

Kazalec učinkovitosti kot merilo tehnične kvalitete sončnih elektrarn

Avtor prispevka:

MIHA FLEGAR, GORENJSKE ELEKTRARNE, D. O. O., miha.flegar@gorenjske-elektrarne.si

Izvleček

Lastniki sončnih elektrarn se nemalokrat srečajo z vprašanjem, ali njihova elektrarna obratuje optimalno. Kot merilo tehnične kvalitete sončne elektrarne se uporablja t. i. kazalec učinkovitosti (ang. Performance Ratio, PR). PR določa, kolikšen del realno izkoristljive vpadle sončne energije se dejansko pretvori v električno. PR je univerzalen kriterij, ki je praktično neodvisen od lokacije fotonapetostnega sistema in zato uporaben za primerjavo različnih fotonapetostnih sistemov in konceptov. V članku so predstavljene izgube, ki se pojavijo pri pretvorbi sončne energije v električno, ter fizikalna ozadja izračuna PR. Z uporabo javno dostopnih podatkov o sončnem obsevanju ter z brezplačnimi programskimi rešitvami izračunamo kazalec učinkovitosti za sončne elektrarne podjetja Gorenjske elektrarne, d. o. o.

Ključne besede: sončna elektrarna, kazalec učinkovitosti (PR)

PERFORMANCE INDICATOR AS A MEASURE OF TECHNICAL QUALITY OF SOLAR POWER PLANTS

Summary

Solar power plant owners are often faced with a dilemma about whether their power plant is functioning optimally. Technical quality of a solar power plant is measured by means of the so called performance ratio – PR. The PR determines the portion of realistically usable solar energy that is transformed into electricity. PR is a universal criterion that is practically independent of the location of a PV system and can therefore be applied in comparison of various PV systems and concepts. The article presents the losses from conversion of solar energy into electricity and the physics basis for PR calculation. Publicly available data about solar radiation and free software allow us to calculate the performance ratio for solar power plants of Gorenjske elektrarne d.o.o.

Key words: solar power plant, performance ratio (PR)

1 Uvod: Kazalec učinkovitosti in vhodni podatki za izračun

Za ugotavljanje tehnične kvalitete fotonapetostnega (PV) sistema se uporablja t.i. kazalec učinkovitosti (ang. Performance Ratio, PR), ki označuje izgube v sistemu in določa kolikšen del realno izkoristljive vpadle sončne energije se dejansko pretvori v električno. PR je univerzalni kriterij, ki je praktično neodvisen od lokacije PV sistema in zato uporaben za primerjavo različnih PV sistemov in konceptov. Izračun upošteva dejansko količino vpadle svetlobe ter orientacijo in naklon PV generatorja. Iz tega razloga je PR primernejši od t.i. polnih obratovalnih ur, ki so kvocient letno proizvedene električne energije in nazivne moči generatorja (kWh/kW_p). Kazalec učinkovitosti je določen kot razmerje med proizvedeno električno energijo (E_{real}) in energijo (E_{ideal}), ki bi jo PV generator proizvedel, če bi stalno deloval z izkoristkom η_{STC} . To je izkoristek, ki je dosežen pri standardnih testnih pogojih (ang. Standard Test Condition, STC).

Standardni testni pogoji so:

temperatura celice: 25 °C,
moč sevanja: 1000 W/m²,
svetlobni spekter: AM 1,5

$$PR = \frac{E_{\text{real}}}{E_{\text{ideal}}} \quad (1)$$

Proizvedeno električno energijo (E_{real}) izmeri števec na merilnem mestu elektrarne. Energija E_{ideal} pa je produkt količine globalnega sončnega obsevanja na ravnino PV generatorja (G_{PV}), njegove površine (A_{PV}) in izkoristka η_{STC} .

$$E_{\text{ideal}} = G_{\text{PV}} \cdot A_{\text{PV}} \cdot \eta_{\text{STC}} \quad (2)$$

1.1 Proizvedena električna energija

Količino proizvedene električne energije (E_{real}) merimo na merilno ločilnem mestu elektrarne, kjer je nameščen obračunski števec električne energije. V kolikor je števec opremljen s komunikatorjem za daljinski prenos podatkov, nam dostop do podatkov o proizvodnji omogoči SODO kot brezplačno storitev. Količino energije pa lahko odčitamo tudi na števcu. Razsmerniki prav tako merijo proizvedeno električno energijo in s primerno nadzorno opremo lahko dostopamo do podatkov. Točnost meritve je ocenjena na $\pm 3\%$ in je močno odvisna od obremenitve razsmernika.

1.2 Meritev sončnega obsevanja s komercialnimi merilniki

Za izračun energije E_{ideal} potrebujemo poleg tehničnih podatkov PV generatorja tudi podatek o količini globalnega sončnega obsevanja na njegovo površino. Sončno obsevanje lahko merimo lokalno s komercialnimi merilniki ali pa se poslužujemo podatkov iz meteoroloških postaj. Večji PV sistemi so običajno opremljeni z nadzornim sistemom, ki poleg meritev na razsmernikih vključuje tudi meritve sončnega obsevanja, temperaturo PV modula in okolice ter hitrost vetra. Komercialni merilniki obsevanja imajo vgrajeno Silicijevo PV celico, katere izhodni tok je premo sorazmeren sončnemu sevanju. Točnost meritve je odvisna predvsem od vrste vgrajene PV celice ter spektra in moči vpadle svetlobe. Kristalno Si celice so bolj občutljive na dolgovalovno sevanje (800 – 1000 nm), tankoslojne celice pa učinkoviteje izkoriščajo spekter vidne svetlobe (400 – 800 nm).

