

Predikcija proizvodnje krovne fotonaponske elektrane softverskim alatom System Advisor Model (SAM) sa validacijom rezultata

Milan Ivezić*, Ivana Vlajić-Naumovska*, Aleksandra Grujić*, Neša Rašić*, Miloš Borak**

*Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Starine Novaka 24, Beograd

**Elektromeža Srbije A.D., Kneza Miloša 11, Beograd

Rezime - U radu je opisana mogućnost korišćenja softverskog alata System Advisor Model (SAM) u planiranju fotonaponske elektrane na krovu industrijskog objekta u Čačku. Konfiguracija elektrane je u znatnoj meri određena konfiguracijom krova i njegovim statičkim uslovima posebno kada je u pitanju orijentacija fotonaponskih modula i potreba za dodatnom potkonstrukcijom. Stoga su urađene simulacije rada elektrane pri uslovima optimalnim za proizvodnju električne energije i uslovima optimalnim sa stanovišta potrebe za dodatnim elementima koji obezbeđuju mehaničku sigurnost konstrukcije. Analizirano je smanjenje proizvedene električne energije u odnosu na optimalnu orijentaciju modula. Rezultati su verifikovani podacima o mesečnoj proizvodnji električne energije koje se imala nakon puštanja u rad elektrane.

KLjučne reči - System Advisor Model (SAM), krovna fotonaponska elektrana, predikcija proizvodnje, softverski alat

I UVOD

Fotonaponski sistemi su u poslednje vreme postigli nivo tehničkog razvoja da budu ozbiljna alternativa korišćenju fosilnih goriva u proizvodnji električne energije [1]. Takođe, opadanje cena fotonaponskih sistema u kombinaciji sa trendom sve većih problema obezbeđivanju fosilnih goriva kao jeftinog i pouzdanog izvora električne energije uslovalo je povećanje proizvedene električne energije iz fotonaponskih elektrana i vetroelektrana za 16% samo tokom 2023. godine [2]. Imajući u vidu i izmene zakonskog okvira u ovoj oblasti u Republici Srbiji, evidentan je sve veći broj potrošača koji bar deo električne energije dobiju iz sopstvenih elektrana [3].

Brojna istraživanja pokazuju da je u Republici Srbiji potrebno izvršiti veća ulaganja u sisteme koji koriste obnovljive izvore energije [4]. U poslednjoj deceniji, solarna energija je postala ključni deo globalne tranzicije ka održivim izvorima električne energije. Fotonaponski sistemi se sve češće primenjuju, kako na stambenim objektima, tako i u industrijskom sektoru. Ova tendencija posebno dolazi do izražaja u urbanim sredinama, gde se krovne površine mogu efikasno iskoristiti za postavljanje fotonaponskih elektrana.

Krovne površine stambenih objekata karakterišu različite orijentacije i nagibi, što direktno utiče na energetske i ekonomske performanse fotonaponskih sistema koji se na njima instaliraju. Postavljanjem fotonaponskih sistema na krovove stambenih zgrada omogućava se decentralizovana proizvodnja električne

energije u neposrednoj blizini mesta potrošnje, čime se smanjuju gubici u distributivnoj i prenosnoj mreži [5]. Ugradnja fotonaponskih panela kod krajnjih korisnika posebno doprinosi smanjenju gubitaka energije u niskonaponskoj mreži, jer dolazi do smanjenja prenosa električne energije kroz te vodove [6]. Kod industrijskih i privrednih objekata, najzastupljeniji vid sopstvenih elektrana su krovne fotonaponske elektrane, prvenstveno, zbog dostupnosti velikih ravnih površina i stabilne potrošnje električne energije tokom dana [3]. Da bi se pre izgradnje elektrane simulirao njen rad, a prvenstveno odredila buduća proizvodnja električne energije, u upotrebi je veliki broj softverskih alata različitih mogućnosti [7]. Među češće korišćenim softverima, pogotovo u naučne i istraživačke svrhe, je i System Advisor Model (SAM) [4,8].

