedecim funkcijama:

$$C_p = 0.45, V_E < V_{utin} = 3 \text{ m/s}, V_n >$$

$$P = P_n, V_E < V_n, V_{w+out} = 20 \text{ m/s} >$$

$$S = 1.17 \text{ kJ/m}^3$$

$$W = ?$$

V	f (%)	$V' = V \cdot K$	P [MW]	P · f(V)
0	6.8	0	0	0
1	5	1.091	0	0
2	8.4	2.182	0	0
3	11.9	3.273	0.0725	0.00863
4	12.1	4.364	0.172	0.0208
5	11	5.455	0.336	0.03696
6	10.3	6.546	0.5799	0.05973
7	9.2	7.637	0.921	0.0847
8	6.9	8.728	1.375	0.0949
9	5.2	9.819	1.36	0.1019
10	4.1	10.908	2	0.052
11	2.6	12.001	2	0.042
12	2.1	13.092	2	0.03
13	1.5	14.183	2	0.024
14	1.2	15.274	2	0.012
15	0.6	16.365	2	0.01
16	0.5	17.456	2	0.004
17	0.2	18.547	2	0.002
18	0.1	19.638	2	-
19	0.1	20.729	0	0.6656
20	0.1	0	0	-

$$Z_0 \rightarrow \text{sredina} \rightarrow \bar{V}_{sum} \rightarrow 0.8$$

$$V_{105} = V_0 \cdot \frac{\ln\left(\frac{105}{0.8}\right)}{\ln\left(\frac{70}{0.8}\right)} = V_{70} \cdot 1.091$$

$$K = \frac{V_{105}}{V_{70}} = 1.091$$

$$P_n = \frac{1}{2} S V_n^3 C_p A$$

$$V_n^3 = \frac{2 P_n}{C_p S A} = \frac{2 P_n}{D^2 \pi / 8 C_p A}$$

$$V_n = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 2 \cdot 10^6}{100^2 \cdot \pi \cdot 1.17 \cdot 0.45}}$$

$$V_n = 9.9 \text{ m/s}$$

$$W = \frac{5.83 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^6 \cdot 8760} = 33.3\%$$

$$W = 0.6656 \cdot 8760 = 5,83 \text{ GWh}$$

$$W = 0.6656 \cdot 8760 = 5,83 \text{ GWh}$$

$$W = 0.6656 \cdot 8760 = 5,83 \text{ GWh}$$

šumom visine 10 m. Mjerenja brzine vjetra su učinjena na plavarnoj mikrolokaciji vjetroagregata na visini 70 m iznad razine u trajanju od 1 god. Odgovarajući normalizirani diskretni histogram trajanja brzina vjetra na vrijednosti visini daju se tablicom. Planira se izgradnja vjetroagregata natinne snage

čiji je promjer vjetroturbine $D = 100 \text{ m}$, a visina stupna $H = 105 \text{ m}$.

Križna snaga VA se može se aproksimirati sfjedecim funkcijama:

$$C_p = 0.45, V_E < V_{utin} = 3 \text{ m/s}, V_n >$$

$$P = P_n, V_E < V_n, V_{w+out} = 20 \text{ m/s} >$$

$$S = 1.17 \text{ kJ/m}^3$$

- (11) VA postiže maksimalnu snagu od 600 kW pri brzini vjetra od 20 m/s. VA se uključuje pri brzini vjetra od 5 m/s, a isključuje pri brzini vjetra od 22 m/s.

Visina doj glaučice iznosi 45 m

Odredi vjerojatnu godišnju proizvodnju i faktor raspodjeljivosti na podaciju sa srednjom brzinom vjetra 8,2 m/s na visini od 10 m, uz pretpostavku da distribucija vjetra slijedi Rayleighovu distribuciju

V	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
P [kW]	0	0	80	220	360	500	550	580	590	600	0

$$\bar{V} = 8,2 \text{ m/s} \quad V(45\text{m}) = 8,2 \left(\frac{45}{10} \right)^{\frac{2}{3}} \quad d = 0,15 \rightarrow \text{visoka traka}$$

$$= 10,3 \text{ m/s}$$

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V}{\bar{V}^2} e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2}$$