Po podatkih proizvajalcev se točnost komercialnih merilnikov giblje med $\pm 5\%$ in $\pm 8\%$. Količina obsevanja izmerjena s komercialnimi merilniki je praviloma nižja od obsevanja izmerjenega na meteoroloških postajah. In sicer je razlika tudi do -10%. Razloge za to najdemo predvsem v staranju sončne celice, odvisnosti izhodnega toka od temperature celice ter moči in spektra sončnega sevanja.

Svoj delež k napaki pa prispevajo še nečistoče na senzorju. Merilnik sončnega sevanja se namesti pod enakim kotom in orientacijo kot PV generator, priporočljiva pa je uporaba celice enake tehnologije kot je generator.

1.3 Meritev sončnega obsevanja na meteoroloških postajah

Meteorološke postaje (MP), ki delujejo pod okriljem Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) izvajajo meteorološka opazovanja in merjenja po enotnih predpisih. V Sloveniji deluje blizu 40 meteoroloških postaj kjer se izvaja meritev sončnega obsevanja. Za meritev se uporablja piranometre, ki merijo globalno (direktno+razpršeno) sončno sevanje na horizontalno ploskev. Glavni del piranometra je (črn) absorber, ki se pod vplivom sončnega sevanja segreva. Zaradi razlike med temperaturo okolice (ohišja) in absorberja se na termočlenu pojavi termonapetost. Piranometri so v primerjavi s PV merilniki dražji ter bolj natančni. Slednje gre predvsem na račun zelo nizke temperaturne odvisnosti (do 2% pri v območju med -10°C do $+40^{\circ}\text{C}$) ter neodvisnosti od moči in spektra sončnega sevanja. Poleg tega piranometer ni podvržen staranju zato dolgoročno zagotavlja natančno meritev. Po zagotovilih ARSO se piranometre kalibrira na 36 mesecev. Na merilnih mestih z opazovalcem se kupola piranometra dnevno čisti. Na samostojnih merilnih mestih pa se čiščenje izvaja občasno. Sončne elektrarne za meritev sončnega obsevanja običajno ne uporabljajo piranometra zato se poslužujemo rezultatov, ki jih objavlja ARSO. Na spletnem naslovu <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/service/> so objavljeni 30 minutni podatki o globalnem sončnem sevanju za zadnjih 24 ur iz 31 samodejnih MP:

Na spletnem naslovu <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/current/last-30-days/> pa so zbrani podatki o dnevni količini globalnega sončnega obsevanja za zadnjih 30 dni za 10 MP.

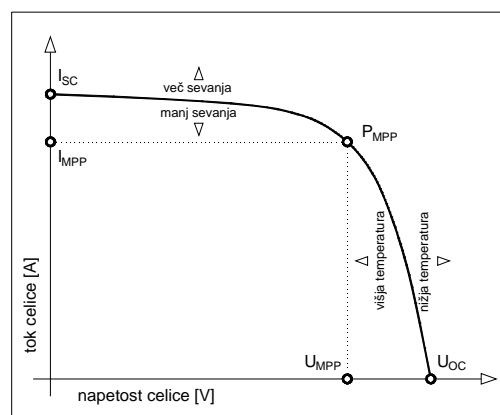
Na spletni strani <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/yearbook/> so objavljeni meteorološki letopisi s podatki o mesečnem globalnem sončnem obsevanju.

Velja opozoriti, da MP merijo sončno obsevanje na horizontalno ploskev. Za izračun količine sončnega obsevanja na površino PV generatorja pa se poslužujemo programskih rešitev kot je npr. Meteonorm ali PV3, ki je brezplačen.

2 Osnovne karakteristike sončne celice

Tokovno napetostna karakteristika sončne celice ima pet značilnih točk:

- tok kratkega stika I_{SC}
- napetost odprtih spolk U_{OC}
- točka največje moči P_{MPP} , ter posledično U_{MPP} in I_{MPP} .



Slika 1: I/U karakteristika sončne celice
Vir: Lasten

Točke označene z indeksom MPP (ang. Maximim Power Point) predstavljajo vrednosti v točki največje moči. S slike 1 lahko razberemo, da so električni parametri sončne celice

odvisni od moči sončnega sevanja in od temperature. Kratkostični tok celice I_{SC} je premo sorazmeren z močjo sončnega sevanja, kar pa ne velja za napetost odprtih sponk U_{OC} . In sicer 80% U_{OC} doseže celica že pri približno 200 W/m^2 .

3 Izgube pri pretvorbi sončne energije v električno

Če enačbo (2) zapišemo nekoliko drugače dobimo:

$$P_{MPP} = E_{PV} \cdot A_{PV} \cdot \eta \quad (3)$$

Kjer je E_{PV} moč sončnega sevanja na površino sončne celice, η pa njen izkoristek. Ta pa je odvisen od trenutne moči in spektra sončnega sevanja ter temperature sončne celice. Zato lahko zapišemo:

$$\eta = \eta_{STC} - \Delta\eta_E - \Delta\eta_T \quad (4)$$

V enačbi (4) $\Delta\eta_E$ predstavlja spremembo izkoristka zaradi moči sončnega sevanja, $\Delta\eta_T$ pa spremembo izkoristka zaradi temperature celice (T_C).

