

UPOREDNA ANALIZA FOTONAPONSKE ELEKTRANE SNAGE 1MW SA FIKSNIM I ROTIRAJUĆIM NOSEĆIM SISTEMOM NA TERITORIJI REPUBLIKE SRPSKE**COMPARATIVE ANALYSIS OF 1MW PV POWER PLANT WITH FIXED AND SOLAR TRACKER SYSTEM ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF SRPSKA**Mirjana Četojević, Zoltan Čorba, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROENERGETIKA**

Kratak sadržaj – Analiza se bavi razmatranjem mogućnosti korištenja solarne energije kroz fotonaponsku elektranu snage 1MW. Poseban akcenat stavljen je na analizu dva tehnička rješenja, sistem sa fiksnim nagibnim uglom i sistem sa horizontalnim rotirajućim stolovima za praćenje Sunca. U okviru analize predstavljeni su osnovni principi rada fotonaponskog sistema, rezultati proračuna i izvršeno je poređenje dobijenih vrijednosti i prednosti i nedostataka svakog od rješenja.

Ključne reči: Fotonaponska elektrana, obnovljivi izvori energije, fiksna konstrukcija, rotirajuća konstrukcija.

Abstract – The analysis deals with the consideration of the possibility of using solar energy through a 1MW photovoltaic power plant. Special emphasis was placed on the analysis of two technical solutions, a system with a fixed tilt angle and a solar tracker with horizontal rotating. As part of the analysis, the basic principles of the photovoltaic system are presented, the calculation results and the obtained values of the advantages and disadvantages of each solution are compared.

Keywords: Photovoltaic power plant, renewable energy sources, fixed structure, solar tracker structure.

1. UVOD

Fotonaponski (FN) sistem predstavlja integrisan skup fotonaponskih modula i drugih komponenti koji primarnu solarnu energiju direkto pretvaraju u električnu energiju i predaje je potrošaču ili elektroenergetskom sistemu. Osnovi elementi fotonaponskog sistema su fotonaponski moduli koji pretvaraju energiju sunčevog zračenja u električnu energiju pri jednosmjernom naponu. Kod fotonaponskih sistema koji su povezani na elektroenergetsku mrežu ili koji se koriste za napajanje potrošača naizmjenične struje neophodni su invertori za pretvaranje jednosmjerne u naizmjeničnu struju. Fotonaponski sistemi mogu imati i baterije za skladištenje električne energije.

Za pouzdano funkcionisanje sistema neophodna je i prateća oprema koju čine rasklopni i zaštitni uređaji, provodnici i kontroleri, uređaji za nadzor i upravljanje i elementi za montažu, kao što je noseća konstrukcija i ostali materijal [1].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Zoltan Čorba, vanr. prof.

U zavisnosti od načina rada fotonaponski sistemi se dijele na:

- 1) Off-grid fotonaponski sistem
- 2) Hibridni fotonaponski sistem
- 3) Fotonaponski sistem povezan na distributivnu mrežu (On-Grid sistem) [1].

2. ANALIZA FOTONAPONSKE ELEKTRANE OD 1MW

Plan analize je uraditi kompletan proračun za instalaciju solarne elektrane na zemlji. Proračuni će se raditi za dva slučaja fotonaponske elektrane sa fiksnim nagibnim uglom od 25° i drugi slučaj fotonaponske elektrane sa automatizovanim sistemom za praćenje Sunca, jednoosni sistem praćenja sa horizontalnom osom sjever-jug.

2.1. Solarni potencijal lokacije

Bosna i Hercegovina ima u prosjeku godišnje 1840,9 sunčanih sati, dok taj broj na jugu zemlje dostiže vrijednost i do 2352,5 sati godišnje. Ako se izvrši poređenje sa vrijednostima ukupnog sunčevog zračenja na horizontalnu površinu u zemljama srednje i sjeverne Evrope, gdje godišnji prosjeci iznose 1150kWh/m², dolazi se do zaključka da u prosjeku Bosna i Hercegovina dobije oko 15% više sunčeve energije u odnosu na srednju Evropu, te 30% više od sjeverne Evrope [2]. Ukupan solarni potencijal odabrane lokacije u Opštini Gradiška za FN elektranu sa fiksnim nagibnim uglom od 25° i za FN elektrane sa automatizovanim sistemom za praćenje Sunca u horizontalnoj ravnini iz Meteorološke baze podataka je procjenjen na 1250,7kWh/m² [3].

2.2 Lokacija elektrane

Lokacija za analizu FNE se nalazi u Ulici Jurkovića, naselje Žeravica u Opština Gradiška. Parcela se nalazi u industrijskoj zoni koja pripada Opštini Gradiška. Površina zemljišta za fotonaponske elektrane iznosi oko 16 500 m². Izgled lokacije će biti prikazan u poglavlju 3.

