

Razvoj metodologije za utvrđivanje optimalne snage fotonaponske elektrane postavljene na nagnutom terenu

Development of a Methodology for Determining the Optimal Power of a Photovoltaic Power Plant on Sloping Surface

Vladan Durković*, Željko Đurišić**

*Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora

** Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Rezime - U literaturi su detaljno razvijeni modeli za proračun proizvodnju velikih fotonaponskih (FN) elektrana sa različitim tipovima modula (monofacijalni ili bifacijalni). Pored toga, detaljni modeli su razvijeni i za FN elektrane koje imaju fiksno postavljene module kao i FN elektrane sa mogućnošću praćenja azimutnog ugla Sunca i/ili nagibnog ugla FN modula. Sa druge strane, usled sve veće gradnje FN elektrana, često se nameće njihova izgradnja na terenu koji je nagnut u odnosu na horizontalu, pa je od interesa razviti modele koji mogu izvršiti optimizaciju prostornog rasporeda i geometrijskih elemenata panela na ovakvom terenu. Naime, prilikom različitih analiza u literaturi nisu razrađeni modeli proizvodnje za FN elektrane koje se planiraju na nagnutim terenima. Shodno tome, u ovom radu je razvijena postupak za proračun proizvodnje FN elektrana koje su postavljene na terenu koji nije ravan, već orijentisan prema proizvoljnoj strani svijeta i sa proizvoljnim nagibnim.

Ključne reči - fotonaponska elektrana, nagnut teren, komparativna analiza, nivelisani troškovi.

Abstract - Models for the calculation of the production of large photovoltaic (PV) power plants with different types of modules (monofacial or bifacial) have been developed in detail in the literature. In addition, detailed models have been developed for PV power plants that have fixed modules as well as PV power plants with tracking the azimuth angle of the Sun and/or the tilt angle of the PV module. On the other hand, due to the increasing installation of PV power plant, their construction is often imposed on the field with complex geometry, so it is interesting to develop models that can optimize the spatial layout and geometric elements of panels on sloping surface in relation on horizontal. Namely, during various analyses in the literature, production models for PV power plants that are planned on sloping terrains have not been developed. Accordingly, in this paper, a procedure was developed for the calculation of the production of PV power plants that are placed on terrain that is not flat, but oriented towards the arbitrary side of the World and with an arbitrary tilt angle.

Index Terms - Photovoltaic plant, Complex terrain, Sloping terrain, Comparative analysis, Levelized cost.