3.1 Moč in spekter sončnega sevanja

Sončne celice so izdelane iz različnih materialov, ki izkazujejo različne absorpcijske lastnosti. Nekateri materiali imajo absorpcijski maksimum v modrem (kratkovalovnem), zelenem (srednjevalovnem), rdečem (dolgovalovnem), ali celo v infrardečem delu sončnega spektra. Kristalno Silicijeve (c-Si) celice dosežejo absorpcijski maksimum v IR delu spektra, tankoslojne (a-Si) pa so najbolj občutljive v modrem delu spektra. Energija sončnega sevanja je obratno sorazmerna z valovno dolžino, zato svetloba v modrem delu spektra mnogo bolje prehaja čez oblake. Iz teh razlogov dosežejo a-Si celice pri difuznem sevanju izkoristke do $1,3 \cdot \eta_{STC}$.

Za c-Si celice velja enačba (5), kjer je s delež sončnega sevanja E v primerjavi s sevanjem pri STC.

$$\Delta\eta_E \approx -0,04 \cdot \eta_{STC} \cdot \ln s \quad (5)$$

$$s = \frac{E}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (6)$$

3.2 Temperatura

Praktično vsi električni parametri sončne celice so bolj ali manj temperaturno odvisni. Med pomembnejše lastnosti sončne celice spada negativni temperaturni koeficient napetosti (αU) in moči (αP) ter pozitivni temperaturni koeficient toka (αI). Slednjega običajno zanemarimo, temperaturni koeficient napetosti pa moramo upoštevati. Izkoristek sončne celice pada z naraščanjem temperature, velikost tega vpliva pa je odvisna od materiala.

Tabela 1: Temperaturni koeficienti Silicijevih sončnih celic

material	αU [%/°C]	αI [%/°C]	αP [%/°C]
c-Si	-0,30 ... -0,45	+0,02 ... +0,08	-0,37 ... -0,52
a-Si	-0,28 ... -0,50	+0,06 ... +0,10	-0,10 ... -0,30

Vir: Priročnik Soltrain [1]

$$\Delta\eta_T \approx \alpha P_{MPP} \cdot (25^\circ\text{C} - T_C) \cdot \eta_{STC} \quad (7)$$

V kolikor podatka o temperaturi modula T_C nimamo, lahko uporabimo enačbo (8),

$$T_C \approx T_A + 1,25 \cdot G \cdot (T_{NOC} - 20^\circ\text{C}) \quad (8)$$

kjer je T_{NOC} temperatura modula pri t.i. normalnih pogojih obratovanja (ang. Normal Operating Conditions, moč sevanja 800 W/m^2 , temperatura okolice 20°C in hitrost vetra 1 m/s).

3.3 Senčenje

Lokacija PV generatorja mora zagotoviti čim manjše senčenje modulov, saj ima le to močan vpliv na proizvodnjo energije. Razlog za to je v zaporedni vezavi elementov PV modula in PV generatorja. Praktično to pomeni, da 2 % osenčenega modula (ena sončna celica) povzroči 50 % nižjo moč. Senčenje ima močan vpliv na lokacijo točke največje moči na I/U karakteristiki modula, kar lahko povzroči delovanje razsmernika v neoptimalni točki.

V splošnem poznamo tri vrste senčenja in sicer:

- občasno senčenje,
- senčenje s strani obstoječih objektov in vegetacije
- lastno senčenje PV modulov.

Najbolj pogosti vzroki občasnega senčenja so sneg, listje in ptičji iztrebki. Ostali vzroki so lahko še prah in saje.

Senčenje zaradi bližnjih objektov se lahko pojavlja preko celega leta, zato ima močan negativen vpliv na proizvodnjo energije. V kolikor se senčenju ne moremo izogniti, poskrbimo za primerno medsebojno povezavo modulov. Pri analiziranju lokacije nikakor ne smemo zanemariti vpliv horizonta na količino sončnega obsevanja. Vpliv horizonta zelo težko ocenimo, saj ima njegova višina neposreden vpliv na dolžino dneva ter posledično na količino proizvedene energije. Vpliv je zaznaven predvsem v hribovitih predelih, ugotavljamo pa ga s pomočjo naprav za analizo lokacije in računalniških programov.

3.4 Toleranca izhodne moči

Toleranca izhodne moči modulov se giblje od $\pm 3\%$ do $\pm 5\%$. Višja ko je toleranca, večje je tokovno neujemanje med moduli v nizu. Iz tega razloga je smiselno sortiranje PV modulov po I_{MPP} za kar pa potrebujemo t.i. »flash test« poročilo. S pomočjo tega poročila pa izračunamo tudi dejansko moč PV generatorja, ki je osnovni vhodni podatek za izračun PR.

3.5 Izgube na inštalaciji

Padci napetosti na DC in AC inštalaciji povzročajo izgube moči. Po priporočilih naj izgube med PV generatorjem in merilnim mestom ne bi presegale 2 % nazivne moči PV generatorja.