2.3 Osnovne komponente FN elektrane

Osnovne komponente fotonaponske elektrane su FN moduli, invertori, noseća konstrukcija, DC i AC kablovi, razvodni ormari, mjerni ormar, zaštitna i druga sklopna oprema. Odabrani tip FN modula je Tiger Neo N-type 66HL4M-BDV, izrađeni su od monokristalnog silicijuma, koji omogućavaju optimalnu proizvodnju električne energije iz sunca u svim uslovima zračenja. Za analizu je predviđen inverter SG50CX koji pretvara jednosmjernu struju koju proizvedu solarni moduli u naizmjeničnu struju na izlazu. Nosiva konstrukcija je vrlo važan dio FN sistema

jer se na nju montiraju FN moduli. Moduli se postavljaju na noseću konstrukciju orijentisani prema jugu u prvom slučaju analize sa fiksnim nagibnim uglom od 25°. U drugom slučaju fotonaponski moduli se postavljaju na nosivu konstrukciju koja ima pravac prostiranja redova sjever-jug, a fotonaponski stolovi se rotiraju u horizontalnoj ravni u jednoj osi istok-zapad slika 1.



Slika 1. Izgled fiksne konstrukcije i konstrukcije koja se rotira po horizontalnoj ravni [4], [5]

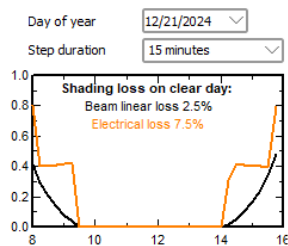
3. USAGLAŠAVANJE SNAGA FOTONAPONSKIH MODULA I INVERTORA

Proračuni se odnose za oba analizirana tipa sistem sa konstrukcijom fiksnog nagibnog ugla i tipa sistema sa automatizovanim sistemom za praćenje Sunca. U tabeli 1 su prikazane formule i rezultati usaglašavanja snaga fotonaponskih modula i invertora, fotonaponski modul ima snagu od 625Wp, invertori su snage 50kW. Vrijednosti potrebne za proračun su preuzete iz zvaničnih tehničkih listova proizvođača FN modula i invertora.

Tabela 1. Prikaz DC proračuna fotonaponske elektrane

Formula	Mjerna jedinica	Proračunate vrijednosti
$U_{PH}(t) = U_{PH, STC} \cdot (1 - (25 - t) \cdot \frac{\beta_{PH}}{100})$	[V]	54,82
$N_{Max} \leq \frac{U_{INV, Max}}{U_{PH, Max}(t_{Min})}$	[-]	20,06
$U_{TMS}(t) = U_{TMS, STC} \cdot (1 - (25 - t) \cdot \frac{\beta_{TMS}}{100})$	[V]	35,55
$N_{Min} \geq \frac{U_{TMS, Min}}{U_{TMS}(t_{Max})}$	[-]	5,63
$N_{OPT} = \frac{U_{FNN}}{U_{TMS}(t_{NOCT})}$	[-]	15,22
$I_{KS}(t) = I_{KS, STC} \cdot (1 - (25 - t) \cdot \frac{\alpha_{KS}}{100})$	[A]	16,47
$N_{FNN, Max} = \frac{I_{INV, Max}}{I_{KS}(t_{Max})}$	[-]	2,43
$k = \frac{P_{STVARNO}}{P_{NAZ}}$	k	1,35
$P_{stvarno} = \text{br. modula} \times \text{snaga mod.}$	[Wp]	67500,00
$N_{Min} \leq N \leq N_{Max}$	$20 < N < 5$	Odobrani broj modula u stringu je 18

Na osnovu proračuna odabrani broj FN modula je 2160. Od ukupno pet MPPT ulaza po invertoru SG50CX, na četiri MPPT ulaza se veže po jedan string od 18 redno vezanih FN modula, a na peti MPPT ulaz se vežu dva stringa od 18 redno vezanih FN modula. Kroz proračun je dokazano da su izabrani FN moduli usklađeni sa radom invertora i da inverter radi u opsegu optimalnog rada. FN elektrana sastoji se od ukupno 20 invertora na svakom inverteru je po 108 modula. Simulacija FN elektrane je rađena u softverskom alatu PV Syst 8.0.12 [3]. Određeni su optimalni razmaci između redova panela, razmak između redova u oba analizirana slučaja je 11m. Kao najnepovoljniji dan za procjenu sjenčenja uzet je 21. decembar kada je Sunce najniže na horizontu i sjenka najduža.