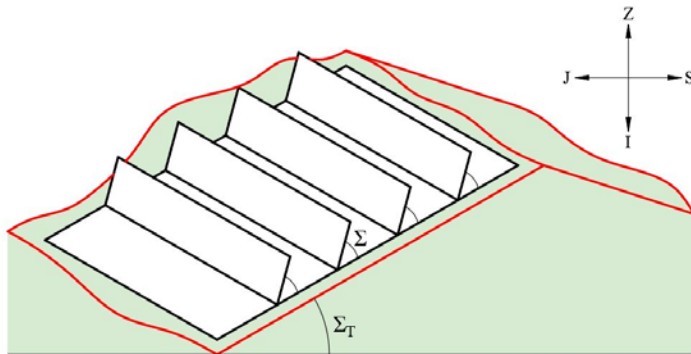
I UVOD

Savremenu energetiku u poslednjih nekoliko decenija karakteriše sve veća integracija obnovljivih izvora električne energije u elektroenergetski sistemi. Pored poznatih karakteristika proizvodnje obnovljivih izvora električne energije, solarne elektrane karakteriše i relativno mala gustina snage po zauzetoj površini. U radovima [1], [2], [3], [4], je analizirano zauzimanje površina koje su neaktivne kao što su: krovovi velikih objekata, neobrađivo zemljište, napuštena pepelišta u okolini velikih termoelektrana, mirne vodene površine kao što su rezervoari za vodu, akumulaciona jezera hidroelektrana i slično. Upravo mala gustina snage po zauzetoj površini predstavlja glavnu motivaciju ovoga rada, jer je u praksi vrlo realan scenario da tip zemljišta je pogodan za gradnju FN elektrane ali je nagnut u odnosu na horizontalnu površinu. U radu je predložena metodologija koja omogućava proračun optimalne snage na unaprijed ograničenoj površini prema kriterijumi minimalne cijene proizvodnje električne energije. Iako u literaturi, sa ciljem unapređenja efikasnosti FN elektrana, su analizirane primjene novih tehnologija kao što su bifacijalni FN modula [5], [6], FN sistemi sa praćenjem putanje Sunca [7], u ovom radu su pretpostavljene da se koriste klasične tehnologije a to su fiksni monofacijalni moduli. U radu, je dat prikaz tehno-ekonomskih indikatora elektrane u zavisnosti koliko je nagnut teren u odnosu na horizontalnu površinu i prema kojoj strani je orijentisan. Pored toga, koristeći realne satne meteo podatke, u ovom radu je razvijena metodologija i softver koji omogućava određivanje optimalnog nagibnog ugla FN modula, rastojanja između FN modula, broj FN redova, snagu FN elektrane, proračun tehno-ekonomskih parametara za elektranu postavljenu na određenoj podlozi koja može biti nagnuta u odnosu na horizontalnu površinu i orijentisana proizvoljno u odnosu na jug. Ograničenje predložene metodologije je da se odnosi na fiksne FN monofacijalne module. Rad je organizovan na sledeći način: u narednom poglavlju je detaljno opisana metodologija proračuna tehno-ekonomskih indikatora. U trećem poglavlju su prikazani rezultati i komparativna analiza u odnosu na FN elektrane postavljene na ravnom terenu i orijentisane ka jugu. Na kraju su dati odgovarajući zaključci.

II OPIS RAZMATRANE FN ELEKTRANE I MODELOVANJE

2.1. Opis razmatrane FN elektrane

U radovima su detaljno ispitani različiti tehnološki faktori koji utiču na projektovanje FN elektrana, pri čemu je pretpostavljeno u svim radovima da su FN paneli postavljeni na ravnoj podlozi [8],[9],[10],[11]. Imajući u vidu da FN elektrane zauzimaju velike površine, za realne inženjerske proračune, je od interesa proračunati solarni potencijal na mikrolokaciju koja nije ravna već nagnuta prema određenoj strani svijeta. Primjer neravnog terena, je ilustrovan na slici 1.



Slika 1. FN elektrana na nagnutom terenu

Osnova za proračun tehnoloških izlaznih indikatora FN elektrane je solarni potencijal ciljane mikrolokacije. U narednom potpoglavlju je dat prikaz proračuna solarnog potencijala kod FN elektrane čija je podloga nagnuta prema određenoj strani svijeta. Predložena metodologija se zasniva na osnovnim meteorološkim podacima kao što je satna direktna horizontalna insolacija, difuziona horizontalna insolacija i satna temperatura ambijenta. Shodno tome, predložena metodologija omogućava precizan proračun ali ne na uštrb velikog broja ulaznih podataka. Ovdje je bitno naglasiti da je moguće relativno lako uvesti modifikaciju programa, ukoliko je samo poznat podatak o horizontalnoj insolaciji. Naime, koristeći *Liu-Jordanovu* formulu moguće je razdvojiti horizontalnu insolaciju na direktnu horizontalnu i difuzionu horizontalnu [12].

2.2 Modelovanje solarnog potencijala

U odnosu na FN elektranu postavljenu na ravnom terenu, potrebno je uvesti dvije modifikacije prilikom proračuna direktne komponente sunčevog zračenja kod FN elektrane na nagnutom terenu. Jedna modifikacija se odnosi na proračun incidentnog ugla sunca θ , gdje je potrebno uvesti i promenljivu koja se odnosi na nagib terena Σ_r . Dakle, incidentni ugao Sunca se računa kao:

$$\cos\theta = \cos\beta \cdot \cos(\phi_s - \phi_c) \cdot \sin(\Sigma \pm \Sigma_r) + \sin\beta \cdot \cos(\Sigma \pm \Sigma_r) \quad (1)$$

gdje je β altitudni ugao Sunca, ϕ_s azimutni ugao Sunca, ϕ_c azimutni ugao FN panela, Σ nagibni ugao FN panela.

