

Energija Sunca, vjetra i biomase

Zadatci za vježbu na nastavi
Energijske tehnologije
FER 2008.



ZADATCI I RJEŠENJA

5.1 Predložena je izgradnja solarne elektrane u Splitu (solarni toranj). Ukupna godišnja ozračenost na horizontalnu plohu iznosi **1600 kWh/m²**. Korištenjem pomičnih ogledala povećava se iskoristivost direktnog zračenja za **35%** u odnosu na horizontalnu plohu gdje je udio direktne komponente **85%**. Koeficijent pretvorbe Sunčeve energije u toplinsku je **40%**, a korisnost Rankineovog procesa **42%**. Koriste se zrcala površine **1 m²**, a elektrana zauzima **3 puta** veću površinu od površine zrcala.

Izračunati:

- a) kolika je potrebna površina elektrane vršne snage **100 MWe** uz pretpostavku da je maksimalna snaga Sunčeva ozračenja **1000 W/m²**.
- b) godišnje proizvedenu energiju elektrane pod a)
- c) kolika je potrebna vršna snaga i površina elektrane da bi elektrana proizvela energije kao i **bazna elektrana** snage 100 MWe (uz faktor opterećenja **0,91**).

a) $A_{\text{ogl.}} = 595238 \text{ m}^2$

$A_{\text{elektrane}} = 1,79 \text{ km}^2$

b) $W_e = 1110 \text{ MJ/m}^2$ – proizvedena el. en. po m²

$W_{e.\text{ukupno}} = 661\text{e}6 \text{ MJ}$ – proizvedena godišnja el. en.

c) $A_{\text{elektrane.c}} = 7,75 \text{ km}^2$
 $P_{\text{elektrane.c}} = 434 \text{ MW}_{e.\text{vršno}}$

5.2 Solarna fotonaponska elektrana vršne snage **1 MW** godišnje proizvede **1952 MWh** el. en. FN ćelije imaju **14%** stupanj djelovanja i aktivnu površinu **8403 m²**. Gubitci u elektrani iznose **15%**. Ukupna potrebna površina za elektranu je **50%** veća od aktivne površine. Godišnja ozračenost na panele pod optimalnim kutom iznosi **1952 kWh/m²**. Potrebno je odrediti: faktor opterećenja, potrebnu specifičnu površinu elektrane [m²/MWh], vršno ozračenje, ozračenost na horizontalnu površinu ako je povećanje za optimalni kut 22%.

Faktor opterećenja m :

$$m = 0,224$$

Potrebnu specifičnu površinu a :

$$a = 6,5 \text{ m}^2/\text{MWh}$$

Vršno ozračenje G_v :

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

Ozračenost na horizontalnu površinu ako je povećanje za optimalni kut 22% H_{hor}

$$H_{\text{hor.}} = 1600 \text{ kWh/m}^2$$

5.3 Snaga VA i promjer turbine

Vjetroagregat napaja trošilo nazivne snage **100 kW**. Prosječna brzina vjetra na lokaciji iznosi **5 m/s**.

Koliki je minimalan potrební promjer vjetroturbine da bi se osiguralo napajanje trošila pri prosječnoj brzini?

Pretpostaviti da gustoća zraka iznosi $1,225 \text{ kg/m}^3$ i $c_{pe}=c_B=0,59$.

$$D = 53 \text{ m}$$

- 5.4** Vjetroagregat (VA) promjera lopatica **54 m**, godišnje proizvede **2271 MWh** el. en. Faktor opterećenja iznosi **32,4%**. Tijekom **27%** vremena u godini brzina vjetra je ispod početne, a tijekom **9%** vremena iznad maksimalne. ($\rho_{\text{zraka}} = 1,225 \text{ kg/m}^3$)
Za **28%** vremena brzina vjetra iznosi oko **6 m/s** i VA ima $C_{pe6} = 0,528$.
Za **23%** vremena brzina vjetra iznosi oko **9 m/s** i VA ima $C_{pe9} = 0,469$.
Potrebno je odrediti: nazivnu snagu VA, snagu na 6 i 9 m/s, vrijeme koje VA radi na P_n , ukupno vrijeme koje VA radi, vrijeme koje bi VA trebao raditi na P_n za proizvodnju iste el. en. te potrebnu snagu i broj VA za energiju iz 5.1.c).