V	f(V)	P	P · f(V)
2	0,0575	0	0
4	0,1052	0	0
6	0,1361	80	10,888
8	0,1475	220	32,45
10	0,1412	360	50,832
12	0,1224	500	61,2
14	0,0971	550	53,405
16	0,0712	580	41,296
18	0,0484	590	28,556
20	0,0307	600	18,42

$$W = \frac{W_{uk}}{P_n (8760 - \underbrace{n_{renova}}_{0 \text{ kod } VE})}$$

$$= \frac{2602,13}{0,6 \cdot 8760} = 0,495$$

$$W_{uk} = (\sum P \cdot f(V)) \cdot 8760 = 257,047 \cdot 8760 = 2602,13 \text{ MWh/god}$$

- (12) Izračunaj snage vjetra u kW koji puše srednjim brzinama 5 m/s, 15 m/s, 25 m/s kroz kružnu površinu radijusa 5 m i 100 m, $S = 1 \text{ kg/m}^3$

$$P = \frac{1}{2} S A V^3 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot V^3 \Rightarrow P(5 \text{ m/s}) = 1,23 \text{ kW}, 491 \text{ kW}$$

$$P(15 \text{ m/s}) = 38 \text{ kW}, 13254 \text{ kW}$$

$$P(25 \text{ m/s}) = 153 \text{ kW}, 61359 \text{ kW}$$

- (13) Potencijal snage Sunca je približno 1 kW/m^2 . Koja brzina vjetra daje isti potencijal snage?

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \tilde{S} V^3 = 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

$$\sqrt[3]{V^3} = \sqrt[3]{2000} \Rightarrow V = \sqrt[3]{2000} = 12,6 \text{ m/s}$$

(14)

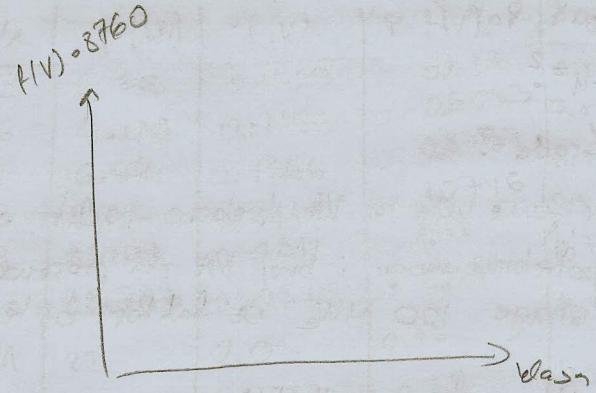
(15)

(4) Izračunaj distribuciju brzine vjetra i načrtaj odgovarajući histogram na skladnosti sa srednjom brzinom vjetra 8 m/s . - Upotrijebi Weibullovu distribuciju sa $c=8 \text{ m/s}$, $k=1.7$, $\Delta V=1 \text{ m/s}$

$$f(V) = \Delta V \cdot \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}$$

$$= 1 \cdot \frac{1.7}{8} \cdot \left(\frac{V}{8}\right)^{0.7} \cdot e^{-\left(\frac{V}{8}\right)^{1.7}}$$

Vlasa	V	$f(V)$	$8760 \cdot f(V)$
0-1	0.5	0.0302	265
1-2	1.5	0.0621	544
2-3	2.5	0.0820	718
3-4	3.5	0.0932	817
4-5	4.5	0.0975	854
5-6	5.5	0.0963	844
6-7	6.5	0.0910	797
7-8	7.5	0.0829	726
8-9	8.5	0.0732	641
9-10	9.5	0.0628	550
10-11	10.5	0.0528	460
11-12	11.5	0.0429	376
12-13	12.5	0.0343	301
13-14	13.5	0.0269	235
14-15	14.5	0.0206	181
15-16	15.5	0.0155	136
16-17	16.5	0.0115	101
17-18	17.5	0.0084	73
18-19	18.5	0.0060	52
19-20	19.5	0.0042	37
20-21	20.5	0.0029	25
21-22	21.5	0.0020	17
22-23	22.5	0.0013	12
23-24	23.5	0.0009	8
24-25	24.5	0.0006	5
25-26	25.5	0.0004	3
26-27	26.5	0.0002	2
27-28	27.5	0.0001	1
28-29	28.5	0.0001	1
29-30	29.5	0.0001	0
30-31	30.5	0	0



