

MATEMATIČNI MODEL SONČNE ELEKTRARNE BRESTANICA

Boris VOVČKO, Bojan VOVČKO, Aleš ŠTRICELJ, Sebastijan SEME

POVZETEK

V članku je predstavljen matematični model sončne elektrarne sestavljene v programskem paketu Matlab/Simulink. Za ovrednotenje simulacijskih rezultatov iz matematičnega modela sončne elektrarne bomo uporabili rezultate meritev dejanske sončne elektrarne Termoelektrarne Brestanica d. o. o. Pri tem bomo ovrednotili rezultate simulacijskih izračunov in meritev na dejanski elektrarni za različne dni v letu. Rezultati kažejo dobro ujemanje med izračunanimi in izmerjenimi vrednostmi sončne elektrarne, kar je dobra osnova za nadaljnjo uporabo matematičnega modela sončne elektrarne za analizo napetostnih profilov omrežja.

ABSTRACT

This article presents a mathematical model of solar power plant composed of Matlab/Simulink. For the evaluation of simulation results of the mathematical model of the solar power plant we use the results of measurements from the actual solar power plant Termoelektrarna Brestanica d. o. o. We evaluate the results of simulation calculations and measurements of the actual plant for different days of the year. The results show good correlation between calculated and measured values of solar power, which is a good basis for further use of mathematical model of solar power for the analysis of voltage profiles of the network.

1. UVOD

Fosilna goriva se intenzivno uporabljajo zadnjih 200 let. V zadnjih letih se njihova uporaba predvsem v razvitih državah zmanjšuje. Energijo pridobljeno iz fosilnih goriv nadomešča energija, ki se pridobiva iz obnovljivih virov. Med njih spada tudi pridobivanje električne energije iz sončnega sevanja s pomočjo sončnih celic. Za proizvodnjo električne energije iz sončnih elektrarn država ponuja subvencije pri prodaji električne energije.

Sončne elektrarne so skupek komponent, ki so med seboj povezani in tako tvorijo uporabno celoto. Glavni sestavni deli so sončne celice, ki so povezane v sončne module, razsmerniki, transformatorji in priključno mesto na omrežje. V primeru sestave fotonapetostnega sistema s pomočjo programskega paketa Matlab/Simulink je potrebno

narediti še sistem, ki bo ne glede na vhodne podatke o jakosti sončnega obsevanja in temperaturi na izhodu dal maksimalno električno moč.

Cilj članka je predstaviti potek izdelave in delovanje matematičnega modela sončne elektrarne. Delovanje matematičnega modela sončne elektrarne se v nadaljevanju primerja z delovanjem dejanske Male fotonapetostne elektrarne Termoelektrarne Brestanica 2 (MFE TEB 2). Na koncu je podana analiza dobljenih rezultatov.

2. MATEMATIČNI MODEL SONČNE ELEKTRARNE

V tem poglavju se bomo posvetili glavnim elementom sončne elektrarne. Glavne komponente sončne elektrarne predstavljajo sončni modul, algoritem za sledenje točki maksimalne moč in razsmernik. Pri tem bomo vsak sestavni del predstavili v svojem podpoglavju. Poleg osnovnega opisa posameznih komponent bo predstavljen tudi matematični model celotne sončne elektrarne v programskem paketu Matlab/Simulink. Po končanem opisu osnovnih komponent bomo slednje sestavili v sončno elektrarno. Njeno delovanje bomo v nadaljevanju primerjali z delovanjem dejanske sončne elektrarne za štiri različne dni v letu.