Nazivna snaga VA:

$$P_n = 0,8 \text{ MW}$$

Snaga na 6 i 9 m/s:

$$P_6 = 160 \text{ kW}$$

$$P_9 = 480 \text{ kW}$$

Vrijeme koje VA radi na nazivnoj snazi:

$$t_n = 1139 \text{ h}$$

Vrijeme koje VA radi:

$$t_{\text{rada}} = 5519 \text{ h}$$

Vrijeme t_m :

$$t_m = 2838 \text{ h}$$

Potrebna snaga i broj agregata za energiju iz zadatka 5.1.c:

$$n_{VA} = 351$$

$$P'_{5.1.c} = 280,8$$

5.5 Energija iz VA

Promjer vjetroturbine iznosi **100 m**. Vjetroatregat (VA) postiže nazivnu snagu od **2,88 MW** uz brzinu vjetra **11 m/s**, a ne radi kad je brzina vjetra manja od **5 m/s** ili viša od **25 m/s**. Koliko bi energije godišnje proizveo VA uz sljedeće podatke i pretpostavke:

- **40%** vremena brzina vjetra je manja od minimalne,
- **15%** vremena brzina vjetra je veća od maksimalne,
- **25%** vremena brzina vjetra iznosi 8 m/s i $c_{pe} = 0,45$,
- **20%** vremena brzina vjetra je između 11 m/s i 25 m/s, kada VA radi na nazivno snazi
- gustoća zraka je **1,225 kg/m³**.

Koliki je c_{pe} kod nazivne brzine?

Koliki je faktor opterećenja vjetroelektrane?

Ukupna godišnja proizvodnja je **$E = 7477 \text{ MWh}$** .

Nazivni $c_{pe} = \mathbf{0,50}$

Faktor opterećenja je **$m = 0,30$**

5.6 Termoelektrana (TE) na biomasu radi na nazivnoj snazi **7446 h** tijekom godine i proizvede **18615 MWh** el. en. Površina na kojoj se uzgaja biomasa i površina koju zauzima TE (dodatnih **15 %**) iznosi **2460 ha**. Stupanj djelovanja TE iznosi **31%**, a ogrjevna vrijednost biomase **H 13,5 MJ/kg**. Potrebno je odrediti:
faktor opterećenja, nazivnu snagu, potrebni prinos **M** biomase [t/ha],
potrebnu specifičnu površinu elektrane [m^2/MWh]

Faktor opterećenja:

$$m = 0,85$$

Nazivna snaga:

$$P_n = 2,5 \text{ MW}$$

Potrebni prinos biomase:

$$M = 7,5 \text{ t/ha}$$

Potrebna specifična površinu:

$$a = 1322 \text{ m}^2/\text{MWh}$$

ZADATCI I POSTUPAK

5.1 Predložena je izgradnja solarne elektrane u Splitu (solarni toranj). Ukupna godišnja ozračenost na horizontalnu plohu iznosi **1600 kWh/m²**. Korištenjem pomičnih ogledala povećava se iskoristivost direktnog zračenja za **35%** u odnosu na horizontalnu plohu gdje je udio direktne komponente **85%**. Koeficijent pretvorbe Sunčeve energije u toplinsku je **40%**, a korisnost Rankineovog procesa **42%**. Koriste se zrcala površine **1 m²**, a elektrana zauzima **3 puta** veću površinu od površine zrcala.