II SOFTVERSKI ALAT SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM)

SAM je besplatan softverski alat koji je razvila Nacionalna laboratorija za obnovljive izvore Sjedinjenih američkih država (*National Renewable Energy Laboratory*, NREL) za predviđanje performansi i analizu finansijskih pokazatelja sistema sa izvorima obnovljive energije povezanim na elektroenergetsku mrežu. Da bi se analizirao projekat u tehničkom i ekonomskom smislu, potrebno je odabrati vrstu modela, odabrati ulazne podatke o resursu u odgovarajućem obliku, naznačiti karakteristike korišćene opreme i definisati cene instalacije, podsticajne mere, poreze i ostale finansijske troškove [9].

Za modelovanje fotonaponske elektrane ključni podatak o resursu sunčeve energije je dat u vidu datoteke sa meteorološkim podacima u nekom od formata TMY2, TMY3 ili EPW preuzetih sa nekog servisa ili sopstvenih podataka o merenju na satnom nivou [10].

SAM poseduje bazu sa predefinisanim opremom, a moguće je i modifikovati neko od generičkih modela da bi se u najboljoj meri naznačile karakteristike konkretnog uređaja koji će biti korišćen. Postoje tri pristupa u modelovanju rada fotonaponskih modula i dva pristupa u modelovanju rada invertora [10].

III OPIS KROVNE FOTONAPONSKE ELEKTRANE

Predmet analize u ovom radu je fotonaponska elektrana instalirana na ravnom krovu Naučno tehnološkog parka u Čačku postavljena na geografskoj širini 43,8800°N i dužini 20,3641°E. Sama lokacija je povoljna iz više razloga: u blizini nema visokih objekata koji bi mogli da prouzrokuju senčenje, a krovna površina je dovoljno velika za postavljanje fotonaponske

elektrane instalisane snage 25 kWp bez ograničenja u rasporedu panela. Satelitski snimak lokacije je prikazan na Slici 1.



Slika 1. Lokacija fotonaponske elektrane

Za realizaciju fotonaponske elektrane su odabrani fotonaponski moduli od monokristalnog silicijuma AXITEC AC-305M/156-72S[4]. Tehničke karakteristike fotonaponskog modula su prikazane u Tabeli 1. Predviđena je montaža fotonaponskih modula na prefabrikovanu modularnu metalnu potkonstrukciju pod fiksnim nagibnim uglom od 15° u odnosu na horizontalnu ravan krova i bez mogućnosti solarnog praćenja. Radi jednostavnijeg mehaničkog učvršćenja potkonstrukcije i modula, izabrana je orijentacija modula ka istoku i zapadu kao što je prikazano na slici 2. Time je minimizirano korišćenje dodatnih tegova za kompenzaciju opterećenja od udara vetra i istovremeno i eliminisana mogućnost međusobnog senčenja modula.

Tabela 1. Tehničke karakteristike fotonaponskog modula AXITEC AC-305M/156-72S

Parametar	Vrednost
Izlazna snaga pri STC (P)	305 W
Napon pri maksimalnoj snazi (V_{MPP})	36,7 V
Struja pri maksimalnoj snazi (I_{MPP})	8,3 A
Napon pri otvorenom kolu (V_{OC})	45,3 V
Struja pri kratkom spoju (I_{SC})	8,9 A
Nazivna efikasnost (η)	15,76%
NOCT temperatura	45°C
Temperaturni koeficijent snage (γ)	-0,4%/°C
Temperaturni koeficijent napona (β_{OC})	-0,3%/°C
Temperaturni koeficijent struje (α_{SC})	0,04%/°C
Dimenzije (D/Š/V)	1956 mm/992 mm/40 mm
Masa	23 kg

Maksimalan napon na izlazu fotonaponskog modula (U_{DCmax}) se očekuje pri minimalnoj ambijentalnoj temperaturi je dat relacijom (1). Za minimalnu temperaturu ambijenta ($t_{amb\ min}$) je pretpostavljeno da na datoj lokaciji tokom obdanice nikad nije

manja od -20°C.

$$U_{CD\ max} = V_{OC} \cdot \left(1 - \frac{\beta_{OC}}{100} (25 - t_{amb\ min}) \right) = 51,41\text{ V} \quad (1)$$



Slika 2. Način montaže fotonaponskih modula [4]