2.1 Sončni modul

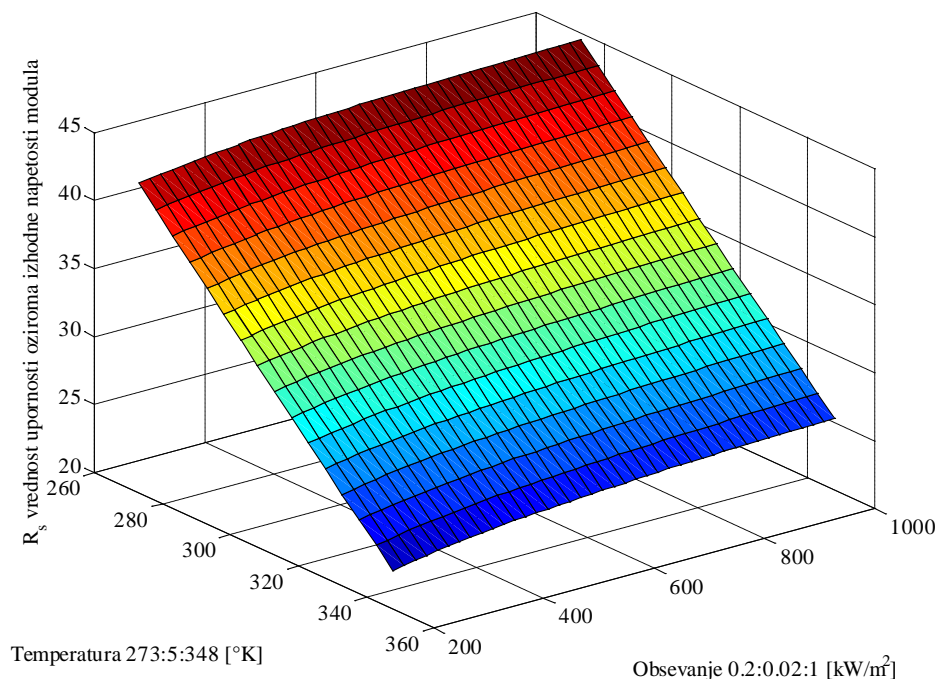
Model sončne celice je prilagojen tako, da lahko enostavno naredimo tudi model sončnega modula. Sončni modul je namreč sestavljen iz več smiselno med seboj povezanih sončnih celic. Uporabljen matematični model sončne celice je podrobneje opisan v [1] kjer s spremembo parametra N_s , ki predstavlja število celic, določimo model sončnega modula.

V našem primeru smo podatke za sončno celico povzeli od sončnega modula 290W/72-156m podjetja Asola. Model sončnega modula ima inštalirano moč $290 W_p$ [2] in zaporedno vezanih 72 sončnih celic. To pomeni, da je $N_s = 72$. Uporabili smo enostavni matematični model sončne celice.

2.2 Sledenje točki maksimalne moči (MPP)

V kolikor želimo pravilno delovanje matematičnega modela sončne elektrarne je potrebno izhodno napetost sončnega modula U_{DC} peljati na enosmerni pretvornik. Napetost sončnega modula U_{DC} se spreminja s spremembo jakosti sončnega obsevanja in temperature sončnega modula. Tako je potrebno dobiti vrednosti napetosti za vse kombinacije jakosti sončnega obsevanja in temperature sončnega modula. Omenjeno smo določili v programskem paketu Matlab/Simulink kjer smo najprej pri fiksni vrednosti jakosti sončnega obsevanja spreminjali temperaturo sončnega modula, ki je naraščala od 0 (273 °K) do 75 °C (348 °K) po koraku 5 °C (25 °K). Rezultate, ki smo jih dobili s simulacijo smo vpisali v matriko serijske upornosti. Zatem smo pred vsako simulacijo vrednost obsevanja spremenili za $100 W/m^2$, tako da smo naredili simulacije za vrednosti obsevanja od 200 do $1000 W/m^2$. Iz dobljenih

rezultatov smo sestavili matriko serijske upornosti R_s iz katere smo s pomočjo ukaza $surf(G,T,R)$ izrisali 3D-graf prikazan na sliki 1.



Sl. 1: Odvisnosti serijske upornosti od temperature sončnega modula in jakosti sončnega obsevanja

2.3 Razsmernik – enofazni tranzistorski pretvornik

Kaj je naloga razsmernika oziroma enofaznega tranzistorskega pretvornika, nam delno pove že njegovo ime. Pojavlja se tudi ime DC/AC pretvornik. To pomeni, da razsmernik pretvarja enosmerno (DC) električno energijo v izmenično (AC) električno energijo.

