

Simulacija proizvodnje električne energije iz fotonaponskih panela korišćenjem solarnih sistema za praćenje

Simulation of Photovoltaic Panels Electricity Generation Using Solar Tracking Systems

Andreja Stefanović

Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, Leposavić

Rezime - Krovovi i zidovi zgrada predstavljaju značajnu lokaciju za instalaciju fotonaponskih sistema u urbanim sredinama. Soliteri, sa specifičnim prostornim oblikom, pružaju mogućnost instalacije ovih sistema i na krovu i na spoljašnjim zidovima. Jedan od mogućih načina povećanja efikasnosti solarnih sistema je korišćenje solarnih sistema za praćenje koji maksimizuju proizvodnju električne energije. U ovom radu je izvršena simulacija proizvodnje električne energije fotonaponskih sistema postavljenih na krovu i zidovima solitera u gradu Kragujevcu u Srbiji, uz korišćenje fiksne instalacije i instalacija koje koriste jednoosni i dvoosni sistem za praćenje Sunca. Simulacija je izvedena u programu EnergyPlus. Rezultati pokazuju da je korišćenjem solarnih sistema za praćenje moguće ostvariti značajna povećanja proizvedene električne energije, naročito korišćenjem dvoosnog sistema kod solarnih sistema nepovoljne orijentacije.

Cljučne reči - fotonaponski paneli, solarni sistem za praćenje, simulacija, EnergyPlus

Abstract - Roofs and walls of buildings represent an important location for the installation of photovoltaic systems in urban areas. High-rise buildings, with a specific spatial shape, provide the possibility of installing these systems both on the roof and on the exterior walls. Possible way to increase the efficiency of solar systems is to use solar tracking systems which maximize electricity production. In this paper, a simulation of photovoltaic systems installed on the roof and walls of a high-rise building in the city of Kragujevac, Serbia was performed, using fixed installation and installations with single and dual axis systems for solar tracking. The simulation was performed in the EnergyPlus software. The results show that usage of solar tracking systems increases electricity production, especially dual axis system for solar systems with an unfavourable orientation.

Index Terms - Photovoltaic panels, Solar tracking system, Simulation, EnergyPlus

I UVOD

Pronalaženje dovoljnih izvora čiste energije biće jedan od najznačajnijih izazova društva u budućnosti. Zato proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije

danas postaje sve konkurentnija energiji proizvedenoj iz drugih izvora. Pored svoje neiscrpnosti, obnovljivi izvori energije nemaju štetan uticaj na životnu sredinu i njihovo korišćenje utiče na globalno smanjenje emisije ugljen-dioksida i drugih gasova sa efektom staklene bašte.

Među svim obnovljivim izvorima energije, solarna energija je jedan od najzastupljenijih izvora energije. Oko $1,2 \cdot 10^3$ TW Sunčevog zračenja stiže do površine Zemlje [1]. Sunčevo zračenje ima najveći potencijal za zelene i čiste tehnologije jer je čist, besplatan i neiscrpan izvor energije [2].

Sunce zrači energiju u obliku elektromagnetnih talasa i količina elektromagnetnog zračenja koja dospeva do Zemlje naziva se Sunčevo zračenje. Solarna elektromagnetna energija koja prođe kroz atmosferu, normalno na jedinicu površine u jedinici vremena, naziva se Solarna konstanta i iznosi oko 1367 W/m^2 [3].

Direktno pretvaranje Sunčeve svetlosti u električnu energiju ostvaruje se preko fotonaponskih solarnih ćelija, uz upotrebu poluprovodnika. Industrija fotonaponskih panela je doživela brži razvoj od bilo koje druge industrije u oblasti obnovljive energije i sada je ekonomski konkurentna tehnologija [4].

Trenutno je u nekim zemljama isplativije proizvoditi energiju koristeći fotonaponsku tehnologiju i tehnologiju vetra nego iz novih elektrana na uglj. Međutim, ove vrste čistih tehnologija nastavljaju da se suočavaju sa izazovima kao što je nastavak ulaganja u fosilnu energiju, uprkos očiglednoj šteti po životnu sredinu usled emisije gasova sa efektom staklene bašte.