Tabela 2. Tehničke karakteristike invertora Yaskawa Solectria Solar's PVI 23TL

Parametar	Vrednost
Nominalni izlazni napon (U)	480 V
Nazivna izlazna snaga (P)	23 kW
Broj MPPT ulaza	2
Broj stringova po ulazu	4
MPPT opseg napona	480 V - 800 V
Maksimalan DC napon	1000 V
Nazivna efikasnost CEC (η)	98%
Dimenzije (D/Š/V)	1000 mm/600 mm/230 mm
Masa	55 kg

Minimalni napon na izlazu fotonaponskog modula (U_{DCmin}) se očekuje pri maksimalnoj ambijentalnoj temperaturi ($t_{amb\ max}$) za koju je pretpostavljeno da nije veća od 40°C. Maksimalna temperatura na aktivnoj površini fotonaponskog modula pri tim uslovima je data relacijom (2). Izraz kojim je dobijen napon U_{DCmin} je dat u relaciji (3). Kako u tehničkim karakteristikama fotonaponskog modula nije dat podatak o temperaturnom koeficijentu napona pri maksimalnoj snazi β_{MPP} , korišćen je temperaturni koeficijent za snagu γ .

$$t_{cell\ max} = t_{amb\ max} + \frac{NOCT - 20}{0,8} \cdot 1 = 71,25\text{ V} \quad (2)$$

$$U_{CD\ min} = V_{OC} \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{100} (25 - t_{amb\ max}) \right) = 29,91\text{ V} \quad (3)$$

Imajući u vidu prethodno izračunate napone U_{DCmin} i U_{DCmax} kao i maksimalan napon na DC strani invertora i opseg napona pri kome inverter može da izvede MPPT, usvojeno je da se redno

poveže po 17 fotonaponskih modula i po dva takva reda (stringa) koja imaju istu orijentaciju povežu na jedan ulaz invertora. Na drugu ulaz će se povezati preostala 2 stringa sa drugom orijentacijom. Time se dobijaju stringovi koji pri maksimalnoj snazi imaju napon od 623,9 V što je približno na sredini MPP opsega napona na ulazu u inverter. Ovakvom konfiguracijom se ostvaruje ukupna snaga svih fotonaponskih modula 20,74 kW, čime se dobija faktor popunjenosti invertora od 0,9.

IV SIMULACIJA RADA FOTONAPONSKE ELEKTRANE U SAM-U

Simulacija rada fotonaponske elektrane je izvršena koristeći detaljan model (*photovoltaic detailed*) kako bi se mogli koristiti modeli stvarnih elemenata elektrane (fotonaponskih modula i invertora). Simulacija obuhvata samo tehnički deo bez finansijskog (*no financial model*).

Resursi solarne energije su preuzeti posredstvom NREL-ovog servisa za podatke o solarnoj energetici *National Solar Radiation Database* (NSRDB) prema geografskoj lokaciji.[8] Set podataka je tipična meteorološka godina (TMY) koja se dobija kombinovanjem podataka satelitskih i zemaljskih merenja tokom desetina godina i njihovom obradom i kombinovanjem svakog kalendarskog meseca iz neke godine posmatranog prozora [9]. Na raspolaganju su dve datoteke ta TMY, jedna na prozoru do 2014. godine, a druga do 2022. godine. Korišćena je TMY na prozoru do 2022. godine. Podaci su dati na satnom nivou i osim vrednosti direktne, difuzione i ukupne iradijacije obuhvataju i temperaturu vazduha, brzinu i pravac vetra, vazdušni pritisak, itd.

Podaci o gubicima koji se imaju osim onih u modulima i invertoru su usvojeni prema predloženim vrednostima koje nudi SAM. Gubici na DC strani elektrane obuhvataju neuparenost modula (2%), gubitke na DC provodnicima (2%), gubitke na DC spojevima (0,5%). Imajući u vidu da su ovo gubici na kaskadno vezanim elementima, ukupni gubici u DC razvodu elektrane su 4,44%. Gubici na AC strani elektrane obuhvataju gubitke na električnom ožičenju nakon invertora i procenjeni su na 1% [10].