Pomoću promenljive Σ_r se uvažava koliko je teren nagnut u odnosu na horizontalnu podlogu na taj način da ukoliko je teren odignut prema jugu onda se usvaja pozitivan predznak. Ukoliko je teren nagnut prema sjeveru, nagibni ugao terena se usvaja sa negativnom vrijednošću.

Druga modifikacija prilikom proračuna direktne komponente

iradijacije kod FN elektrane koja je instalisana na nagnutoj podlozi je izvršena prilikom proračuna sjenke koje pada na FN redove.

U vezi sa tim, u radu je [13] je sprovedena detaljna analiza uticaja sjenke kada je podloga nagnuta. Ukoliko je teren nagnut prema jugu, tada je, za iste dimenzije FN elektrane, uticaj sjenke manji u odnosu na slučaj kada je teren nagnut prema sjeveru. Dakle, navedena modifikacija proračuna sjenke je urađena prema radu [13].

Dalji proračun direktne komponente iradijacije kod FN elektrane koja je instalisana na nagnutoj podlozi se ne razlikuje u odnosu na FN elektranu postavljenu na ravnom terenu i urađen je prema radu [1].

Postoji nekoliko modela za proračun difuzione komponente iradijacije. U osnovi se mogu podijeliti na dvije grupe i to na: izotropске i anizotropске modele [14], [12]. Izotropski modeli koji su najčešće korišćeni pretpostavljaju da sunčevi zraci dolaze podjednako iz svih pravca neba na FN modul. Anizotropski model uvažava činjenicu da sa neba difuzno sunčevo zračenje ne dopijeva podjednako sa svih strana na FN panel. Upravo sa ciljem zadržavanja jednostavnosti, a imajući u vidu široko korišćenje, autori ovoga rada su se ograničili da proračun difuzione komponente iradijacije prema izotropskom modelu zračenja.

Imajući u vidu definiciju izotropskog modela zračenja, model difuzionog zračenja je na sledeći način proširen sa članom K_d koji u obzir uzima nagibni ugao terena:

$$I_{DC} = I_{DH} \cdot \left(\frac{1 + \cos\Sigma}{2} \right) \cdot K_d \quad (2)$$

Član K_d je usvojen tako da je njegova vrijednost 1 ukoliko je teren ravan a ukoliko je teren nagnut prema određenoj strani svijeta ima vrijednost manju od 1 jer na taj način ne dopijeva cjelokupno difuziono zračenje na takav teren. Dakle, koeficijent K_d je računat na sledeći način:

$$K_d = \frac{1 + \cos\Sigma_r}{2} \quad (3)$$

Dalji proračun difuzione komponente sunčevog zračenja, kao i reflektovane komponente je vršen pomoću faktora viđenja. Ovdje napominjemo da je u cilju preciznijeg proračuna, izvršena i segmentacija površina FN panela i podloge između FN redova. U radu [6] je detaljno opisana korišćena metodologija za proračun difuzione i reflektovane komponente sunčevog zračenja.

Na kraju, pošto je specificiran model za iradijaciju, moguća godišnja proizvodnja je izračunata na sledeći način:

$$W = \sum_{k=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} P \cdot I(t,k) \cdot \eta_{inv} \cdot \dots \left(1 - r \cdot \left(T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20^0}{0.8} \right) \cdot I(t,k) - 25^0 \right) \right) \quad (4)$$

gdje je P instalisana snaga elektrane (DC), $I(t,k)$ je satna ukupna iradijacija (zbir direktne, difuzione i reflektovane komponente), η_{inv} je stepen efikasnosti invertora, r je pad efikasnosti FN

modula usled povećanja temperature iznad STC vrednosti, NOCT je nominalna temperatura FN modula, T_{amb} je satna temperatura ambijenta.