- (5) Za određenu lokaciju parametri Weibullaove distribucije su $k=2.6$, $c=7 \text{ m/s}$. Koliko je sati godišnje brzina vjetra između 8.5 m/s i 9.5 m/s

$$\Delta V = 1$$

$$f(V) = \frac{2.6}{7} \cdot \left(\frac{9}{7}\right)^{1.6} e^{-\left(\frac{9}{7}\right)^{2.6}} = 0.08124 \rightarrow t = f(V=9 \text{ m/s}) \cdot 8760 = 7 \text{ M. 63 h}$$

$$f(21) + f(22) + f(23) + f(24) + \dots \text{ i sume svih do } f(20) \text{ pa } 1 - \sum_{i=20}^{29} f(V) = 0.00194$$

16) VA pronjera Copatica su m, godišnje proizvode 2271 MWh. Faktor opterećenja iznosи 32,4%. Tijekom 27% vremena u godini brojna jetra je ispod početne a tijekom 9% vremena nad maksimalnu. Za 28% jetra moisi oko 6 m/s $C_{ps} = 0,528$, za 23% vremena brojna snosi 9 m/s $C_{pg} = 0,469$, $S = 1,225 \text{ kg/m}^3$

17)

a) $P_n = ?$

b) P_G i $P_g = ?$

c) $t_n = ?$

d) $t_{rada} = ?$

e) vrijeme koje će VA trebao raditi na P_n za proizvodnju iste 2271

f) potrebnu snagu i broj VA za proizvodnju 2271 je barem elektrana snage 100 MW u faktor opterećenja 0,91

a) $W_{vk} = 2271 \text{ MWh}$

$\eta = 0,324$

$$M = \frac{W_{vk}}{P_n \cdot 8760} \rightarrow P_n = \frac{2271}{0,324 \cdot 8760} = 0,8 \text{ MW}$$

b) $V_6 = 6 \text{ m/s}$

$C_6 = 0,528$

$V_q = 9 \text{ m/s}$

$C_g = 0,469$

$D = 54 \text{ m}$

$S = 1,225 \text{ kg/m}^3$

$$P = \frac{1}{2} S \cdot C_p \cdot V^3 \cdot \frac{D^2}{4\pi}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot \frac{54^2}{4} \cdot \pi \cdot C_p \cdot V^3$$

$P_G = 0,16 \text{ MW}$

$P_g = 0,48 \text{ MW}$

c) $t_6 = 0,27t + 0,03t + 0,28t + 0,23t + t_n$

$$(1 - 0,87)t = t_n = 0,13t = (13\%) = \frac{1138,8 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 1139 \text{ h}$$

d) $t_{rada} = t_6 + t_g + t_n = (0,13 + 0,28 + 0,23)t = 0,64 \cdot t = 5606 \text{ h}$

e) $W_{vk} = P_n \cdot t \rightarrow t = \frac{2271}{0,8} = 2839 \text{ h}$

f) $P = 100 \text{ MW}_e$

$\eta = 0,91$

$P_{ve} = ?$

$\lambda = \frac{3}{5}$

$$\lambda_{VA} = \frac{W \cdot P}{W_{ve} \cdot P_n} = \frac{0,91 \cdot 100}{0,324 \cdot 0,8} = 351$$

4a) za određenu lokaciju parametri Weibullove distribucije su $c=7 \text{ m/s}$ i $k=2.6$
 Na lokaciji se nalaze dva VA. Prvi je narije snage 25 kW ut ravnim
 brzinu vjetra 11 m/s i početnu brzinu vjetra od 5 m/s . Drugi je narije snage
 60 kW ut ravnim brzinu vjetra od 15.5 m/s i početnu brzinu vjetra od 6.5 m/s
 Maks dozvoljena brzina je 20 m/s . Koji će imati veliku godišnju proizvodiju

$$\Delta V = 1$$

$$P_{n1} = 25 \text{ kW}$$

$$V_{n1} = 11 \text{ m/s}$$

$$P_u = \frac{1}{2} \cdot S A \cdot V_{n1}^3$$

$$(SA)_1 = \frac{2P_u}{M^3} = 37.566$$

$$P_{n2} = 60 \text{ kW}$$

$$V_{n2} = 15.5$$

$$(SA)_2 = \frac{2 \cdot 60000}{15.5^3} = 32.22$$

$$f(V) = \frac{2.6}{7} \cdot \left(\frac{V}{7}\right)^{1.6} e^{-\left(\frac{V}{7}\right)^{2.6}}$$

$$V_1 = 5 \text{ m/s}$$

$$V_{21} = 6.5 \text{ m/s}$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot 37.566 \cdot V^3$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot 32.22 \cdot V^3$$