Izvršene su dve simulacije rada fotonaponske elektrane pri različitoj orijentaciji modula. Prva simulacije odgovara konfiguraciji koja je zaista izvedena (orijentacija istok-zapad pod nagibnim uglom od 15°), a druga pri optimalnoj orijentaciji modula (pravac ka jugu pod nagibnim uglom 33°). Ove simulacije treba da pokažu koliko će se proizvesti manje električne energije i kakvi će biti ostali tehnički pokazatelji elektrane ako se izvede jednostavnije rešenje sa stanovišta mehaničke sigurnosti u odnosu na optimalnu orijentaciju modula.

V REZULTATI SIMULACIJA

Nakon izvršene obe opisane simulacije rada fotonaponske elektrane, dobijeni su osnovni tehnički pokazatelji rada elektrane koje nudi SAM i prikazani su u tabeli 3.

Ukupno očekivano smanjenje proizvodnje električne energije je 5,45% i na osnovu toga podatka je odlučeno da se buduća elektrana izvede prema prvoj varijanti sa orijentacijom istok-zapad i nagibnim uglom od 15°. Odluka je bila lakša tim pre jer postoji rezerva snage i maksimalnog ulaznog napona invertora pa se ostavlja mogućnost dodavanja još po jednog fotonaponskog modula u svaki string čime bi se u potpunosti nadomestilo

smanjenje proizvedene energije uz mala dodatna ulaganja.

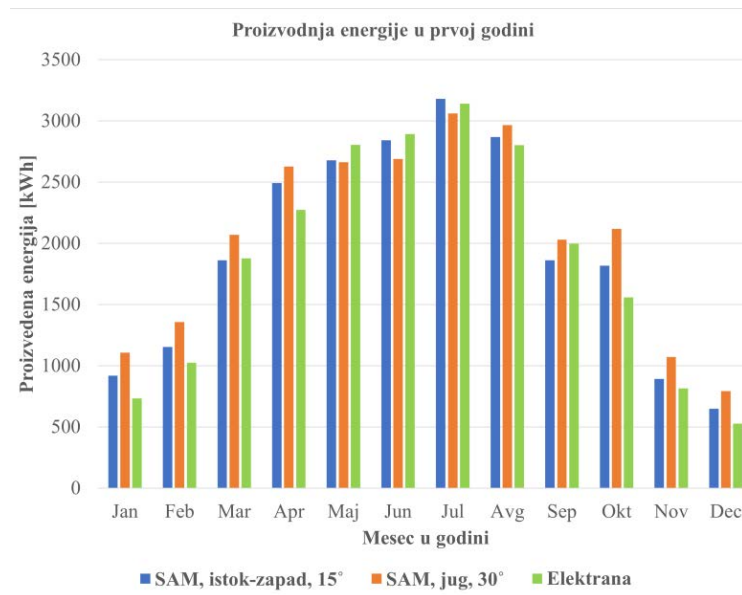
Tabela 3. Procenjeni tehnički pokazatelji rada elektrane u prvoj godini

Parametar	Istok-zapad, 15°	Jug, 33°
Godišnja proizvedena energija	23.215 kWh	24.554 kWh
Faktor kapaciteta elektrane	12,8%	13,5%
Prinos energije	1.119 kWh/kW	1.183 kWh/kW

Poređena je i očekivana proizvodnja električne energije po mesecima u prvog godini iz obe simulacije i energija koju je stvarno proizvela fotonaponska elektrana tokom prvih 12 meseci od puštanja u rad. Ovi podaci u kWh su prikazani u tabeli 4 i grafički predstavljeni na slici 3.

Tabela 4. Procenjeni tehnički pokazatelji rada elektrane

mesec	SAM, 15°	SAM, 30°	Elektrana	mesec	SAM, 15°	SAM, 30°	Elektrana
jan	919	1107	734	jul	3181	3062	3140
feb	1154	1358	1024	avg	2868	2967	2803
mar	1862	2068	1876	sep	1862	2029	1996
apr	2492	2628	2272	okt	1817	2119	1558
maj	2679	2662	2804	nov	892	1072	815
jun	2841	2689	2893	dec	648	793	528