U ovom radu, inverter je modelovan sa prosječnom efikasnošću od 0.95 [6] a pad efikasnosti FN modula usled povećanja temperature je $0.5\%/^{\circ}\text{C}$ [6]. Za NOCT parametar usvojena je vrijednost od 47°C [6].

Za ekonomsku evaluaciju projekata FN elektrane kao kriterijum usvojena je nivelisana cijena troškova elektrane na njenom životnom vijeku (LCOE). LCOE je definisan sledećom formulom:

$$LCOE = \frac{C_i \cdot P + \sum_1^{n_t} \frac{C_m}{(1+i)^{n_t}}}{W \cdot \sum_1^{n_t} (1-d \cdot (n_t - 1))} \quad (5)$$

Gdje je C_i instalisana cijena FN elektrane, C_m su godišnji troškovi održavanja elektrane, d je godišnja degradacija FN panela, i je kamatna stopa, n_t je životni vijek elektrane.

U Tabeli 1 prikazane su usvojene vrijednosti za navedene parametre.

Tabela 1. Ulazni tehno-ekonomski podaci za proračun LCOE.

Parametar	Vrijednost
C_i [€kW _p]	800
d (%)	1
n_t [god]	25
C_m [€kW _p /god]	10
i [%]	5

III ANALIZA REZULTATA I DISKUSIJA

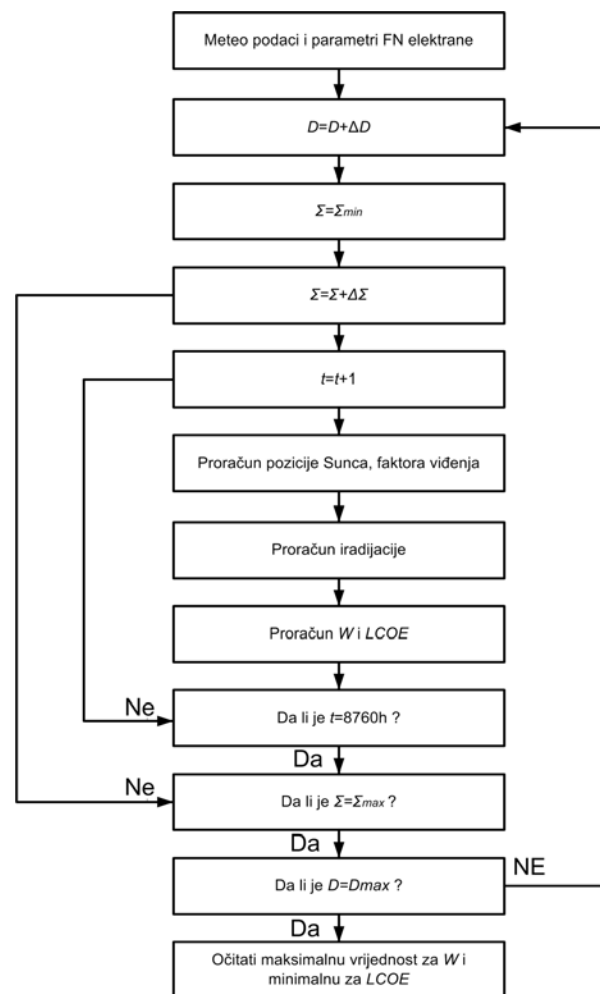
Cilj ovoga rada je da da odgovor na pitanje koliko se razlikuje proizvodnja električne energije, odnosno troškovi proizvodnje električne energije ukoliko teren nije ravan već nagnut prema određenoj strani svijeta. Pored toga, u radu su predstavljeni rezultati optimizacije glavnih parametara FN elektrane (nagibnog ugla FN redova i rastojanja između FN redova) na terenu nagnutom u odnosu na horizontalalu sa ciljem minimizacije nivelisanih troškova proizvodnje električne energije. Za ulazne meteo podatke korišćeni su relani podaci koji se odnose na lokaciju u blizini Kladova. U Tabeli 2 prikazani su najvažniji meteo podaci.