3.6 Izgube razsmernika

Trenutno na trgu prevladujeta dva tipa omrežnih razsmernikov: razsmernik z omrežnim transformatorjem ter razsmernik brez transformatorja. V zadnjem času se zopet pojavlja topologija razsmernika z ločilnim transformatorjem v visokofrekvenčnem delu razsmerniškega vezja. Izkoristek razsmernika je odvisen od vhodne napetosti in moči, in sicer najvišji izkoristek (η_{max}) doseže pri cca. 50 % P_n . Vpliv vhodne napetosti na izkoristek pa je odvisen od topologije razsmernika. Za primerjavo med razsmerniki se poslužujemo izključno Euro uteženega izkoristka (η_{Euro}), ki je sestavljen iz vsote uteženih izkoristkov pri različnih vhodnih močeh. Razsmerniki brez omrežnega transformatorja dosegajo η_{Euro} med 94 % in 97,5 %, razsmerniki s transformatorjem pa med 93 % in 95,5 %. Enote z viskofrekvenčnim transformatorjem dosegajo izkoristke do 95 %.

3.7 MPP sledilnik

Točka maksimalne moči PV generatorja je odvisna od sončnega sevanja in temperature. Za optimalen izkoristek sončnega sevanja mora razsmernik stalno slediti točki P_{MPP} , kar večini današnjih razsmernikov zelo dobro uspeva. Manjši delež izgub MPP sledilnika gre na račun hitrosti sledenja točki P_{MPP} pri hitrih spremembah moči sončnega sevanja. Večji del pa prispevajo izgube na DC/DC presmerniku.

3.8 Degradacija PV modulov

Upadanje moči PV modula se pojavi takoj ko modul izpostavimo sončni svetlobi. Ta pojav je še posebej izrazit pri tankoslojnih moduli kjer izkoristek v prvih mesecih upade do 30 % (Stäbler-Wronskijev efekt). Moč kristalno Silicijevih modulov upada od 0,5 % do 1 % na leto. Kot vzroke degradacije se navaja predvsem potemnitev EVA folije, korozija kontaktov in staranje antirefleksnega premaza celic.

3.9 Okvare in nepravilno delovanje elementov PV sistema

Med najpogostejše okvare spadajo poškodbe samega PV modula (delaminacija, prekinjena poveza celic v modulu, preboj obvodne diode) in prekinitev niza PV modulov (poškodba kablov, prekinjena varovalka). Pri razsmernikih se lahko pojavi okvara enega od MPP vhodov, neoptimalno sledenje P_{MPP} ali zniževanje izhodne moči zaradi pregrevanja. Večje izgube moči se lahko pojavijo v primeru nepravilno dimenzioniranega sistema. Večino navedenih okvar odkrijemo s primernim nadzornim sistemom razsmernika in vizuelnimi pregledi. Nekaterne napake pa lahko ostanejo skrite daljše časovno obdobje in znižujejo energijski izplen elektrarne.

4 Praktični izračun kazalca učinkovitosti

Izračun kazalca učinkovitosti je bil izveden na primeru sedmih fotonapetostnih (PV) elektrarn podjetja Gorenjske elektrarne d.o.o.. Proizvodni objekti so locirani na ožjem območju Gorenjske in predstavljajo širok izbor orientacije, naklona, namestitve ter tehnologije PV modulov in razsmernikov. Rezultati so zelo točno prikazali obdobja neoptimalnega obratovanja elektrarne.

4.1 Izbor podatkov o sončnem obsevanju

Za izračun količin sončnega obsevanja smo uvodoma uporabili podatke iz merilnikov, ki so nameščeni na vseh lokacijah z izjemo male fotonapetostne elektrarne (MFE) Radovljica. Po primerjavi podatkov z meteorološkimi letopisi ARSO so bile ugotovljene precejšnje razlike. In sicer so bile količine izmerjene na lokacijah elektrarn v povprečju od 9 do 12 % nižje od količin ARSO. Razlogi za ta razhajanja so predstavljeni v poglavju 1.2, 3.1 in 3.2. Ker se vseh sedem elektrarn nahaja v radiju 12 km od merilne postaje (MP) Brnik ali MP Lesce, smo za izhodišče izračunov uporabili podatke ARSO. Za MFE Radovljica smo izbrali MP Lesce, za MFE Trata, MFE Labore in MFE Labore 2 pa MP Brnik. Za ostale tri elektrarne smo primerjali mesečni profil obsevanja na naših merilnih mest ter MP Lesce in MP Brnik. Glede na prekrivanje profilov smo izbrali MP, ki se najbolj približa lokalnim meritvam.

4.2 Izračun sončnega obsevanja na površino PV generatorja (G_{PV})

Za izračun E_{ideal} (enačba 2) potrebujemo podatek o sončnem obsevanju na ravnino PV generatorja. Ker meteorološke postaje merijo sončno obsevanje na horizontalo, smo s pomočjo programa PV3 izračunali količino sončnega obsevanja na poljubno orientirano površino.

4.3 Proizvedena električna energija (E_{real})

Podatke o proizvodnji električne energije smo dobili s pomočjo AMR (Automated Meter Reading) sistema Gorenjskih elektrarn d.o.o..