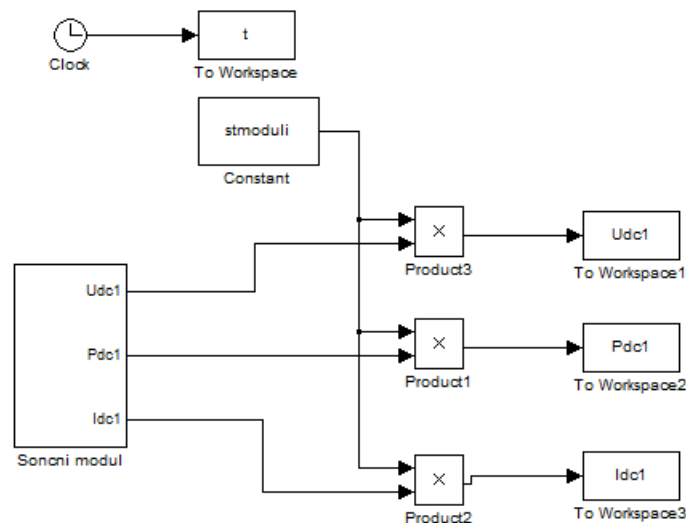
Za izdelavo matematičnega modela sončne elektrarne smo uporabili že izdelan enofazni tranzistorski pretvornik v programskem paketu Matlab/Simulink. Pred sestavo posameznih sklopov elektrarne v celoto smo preizkusili delovanje razsmernika. To smo naredili tako, da smo na njegov vhod vodili enosmerno napetost in pri tem spremljali odziv na izhodu razsmernika.

2.4 Sončna elektrarna

Z združitvijo zgoraj opisanih komponent smo sestavili matematični model sončne elektrarne. Pri tem smo sestavo matematičnega modela sončne elektrarne poenostavili do te

mere, da smo izhodne vrednosti sončnega modula pomnožili s konstanto $stmoduli$. Ta konstanta predstavlja število sončnih modulov, ki so vezani na posamezni razsmernik. Na posamezen razsmernik manjše moči je vezanih 16 sončnih modulov ($stmoduli=16$), medtem ko je na posamezen razsmernik večje moči vezanih 39 sončnih modulov ($stmoduli=39$). Podroben opis vezave sončnih modulov obravnavane sončne elektrarne je prikazan na sliki 4, pri čemer smo zanemarili vplive senčenja na posameznem modulu.

Matematični model sončne elektrarne iz katerega peljemo napetost v razsmernik je prikazan na sliki 2.



Sl. 2: Matematični model sončne elektrarne iz katerega peljemo napetost v razsmernik

Iz slike 2 vidimo, da smo opazovali tri električne veličine, in sicer enosmerno napetost U_{DC} , enosmerni tok I_{DC} in moč P_{DC} .

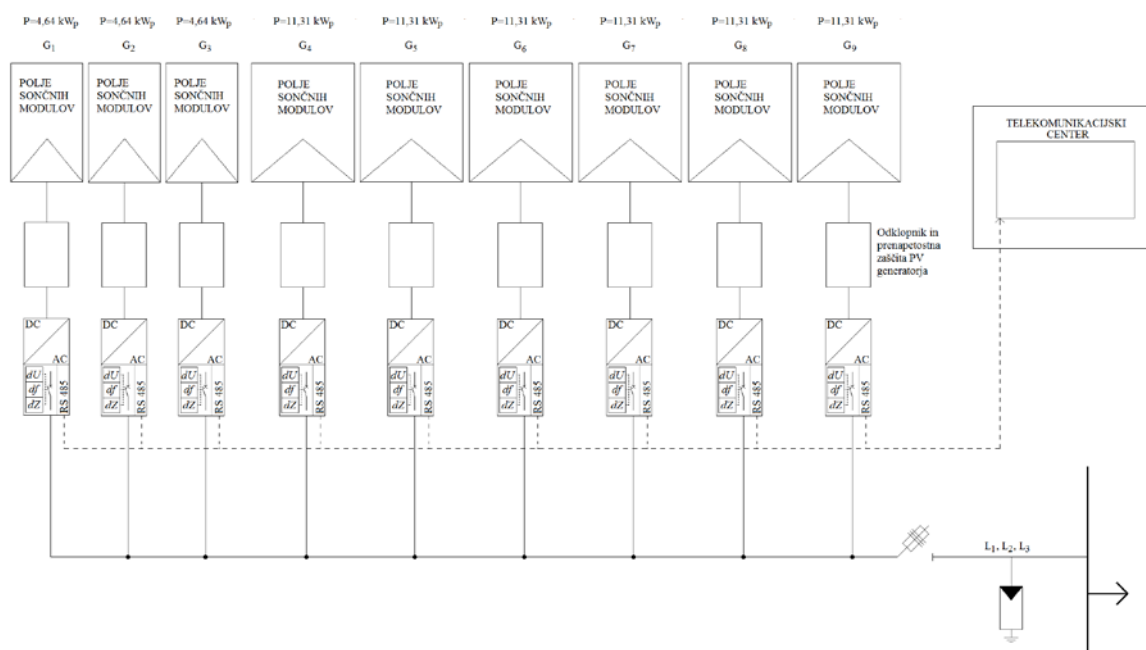
V primeru sončne elektrarne v Termoelektrarni Brestanica d. o. o. imajo tri razsmernike z močjo 5 kW in šest razsmernikov z močjo 11 kW. Na vsak razsmernik manjše moči je vezanih 16 modulov, medtem ko je na vsak razsmernik večje moči vezanih 39 modulov. Kar predstavlja 13920 W_p inštalirane moči sončne elektrarne. Šest večjih razsmernikov je sestavljenih iz 39 sončnih modulov. Pri tem je vsak sončni modul sestavljen iz 72 sončnih celic. Skupna inštalirana moč šestih večjih razsmernikov je 67860 W_p . To pomeni, da je inštalirana moč sončne elektrarne 81780 W_p . Mala fotovoltaična elektrarna Termoelektrarne Brestanica d. o. o. (MFE TEB 2), je prikazana na sliki 3.