Pomoću opisane procedure u poglavlju 2, moguće je procijeniti godišnju proizvodnju električne energije koja se može dobiti iz FN elektrane proizvoljne veličine postavljene na terenu proizvoljnog nagiba. U radu je primjenjen prost algoritam koji omogućava određivanje optimalnog dizajna elektrane sa ciljem minimizacije nivelisanih troškova proizvodnje. Prilikom određivanja optimalnog dizajna elektrane postoji veći broj mogućih promenljivih kao što su rastojanje između FN redova, nagib FN redova, visina FN redova, broj FN redova, broj invertora, konfiguracija električnih veza FN modula i slično. Imajući u vidu obimne rezultate istraživanja u literaturi [6], prepoznato je da su glavne promenljive koje utiču na tehno-ekonomske indikatore: rastojanje između FN redova i nagib FN redova.

Tabela 2. Prosječne mjesečne vrijednosti za difuzionu, direktnu, horizontalnu insolaciju i temperaturu.

Mjesec	Ukupna horizontalna insolacija [kWh/m ² /dan]	Srednja mjesečna temperatura [°C]
Januar	1,26	1,70
Februar	1,78	1,79
Mart	3,13	5,64
April	5,37	10,65
Maj	6,03	17,06
Jun	6,82	19,93
Jul	7,36	23,42
Avugust	5,57	22,41
Septembar	3,91	18,63
Oktobar	2,16	10,72
Novembar	1,90	8,52
Decembar	1,55	4,82

Pošto rešenje optimizacionog zadatka zavisi od dvije upravljačke promenljive (rastojanja između FN redova i nagiba FN redova) u ovom radu je predstavljen algoritam koji se zasniva na pretrazi optimalne vrijednosti za upravljačke promenljive. Na slici je dat prikaz blok dijagrama algoritma.

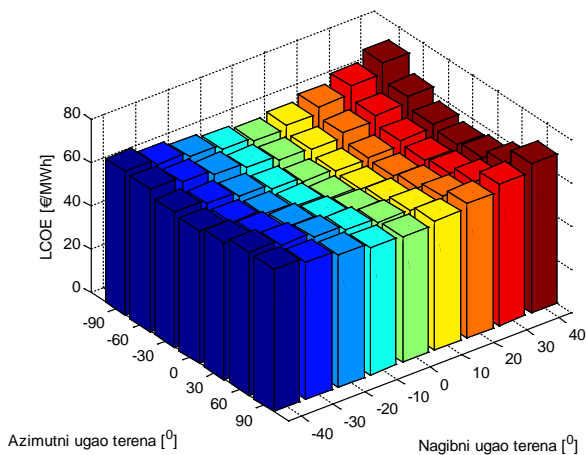


Slika 2. Optimizacioni algoritam zasnovan na klasičnom pretraživanju.

Primjenjeni algoritam garantuje određivanje optimalnog rešenja. Važno je napomenuti da je predloženi algoritam spor, ali imajući u vidu da se radi o planerskom problemu brzina izvršavanja nije toliko ograničavajuća za praktičnu primjenu predloženog algoritma.

Uticaj nagiba terena na moguću godišnju proizvodnju FN elektrane analizirana je u širokom opsegu vrijednosti od -40° do 40° sa korakom od 10° . Azimutni ugao terena na koji se instaliraju FN modul je variran od istoka preko juga do zapada sa korakom od 15° .

