

Napoved porazdelitve oddane moči sončne elektrarne, temelječa na napovedi porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja

Sebastijan Seme, Gorazd Štumberger, Jože Voršič

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija
E-pošta: sebastijan.seme@uni-mb.si

Povzetek. Delo obravnava problematiko napovedovanja porazdelitve oddane moči fotonapetostne elektrarne v izbranem časovnem intervalu. V članku je najprej predstavljena nova metoda za napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja. Metoda upošteva atmosferske in reliefne dejavnike, ne upošteva pa meteoroloških, ki vsi skupaj vplivajo na moč globalnega sončnega sevanja. Predlagana metoda je potrjena s primerjavo izmerjene in s predlagano metodo napovedane porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja. Primerjava je podana za mesto Maribor, za meritev moči globalnega sončnega sevanja pa je uporabljen piranometer. Podani rezultati kažejo dobro ujemanje med napovedano in izmerjeno porazdelitvijo moči le za jasne dneve, kjer je vpliv meteoroloških dejavnikov zanemarljiv. Predlagana metoda za napovedovanje porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja je bila za jasne dneve uporabljena tudi v matematičnem modelu fotonapetostne elektrarne za napoved porazdelitve oddane moči. Podani rezultati kažejo dobro ujemanje napovedane in izmerjene porazdelitve oddane moči.

Ključne besede: globalno sončno sevanje, zunajzemeljsko sevanje, dolžina sončnih žarkov, fotonapetostna elektrarna, obnovljivi viri energije

Forecasting of power distribution produced in a photovoltaic power plant based on forecasted distribution of global solar radiation

Extended abstract. This work deals with the forecasting of power distribution produced in a photovoltaic (PV) power plant. Since the power produced in such a power plant depends on the global solar radiation, a new method for forecasting of global solar radiation distribution during the day is proposed. The expression for calculating extraterrestrial solar radiation G in the time interval $t \in [t_0, t_0 + \Delta t]$ is given by (4), where the orbital eccentricity factor $e(t)$ and declination angle δ are given by (5) and (7), respectively. The solar constant G_{sc} is defined by (3), M (1) is the Sun surface power density while T_s (2) is the temperature on the Sun surface. The global solar radiation that reaches the Earth surface G_{gl} depends on the extraterrestrial radiation G , the path of sunbeams through the atmosphere and the weather conditions in the atmosphere. In this work the impact of the weather conditions in the atmosphere is neglected. The spherical surfaces of the Earth and the Earth's atmosphere are approximated by two planes as shown in Fig. 1. In this way the length of the sunbeams path through the atmosphere l can be calculated by (8) where $h=50$ to 80 km is the atmosphere height, while the solar-altitude angle α_s is defined by (6). When the extraterrestrial radiation G and the global radiation G_{gl} are known, the relation between them $k(l)$ (9) can be given as a function of the sunbeam path length in the atmosphere l if the impact of weather conditions is neglected (clear sky). In this work function $k(l)$ is approximated by a sum of exponential functions (10) whose parameters are determined by applying a stochastic search algorithm called Differential Evolution [10]. The approximation function parameters $A \bullet$ and $B \bullet$ are given in Table 1 while the approximation function $k(l)$ is shown in Fig. 2. The approximation function $k(l)$ is applied to calculate global solar radiation G_{gl-f} that reaches the Earth's atmosphere (11). A comparison of the measured and by (11) forecasted global

radiation distribution during a day is shown in Figs. 3 and 4. The forecasted global solar radiation distribution from Figs. 3 and 4 is used together with the PV power-plant model based on the solar-cell model, Fig. 5, equations (12) and (13), for calculation of the forecasted PV power plant output power distribution. The PV power-plant data are given in Table 2 while the comparison of measured and forecasted output power distribution is shown in Figs. 6 and 7.