Zbog toga je neophodno nastaviti sa inovacijama kako bi se poboljšale globalne performanse solarne tehnologije. Generalno, postoje dva načina za poboljšanje performansi fotonaponske tehnologije. Jedan je upotreba novih materijala i poboljšanje postojećih materijala za proizvodnju fotonaponskih modula. Drugi je korišćenje uređaja za orijentaciju solarnog fotonaponskog modula prema Suncu. Da bi se postigla najveća efikasnost konverzije, Sunčeva svetlost mora da pada pod pravim uglom na površinu modula.

U ovom radu je izvršena simulacija proizvodnje električne energije fotonaponskih sistema postavljenih na krovu i zidovima solitera u gradu Kragujevcu u Srbiji, uz korišćenje fiksne

instalacije i instalacija koje koriste jednoosni i dvoosni sistem za praćenje Sunca. Simulacija je izvedena u programu EnergyPlus, koji se koristi za različite energetske simulacije u zgradama [5, 6, 7].

II SOLARNI SISTEM ZA PRAĆENJE

Jedan od načina optimalnog iskorišćenja Sunčeve energije u solarnim sistemima je pozicioniranje solarnih panela tako da se prikupi maksimalna moguća energija, što je moguće korišćenjem solarnih sistema za praćenje koji mogu pratiti položaj Sunca tokom godine i doba dana [8].

Da bi se prikupila Sunčeva energija na Zemlji, važno je znati ugao između Sunčevih zraka i površine panela. Kada Sunčevi zraci nisu usmereni pod pravim uglom u odnosu na panel, gubi se deo energije koja bi se mogla prikupiti.

Položaj Sunca iznad posmatrane lokacije zavisi od njene geografske širine, dana u godini i vremenskog trenutka u datom danu.

Solarni sistem za praćenje je uređaj koji na posmatranoj lokaciji na Zemlji obezbeđuje orijentisanje aktivne površine panela u odnosu na relativni položaj Sunca na nebu i maksimizira ukupnu izlaznu snagu sistema održavajući panele tako da Sunčevi zraci padaju na njih pod pravim uglom, tokom maksimalnog broja sati dnevno.

Solarni sistem za praćenje ne zahteva naročitu preciznost. I kada su paneli nagnuti za 5° u odnosu na normalu prema Suncu, njihova izlazna snaga 0,5% je manja od maksimalne snage koja bi se dobila kada su Sunčevi zraci pod pravim uglom usmereni na solarni panel [9].

Prema stepenu slobode, odnosno broju nezavisnih kretanja koje paneli mogu da vrše, solarni sistemi za praćenje se dele na jednoosne i dvoosne sisteme. Jednoosni solarni sistemi za praćenje uključuju jednu osu oko koje se vrši rotacija, kako bi se pozicionirali u odnosu na Sunce u željenoj orijentaciji za maksimalno prikupljanje Sunčeve energije. Osa oko koje se vrši rotacija je najčešće horizontalna ili vertikalna. Dvoosni solarni sistemi za praćenje imaju dva stepena slobode, odnosno dve ose rotacije panela, koje su obično normalne jedna na drugu. Ovaj sistem zahteva složeniji sistem kontrole, ali je efikasniji od sistema sa jednom osom.

Prema korišćenom sistemu pogona solarni sistemi za praćenje dele se na pasivne i aktivne sisteme. Pasivni solarni sistem za praćenje ne uključuje mehanički pogon za orijentaciju panela prema Sunčevom zračenju. Umesto toga, koristi komprimovani gas ili fluid kao aktuator koji po prijemu neuravnoteženog osvetljenja, vrše ugaono pomeranje panela. Aktivni solarni sistemi za praćenje koriste električne, hidraulične ili pneumatske pogone i mehaničke prenosnike koji orijentišu panele normalno u odnosu na Sunčevo zračenje. Ovi sistemi su tačniji i efikasniji od pasivnih, ali sa druge strane je potrebno njihovo napajanje pošto troše energiju [10].

Prema načinu praćenja putanje Sunca solarni sistemi za praćenje mogu biti hronološki, sistemi koji koriste optičke senzore i hibridni. Hronološki sistemi koriste unapred definisane dijagrame putanje Sunca koji mapiraju putanju Sunca preko

neba. Oni pokazuju položaj Sunca u odnosu na lokaciju solarnog sistema za praćenje, tokom dana i godine. Sistemi koji koriste optičke senzore pomoću fotootpornika određuju intenzitet Sunčevog zračenja i šalju signal kontrolnoj jedinici koja pokreće fotonaponske panele. Hibridni sistemi rade po unapred definisanom algoritmu ali mogu da vrše proveru putanje Sunca korišćenjem senzora.