Sl. 3: Mala fotovoltaična elektrarna Termoelektrarne Brestanice d. o. o.

(Vir: osebni arhiv)

Na sliki 4 je predstavljena električna shema male fotonapetostne elektrarne TEB 2.



Sl. 4: Shema Male fotovoltaične elektrarne TEB 2

(Vir: povzeto po [3])

Na sliki 4 vidimo shemo sončne elektrarne. Pri tem so shematično vrisana polja sončnih modulov, bloki za odklopnike in prenapetostne zaščite, razsmerniki, telekomunikacijski center, priključno mesto na omrežje in medsebojne povezave elementov.

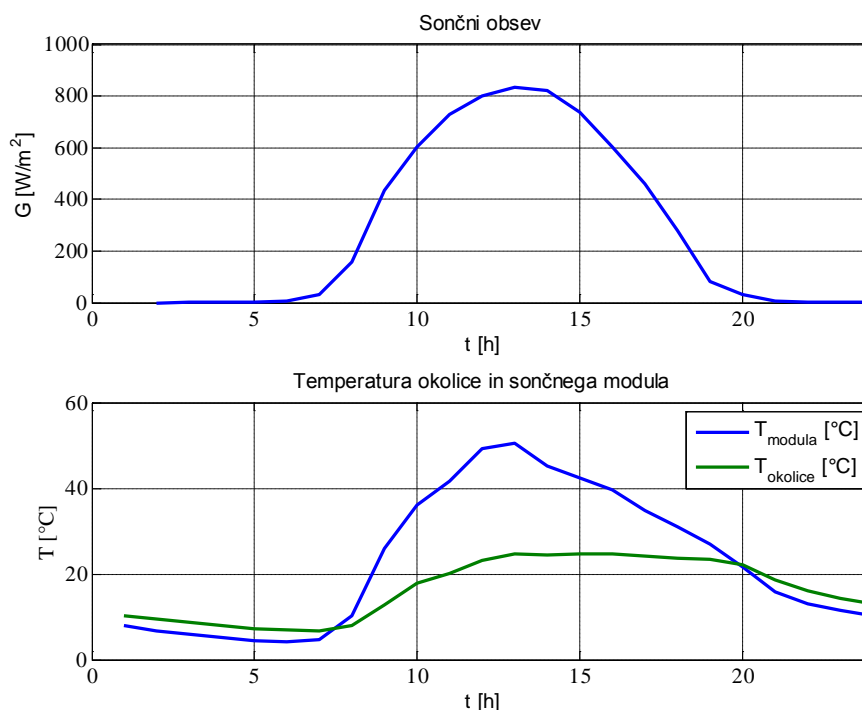
3. OVREDNOTENJE MATEMATIČNEGA MODELA SONČNE ELEKTRARNE

V nadaljevanju podpoglavja so predstavljene primerjave med izmerjenimi električnimi močmi na dejanski sončni elektrarni, ter močmi, ki so izračunane s pomočjo matematičnega modela sončne elektrarne. V nadaljevanju sta predstavljena primera za dneva, ki imata najugodnejše ter najslabše vremenske razmere.