Keywords: global solar irradiance, extraterrestrial irradiance, solar energy, irradiance, renewable energy,

1 Uvod

Elektroenergetski sistem (EES) je zasnovan tako, da mora proizvodnja električne energije, natančneje povedano moč proizvodnih enot, vsak čas zadostiti potrebam po moči porabnikov. Sledenje proizvodnje električne energije porabi je doseženo s tehnologijami in algoritmi, ki omogočajo stabilno obratovanje. Tehnologije in algoritmi so odvisni predvsem od natančne napovedi porabe in proizvodnje električne energije oziroma porazdelitve moči tekom dneva. Napoved proizvodnje električne energije iz konvencionalnih virov je nekoliko lažja, saj ni neposredno odvisna od vremenskih vplivov. Pri napovedi proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov (OVE) pa je nujno uporabiti natančno napoved vremenskih vplivov. Pri različnih napravah za proizvodnjo električne energije iz OVE so ti vremenski vplivi različni. Pri vetrnih elektrarnah je to hitrost vetra, pri fotonapetostnih elektrarnah (FE) pa vpliv atmosfere

(oblačnosti) na moč sončnega sevanja, ki pade na sprejemnik. Moč sončnega sevanja, ki pade na Zemljo, imenujemo moč globalnega sončnega sevanja.

Metode za napoved porazdelitve moči sončnega sevanja uporabljajo različne korake časovne diskretizacije. Številni avtorji tako uporabljajo predvsem dnevni korak diskretizacije in tudi različne pristope za napovedovanje [1] – [5]. Manjše število avtorjev, kot recimo [6] – [7], pa pri tem uporablja metode, ki omogočajo urni korak časovne diskretizacije.

V delu je najprej predstavljena nova metoda za napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja za časovni interval enega dneva s korakom časovne diskretizacije ene ure. Predlagana metoda upošteva atmosferske in reliefne dejavnike, ne upošteva pa meteoroloških dejavnikov. Glede na povedano je v dani obliki primerna za napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja le za jasne dneve, ko so meteorološki dejavniki zanemarljivi. Za upoštevanje vplivov meteoroloških dejavnikov jo bo treba še dopolniti.

Predlagana metoda je potrjena s primerjavo napovedane in s piranometrom izmerjene porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja. Primerjava je izvedena za jasne dneve za mesto Maribor z urnim korakom diskretizacije. Pri tem so uporabljeni rezultati meritev s piranometrom, ki jih izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO).

Napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja je uporabljena v matematičnem modelu FE moči 7,5 kW, ki obratuje na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko (FERI) v Mariboru. Model FE je sestavljen v programskem paketu Matlab v obliki matematičnih izrazov povzetih po [8] in [9]. Primerjava z modelom napovedane in izmerjene porazdelitve proizvodnje električne energije – oddane moči FE na FERI je izvedena za en dan v časovnih korakih dolžine ene ure.

2 Metoda in model

V tem poglavju je najprej predstavljena nova metoda za napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja prek dneva. Napovedana porazdelitev moči globalnega sončnega sevanja je ovrednotena s primerjavo z izmerjeno za primer mesta Maribor.

V drugem delu poglavja je opisan matematični model FE. S pomočjo matematičnega modela FE in napovedi porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja je mogoče napovedati časovno porazdelitev proizvodnje električne energije – oddane moči FE čez dan. Napovedana porazdelitev oddane moči je ovrednotena s primerjavo z izmerjeno za primer FE na FERI.

2.1 Metoda za napoved energije globalnega sončnega sevanja

Pri napovedi moči globalnega sončnega sevanja in njene časovne porazdelitve na opazovani površini moramo

poznati moč sončnega sevanja zunaj zemeljskega ozračja in dolžino sončnih žarkov v atmosferi. Če želimo natančno opisati parametre za napoved moči globalnega sončnega sevanja, moramo začeti pri samem izvoru sončne energije.

Izvor sončne energije je Sonce, ki je centralno telo našega osončja in nam najbližja zvezda. Sonce v okoliški prostor nenehno pošilja svojo energijo v obliki elektromagnetnega valovanja, pretežno v spektru od vključno ultravijolične do vključno infrardeče svetlobe. Če obravnavamo Sonce kot črno telo, lahko z (1) definiramo moč sevanja Sonca na enoto površine, kot je to definirano v [9].

$$M = \frac{\Phi}{A_s} = \sigma T_s^4 = \frac{3,845 \cdot 10^{26}}{6,087 \cdot 10^{18}} = 63,11 \frac{MW}{m^2} \quad (1)$$

Pri tem je Φ moč Sonca, A_s pa površina Sonca, $\sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ Stefan-Boltzmannova konstanta in T_s temperatura Sonca na površju. S (1) lahko definiramo tudi temperaturo Sonca na površju (2)

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{M}{\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{63,11 \cdot 10^6}{5,670 \cdot 10^{-8}}} = 5777 \text{ K} \cdot \quad (2)$$