V_1	$P [\text{kW}]$	$f(V)$	$P \cdot f(V)$	V_2	P_2	$f(V)$
5	2.35	0.1429	0.336	6.5		
6	4.06	0.1486	0.6033	7.5		
7	6.44	0.1366	0.8797	8.5		
8	9.62	0.1114	1.0746	9.5		
9	13.69	0.0812	1.112	10.5		
10	18.783	0.0525	0.9861	11.5		
11	25	0.03	0.75			
12	25	0.0152	0.38	12.5		
13	25	0.0067	0.1675	13.5		
14	25	0.0026	0.065	14.5		
15	25	0.0009	0.0225	15.5	60	
16	25	0.0003	0.0075	16.5	60	
17	25	0.0001	0.0025	17.5	60	
18	25	0.0000	0	18.5	60	
19	25	0	0	19.5	60	
20	25	0	0			
Σ			6,3867			

$$W = 6.3867 \cdot 8760 = 55.9 \text{ MWh}$$

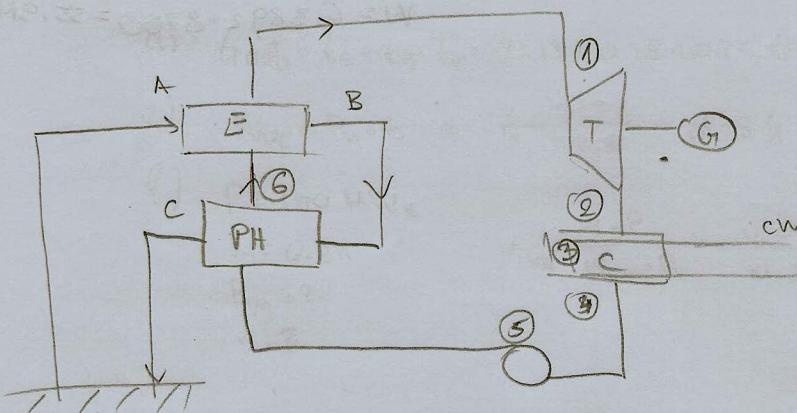
GEOTERMALNA

① Provedite termodinamičku analizu binarne geotermalne elektrane s organskim ravninskim procesom, uz isopentan kao radnu mediju, koja se sastoji od predgrijivača (PH), isparivača (E), turbine (T) i generatora (G), naponje pumpe (CP) i kondenzatora (C) hladnjacem vodom (CW) utvrđene parametre:

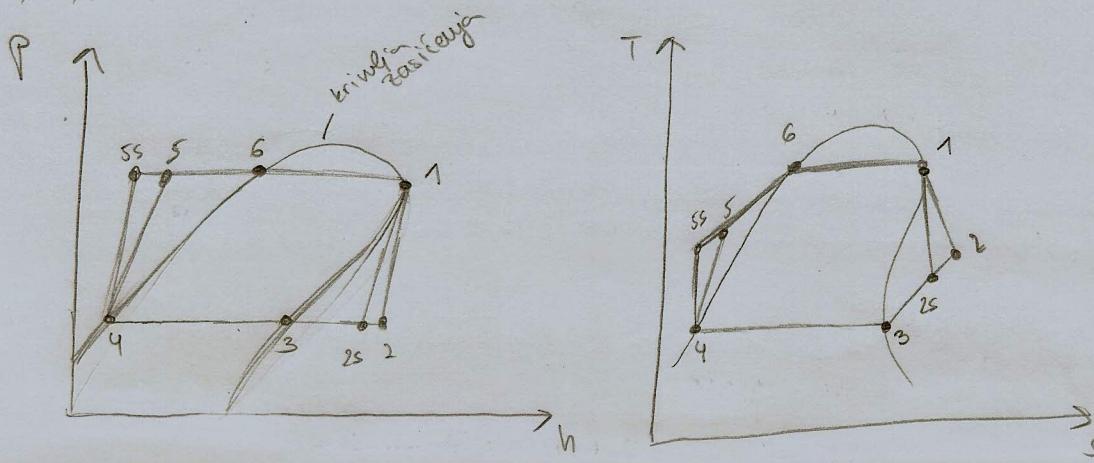
- plarna temperatura geotermalne (pojne) vode 440 K
- specifični toplinski kapacitet pojne vode 4.19 kJ/kgK
- gustoća pojne vode je 897 kg/m^3
- bliski radijus medija u predgrijivaču i isparivaču je 2 mR
- bliski radijus medija na ulasku u turbinu je 0.1866 MPa
- izentropska efikasnost turbine je 85%
- izentropska efikasnost naponje pumpe je 75% .
- temperatuta kondenzata je 320 K
- snaga postrojenja na mreži je 1200 kW
- satnike temperature u pinch točki je 5 K