5 Rezultati izračunov kazalca učinkovitosti

Izračuni PR so bili izvedeni na osnovi mesečnih količin, s čimer se pokaže vpliv meteoroloških spremenljivk (sneg in temperatura) na učinkovitost elektrarne. Da bi izločili vpliv snežnih padavin na PR smo del analize izvedli za obdobje od marca do novembra (3-10 v tabeli 2). Na vseh objektih je viden vpliv snežnih padavin na PR v zimskih mesecih. V poletnih mesecih pa na PR vpliva visoka temperatura. Elektrarne najvišjo učinkovitost dosežejo v spomladanskih (april, maj in junij) in jesenskih (september in oktober) mesecih, predvsem na račun nižjih dnevnih temperatur. Vsi izračuni so izdelani na podlagi tehničnih podatkov o moči modulov. Izračun PR bi bil točnejši, če bi izhajali iz »flash test« poročila. V letu 2010 so vse elektrarne dosegle nekoliko nižji PR. Vzrok za to je nadpovprečno število oblačnih dni v mesecu maju, avgustu in septembru.

Tabela 2: Rezultati izračuna letnega PR

	Radovljica		Labore		Strahinji		Preddvor		Križe		Trata		Labore 2	
Leto	1-12	3-10	1-12	3-10	1-12	3-10	1-12	3-10	3-10	3-10	1-12	3-10	1-12	3-10
2005	43 ¹	70 ¹	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2006	72	76	81 ³	84 ³	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2007	72	77	79	82	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2008	70	74	75	80	77	82	75 ⁴	/	/	83	/	/	/	/
2009	69	73	72	78	77	81	75	/	/	83	71	79	/	/
2010	62 ²	75 ²	60	72	65	72	66	80	80	78	62	75	/	/
2011	73 ⁵	75	70	72	70	75	75	80	71	76	77	79	73	72

Vir: Lasten. Opombe:

¹ podatki so od maja 2005 naprej

⁴ podatki so od julija 2008 naprej

² od oktobra 2010 elektrarna ni obratovala

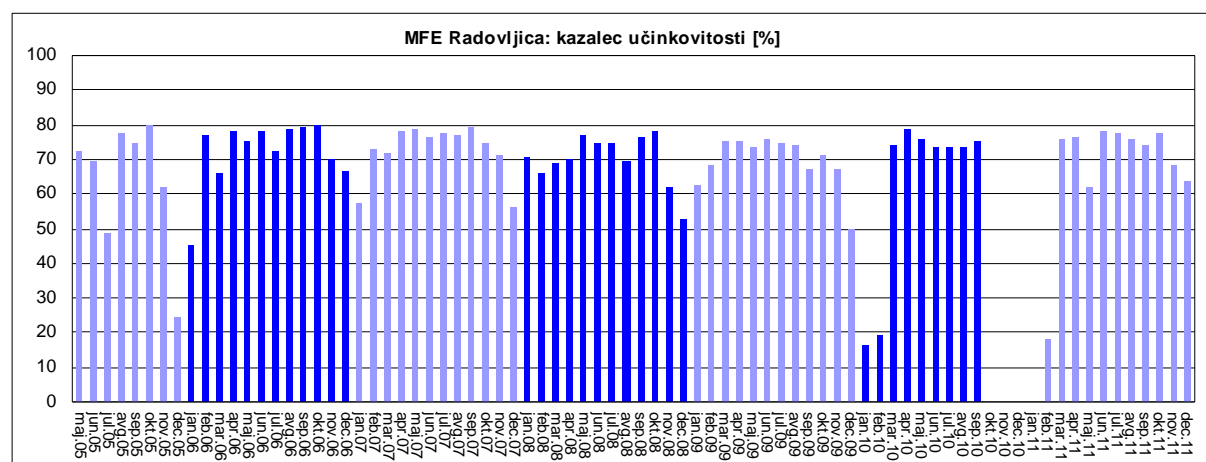
⁵ elektrarna je obratovala od marca 2011

³ podatki so od junija 2006 naprej

5.1 MFE Radovljica

Povprečni PR elektrarne v Radovljici znaša 70 %. V obdobju od marca do oktobra znaša povprečni PR = 75 %. Razloga za podpovprečen PR sta med drugim nižji izkoristek razsmernika ($\eta_{\text{Euro}} = 95,1 \%$) ter vpliv degradacije modulov.

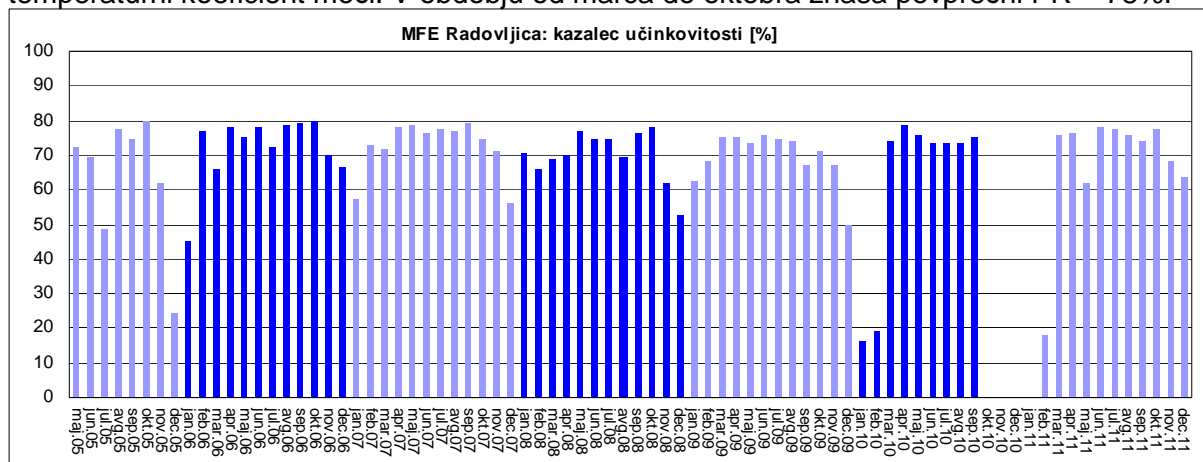
Januarja 2011 smo očistili PV generator, s čimer smo dosegli rahel dvig povprečnega PR.