Moč sončnega sevanja zunaj zemeljskega ozračja na razdalji ene astronomske enote (1 AU = 149597870691 m) je definirana s (3) in se imenuje solarna konstanta [10].

$$G_{sc} = M \left(\frac{r_s}{r_0} \right)^2 = 63,11 \left(\frac{6,959 \cdot 10^8}{1,496 \cdot 10^{11}} \right)^2 = 1367 \frac{W}{m^2} \quad (3)$$

M je moč Sonca na enoto površine, r_s polmer Sonca, r_0 pa razdalja med Zemljo in Soncem. Ker pa se razdalja Zemlja-Sonce med letom spreminja se spreminja tudi moč sončnega sevanja zunaj zemeljskega ozračja in znaša od 1332 W/m^2 do 1412 W/m^2 . Moč sončnega sevanja, ki upošteva kot deklinacije δ , zemljepisno širino L , urni kot ω (kot vzhoda–zahoda Sonca) ter dan v letu n z začetkom štetja od 1. januarja, se imenuje sevanje zunaj zemeljskega ozračja na vodoravno površino (ang.: Extraterrestrial irradiance on horizontal plane) in je podano s (4) na časovnem intervalu opazovanja $t \in [t_0, t_0 + \Delta t]$.

$$G = \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} G_{sc} e(t) \sin \alpha_s dt \quad (4)$$

$$e(t) = 1 + 0,034 \cos \left(\frac{2\pi n}{365} \right) \quad (5)$$

Pri tem je G_{sc} solarna konstanta, $e(t)$ je orbitalni faktor ekscentričnosti (5), ki pove za koliko se spremeni razdalja med Zemljo in Soncem za posamezni dan n v

letu [9]. S (5) smo definirali preprost aproksimacijski izraz za orbitalni faktor ekscentričnosti, ki ne upošteva poletnega in zimskega solsticija, kljub temu je napaka manjša od 0,3 odstotka. Vpadni kot sončnih žarkov α_s pa podamo s (6):

$$\sin \alpha_s = \sin \delta \sin L + \cos \delta \cos L \cos \omega, \quad (6)$$

kjer je δ kot deklinacije (7).

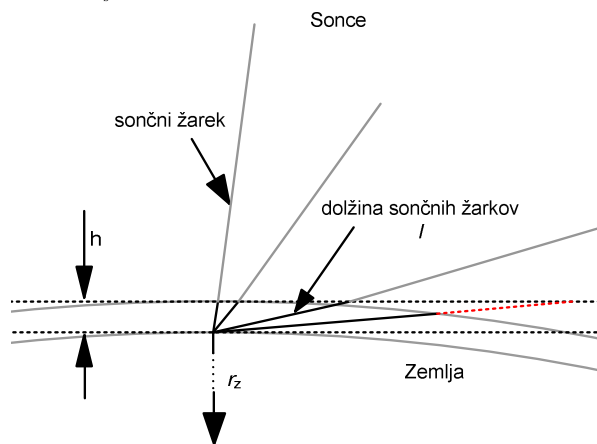
$$\delta = 23,45 \sin \left(\frac{2\pi}{365} (284 + n) \right) \quad (7)$$

Ko imamo definirano moč sončnega sevanja zunaj zemeljske atmosfere, lahko definiramo moč sončnega sevanja, ki pade na Zemljo. Moč sončnega sevanja, ki pade na Zemljo, imenujemo moč globalnega sončnega sevanja G_{gl} in je definirana kot vsota direktnega in razpršenega sončnega sevanja, ki pade od vrha ozračja na vodoravno sprejemno površino pri tleh. Dejavniki, ki vplivajo na moč globalnega sončnega sevanja, so:

- atmosferski: pot Zemlje okoli Sonca, sončna aktivnost
- meteorološki: oblačnost, vlažnost zraka in prepustnost ozračja ter
- reliefni: nadmorska višina, oblika površja.

Če želimo napovedati moč globalnega sončnega sevanja, moramo poznati še dolžino poti sončnih žarkov v atmosferi. Dolžino poti sončnih žarkov v atmosferi l (8) definiramo s pomočjo trigonometričnih funkcij ob predpostavki, da obravnavamo zemeljsko površino in atmosfero kot ravni ploskvi (slika 1).

$$l = \frac{h}{\sin \alpha_s} \quad (8)$$



Slika 1: Dolžina poti sončnih žarkov v atmosferi.

Figure 1: Path length of solar beams in the atmosphere.