3.1 Primer 1: Sončni dan – 14. 5. 2013

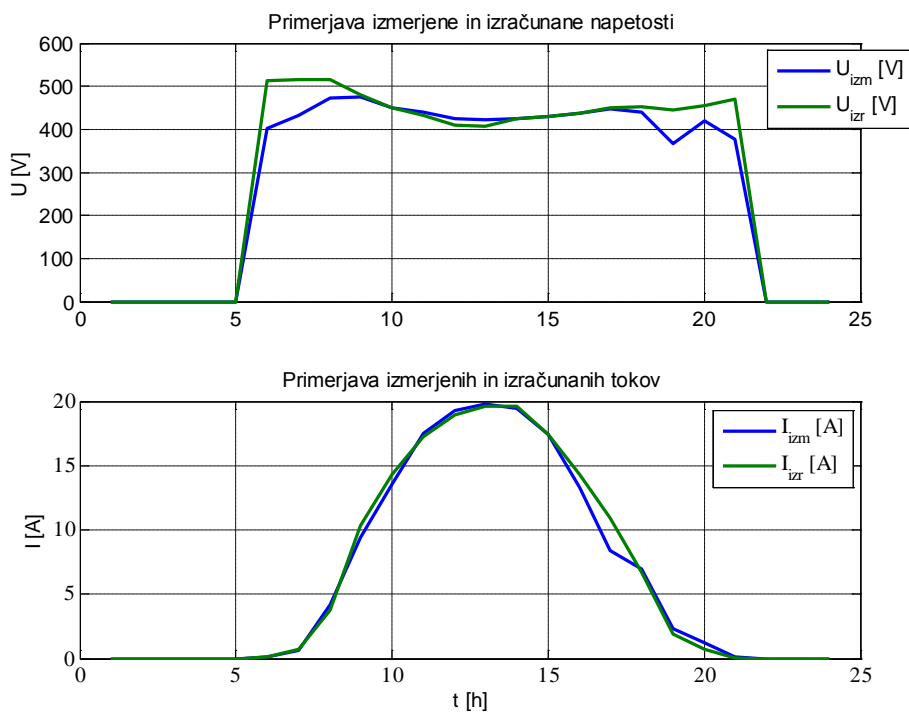
Sončni dan, predstavlja najugodnejše vremenske razmere. Primer 1 je izbran kot referenčni primer za vse ostale preizkuse, ki sledijo v nadaljevanju članka. Poleg tega se te meritve najbolj približajo optimalnim razmeram za delovanje sončne elektrarne.

Na sliki 5 vidimo prikazane tri veličine, in sicer je na zgornji sliki z modro barvo označeno obsevanje, na spodnji sliki pa je z modro barvo označena temperatura sončnega modula in z zeleno barvo temperatura okoliškega zraka.

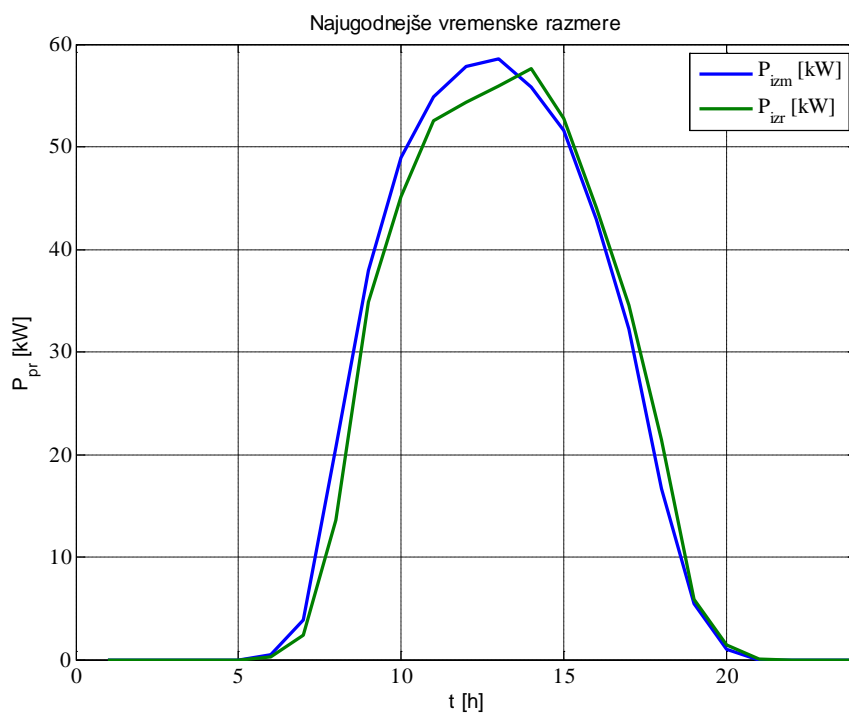


Sl. 5: Izmerjeni podatki za obsevanje, ter temperaturi za sončni modul in okolico

Na spodnjih slikah 6 in 7 vidimo prikazane primerjave izmerjenih in izračunanih napetosti, tokov in moči. Pri tem je z modro barvo označena izmerjena vrednost, medtem ko je z zeleno barvo označena izračunana vrednost.