Osnovni elementi solarnog sistema za praćenje su sledeći [11]:

- algoritam za praćenje Sunca,
- kontrolna jedinica koja izvršava algoritam za praćenje Sunca i koordinira kretanje sistema za pozicioniranje,
- sistem pozicioniranja koji pomera panel tako da bude okrenut prema Suncu pod optimalnim uglovima. Sistemi za pozicioniranje mogu biti električni, hidraulički i pneumatski,
- pogonski prenosni mehanički mehanizam,
- senzorski uređaji.

III PREDMET PROUČAVANJA

U radu je izvršena simulacija generisanja električne energije iz fotonaponskih panela postavljenih na krov i suprotno orijentisane spoljašnje zidove solitera u gradu Kragujevcu u Srbiji. Soliter je izabran kao objekat na kome se solarni fotonaponski sistemi mogu postaviti i na ravnom krovu i delimično na spoljašnjim zidovima. Na ovaj način moguće je izučavati potencijal solarnih sistema postavljenih i na horizontalnim i na vertikalnim površinama modeliranjem samo jedne zgrade.



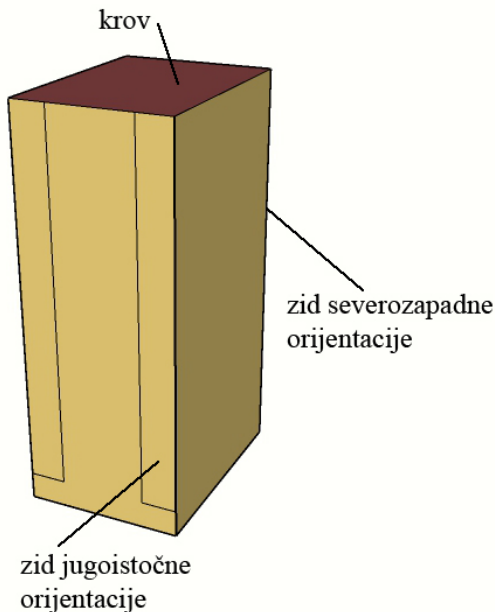
Slika 1. Soliter koji je predmet proučavanja

Krov solitera ima površinu $422,4 \text{ m}^2$ i pretpostavljeno da je ceo dostupan za postavljanje panela, odnosno da je u potpunosti ravan.

Spoljašnjost izučavanog solitera je takva da su dve suprotne fasade gotovo potpuno pokriveno prozorima, dok se ostale dve

sastoje od po dve slobodne površine razdvojene jednom kolonom prozora. Delovi spoljašnjih zidova koji su pogodni za postavljenje panela su orijentisani u pravcu jugoistok i severozapad i njihova površina iznosi 168 m² sa svake strane zgrade.

Solarni potencijal ovog solitera je procenjen u ranijem istraživanju [12], ali je tada uzet u obzir samo fiksni sistem fotonaponskih panela instaliran na spoljašnjim zidovima.



Slika 2. Površine solitera na kojima su instalirani solarni fotonaponski sistemi

IV MODELIRANJE SOLITERA I SIMULACIJA GENERISANE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ FOTONAPONSKIH SISTEMA

Za modeliranje solitera korišćen je program Sketchup (zajedno sa plug-in programom Legacy OpenStudio) koji predstavlja grafički editor za fajlove koji su ulazni podaci za simulacije u programu EnergyPlus. U programu Sketchup ucrtana je geometrija zgrade i izvršeno je pozicioniranje zgrade na realne koordinate u prostoru. Soliter je predstavljen njegovim konstrukcionim omotačem, uz izdvajanje površina na fasadama koje su pogodne za instalaciju fotonaponskih panela.

Simulacija je sprovedena za period cele godine i koristi fajl klimatskih podataka za grad Kragujevac koji je dobijen korišćenjem programa Meteonorm [13].

Model fotonaponskog panela na osnovu čijih dimenzija i nominalne izlazne snage su izračunati broj instaliranih panela i ukupna snaga solarnog sistema je Exe Solar A-EXP285/156-60, kao model koji je dostupan u prodaji u Srbiji. Korišćene karakteristike ovog panela su: nominalna izlazna snaga: 285 W, dužina: 1640 mm i širina: 991 mm [14].