Pri omenjeni predpostavki ne naredimo velike napake, saj je $h \ll r_z$. Pri tem je s h , ki je okvirno od 50 in

80 km, označena razdalja med površjem Zemlje in zgornjo mejo ozračja (stratosfere), z r_z pa Zemljin polmer $r_z=6371$ km, kakor je nakazano na sliki 1.

Iz arhiva meritev porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja, ki jih izvaja ARSO, smo za mesto Maribor poiskali porazdelitve moči globalnega sončnega obsevanja $G_{gl}(l)$ za jasne dneve. Z razmerjem med izračunano porazdelitvijo moči sevanja zunaj zemeljske atmosfere na vodoravno površino $G(l)$ in iz arhiva meritev poiskano porazdelitvijo moči globalnega sončnega obsevanja $G_{gl}(l)$ določimo krivuljo $k_a(l)$ (9).

$$k_a(l) = \frac{G(l)}{G_{gl}(l)} \quad (9)$$

Z (9) tako dobimo krivuljo, ki podaja razmerje med $G(l)$ in $G_{gl}(l)$ kot $k_a(l)$ v odvisnosti od dolžine poti sončnih žarkov v atmosferi l za jasne dneve. k_a lahko definiramo tudi v odvisnosti od vpadnega kota sončnih žarkov α_s , česar pa se v tem delu ne bomo posluževali. Iz tako določenega nabora krivulj določimo srednjo krivuljo, kateri s pomočjo diferenčne evolucije [10] poiščemo aproksimacijsko funkcijo (10).

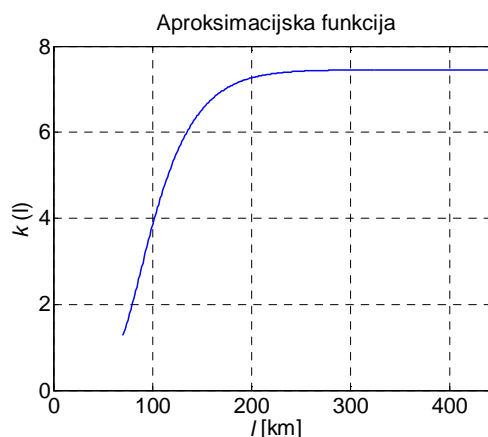
$$k(l) = A_1 e^{B_1 l} + A_2 e^{B_2 l} + A_0 \quad (10)$$

Pri tem so A_1 , A_2 , B_1 , B_2 in A_0 koeficienti aproksimacijske funkcije in so zbrani v tabeli 1.

Tabela 1: Koeficienti aproksimacijske funkcije

Table 1: Approximation function parameters for objective functions.

A_1	A_2	B_1	B_2	A_0
$-1,159 \cdot 10^4$	0,038	$-1,169 \cdot 10^4$	0,038	7,456



Slika 2: Funkcija, ki povezuje sevanje zunaj zemeljskega ozračja z globalnim sončnim sevanjem.

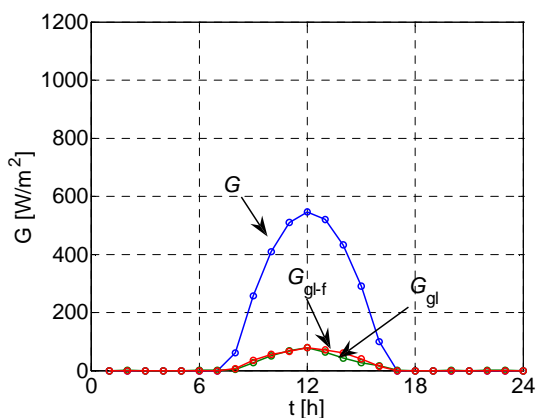
Figure 2: Relation between extraterrestrial radiation and global radiation given as a function of $k(l)$.

Tako dobljena aproksimacijska funkcija ne upošteva meteoroloških dejavnikov in je namenjena za napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja zgolj za jasne dneve. Aproksimacijska funkcija, ki je prikazana na sliki 2, je določena za mesto Maribor.