Sl.6: Primerjava napetosti in tokov



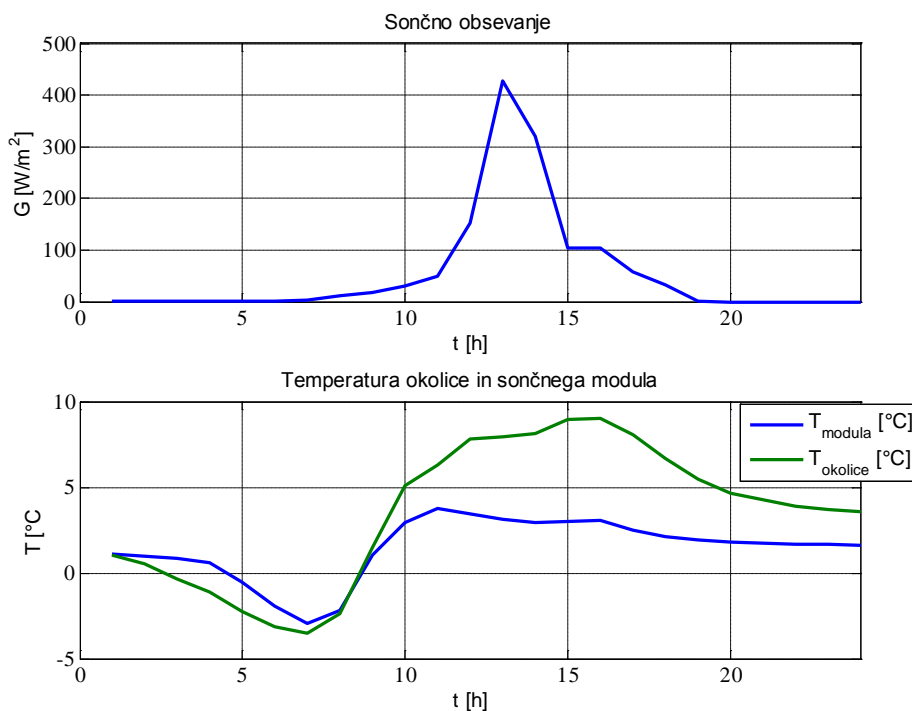
Sl.7: Primerjava moči

Slika 6 prikazuje primerjavi izmerjenih iz izračunanih napetosti in tokov za razsmernik moči 11,4 kW. Na sliki 7 je prikazana primerjava proizvedene izmerjene in izračunane električne moči za dan 14. 5. 2013.