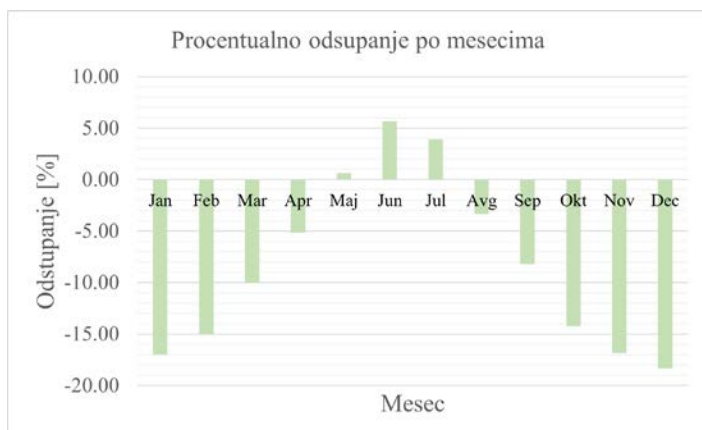


Slika 3. Proizvodnja električne energije u prvoj godini

Ukupna proizvedena energija koji je elektrana imala tokom prvih 12 meseci od puštanja u rad iznosi 22.441 kWh. Odstupanje u odnosu na simulacijom procenjenju proizvodnju za orijentaciju istok-zapad i nagibni ugao od 15° je 3,45%. što se može smatrati prihvatljivim, pogotovo imajući u vidu da je poređenje vršeno samo sa jednom godinom realnog rada elektrane.

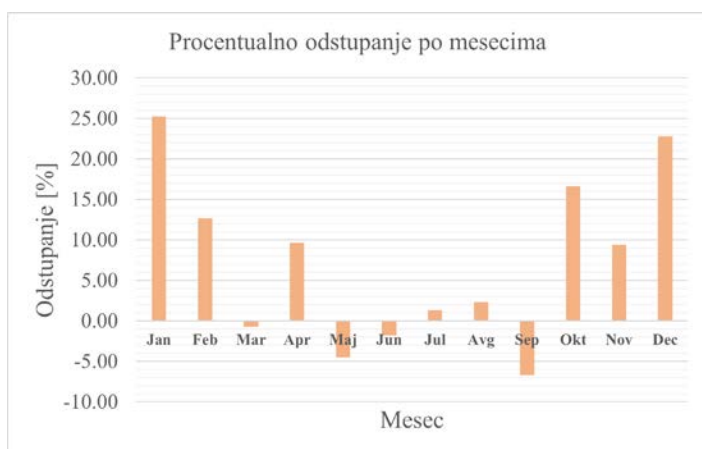
Ako se analizira procentualno odstupanje mesečne proizvodnje električne energije u prvoj godini za slučaj orijentacije istok-

zapad pod nagibnim uglom 15° i orijentacije prema jugu pod nagibnim uglom od 33° , primećuje se trend manje proizvodnje tokom svih meseci osim tri meseca sa najdužom obdanicom (maj, jun i jul). Ovo je očekivano jer je u ta tri meseca prividna putanja Sunčevog diska na horizontu viša, tj. altitudni ugao je veći i zbog toga je sa manji nagibni ugao povoljniji jer se tako ostvaruje veći incidentni ugao. Procentualna odstupanja su prikazana na slici 4.



Slika 4. Procentualno odstupanje mesečne proizvedene energije između dve izvršene simulacije

Na slici 5 je prikazano procentualno odstupanje mesečne proizvodnje električne energije procenjene simulacijom za orijentaciju istok-zapad nagibni ugao od 15° i stvarno proizvedene električne energije u prvih 12 meseci rada elektrane. Evidentno je da su najveća odstupanja u zimskim mesecima što je nesumnjivo zbog apsolutno manjih iznosa proizvedene energije (čak 5 do 6 puta manje nego za letnje mesece).