Funkcija v spodnjem delu na sliki 2 ni definirana, saj pot sončnih žarkov ni nikoli krajša od višine atmosfere, ki je med 50 in 80 kilometri. S pomočjo omenjene funkcije in izračunane porazdelitve moči sevanja zunaj zemeljskega ozračja na vodoravno površino $G(l)$ lahko zdaj napovemo porazdelitev moči globalnega sončnega sevanja (11).

$$G_{gl-f} = \frac{G}{k(l)} \quad (11)$$

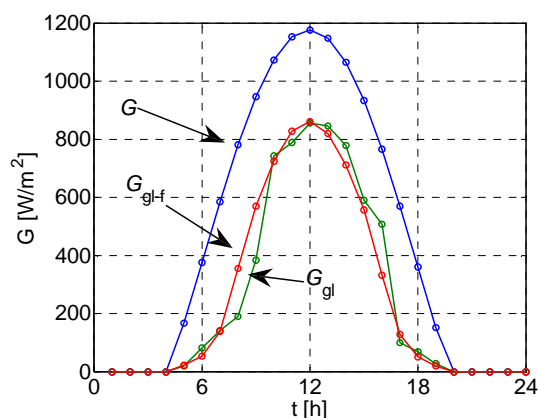
Na slikah 3 in 4 sta prikazani izračunana porazdelitev moči sevanja zunaj zemeljskega ozračja na vodoravno površino $G(l)$ ter primerjava med izmerjeno G_{gl} (podatki pridobljeni od ARSO) in napovedano porazdelitvijo moči globalnega sončnega sevanja G_{gl-f} (11) za zimski (14.1.2006) in poletni dan (15.6.2006) za mesto Maribor. Omenjena dneva sta jasna dneva, kjer je vpliv meteoroloških dejavnikov zanemarljiv.



Slika 3: Porazdelitev moči sevanja zunaj zemeljskega ozračja, izmerjena in napovedana porazdelitev moči globalnega sončnega sevanja za zimski dan.

Figure 3: Extraterrestrial radiation, measured and forecasted radiation for a winter day.

Iz slik 3 in 4 je razvidno dobro ujemanje med izmerjeno in izračunano porazdelitvijo moči globalnega sončnega sevanja. Pri tem pa poudarimo, da gre za jasna dneva, kjer ne upoštevamo meteoroloških dejavnikov. Uporabljen je urni korak časovne diskretizacije. Glede na dobro ujemanje lahko v matematičnem modelu FE za napoved proizvodnje električne energije, ki je dejansko napoved porazdelitve oddane moči, uporabimo metodo za napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja.



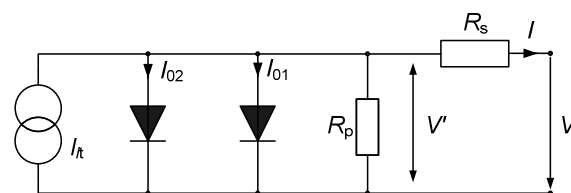
Slika 4: Porazdelitev moči sevanja zunaj zemeljskega ozračja, izmerjena in napovedana porazdelitev moči globalnega sončnega sevanja za poletni dan.

Figure 4: Extraterrestrial radiation, measured and forecasted radiation for a summer day.

2.2 Matematični model fotonapetostne elektrarne

Osnovni podatek za napoved proizvodnje električne energije (porazdelitev oddane moči) z matematičnim modelom FE je ob številu sončnih sprejemnikov in nagnjenosti le-teh tudi porazdelitev moči sončnega sevanja, ki pada na površino sprejemnika. Sprejemnik energije je lahko fotonapetostni pretvornik ali kakšen drugi pretvornik sončne energije.

Na podlagi shematskega prikaza modela sončne celice s slike 5, povzet po [9], in izrazov (12) in (13) je bil v programskem paketu Matlab sestavljen model FE.



Slika 5: Nadomestno vezje sončne celice.

Figure 5: Equivalent circuit of a solar cell.

$$I(V) = \frac{V'}{R_p} + I_{01} \left(e^{\left(\frac{V'}{V_b}\right)} - 1 \right) + I_{02} \left(e^{\left(\frac{V'}{2V_b}\right)} - 1 \right) + I_{ph} \quad (12)$$

$$V' = V - R_s I(V) \quad (13)$$

Pri tem sta z I_{01} in I_{02} označena zaporna toka diod, I_{ph} je generirani tok, V napetost na sponkah, V' napetost na vzporednem uporu R_p , $V_b = kT/q$ termična napetost, R_s in R_p pa sta serijska in vzporedna upornost. Vzporedna prevodnost je definirana s $G_p = 1/R_p$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K je Boltzmannova konstanta, T je absolutna temperatura, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ As pa je naboj elektrona. Matematični model sončne celice (12), (13) je osnova za izdelavo matematičnega modela FE v programskem paketu

Matlab podrobneje opisan v [11] vključno z vsemi parametri sončne celice WS 105M. Matematični model FE je sestavljen iz skupka med seboj smiselno povezanih matematičnih modelov posameznih sončnih celic. Predpostavljeno je, da sončne celice obratujejo v točki največje moči. Sledenje točki največje moči je izvedeno z ustreznim vodenjem razsmernika. Vhodni podatki v matematični model FE so napovedana porazdelitev moči globalnega sončnega sevanja, nagnjenost sprejemnika in število sončnih celic.