Na osnovu predložene metodologije, realnih mjernih podataka za mjesto Kladovo, u širokom opsegu vrijednosti upravljačkih promenljivih i nagibnog ugla terena, izračunate su optimalne vrijednosti LCOE. Dakle, za određeni nagib terena i orijentaciju terena, primjenom algoritma prikazanog na slici 2, određen je broj FN redova, rastojanje između FN redova što dalje znači da je određena i instalisana snaga elektrane. Koristeći predloženi model iradijacije, moguće je na osnovu sračunatih podataka izračunati i godišnju proizvodnju i na kraju LCOE. Na slici 3 prikazane su vrijednosti za LCOE za različite nagibe terena i orijentaciju terena.



Slika 3. Vrijednosti za LCOE u zavisnosti od azimutnog i nagibnog ugla terena.

Sa slike 3 se uočava da zavisnost LCOE od nagibnog ugla terena je sledeća: ako je teren blago nagnut prema jugu (ugao 10°) tada je LCOE najmanji. U konkretnom primjeru, najmanja vrijednost LCOE od 52.147 €/MWh se postiže pri nagibnom uglu terena od 10° i azimutnom uglu od 0° (jug). Pomenuta najmanja vrijednost LCOE, za teren dimenzija 200 m x 200 m, se dobija ukoliko je FN elektrana instalisane snage 3.48 MWp, rastojanje između FN redova 7 m, nagibni ugao FN redova je 20° .

Kod solarne elektrane postavljena na ravnom terenu (nagibni ugao terena 0°) LCOE iznosi 53.139 €/MWh. Dakle, povećanje LCOE solarne elektrane postavljene na ravnom terenu u odnosu na scenario kada je najmanji LCOE iznosi oko 1.9%. Najnepovoljnija varijanta, za analizirane podatke, se dobija kada je FN elektrana postavljena na terenu sa nagibnom uglom od -40° i orijentacijom FN modula prema istoku i tada LCOE iznosi 70.747 €/MWh. Imajući u vidu da je u praksi najpovoljnija varijanta da je FN elektrane orijentisana ka jugu, u ovome radu

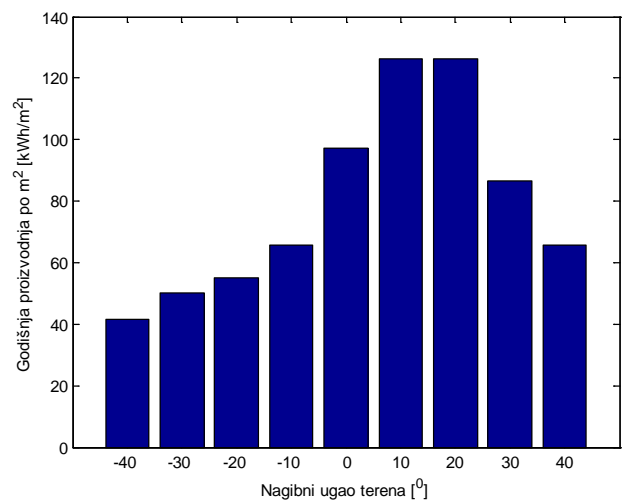
su date tipične tehno-ekonomske karakteristike FN elektrana koje bi bile postavljene na terenu sa različitim nagibnim uglovima. Za analizirani opseg nagibnog ugla terena, odabrane su optimalne varijante FN elektrana prema kriterijumu minimizacije LCOE i njihove karakteristike su prikazane u Tabeli 3.

Tabela 3. Prikaz tehnički i ekonomskih parametra za južno orijentisane panele pri različitom nagibu terena.

Σ_i [°]	LCOE [€/MWh]	P [MW]	W [MWh]	broj FN redova	Σ [°]	D [m]
-40	61.139	1.32	1744.3	11	70	19
-30	59.418	1.56	2093.8	13	60	16
-20	57.553	1.56	2152.9	13	50	15
-10	55.459	1.80	2555.8	15	40	13
0	53.139	2.64	3848.5	22	30	9
10	52.147	3.48	5125.8	29	20	7
20	52.301	3.48	5120.2	29	20	7
30	53.969	2.40	3457.2	20	10	10
40	55.395	1.80	2558.8	15	0	13