Izračunati:

- a) kolika je potrebna površina elektrane vršne snage **100 MWe** uz pretpostavku da je maksimalna snaga Sunčeva ozračenja **1000 W/m²**.
 b) godišnje proizvedenu energiju elektrane pod a)
 c) kolika je potrebna vršna snaga i površina elektrane da bi elektrana proizvela energije kao i **bazna elektrana** snage 100 MWe (uz faktor opterećenja **0,91**).

a) $P_{Smax} = 1 \text{ kW/m}^2$

– najveća trenutna snaga Sunčevog zračenja

$$P_e = P_{Smax} \cdot \eta_s \cdot \eta_t \quad \text{– najveća proizvedena el. snaga po m}^2$$

$$= 1000 \cdot 0,4 \cdot 0,42 = 168 \text{ W/m}^2$$

$$A_z = P_n / P_e \quad \text{– površina zrcala}$$

$$= 100 \cdot 10^6 / 168 = 595238 \text{ m}^2$$

$$A_{elektrane} = A_z \cdot 3 \quad \text{– površina elektrane}$$

$$= 1785714 \text{ m}^2 = \mathbf{1,79 \text{ km}^2}$$

b) $W_{god.hor} = 1600 \cdot 3,6 = 5760 \text{ MJ/m}^2$
 – godišnja dozračena energija na horizontalnu plohu

$$W_{god.usmjereno} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot W_{god.hor}$$

$$= 1,35 \cdot 0,85 \cdot 5760 = 6610 \text{ MJ/m}^2$$

$$W_e = W_{god.usmjereno} \cdot \eta_s \cdot \eta_t$$

$$= 6610 \cdot 0,4 \cdot 0,42$$

$$= 1110 \text{ MJ/m}^2 \quad \text{– proizvedena el. en. po m}^2$$

$$W_{e.ukupno} = W_e \cdot A_z \quad \text{– proizvedena godišnja el. en.}$$

$$= 1110 \cdot 595238 = \mathbf{661e6 \text{ MJ}}$$

c) $A_{elektrane.c} = A_{elektrane.a} \cdot W_c / W_b$

$$= 1,786 \cdot 100 \cdot 0,91 \cdot 8760 \cdot 3600 / 661e6 = 1,786 \cdot 2,87e9 / 661e6 = 1,786 \cdot 4,34 = \mathbf{7,75 \text{ km}^2}$$

$$P_{elektrane.c} = P_{elektrane.a} \cdot W_c / W_b$$

$$= 100 \cdot 4,34 = \mathbf{434 \text{ MW}_{e.vršno}}$$

5.2 Solarna fotonaponska elektrana vršne snage **1 MW** godišnje proizvede **1952 MWh** el. en. FN ćelije imaju **14%** stupanj djelovanja i aktivnu površinu **8403 m²**. Gubitci u elektrani iznose **15%**. Ukupna potrebna površina za elektranu je **50%** veća od aktivne površine. Godišnja ozračenost na panele pod optimalnim kutom iznosi **1952 kWh/m²**. Potrebno je odrediti: faktor opterećenja, potrebnu specifičnu površinu elektrane [m²/MWh], vršno ozračenje, ozračenost na horizontalnu površinu ako je povećanje za optimalni kut 22%.

$$W = 1952 \text{ MWh}$$

$$P_n = 1 \text{ MW}$$

$$A_{\text{aktivno}} = 8403 \text{ m}^2$$

$$\eta_{\text{ćel.}} = 0,14; p_{\text{el.}} = 0,15$$

$$H_{\beta\text{opt}} = 1952 \text{ kWh/m}^2$$

$$H_{\beta\text{opt}} / H_{\text{hor.}} = 1,22$$

Faktor opterećenja m:

$$\begin{aligned} m &= W / (P_n \cdot t_{\text{god}}) \\ &= 1952 / (1 \cdot 8760) = \mathbf{0,224} \end{aligned}$$

Potrebnu specifičnu površinu a:

$$\begin{aligned} a &= A_{\text{ukupno}} / W \\ A_{\text{ukupno}} &= 1,5 \cdot A_{\text{aktivno}} \\ &= 1,5 \cdot 8403 = 12605 \text{ m}^2 \\ a &= 12605 / 1952 = \mathbf{6,5 \text{ m}^2/\text{MWh}} \end{aligned}$$

Vršno ozračenje G_v :

$$\begin{aligned} G_v &= [P_n / \eta_{\text{el.}}] / A_{\text{aktivno}} & \eta_{\text{el.}} &= \eta_{\text{ćel.}}(1 - p_{\text{el.}}) \\ &= [1000 / (0,14 \cdot (1 - 0,15))] / 8403 = \mathbf{1 \text{ kW/m}^2} \end{aligned}$$

Ozračenost na horizontalnu površinu ako je povećanje za optimalni kut 22% H_{hor}

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

5.3 Snaga VA i promjer turbine

Vjetroagregat napaja trošilo nazivne snage **100 kW**. Prosječna brzina vjetra na lokaciji iznosi **5 m/s**.