Na osnovu raspoloživog prostora, uz uzimanje u obzir mogućnost zasenčenja koje paneli mogu stvarati na susjednim panelima sistema [15], na krovu je moguće postaviti 120 (12x10) fotonaponskih panela sa izlaznom snagom sistema od 34,2 kW,

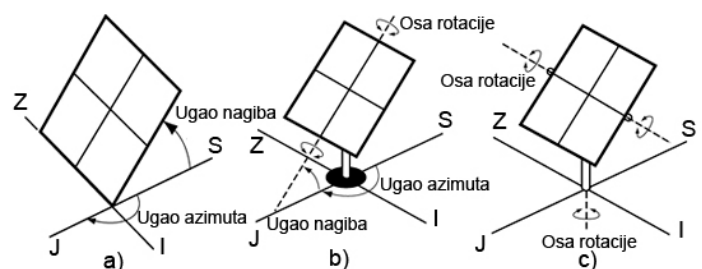
dok je na spoljašnjim zidovima na jugoistočnoj i severozapadnoj strani moguće ugraditi po 57 (3x19) panela sa ukupnom izlaznom snagom od 16,24 kW.

Fotonaponski paneli na krovu su okrenuti ka jugu, sa optimalnim uglom nagiba panela od 35° za područje Srbije, preuzetim sa sajta PV-GIS [16]. Paneli na spoljašnjim zidovima su pričvršćeni za zidove i njihove površine i orijentacija su definisani površinom spoljašnjih zidova.

Simulacija proizvedene električne energije iz fotonaponskih panela izvršena je u softveru EnergyPlus. Tačnost programa je opsežno potvrđena [17, 18] i pokazao se kao jedan od najpodobnijih alata u oblasti simulacije energije u zgradama, u istraživanju koje su sprovedla grupa autora [19], gde su upoređivane sposobnosti velikog broja simulacionih programa. Ovaj alat se koristi u širokom spektru istraživanja i u fazi je aktivnog razvoja, što znači da je svaka nova verzija programa funkcionalnija i poboljšana.

Opcija „PVWatts“ je iskorišćena kao model za predviđanje proizvodnje električne energije iz fotonaponskih panela. Objekat „Generator:PVWatts“ koristi web aplikaciju [20] i modul u NREL-ovom (National Renewable Energy Laboratory) softveru Sistem Advisor Model (SAM) koji procenjuje proizvodnju električne energije fotonaponskog sistema na osnovu nekoliko jednostavnih ulaza, kao što su lokacija sistema, tip fotonaponskih modula, vrsta sistema za praćenje, sistemski gubici i ugao nagiba i azimuta. Ovaj modul je izabran zato što poseduje mogućnost simulacije jednoosnog i dvoosnog solarnog sistema za praćenje. U polju Field: Array Type korisnik može izabrati jednu od sledećih opcija:

- FixedRoofMounted – koristi se za tipične nepokretne fotonaponske panele montirane na krovu,
- OneAxis – ugao nagiba i ugao azimuta su fiksni, paneli mogu rotirati oko ose, kao što je prikazano na Slici 3,
- TwoAxis – ugao nagiba i ugao azimuta prate Sunce.



Slika 3. Tipovi fotonaponskih panela u modulu PVWatts: a) fiksni, b) jednoosni i c) dvoosni

Ugao nagiba je ugao između horizontale i ravni fotonaponskog panela. Za fiksni panel, ugao nagiba je 0° za horizontalno, a 90° za vertikalno postavljen panel. Za panele sa jednoosnim praćenjem, ugao nagiba je ugao između horizontale i ose rotacije panela. Ugao nagiba se ne primenjuje na panele sa sistemom za praćenje dve ose (Slika 3).

Za fiksni panel ugao azimuta je ugao meren u smeru kretanja kazaljke na satu između pravca severa i normale na ravan panela. Ovo znači da je fiksni panel sa uglom azimuta od 180° okrenut

prema jugu, dok je za ugao azimuta od 0° okrenut prema severu. Za panel sa praćenjem po jednoj osi, ugao azimuta je ugao meren u smeru kretanja kazaljke na satu između pravca severa i ose rotacije. Ugao azimuta se ne primenjuje na panele sa sistemom za praćenje dve ose (Slika 3).