Pohrebno je odrediti:

- specifični rad turbine
- specifičnu toplinu predane rashladnoj vodi u kondenzatoru
- specifični rad pumpe
- specifičnu toplinu predane radnom mediju
- termalnu efikasnost ciklusa
- maseini protok isopentana
- maseini protok pojne vode u isparivaču
- plarna temp. pojne vode u predgrijivaču



izentropske \rightarrow idealne \rightarrow entropija
ostaje stalna



$$a) W_f = h_1 - h_2$$

$$\textcircled{1} \quad p_1 = 2 \text{ MPa} = p_{\text{sat}} \Rightarrow T_1 = T_{\text{sat}} = 427,22 \text{ K}$$

$$h_1 = 531,26 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = 1,3727 \text{ kJ/kgK}$$

$$\textcircled{2} \quad s_1 = s_{2s} = 1,3727 \text{ kJ/kgK}$$

$$p_{2s} = 0,1866 \text{ MPa}$$

→ podwoje plina → interpolacię

$$\rightarrow \text{tablica} \quad Y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

340 K → 360 K → premie porostotyczne s odniesieniem do temperatury

$$0,1 \text{ MPa} \quad S = 2,6263 \text{ kJ/m}^3$$

$$p_{2s} = s_{2s}$$

$$0,2 \text{ MPa} \quad S = 5,4197 \text{ kJ/m}^3$$

$$S_{2s} = \frac{5,4197 - 2,6263}{0,2 - 0,1} (0,1866 - 0,1) + 2,6263 = 5,0454 \text{ kJ/m}^3$$

$$\text{analogicznie } s_{2s} = 1,2841 \text{ kJ/kgK} \quad h_{2s} = 5,0454 \text{ kJ/kg}$$

też istnieje postępowanie na temp 360 K

	T = 340	T = 360
p = 0,1866 MPa	S = 5,0454	4,7137
	h = 409,8693	448,7302
	s = 1,2841	1,3952

$$s_{2s} = 1,3727$$

$$Y = \frac{y_2 - y_1}{1,3952 - 1,2841} \cdot (1,3727 - 1,2841) + y_1$$

$$Y \rightarrow h, s, T$$

$$h_{2s} = 440,86 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{2s} = 355,95 \text{ K}$$

$$h_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \Rightarrow h_2 = h_1 - h_t (h_1 - h_{2s}) = 454,42 \text{ kJ/kg}$$

0,85

$$W_f = 76,84 \text{ kJ/kg}$$

$$b) Q_c = h_2 - h_4$$

$$p_3 = p_4 = 0,1866 \text{ MPa}$$

$T_3 = T_4$ $h_3 = h_g$, $h_4 = h_e$ → tablice → interpolacja

$$Q_c = 404,42 - 43,135 = 361,285 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 371,5305 \text{ kJ/kg}$$

$$s_3 = 1,1674 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_4 = 43,135 \text{ kJ/kg}$$

$$s_4 = 0,1380 \text{ kJ/kgK}$$

$$c) W_p = ? \quad W_p = h_4 - h_5$$

$$s_4 = s_{5s} \quad p_5 = 2 \text{ MPa} \rightarrow \text{prepostawka} \Rightarrow T_5 - T_4 = 0 \Rightarrow \Delta h = h_{5s} - h_4 = V_{5s} + P_{5s}V_{5s} - (V_4 + P_4V_4)$$

$$= \Delta h + P_{5s}V_{5s} - P_4V_4$$

Kapciecina niewymiernie → $V_{5s} = V_4 = V$

$$\Delta h = V \Delta P \quad h_{5s} = h_4 + \left(\frac{1}{3}\right) \cdot (2 - 0,1866) \cdot 10^6 = 46,8848 \text{ kJ/kg}$$

$$W_p = \frac{h_4 - h_{5s}}{h_4 - h_5} \Rightarrow h_5 = h_4 - \frac{h_4 - h_{5s}}{W_p} = 45,865 \text{ kJ/kg}$$

$$W_p = h_4 - h_5 = 2,75 \text{ kJ/kg}$$

$$d) T_6 = 477,22 K \rightarrow \text{saturacijski stamp} \quad \text{kapljene} \quad s_6 = 434,63 \text{ kg/m}^3 \quad h_6 = 343,52 \text{ kJ/kg} \\ s_6 = 0,93328 \text{ kJ/kg K}$$

$$Q = h_A - h_6 = 531,26 - 45,865 = 485,395 \text{ kJ/kg}$$

$$e) \gamma = \frac{w_e + w_p}{Q} = \frac{76,84 - 2,73}{485,395} = 0,1526$$

$h_1 - h_5 \rightarrow$ stvarna geotermalna vario!