V matematičnem modelu FE so uporabljeni podatki FE na FERI, ki so zbrani v tabeli 2.

Tabela 2: Tehnični podatki fotonapetostne elektrarne FERI.

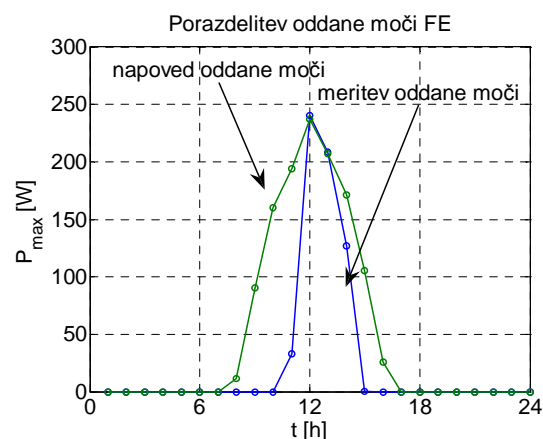
Table 2: Technical data for photovoltaic system.

Inštalirana moč	Tip modula	Št. modulov	Št. celic	Nagib sprejemnika
7,5 kW	WS 105M	72	2592	24°

3 Rezultati

Na slikah 6 in 7 sta podani primerjavi med napovedano in izmerjeno porazdelitvijo oddane moči FE na FERI za zimski ter za poletni dan v letu. Izbrana dneva sta jasna dneva v letu, dneva brez oblakov, ko je vpliv meteoroloških dejavnikov zanemarljiv.

Slika 6 kaže napovedano in izmerjeno porazdelitev oddane moči FE na FERI za dan 14.1.2006. Pri tem je pri napovedi porazdelitve moči FE uporabljena napovedana porazdelitev moči globalnega sončnega sevanja G_{gl-f} s slike 3.



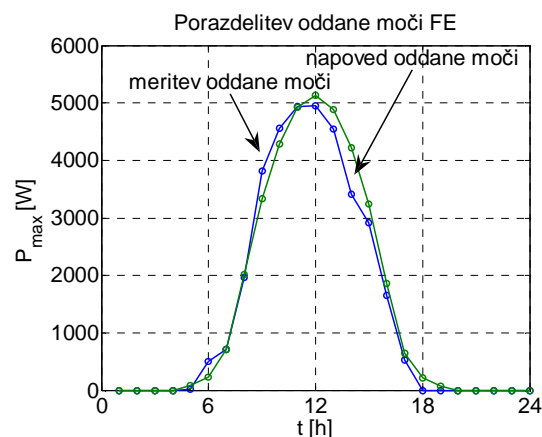
Slika 6: Napovedana in izmerjena porazdelitev oddane moči FE za zimski dan.

Figure 6: Forecasted and measured power distribution of the photovoltaic system for a winter day.

Slika 6 kaže večje vrednosti z modelom izračunane oddane moči FE na FERI v dopoldanskih urah. Vzrok so zgradbe v okolici, zaradi katerih je FE na FERI v dopoldanskem času pozimi v senci. Odstopanja v popoldanskih urah pa lahko pripišemo dejstvu, da je

napovedana porazdelitev moči globalnega sončnega sevanja v tem času nekoliko večja od izmerjene (slika 3).

Slika 7 kaže napovedano in izmerjeno porazdelitev oddane moči FE na FERI za dan 15.6.2006, pri čemer je uporabljena napovedana porazdelitev moči globalnega sončnega sevanja s slike 4.



Slika 7: Napovedana in izmerjena porazdelitev oddane moči FE na FERI za poletni dan.

Figure 7: Forecasted and measured power distribution of the photovoltaic system for a summer day.