V REZULTATI I DISKUSIJA

Simulacija generisanja električne energije iz fotonaponskih panela je sprovedena za solarne sisteme na tri površine zgrade (krov, deo spoljašnjeg zida orijentisan ka jugoistoku i deo spoljašnjeg zida orijentisan ka severozapadu), za fiksni solarni sistem i za dva tipa sistema solarnog praćenja (jednoosno praćenje i dvoosno praćenje). Ukupna godišnja generisana električna energija za svaki od devet slučajeva prikazana je u Tabeli 1.

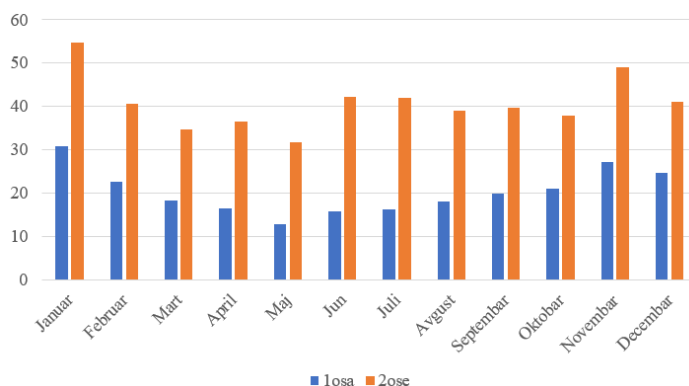
Tabela 1. Godišnja generisana električna energija na soliteru koji je predmet proučavanja

Površina solitera	Godišnja generisana električna energija [kWh]		
	Fiksni solarni sistem	Jednoosni solarni sistem za praćenje	Dvoosni solarni sistem za praćenje
Krov (120 panela)	36.846,54	43.763,37	51.493,69
Spoljašnji zid usmeren ka jugoistoku (57 panela)	12.484,50	14.260,69	20.302,22
Spoljašnji zid usmeren ka severozapadu (57 panela)	7.015,92	7.992,05	14.194,54

Rezultati pokazuju da je solarnim sistemom za praćenje moguće u najčešće primenjivanim solarnim sistemima koji se instaliraju na krovu povećati efikasnost za 19% za jednosne i 40% za dvoosne sisteme, u odnosu na fiksni solarni sistem. Ovo je značajno povećanje pošto se fiksni fotonaponski paneli na krovovima najčešće postavljaju sa takvim uglovima azimuta i nagiba da maksimalno iskoriste energiju Sunca.

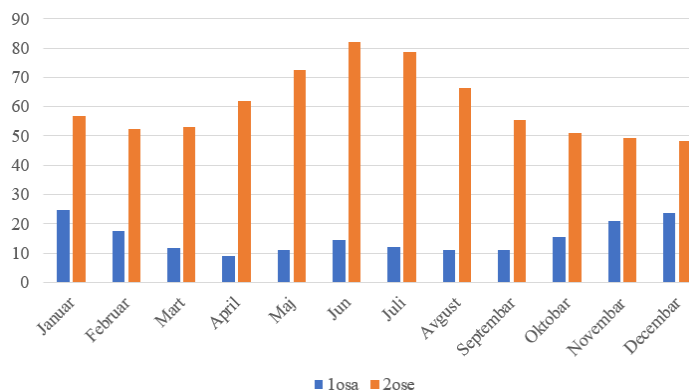
Pošto je u proučavanom slučaju ugao azimuta i nagiba fotonaponskih panela definisan površinom spoljašnjeg zida na kome se nalaze, primena jednoosnog sistema generiše samo 14% više električne energije u obe orijentacije, u odnosu na fiksni solarni sistem. Ali zato, ovi sistemi pri korišćenju dvoosnog solarnog sistema za praćenje generišu na jugoistočnoj 63% a na severozapadnoj čak 102% više električne energije u odnosu na fiksni solarni sistem.

Na Slici 4 prikazano je mesečno procentualno povećanje proizvodnje električne energije fotonaponskog sistema na krovu solitera, za slučajeve sistema sa jednoosnim i dvoosnim solarnim praćenjem, u odnosu na fiksni solarni sistem. Najveće povećanje efikasnosti sistema je u januaru kada je generisana električna energija veća za 31% za jednoosni sistem a 55% za dvoosni sistem praćenja.



Slika 4. Mesečno procentualno povećanje generisane električne energije iz fotonaponskog sistema na krovu

Na Slici 5 prikazano je mesečno procentualno povećanje proizvodnje električne energije fotonaponskog sistema na jugoistočnom spoljašnjem zidu solitera, za slučajeve sistema sa jednoosnim i dvoosnim solarnim praćenjem, u odnosu na fiksni solarni sistem. Najveće povećanje efikasnosti sistema je u januaru za jednoosni sistem kada je generisana električna energija veća za 25% i u junu za dvoosni sistem kada je generisana električna energija veća za 82%.