teorijska efikasnost 815% \rightarrow pumpa gubi 50%. provredne energetke trake u buštinu $\rightarrow \gamma \approx 7,5$

prednost geotermalne \rightarrow 40-50 god \rightarrow onjeno o takvi energiji \rightarrow nema oscilacija

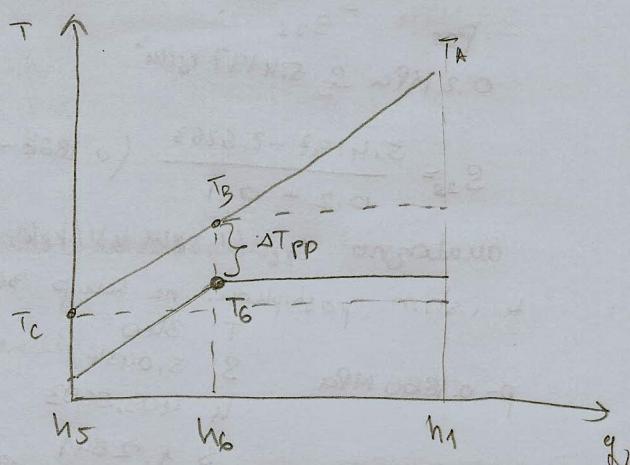
$$f) \dot{m} = ? \quad \dot{P} = 1200 \text{ kW} = \dot{m}(w_t + w_p) \quad \dot{m} = \frac{1200}{76,84 - 2,73} = 16,19 \text{ kg/s}$$

$$g) \dot{m}_B c = (T_A - T_B) = \dot{m} (h_1 - h_6)$$

$$T_B = T_6 + \Delta T_{PP} = \\ = 477,22 + 5 = 482,22 \text{ K}$$

$$T_A = 440 \text{ K}$$

$$\dot{m}_B = \frac{16,19 (531,26 - 343,52)}{4,19 \cdot (440 - 482,22)} = \\ = 93,242 \text{ kg/s}$$



$$\frac{h_1 - h_6}{h_1 - h_5} = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_C} \rightarrow T_C = T_A - \frac{h_1 - h_5}{h_1 - h_6} (T_A - T_B) = 419,885 \text{ K}$$

DVOSTRUKA
INTERPOLACIJE \rightarrow znano pi s i Ti s

pr. za pi s

$$P_1 < P < P_2$$

$$S_{12} < S < S_{13} \\ S_{22} < S < S_{23}$$

	T ₁	T ₂	T ₃
P ₁	s ₁₁ h ₁₁ s ₁₁	s ₁₂ h ₁₂ s ₁₂	s ₁₃ h ₁₃ s ₁₃
P ₂	s ₂₁ h ₂₁ s ₂₁	s ₂₂ h ₂₂ s ₂₂	s ₂₃ h ₂₃ s ₂₃
P ₃			
P ₄			
.			
:			

uzimamo $\rightarrow x = p$ $y = \text{redom } s, h, s \rightarrow$ interpolacija između podataka za P₁ i P₂

$$y = \frac{y_2 - y_1}{P_2 - P_1} (p - p_1) + y_1$$

korisno

y_2 i y_1 su redom parovi (s_{12}, h_{12}) , (h_{12}, h_{11})
 (s_{22}, s_{12}) , (s_{23}, s_{13}) , (h_{23}, h_{13}) , (s_{23}, s_{13})

→ dobili smo
podatke za tracijski

P $s_2 \ h_2 \ s_2$

$T_2 \ T \ T_3$

$s_3 \ h_3 \ s_3$

blake na
dije temperature

↳ naš pomati

$s \neq s_1 < s < s_2$

↳ tracijsko s, h i T
žu entropiju s

$s = x$

$(x_1, x_2) = (s_2, s_3)$

$y \Rightarrow$ redom s, h, T

$$y = \frac{y_2 - y_1}{s_3 - s_2} (s - s_2) + y_1$$

$$(y_1, y_2) \rightarrow (T_2, T_3), (s_2, s_3), (h_2, h_3)$$