Slika 2: Mesečni PR za MFE Radovljica, lastni vir.

5.2 MFE Labore

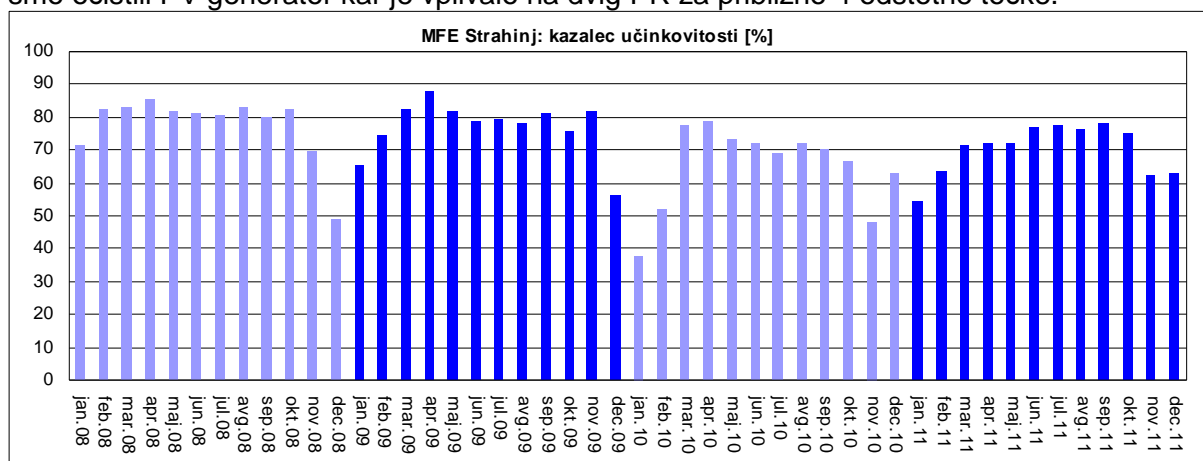
Elektrarna je od začetka obratovanja delovala s povprečnim PR = 73 %. Najvišjo učinkovitost elektrarna doseže spomladi in jeseni. Vpliv višjih temperatur je manjši kot v primeru MFE Radovljica iz dveh razlogov. PV generator je nameščen v obliki žagaste strehe kar zagotavlja zelo dobro hlajenje modulov. Drugi razlog pa je tehnologija sončnih celic (HIT), ki ima nižji temperaturni koeficient moči. V obdobju od marca do oktobra znaša povprečni PR = 78%.



Slika 3: Mesečni PR za MFE Labore, lastni vir.

5.3 MFE Strahinj

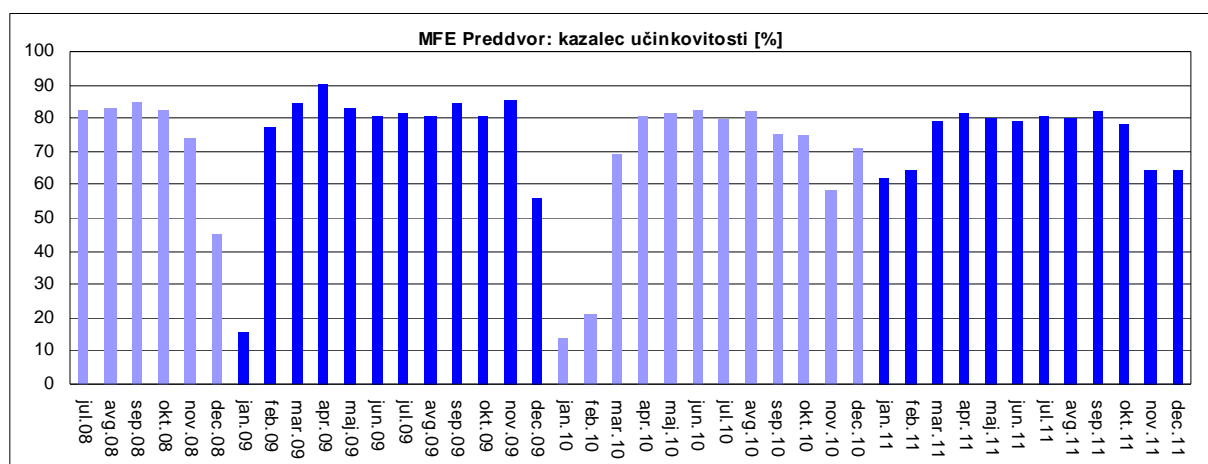
Elektrarna ima povprečno učinkovitost 72 %. V obdobju od marca do oktobra pa znaša povprečni PR = 77 %. Vpliv višjih temperatur na moč je manjši zaradi tehnologije nameščenih modulov (HIT). Razlog slabše učinkovitosti v letu 2010 je predvsem zaradi tehničnih težav na razsmernikih ter večje količine nesnage na PV generatorju. Maja 2011 smo očistili PV generator kar je vplivalo na dvig PR za približno 4 odstotne točke.