3.2 Primer 2: Zimski dan – 28. 3. 2013

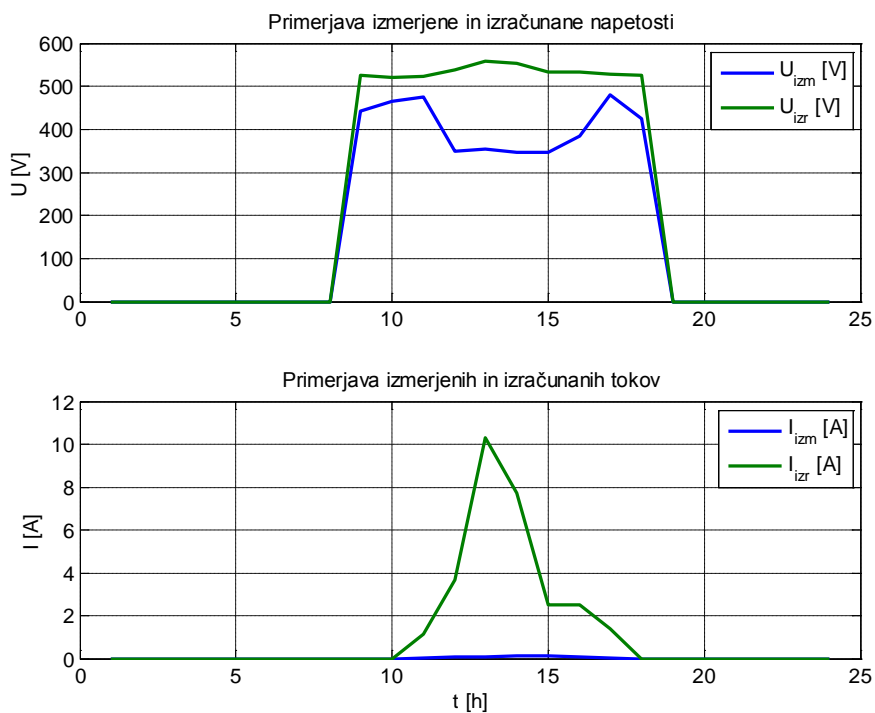
Zimski dan predstavlja dan z neugodnimi vremenskimi razmerami. V letu se pojavi kar nekaj dni, ki niso ugodni za proizvodnjo električne energije s pomočjo sončnega sevanja. Navadno vpliva več dejavnikov za zmanjšano proizvodnjo električne energije. Pri tem lahko vplive pripišemo novozapadlemu snegu, žledu in oblačnemu vremenu. Dan 28. 3. 2013, ki je predstavljen v tem poglavju (3.2), so bile slabe vremenske razmere (snežne padavine so dan prej ponehale), kar je razvidno v viru [4]. Zaradi tega so bili sončni moduli prekriti s snežno odejo, ki je sončnim žarkom preprečevala obsev sončnih modulov in s tem proizvodnjo električne energije. Posledica tega je nizka proizvodnja električne energije. Kljub temu so sensorji za temperaturo in obsevanje izmerili ugodne razmere za proizvodnjo, kar se kaže tudi na sliki 8. Sensorji za spremljanje vremena niso vgrajeni v sončne module, zaradi tega snežne padavine na njih niso imele tako velikega vpliva kot na sončno elektrarno.

Na sliki 8 vidimo prikazane tri veličine, in sicer je na zgornji sliki z modro barvo označeno obsevanje, na spodnji sliki 8 pa je z modro barvo označena temperatura sončnega modula in z zeleno barvo temperatura okoliškega zraka.



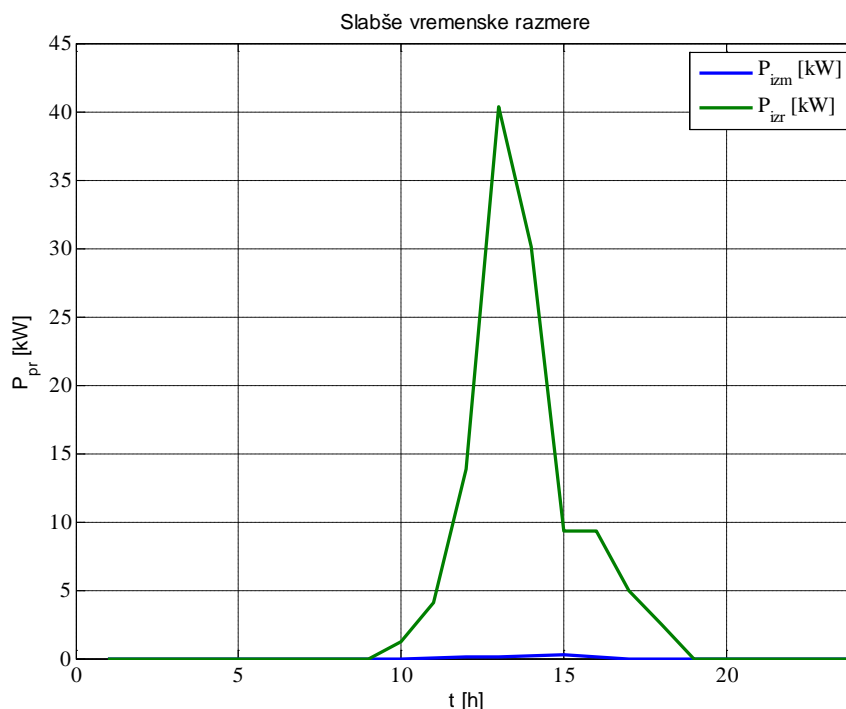
Sl. 8: Izmerjene vrednosti sončnega obsevanja, temperature okolice in temperature sončnega modula

Na spodnjih slikah 9 in 10 vidimo prikazane primerjave izmerjenih in izračunanih napetosti, tokov in moči. Pri tem je z modro barvo označena izmerjena vrednost, medtem ko je z zeleno barvo označena izračunana vrednost.