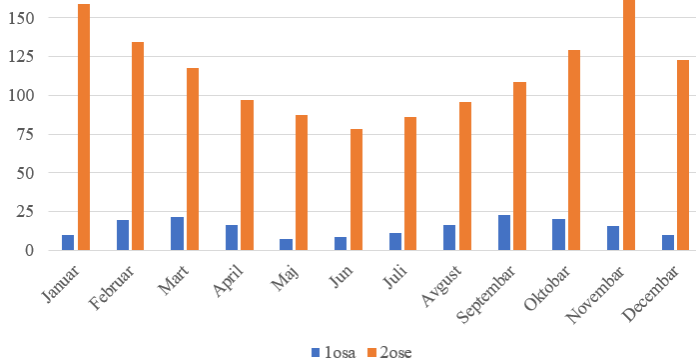
Slika 5. Mesečno procentualno povećanje generisane električne energije iz fotonaponskog sistema na jugoistočnom spoljašnjem zidu

Na Slici 6 prikazano je mesečno procentualno povećanje proizvodnje električne energije fotonaponskog sistema na severozapadnom spoljašnjem zidu solitera, za slučajeve sistema sa jednoosnim i dvoosnim solarnim praćenjem, u odnosu na fiksni solarni sistem. Najveće povećanje efikasnosti sistema je u septembru za jednoosni sistem kada je generisanje električne energije veće za 23% i u novembru za dvoosni sistem kada je generisanje električne energije veće za 162%.

Sa Slika 4, 5 i 6 se može primetiti da je razlika između povećanja proizvodnje električne energije korišćenjem jednoosnog i dvoosnog sistema, u odnosu na fiksni solarni sistem, najmanje izražena kod solarnog sistema na krovu, u odnosu na sisteme na jugoistočnom i naročito severozapadnom zidu.

Najveći mesečni porast proizvodnje električne energije zavisi i od orijentacije fotonaponskih panela u slučaju fiksnih sistema. Tako se za solarni sistem na krovu najviše povećanje

proizvodnje javlja u zimskim mesecima i za jednoosni i za dvoosni sistem praćenja. Za solarni sistem na jugoistočnom zidu najveće povećanje proizvodnje je u zimskim mesecima za jednoosni i letnjim za dvoosni sistem praćenja. Za solarni sistem na severozapadnom zidu najveće povećanje proizvodnje je u martu i septembru za jednoosni i u zimskim mesecima za dvoosni sistem praćenja.



Slika 6. Mesečno procentualno povećanje generisane električne energije iz fotonaponskog sistema na severozapadnom spoljašnjem zidu

VI ZAKLJUČAK

Energija iz fotonaponskih solarnih sistema je u mnogim zemljama postala ekonomski konkurentan način proizvodnje električne energije. Sledeći korak u primeni fotonaponskih sistema je povećanje njihove efikasnosti. Jedan od načina za to je primena solarnih sistema za praćenje. U ovom radu je simulirana proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sistema postavljenih na krovu i suprotno orijentisanim zidovima solitera u gradu Kragujevcu u Srbiji, za slučaj fiksnog sistema i jednoosnog i dvoosnog solarnog sistema za praćenje.

Upotreba solarnog Sistema za praćenje je za panele na krovu povećala proizvodnju 19%, odnosno 40%, za jednoosni, odnosno dvoosni sistem praćenja, u odnosu na fiksni solarni sistem. Za fotonaponske panele na jugoistočnom zidu povećanje je 14%, odnosno 63%, dok je na severozapadnom zidu povećanje proizvodnje električne energije 14%, odnosno 102%, za jednoosni, odnosno dvoosni sistem praćenja, u odnosu na fiksni solarni sistem.