Koliki je minimalan potrební promjer vjetroturbine da bi se osiguralo napajanje trošila pri prosječnoj brzini?

Pretpostaviti da gustoća zraka iznosi $1,225 \text{ kg/m}^3$ i $c_{pe}=c_B=0,59$.

$$P = \rho A c_{pe} v^3 / 2$$

$$A = 2P / \rho c_{pe} v^3 = 2 \cdot 100\,000 / 1,225 \cdot 0,59 \cdot 5^3 = 2214 \text{ m}^2$$

$$A = D^2 \pi / 4$$

$$D = (4 A / \pi)^{1/2} = 53 \text{ m}$$

- 5.4** Vjetroagregat (VA) promjera lopatica **54 m**, godišnje proizvede **2271 MWh** el. en. Faktor opterećenja iznosi **32,4%**. Tijekom **27%** vremena u godini brzina vjetra je ispod početne, a tijekom **9%** vremena iznad maksimalne. ($\rho_{\text{zraka}} = 1,225 \text{ kg/m}^3$) Za **28%** vremena brzina vjetra iznosi oko **6 m/s** i VA ima $C_{pe6} = 0,528$. Za **23%** vremena brzina vjetra iznosi oko **9 m/s** i VA ima $C_{pe9} = 0,469$. Potrebno je odrediti: nazivnu snagu VA, snagu na 6 i 9 m/s, vrijeme koje VA radi na P_n , ukupno vrijeme koje VA radi, vrijeme koje bi VA trebao raditi na P_n za proizvodnju iste el. en. te potrebnu snagu i broj VA za energiju iz 5.1.c).

$$d = 54 \text{ m}$$

$$W = 2271 \text{ MWh}; \quad m = 0,324$$

$$t_0 = 9\% t_{\text{god}}$$

$$t_6 = 28\% t_{\text{god}}, \quad C_{pe6} = 0,528$$

$$t_9 = 23\% t_{\text{god}}, \quad C_{pe9} = 0,469$$

Nazivna snaga VA:

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

Snaga na 6 m/s:

$$P = C_{pe} \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P_6 = 0,528 \cdot 0,5 \cdot 1,225 \cdot (54/2)^2 \cdot \pi \cdot 6^3 \\ = 159982 = \mathbf{160 \text{ kW}}$$

$$P_9 = \mathbf{480 \text{ kW}}$$

Vrijeme koje VA radi na nazivnoj snazi:

$$t_n = 8760 \cdot (1 - 0,27 - 0,09 - 0,28 - 0,23) = 0,13 \cdot 8760 = \mathbf{1139 \text{ h}}$$

$$W = P_n (p_6 \cdot t_6 + p_9 \cdot t_9 + p_n \cdot t_n) = P_n (p_6 \cdot t_6 + p_9 \cdot t_9 + 1 \cdot t_n)$$

$$t_n = W / P_n - p_6 \cdot t_6 - p_9 \cdot t_9$$

$$t_n = 2271 / 0,8 - (0,2 \cdot 0,28 + 0,6 \cdot 0,23) \cdot 8760 = 1139 \text{ h}$$

$$p_i = P_i / P_n$$

$$p_6 = 160 / 800 = 0,20$$

$$p_9 = 480 / 800 = 0,60$$

Vrijeme koje VA radi:

$$t_{\text{rada}} = t_{\text{god.}} - t_{\text{nerada}} = 8760 \cdot (1 - 0,27 - 0,09) = \mathbf{5519 \text{ h}}$$