Sl. 9: Primerjava napetosti in tokov

Slika 9 prikazuje primerjavo izmerjenih in izračunanih vrednosti za napetosti in tokove za razsmernik z močjo 11,4 kW. Na sliki 9 je prikazana primerjava proizvedene izmerjene in izračunane električne moči za dan 28. 3. 2013.



Sl. 10: Primerjava moči

Slika 10 prikazuje primerjavo izmerjene in izračunane proizvedene moči na sončni elektrarni MFE TEB 2.

Izračunana vrednost, ki je označena z zeleno barvo ima določeno vrednost zaradi tega, ker so senzorji za obsevanje izmerili, da je to bilo tisti dan prisotno. Proizvodnja električne energije iz sončnih celic je nič zaradi tega, ker so bile sončne celice pokrite s snežno odejo in sončno obsevanje ni doseglo sončnih celic.

4. ZAKLJUČEK

Pri simulaciji matematičnega modela sončne elektrarne smo dobili rezultate, ki so prikazani v poglavju 3. Pri tem je zanimivo to, da so pri vseh dobljenih rezultatih simulacij dopoldanske izmerjene vrednosti večje od izračunanih. Popoldne se stvar obrne in so izračunane vrednosti večje od izmerjenih. Do tega pojava pride, ker sončni žarki skozi dan padajo na sončne celice pod različnimi koti. Matematični model sončne elektrarne predvideva, da je sončna elektrarna orientirana tako, da maksimalno izkoristi sončno obsevanje. Na področju Slovenije je to 30° proti jugu MFE 2 v Termoelektrarni Brestanica d. o. o. je orientirana 5° proti vzhodu [3], tako da ima posledično boljši izkoristek v dopoldanskem času. Kar pomeni, da se v tem času odbije manj sončnih žarkov in je izkoristek višji.

Rezultati simulacij matematičnega modela sončne elektrarne kažejo na to, da so vremenski pojavi prav tako pomembni. Kratka deževna obdobja skozi dan so sicer dobrodošla poleti, ker hladijo sončne celice. Slednje vplivajo na proizvodnjo električne energije in sicer tako, da se ob višanju temperature znižuje električna prevodnost. To bi tudi lahko bil eden od vzrokov, ki imajo za posledico nižjo proizvedeno električno energijo predvsem v popoldanskem času.

Poleg dežnih padavin so problematične tudi snežne padavine. Kajti sneg na površini sončnih celic onemogoča dostop sončnim žarkom do sončnih celic. Pri sončnih elektrarnah z majhnim naklonskim kotom je problem počasno drsenje snega s sončnih modulov. To posledično pomeni tudi večtedenski izpad proizvodnje električne energije.

Majhen naklon sončnih modulov pomeni tudi, da umazanija, ki pade na module tam tudi ostane. Zato je potrebno vsake toliko časa celotno površino sončne elektrarne očisti z destilirano vodo, da se odstrani tujke in umazanijo, ki povzročajo zmanjšano proizvodnjo električne energije.

5. VIRI, LITERATURA

- [1] B. Vovčko, Matematični model fotonapetostnega sistema v programskem orodju Matlab/Simulink, Magistrsko delo na Fakulteti za energetiko, Krško, 2013.
- [2] B. Vovčko, A. Štrichelj, Praktične izkušnje, rezultati obratovanja različnih tehnologij in izvedb sončnih elektrarn ter predlogi za bodoče investitorje, Članek na Dnevih energetikov, 2012
- [3] Termoelektrarna Brestanica d. o. o.
- [4] http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/mraz-sneg-veter_23-28mar13.pdf - (17.7.2013)

NASLOV AVTORJEV

¹Boris Vovčko, mag. inž. energ.

¹Bojan Vovčko, univ. dipl. inž. el.

¹Aleš Štrichelj, univ. dipl. inž. tel.

²doc. dr. Sebastijan Seme

¹Termoelektrarna Brestanica d.o.o.,

Cesta prvih borcev 18, 8280 Brestanica

²Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko

Hočevarjev trg 1, 8270 Krško, Slovenija

Tel: + 386 31 845 068

Elektronska pošta: borisvovcko@gmail.com