Opšti zaključak je da korišćenje solarnih sistema za praćenje može značajno povećati proizvodnju električne energije iz fotonaponskih panela. Dodatni zaključak do koga se dolazi je da što je orijentacija fiksnog fotonaponskog sistema nepovoljnija, upotreba dvoosnih solarnih sistema za praćenje je efikasnija. Ovo se naročito odnosi na solarne sisteme koje su pored nepovoljne orijentacije ograničeni i prostorom na kome se nalaze, poput fasada zgrada.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Li, G., Shittu, S., Diallo, T.M.O., Yu, M., Zhao, X., Ji, J. A review of solar photovoltaic-thermoelectric hybrid system for electricity generation,

Energy, Vol. 158, pp. 41-58, 2018

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.021>

- [2] Paulo, A.F.d., Porto, G.S. Evolution of collaborative networks of solar energy applied technologies, Journal of Cleaner Production, Vol. 204, pp. 310-320, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.344>
- [3] Duffie, J.A., Beckman, W.A. *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.
- [4] González-Peña, D., García-Ruiz, I., Díez-Mediavilla, M., Dieste-Velasco, M.I., Alonso-Tristán, C. Photovoltaic prediction software: evaluation with real data from Northern Spain, Applied Sciences, Vol. 11, No. 11, pp. 5025, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11115025>
- [5] Nešović, A., Nikolić, D., Lukić, N. Energo koncept Yaodong podzemnih zgrada u XXI veku na teritoriji Srbije, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 25. No. 1, pp. 35-39, 2023. <https://doi.org/10.46793/EEE23-1.35N>
- [6] Stefanovic, A., Gordic, D. Modeling methodology of the heating energy consumption and the potential reductions due to thermal improvements of staggered block buildings, Energy and Buildings, Vol.125, 1. August 2016, pp. 244-253, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.058>
- [7] Stefanović, A., Bojić, M., Gordić, D. Achieving net zero energy cost house from old thermally non-insulated house using photovoltaic panels, Energy and Buildings, Vol.76, June 2014, pp. 57-63, 2014 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.057>
- [8] Đurović, M., Despotović, Ž. Predlog rešenja dvo-osnog mobilnog solarnog tragača sa mogućnošću akumuliranja energije, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 25. No. 2, pp. 36-43, <https://doi.org/10.46793/EEE23-2.36D>
- [9] Despotović Ž. Sistemi za dvoosno praćenje sunca-primena u solarnim i solarno termičkim sistemima, in Proc. *European Solar Days in Kula*, Kula, Serbia, 2017, 01-19. May 2017. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30413.44007>
- [10] Awasthi, A., Shukla, A.K., Manohar, M.S.R., Dondariya, C., Shukla, K.N., Porwal, D., Richhariya G. Review on sun tracking technology in solar PV system, Energy Reports, Vol 6, Novembar 2020 pp. 392-405, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.02.004>
- [11] Solar tracking application, A Rockwell automation White paper https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/oem-wp009_-en-p.pdf [pristupljeno 10.04.2023]
- [12] 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>
- [13] Meteororm Software, <https://meteororm.com/en/> [pristupljeno 02.02.2023]
- [14] EXP230-285_156-60 EU, <https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/38270> [pristupljeno 27.03.2023]
- [15] Kušić J., Đorđević A., Đurišić Ž. Uticaj zasenčenja na proizvodnju fotonaponskih panela, in Proc. *13th International Scientific-Professional Symposium on Information Technology INFOTEH-JAHORINA*, Vol. 13, pp. 299-303, 19-21. March 2014. <https://infoteh.etf.ues.rs.ba/zbornik/2014/radovi/ENS-4/ENS-4-5.pdf> [pristupljeno 31.03.2023]
- [16] Optimal tilt angles taken from the PV-GIS website, https://www.researchgate.net/figure/a-Optimal-tilt-angles-taken-from-the-PV-GIS-website_fig3_324899317 [pristupljeno 31.03.2023]
- [17] Henninger, R., Witte, M., Crawley, D. Analytical and comparative testing of EnergyPlus using IEA HV AC BESTEST E100-E200 test suite, Energy and Buildings, Vol. 36, No. 8, pp. 855-863, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.025>
- [18] US DOE, EnergyPlus: Testing and Validation, <https://energyplus.net/testing> [pristupljeno 02.02.2023]
- [19] Crawley, D.B., Hand, J.W., Kummert, M., Griffith, B.T. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, Building and Environment, Vol. 43, No. 4, pp. 661-673, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>
- [20] NREL's PVWatts@ Calculator, <https://pvwatts.nrel.gov/>, [pristupljeno 04.04.2023]

AUTORI/AUTHORS

dr Andreja Stefanović, Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, andreja2202@gmail.com, ORCID [0000-0003-3641-1074](https://orcid.org/0000-0003-3641-1074)