Iz tabele 3 se može se zaključiti da u slučaju da je nagibni ugao terena 10° ili 20° tada je rastojanje između FN redova smanjeno, pa je moguće postaviti i više FN redova, što znači da je snaga FN elektrane veća. Navedeno implicira da je na ovakvom terenu moguće dobiti značajno veću proizvodnju iz FN elektrane u odnosu na slučaj kada je teren ravna horizontalna podloga. Nadalje, pokazano je da kada je nagib terena veći od 20° tada, zbog uticaja sjenke, optimalno rešenje za FN elektranu podrazumijeva da su FN redovi međusobno razmaknuti više u odnosu da je FN elektrana postavljena na ravnom terenu. Nagibni ugao FN redova je manji u odnosu na FN elektranu postavljenom na ravnom iz istog razloga.

Ukoliko je nagibni ugao terena negativan (teren nagnut prema sjeveru) tada važi sledeće pravilo: što je manji nagibni ugao terena, to je nagibni ugao FN redova veći. Ovo znači da što je manji nagibni ugao terena, rastojanje između FN redova se povećava zbog smanjenja uticaja sjenke.



Slika 4. Godišnja proizvodnja FN elektrane po m^2 zauzete zemlje orijentisane ka jugu na terenu sa različitim nagibnim uglom u odnosu na horizontalnu površinu.

Na kraju, iz tabele 3 se može zaključiti još jedna pravilnost a to je da optimalno rešenje FN elektrane koje podrazumijeva minimizaciju LCOE ima karakteristika da zbir nagibnog ugla terena i nagibnog ugla FN redova teži da bude oko 30°. Drugim riječima zbir nagibnog ugla terena i nagibnog ugla FN redova je jednak nagibnom uglu FN redova ukoliko je FN elektrana postavljena na ravnom terenu.

Bitno je istaći da dnevni dijagram proizvodnje FN elektrana, analiziranih za različite nagibne uglove terena se ne razlikuje bitno po obliku, što se ne može reći za moguću godišnju proizvodnju FN elektrane. Na slici 4 prikazana je moguća godišnja proizvodnja po m² zauzete zemlje za analizirani scenario.

Kao što slika 4 pokazuje može se uočiti da kada je nagibni ugao teren 10° i 20° dobija se značajno veća proizvodnja po m² terena u odnosu na sva ostala varijantna rešenja. Na primjer, elektrana optimalne snage na terenu koji je nagnut 10° prema jugu bi proizvela za oko 33% više energije po jedinici površine u odnosu na elektranu optimalne snage postavljenu na ravnom terenu. Takođe, može se uočiti da u slučaju da kada teren nije nagnut prema jugu, proizvodnja takve elektrane je značajno manja u odnosu na elektranu koja bi bila postavljena na ravnom terenu. Ukoliko je teren nagnut 40° prema sjeveru (nagibni ugao terena je -40°) elektrane optimalne snage bi proizvela oko 220% manje po jedinici površine u odnosu na elektranu optimalne koja bi bila instalirana na ravnom terenu.

IV ZAKLJUČAK

Predmet rada je razvoj metodologije i komparativna analiza ukoliko FN elektrana nije postavljena na ravnom terenu već na terenu koji je nagnut u odnosu na horizontalu. Ovakav teren koji može biti nagnut prema proizvoljnoj strani svijeta i pod proizvoljnim nagibnim uglom često može biti, zbog tipa zemljišta interesantan za gradnju FN elektrane. Metodologija za proračun insolacije koja pada na FN panele postavljene na nagnutom terenu je razvijena u ovom radu. Bitno je istaći da predložena metodologija za proračun insolacije koja pada na FN panele ne zahtijeva ni jedan dodatni meteo podatak u odnosu na metodologiju za proračun insolacije koja pada na FN panele postavljene na ravnom terenu. Koristeći predloženu metodologiju za insolaciju, u radu je dat postupak za proračun optimalne snage FN elektrane na terenu koji je proizvoljno orijentisan. Pokazano je da, za konkretne meteo podatke, najmanji LCOE se postiže ako je FN elektrana postavljena na terenu koji je nagnut prema jugu za 10°. Značajno veće vrijednosti za LCOE, kao i značajno manja godišnja proizvodnja, se dobijaju ako je FN elektrana postavljena na terenu koji je nagnut prema sjeveru.