Slika 7 kaže dobro ujemanje med napovedano in izmerjeno porazdelitvijo oddane moči FE na FERI. Manjša odstopanja pri napovedi oddane moči FE v dopoldanskih urah lahko pripišemo neupoštevanju meteoroloških dejavnikov v metodi za napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja.

4 Sklep

V delu je najprej predstavljena metoda za napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja. Napoved porazdelitve moči globalnega sončnega sevanja je določena na podlagi izračunane porazdelitve moči sevanja zunaj zemeljske atmosfere in dolžine poti sončnih žarkov. Predstavljena metoda ne upošteva vpliva meteoroloških dejavnikov, zato je v dani obliki primerna le za jasne sončne dni brez oblačnosti, v nadaljevanju pa jo bo treba še dopolniti. Napovedana porazdelitev moči globalnega sončnega sevanja je uporabljena kot vhodni podatek pri napovedi porazdelitve oddane moči FE. Primerjava izmerjene in napovedane porazdelitve oddane moči FE na FERI kaže dobro ujemanje za sončne dni. Vpliv nagnjenosti sprejemnikov sončne energije in vpliv atmosferskih dejavnikov na moč in izkoristek FE bo tema prihodnjih raziskav.

5 Literatura

- [1] S. Cao, J. Cao, *Forecast of solar irradiance using recurrent neural networks combined with wavelet analysis*, Applied Thermal Engineering 25 (2005) 161-172
- [2] A. Ianetz, V. Lyubansky, I. Setter, B. Kriheli, E. G. Evseev, A. I. Kudish, *Inter-comparison of different models for estimating clear sky solar global radiation for the Negev region of Israel*, Energy Conversion and Management 48 (2007) 259-268
- [3] A. Sozen, E. Arcaklioglu, M. Ozalp, N. Caglar, *Forecasting based on neural network approach of solar potential in Turkey*, Renewable Energy 30 (2005) 1075-1090
- [4] R. Perez, K. Moore, S. Wilcox, D. Renne, A. Zelenka, *Forecasting solar radiation – Preliminary evaluation of an approach based upon the national forecast database*, Solar Energy 81 (2007) 809-812
- [5] I. T. Togrul, E. Onat, *A study for estimating solar radiation in Elazig using geographical and meteorological data*, Energy Conversion and Management 40 (1999) 1577-1584
- [6] R. Chen, E. Kang, X. Ji, J. Yang, J. Wang, *An hourly solar radiation model under actual weather and terrain conditions: A case study Heihe river basin*, Energy 32 (2007) 1148-1157
- [7] J. S. G. Ehnberg, M. H. J. Bollen, *Simulation of global solar radiation based on cloud observations*, Solar Energy 78 (2005) 157-162
- [8] A. R. Burgers, *New Metallisation Patterns and Analysis of Light Trapping for Silicon Solar Cells*, Ph.D thesis, Universiteit Utrecht, 2005
- [9] U. Eicker, *Solar Technologies for Buildings*, University of Applied Sciences, Stuttgart, Germany, 2001
- [10] K. V. Price, R. M. Storn, J. A. Lampinen, *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization (Natural Computing Series)*, Springer, 2005
- [11] O. C. Garrido, *Optimizing daily operational diagrams of electric energy production units that use alternative energy sources in order to minimize use of conventional energy sources*, magistrska naloga, FERI, 2006

Sebastijan Seme je leta 2006 diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, kjer je tudi zaposlen kot mladi raziskovalec.

Gorazd Štumberger je diplomiral leta 1989 in magistriral leta 1992 na oddelku FERI Tehniške fakultete Univerze v Mariboru. V letu 1996 je doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, kjer je tudi zaposlen kot redni profesor. Ukvarja se z modeliranjem in vodenjem elektromehanskih sistemov in elementov elektroenergetskega sistema. Dr. Gorazd Štumberger je član slovenskega komiteja CIGRE in mednarodnih združenj Compumag in IEEE.

Jože Voršič je magistriral leta 1982 na zagrebški univerzi in obranil doktorsko disertacijo leta 1983 na Univerzi v Mariboru. Je redni profesor za področje močnostne elektrotehnike na FERI Univerze v Mariboru in vodja Laboratorija za energetiko. Njegovo področje dela je obratovanje EES, meritve kakovosti el. energije, VN tehnika, zanesljivost, preskrba z energijo in obnovljivi viri. Je član mednarodnih strokovnih organizacij IEEE, CIGRE in WEC ter slovenskih ED Maribor, Slovenski E-Forum in SDVD.