Slika 4: Mesečni PR za MFE Strahinj, lastni vir.

5.4 MFE Preddvor

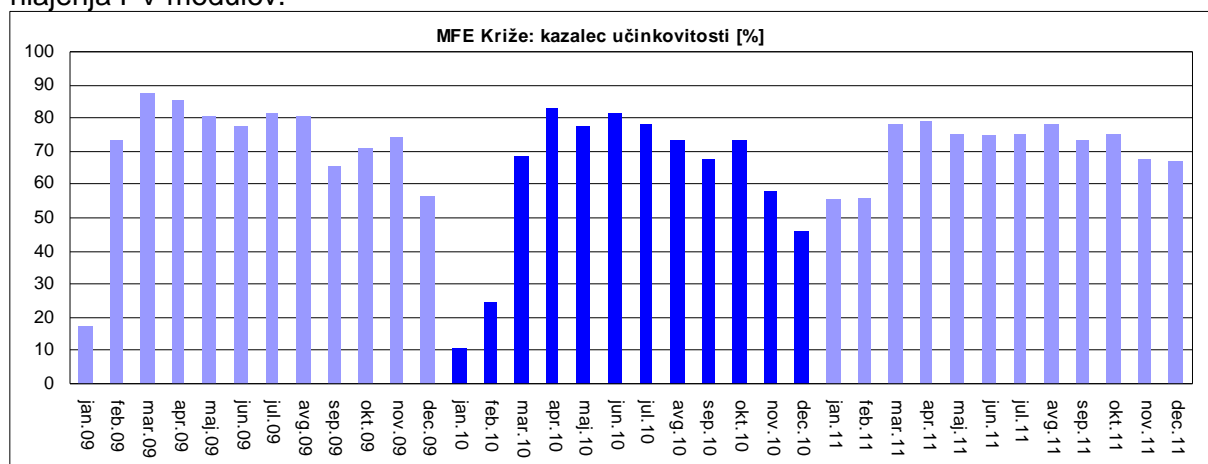
Povprečna učinkovitost elektrarne je 73 %. V obdobju od marca do oktobra znaša povprečni PR = 81 %. Vpliv višjih temperatur na moč je manjši zaradi tehnologije nameščenih modulov (HIT).



Slika 5: Mesečni PR za MFE Preddvor, lastni vir.

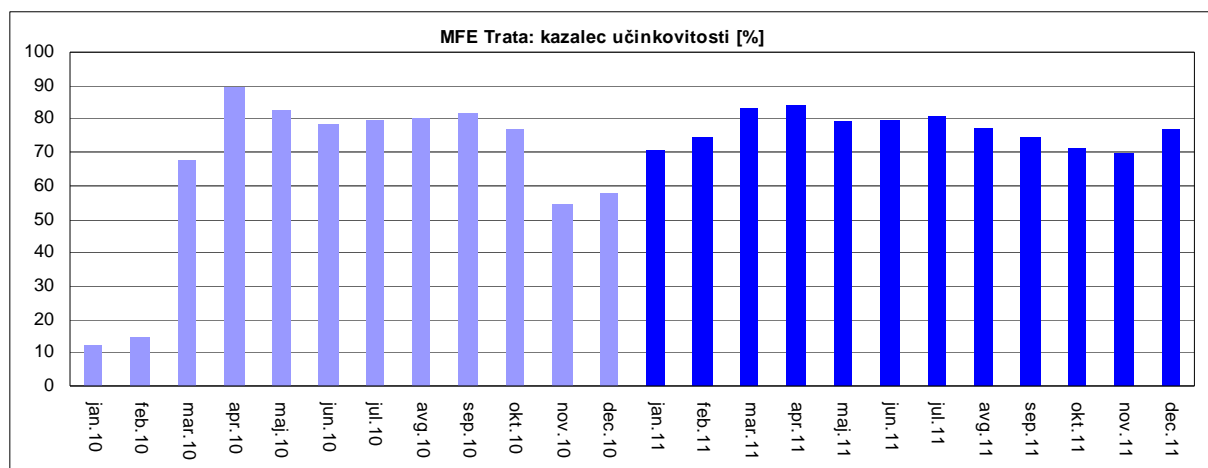
5.5 MFE Križe

Elektrarna ima povprečno učinkovitost 68 %. V obdobju od marca do oktobra znaša povprečni PR = 77 %. Razlog slabše učinkovitosti v letu 2010 so bile tehnične težave na razsmernikih. PV generator je nameščen v ravnino strehe kar ne zagotavlja optimalnega hlajenja PV modulov.



Slika 6: Mesečni PR za MFE Križe, lastni vir.