LITERATURA

- [1] Durković, V., Đurišić, Ž. Analysis of the Potential for Use of Floating PV Power Plant on the Skadar Lake for Electricity Supply of Aluminium Plant in Montenegro, *Energies*, Vol. 10, No. 10, pp. 1505, 2017. <https://doi.org/10.3390/en10101505>
- [2] Sahu, A., Yadav, N., Sudhakar, K. Floating photovoltaic power plant: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 66, pp. 815–824, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>
- [3] Xie, M., Jia, T., Dai, Y. Hybrid photovoltaic/solar chimney power plant combined with agriculture: The transformation of a decommissioned coal-fired power plant. *Renewable Energy*, Vol 191, pp. 1-16, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.148>
- [4] Budin, L., Grdenić, G., Delimar, M. A quadratically constrained optimization problem for determining the optimal nominal power of a PV system in Net-metering model: a case study for Croatia, *Energies*, Vol. 14, No. 6, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14061746>
- [5] Appelbaum, J. Bifacial photovoltaic panels field, *Renewable Energy*, Vol. 85, pp. 338–343, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.050>
- [6] Durković, V., Đurišić, Ž. Extended model for irradiation suitable for large bifacial PV power plants, *Solar Energy*, Vol. 191, pp. 272-290, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.064>
- [7] Durković, V., Đurišić, Ž. Efficiency increase analysis of large RFPV power plants using reflectors between PV rows, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 12, No. 6, pp. 063703, 2020 <https://doi.org/10.1063/5.0020233>
- [8] Stefanović, A. Vertikalne fasade solitera kao lokacije za instalaciju fotonaponskih panela, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 2, pp. 6-12, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.06S>
- [9] Škrbić, B., Đurišić, Ž. Komparativna analiza tehničkih, ekonomskih i ekoloških pokazatelja različitih modela prozjuma sa fotonaponskim panelima na primeru zgrade Tehničkih fakulteta u Beogradu, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 4, pp. 8-15, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-4.08S>
- [10] Batić, I., Đurišić, Ž. Analiza kapaciteta i uslova izgradnje fotonaponskih sistema na krovovima školskih objekata u Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, No.1-2, pp. 21-28, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEE20-1-2.021B>
- [11] Krstić, N., Klimenta, D., Tasić, D., Radosavljević, D. Određivanje optimalnih nagibnih uglova fotonaponskih panela uz uvažavanje smanjenja direktne komponente iradijacije usled efekata senki u fotonaponskim sistemima, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp. 45-53, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.45K>
- [12] Mikulović, J., Đurišić, Ž. *Solarna energetika*. Akademska misao, Beograd, 2020.
- [13] Swaid, S., Appelbaum, J., Aronescu, A. Shading and Masking of PV Collectors on Horizontal and Sloped Planes Facing South and North - A Comparative Study, *Energies*, Vol. 14, No. 13, pp. 3850, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14133850>.
- [14] Mikulović, J., Đurišić, Ž. Models for the Calculation of Diffuse Radiation on Solar Collectors, *International Journal of Electrical Engineering and Computing*, Vol. 4, No. 1, 2020. <https://doi.org/10.7251/IJEEC2001010M>

AUTORI/AUTHORS

dr Vladan Durković, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, vladan.d@ucg.ac.me, durkovicvladan@gmail.com, ORCID [0000-0003-3132-852X](https://orcid.org/0000-0003-3132-852X)

dr Željko Đurišić - vanredni profesor, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, djurisic@etf.rs, ORCID [0000-0003-2048-0606](https://orcid.org/0000-0003-2048-0606)