Vrijeme t_m :

$$t_m = W / P_n = m \cdot t_{\text{god.}} = \mathbf{2838 \text{ h}}$$

Potrebna snaga i broj agregata za energiju iz zadatka 5.1.c:

$$n_{VA} = \frac{m_{5.1.c}}{m} \cdot \frac{P_{5.1.c}}{P_n} = \frac{0,91}{0,324} \cdot \frac{100 \text{ MW}}{0,8 \text{ MW}} = 351$$

$$P'_{5.1.c} = n_{VA} \cdot P_n = 280,8$$

5.5 Energija iz VA

Promjer vjetroturbine iznosi **100 m**. Vjetroatregat (VA) postiže nazivnu snagu od **2,88 MW** uz brzinu vjetra **11 m/s**, a ne radi kad je brzina vjetra manja od **5 m/s** ili viša od **25 m/s**. Koliko bi energije godišnje proizveo VA uz sljedeće podatke i pretpostavke:

- **40%** vremena brzina vjetra je manja od minimalne,
- **15%** vremena brzina vjetra je veća od maksimalne,
- **25%** vremena brzina vjetra iznosi 8 m/s i $c_{pe} = 0,45$,
- **20%** vremena brzina vjetra je između 11 m/s i 25 m/s, kada VA radi na nazivno snazi
- gustoća zraka je **1,225 kg/m³**.

Koliki je c_{pe} kod nazivne brzine?

Koliki je faktor opterećenja vjetroelektrane?

5.5 Rješenje

Za $v < v_{\min}$, i za $v > v_{\max}$, $\rightarrow P = 0$

Za $v = 8 \text{ m/s}$, $P = 0,45 \cdot 0,5 \cdot 1,225 \cdot (100/2)^2 \cdot 3,14 \cdot 8^3 = 1,11 \text{ MW}$

$$E = P \cdot t = 1,11 \cdot 0,25 \cdot 365 \cdot 24 = 2431 \text{ MWh}$$

Za $11 < v < 25$, $P = P_n = 2,88 \text{ MW}$

$$E = P t = 2,88 \cdot 0,20 \cdot 365 \cdot 24 = 5046 \text{ MWh}$$

Ukupna godišnja proizvodnja je $E = 7477 \text{ MWh}$.

Nazivni c_{pe} iznosi: $P_n = c_{pe} \rho A v^3 / 2$

$$c_{pe} = 2P_n / (\rho A v^3) = 2 \cdot 2,88 \text{e}6 / (1,225 \cdot 7850 \cdot 11^3) = 0,50$$

Faktor opterećenja je $m = E / (P_n \cdot 8760) = 0,30$

- 5.6** Termoelektrana (TE) na biomasu radi na nazivnoj snazi **7446 h** tijekom godine i proizvede **18615 MWh** el. en. Površina na kojoj se uzgaja biomasa i površina koju zauzima TE (dodatnih **15 %**) iznosi **2460 ha**. Stupanj djelovanja TE iznosi **31%**, a ogrjevna vrijednost biomase **H 13,5 MJ/kg**. Potrebno je odrediti:
faktor opterećenja, nazivnu snagu, potrebni prinos **M** biomase [t/ha],
potrebnu specifičnu površinu elektrane [m²/MWh]

$$\begin{aligned} t_m &= 7446 \text{ h} & W_{TE} &= 18615 \text{ MWh} \\ A_{uk.} &= 2460 \text{ m}^2 & f_{TE} &= 1.15 \\ \eta &= 0,31 \\ H &= 13,5 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

Faktor opterećenja:

$$\begin{aligned} m &= t_m / t_{god} \\ &= 7446 / 8760 = \mathbf{0,85} \end{aligned}$$

Nazivna snaga:

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

Potrebni prinos biomase:

$$\begin{aligned} W_{TE} &= M \cdot H \cdot A_{uk.} / f_{TE} = W_e / \eta \\ M &= W_e \cdot f_{TE} / (A_{uk.} \cdot H \cdot \eta) \end{aligned}$$

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

Potrebna specifična površina:

$$a = A_{uk.} / W_{TE}$$

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