5.6 MFE Trata

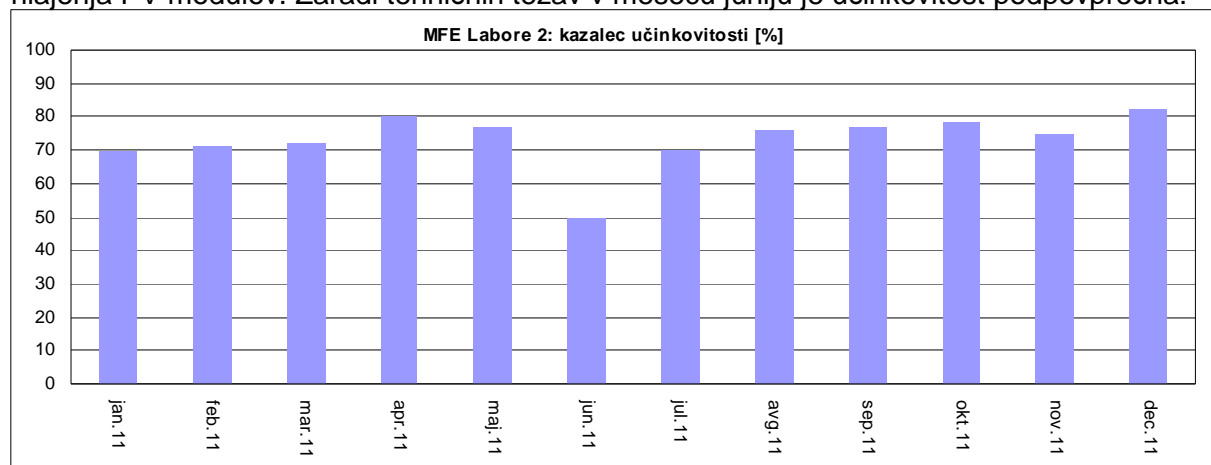


Slika 7: Mesečni PR za MFE Trata, lastni vir.

Povprečna učinkovitost elektrarne znaša 70 %. V obdobju od marca do oktobra pa 79 %. PV generator je nameščen v ravnino strehe kar ne zagotavlja optimalnega hlajenja PV modulov.

5.7 MFE Labore 2

Povprečna učinkovitost elektrarne v letu 2011 je znašala 73 %. V obdobju od marca do oktobra pa 72 %. PV generator je nameščen v ravnino strehe kar ne zagotavlja optimalnega hlajenja PV modulov. Zaradi tehničnih težav v mesecu juniju je učinkovitost podpovprečna.



Slika 8: Mesečni PR za MFE Labore 2, lastni vir.

6 Izkušnje iz tujine

Nemčija kot vodilna na področju fotovoltaike v Evropi ima dolgoletne izkušnje na področju obratovanja sončnih elektrarn in njihove učinkovitosti. V letu 1994 je PV sistem v Nemčiji v povprečju dosegel PR 65 %, v letu 2002 pa 74 %. V splošnem velja za dobre sisteme PR nad 70 %, za zelo dobre sisteme pa nad 80 %. V tujini se kazalec učinkovitosti pogosto uporablja kot garancijo na izplen elektrarne. Za korekten izračun PR pa je potrebno zagotoviti primerno meritev sončnega obsevanja ter pridobiti podatke o dejanski moči PV modulov. Merilna perioda za izračun PR pa naj ne bi bila krajša od enega meseca.

7 Zaključek

Z referatom smo prikazali, da je možno na dokaj enostaven način in z uporabo brezplačnih aplikacij izračunati kazalec učinkovitosti sončne elektrarne. Za doseganje optimalnega donosa elektrarne je smiselno PR izračunavati na mesečnem nivoju, saj se praktično vsaka okvara ali nepravilno delovanje elementov PV sistema odrazi na kazalcu učinkovitosti.

Literatura in viri

- [1] "SOLTRAIN Izkoriščanje sončne energije za proizvodnjo električne energije s pomočjo fotonapetostnih sistemov, slovenski priročnik" Ljubljana, december 2004.
- [2] SMA Technologie AG, Elektronski vir, <http://download.sma.de/smaprosa/dateien/7680/Perfratio-UEN100810.pdf>
- [3] Earthscan, "Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers. Architects and engineers, 2nd edition", 2008, Berlin
- [4] Fraunhofer ISE, Elektronski vir, <http://www.ise.fraunhofer.de/publications>
- [5] Flegar, M., Jereb, B. (2010). "Sončna elektrarna od ideje do realizacije", Forum o obnovljivih virih in učinkoviti rabi energije, Bled.
- [6] Kipp & Zonen, "Pyranometers v. Reference Cells for PV Installations".
- [7] Laboratorij za fotovoltaike in optoelektroniko, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Elektronski vir, <http://lpvo.fe.uni-lj.si>.
- [8] Lenardič, D., (2009). "Fotonapetostni sistemi, priročnik", Ljubljana: Agencija Poti.

- [9] Marion, Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., Canada, B., Narang, D., Shugar, D., Wenger, H., Kimber, A., Mitchell, L., Rich, G., and Townsend, T.(2005). "Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems" 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition, Florida.
- [10] Papler D., Flegar M. (2011). "Razvoj sončnih elektrarn, monitoring in analize proizvodnih učinkov". 10. konferenca slovenskih elektroenergetikov. Ljubljana: 30. maj – 1. junij 2011. Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRE-CIRED.
- [11] Papler D., Flegar M. (2012). "Proizvodnja, učinkovitost in monitoring sončnih elektrarn". EGES – energetika, gospodarstvo, ekologija skupaj, št. 1, leto 2012, str. 132-139.