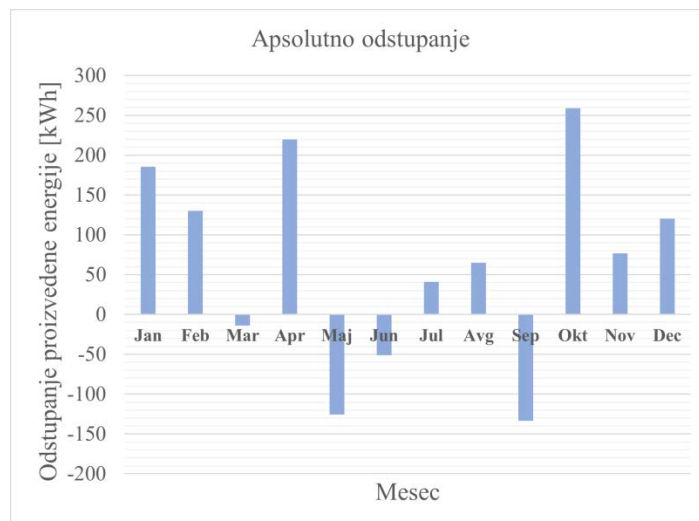


Slika 5. Procentualno odstupanje mesečne proizvedene energije dobijene simulacijom i izmerene tokom prve godine

Na slici 6 je prikazano apsolutno odstupanje mesečne proizvodnje električne energije procenjene simulacijom za orijentaciju istok-zapad nagibni ugao od 15° i stvarno proizvedene električne energije u prvih 12 meseci rada elektrane.

Iako je tokom zimskim meseci proizvodnje električne energije znatno manja, baš u tim mesecima se beleže veća apsolutna

odstupanja. Takođe, najveća apsolutna odstupanja tu u aprilu i oktobru, mesecima koje karakteriše srednje trajanje obdanice i kada se ima umerena proizvodnja energije. Imajući u vidu da je prva godina eksploatacije elektrane bila praćena znatno većim brojem dana sa maglom i velikim prisustvom čestica u atmosferi na datoj mikrolokaciji baš u proleće i jesen, može se pretpostaviti da je to uzrokovalo ovakve vrednosti.



Slika 6. Apsolutno odstupanje mesečne proizvedene energije dobijene simulacijom i izmerene tokom prve godine

VI ZAKLJUČAK

Poređenje podataka dobijenih simulacijom i onih izmerenih u prvih 12 meseci rada fotonaponske elektrane ukazuje da je odstupanje u godišnjoj proizvedenoj električnoj energiji kao najbitnijem tehničkom pokazatelju rada elektrane 774 kWh što predstavlja 3,45%. Ovi rezultati opravdavaju upotrebu softverskog alata SAM u fazi projektovanja fotonaponskih elektrana jer se na taj način može dobiti niz relevantnih informacije pre nego se elektrana izvede i ostvare finansijska ulaganja.

Korisno je i poređenje više načina konfigurisanja elektrane čime se mogu proceniti odstupanja u proizvodnji što znatno olakšava odluku da li insistirati na optimalnoj konfiguraciji sa stanovišta proizvedene energije ili je prihvatljivo i neko rešenje koje je jednostavnije iz nekih drugih razloga kao u ovom konkretnom slučaju.

Izradu simulacije olakšava to što postoje modeli konkretnih elemenata elektrane (fotonaponskih modula i invertora) pa nije potrebno pronalaženje detaljnih parametara i njihova implementacija u generičke modele. Takođe je dobijanje datoteke sa podacima o solarnom resursu na datoj lokaciji omogućeno iz samog softvera, proces je jednostavan i intuitivan [11], a postoji mogućnost korišćenja podataka dobijenih preko drugih servisa [14].

Zbog svega navedenog, SAM se može smatrati vrlo korisnim alatom za projektovanje, evaluaciju i optimizaciju rada fotonaponskih elektrana, kako u fazi planiranja, tako i pri analizi postojećih sistema.

LITERATURA

- [1] Berna-Escriche, C., Vargas-Salgado, C., Alfonso-Solar, D., Escrivá-Castells, A. Can a fully renewable system with storage cost-effectively cover the total demand of a big scale standalone grid? Analysis of three scenarios applied to the Grand Canary Island, Spain by 2040, Journal of Energy Storage, Vol. 52, Part A, 104774, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104774>
- [2] World Energy Outlook 2024, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> [pristupljeno 19.02.2025.]
- [3] Čorba, Z., Milićević, D., Dumnic, B., Popadić, B. The experiences of the realization of PV power plants after implementation of the prosumers status, Journal on Processing and Energy in Agriculture, Vol. 27, No 1, pp. 13-15, 2023. <http://doi.org/10.5937/jpea27-43506>
- [4] Dragičević S., Vujičić V., Marjanović M. Analiza rada solarne elektrane u NTP Čačak - System Advisor Model (SAM) modelovanje i poređenje sa stvarnim rezultatima, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 4, pp. 52-56, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-4.52D>
- [5] Batić I., Ivančić A. Analiza kapaciteta za izgradnju fotonaponskih sistema na krovovima stambenih zgrada u Srbiji, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 23, No. 3, pp. 9-16, 2023. <https://doi.org/10.46793/EEE23-3.09B>
- [6] Spremić S., Antonić A. Uticaj solarnih panela i skladišta električne energije na gubitke u niskonaponskoj mreži, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 1, pp. 80-84, 2023. <https://doi.org/10.46793/EEE24-1.80S>
- [7] Milosavljević, D., Kevkić, T., Jovanović, S. Review and validation of photovoltaic solar simulation tools/software based on case study, Open Physics, Vol. 20, No. 1, pp. 431-451, 2022. <https://doi.org/10.1515/phys-2022-0042>
- [8] Vargas-Salgado, C., Díaz-Bello, D., Alfonso-Solar, D., Lara-Vargas, F. Validations of HOMER and SAM tools in predicting energy flows and economic analysis for renewable systems: Comparison to a real-world system result, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 69, 103896, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103896>
- [9] Blair, N., DiOrio, N., Freeman, J., Gilman, P., Janzou, S., Neises, T., Wagner, M. System advisor model (SAM) general description (Version 2017.9. 5) <https://docs.nrel.gov/docs/fy18osti/70414.pdf> [pristupljeno 13.01.2025]
- [10] Blair, N.J., Dobos, A.P., Gilman, P. Comparison of photovoltaic models in the system advisor model (No. NREL/CP-6A20-58057), <https://docs.nrel.gov/docs/fy13osti/58057.pdf> [pristupljeno 13.01.2025]
- [11] National Solar Radiation Database, <https://nsrdb.nrel.gov/data-viewer> [pristupljeno 13.01.2025]
- [12] Cebeacauer T., Suri M. Typical Meteorological Year Data: SolarGIS Approach, Energy Procedia, Vol. 69, pp. 1958-1969, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.195>
- [13] Blair, N., DiOrio, N., Freeman, J., Gilman, P., Janzou, S., Neises, T., Wagner, M. System Advisor Model (SAM) General Description (Version 2017.9.5), 2018. <https://doi.org/10.2172/1440404>
- [14] Photovoltaic Geographical Information System, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html [pristupljeno 19.03.2025.]

AUTORI

msr Milan Ivezić - Asistent, Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, milanivezic@gmail.com, ORCID [0009-0003-8260-4456](https://orcid.org/0009-0003-8260-4456)

dr Ivana Vlajić-Naumovska - Profesor s.s., Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, ivana.vlajic.naumovska@viser.edu.rs, ORCID [0009-0003-6364-8154](https://orcid.org/0009-0003-6364-8154)

dr Aleksandra Grujić - Profesor s.s., Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, aleksandrag@gs.viser.edu.rs, ORCID [0000-0002-8372-2468](https://orcid.org/0000-0002-8372-2468)

mr Neša Rašić - Predavač, Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, nesar@viser.edu.rs, ORCID [0009-0000-8160-7653](https://orcid.org/0009-0000-8160-7653)

Struk. inž. Miloš Borak – Elektromeža Srbije A.D. ORCID [0009-0002-5892-8525](https://orcid.org/0009-0002-5892-8525)

Prediction of Rooftop Photovoltaic Power Plant Production Using the System Advisor Model (SAM) Software with Results Validation

Abstract – The paper describes the possibility of using the System Advisor Model (SAM) software tool in planning a photovoltaic power plant on the rooftop of an industrial building in Čačak. The configuration of the power plant is largely determined by the configuration of the rooftop and its static conditions, especially when it comes to the orientation of the photovoltaic modules and the need for additional substructure. Therefore, simulations of the power plant operation were carried out under conditions optimal for the production of electric power and conditions optimal from the point of view of the need for additional elements that ensure the mechanical safety of the structure. The reduction of the produced electricity concerning the optimal orientation of the module was analysed. The results were verified by data on the monthly electricity production available after the power plant commissioning.

Index terms – System Advisor Model (SAM), Rooftop photovoltaic, Power prediction, Software tool