Slika 2. Dijagram dnevnog sjenčenja 21. decembra [3]

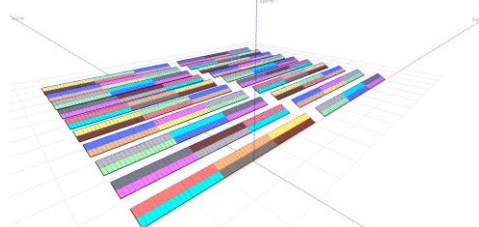
Na osnovu prethodne slike 2 vidi se da fotonaponska elektrana nema međurednog sjenčenja u kritičnom energetskom periodu od 10 do 14 časova. U ovom intervalu paneli su potpuno osunčani što omogućava maksimalni energetski prinos i u zimskom periodu. Ujutru od 8:00 do 9:30 časova i predveče 14:30 do 16:00 časova prikazano je povećano sjenčenje koje je i očekivano zbog niskog položaja Sunca na horizontu. Na osnovu dijagrama sa slike 2 se može zaključiti da je razmak između redova adekvatno dimenzionisan.

3.1 Položaj fotonaponske elektrane sa fiksnom konstrukcijom na lokaciji

Na slici 3 je prikazana dispozicija FN elektrane sa fiksnom konstrukcijom na zemlji i na slici 4 je 3D model FN elektrane iz PVSyst-a.



Slika 3. Dispozicija FN elektrane sa fiksnom konstrukcijom [6]



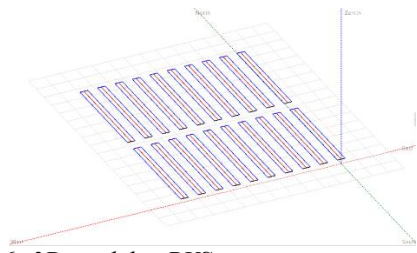
Slika 4. 3D model iz PVSyst-a sa fiksnom konstrukcijom [3]

3.2 Položaj fotonaponske elektrane sa jednoosni rotatorskim sistemom sa horizontalnom osom rotacije

Na slici 5 je prikazana dispozicija FN elektrane sa rotatorskim sistemom za praćenje Sunca, a na slici 6 je 3D model FN elektrane iz PVSyst-a.



Slika 5. Dispozicija FN elektrane sa automatizovanim sistemom

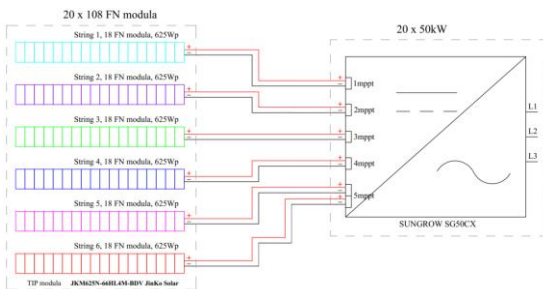


Slika 6. 3D model iz PVSystem-a sa automatizovanim sistemom [3]

Kod ovog sistema izvršena je izmjena dispozicije redova, pri čemu su redovi orjentisani u prevcu sjever-jug dok je međuredni razmak ostao isti kao kod fiksnog Sistema. FN moduli se postavljaju na rotirajuće stolove koji prate položaj Sunca u pravcu istok-zapad.

3.3 Blok šema DC strane fotonaponske elektrane

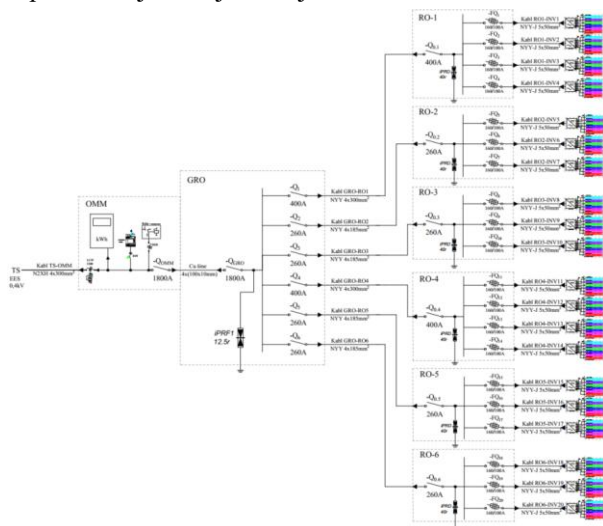
Na narednoj slici 7 je prikazana blok šema povezivanja fotonaponski modula u stringove i povezivanje stringova sa invertorom. Ukupna instalisana snaga invertora je 1MW dok je ukupna snaga FN modula 1,35MWp. Optimalan opseg koeficijenta invertora se kreće od 1 do 1,5. Prema proračun iz tabele 1 koeficijent invertora je 1,35 i u opsegu su optimalnog rada.



Slika 7. Blok šema DC stranne fotonaponske elektrane

3.4 Blok šema AC strane fotonaponske elektrane

Na sledećoj slici 8 prikazana je AC blok-šemi FN elektane do povezivanja na mjerno mjesto.



Slika 8. Blok šema razvoda AC strane

Niskonaponski razvod sastoji se od nekoliko podsegmenata (gledano od distributivnog sistema električne energije ka FN elektrani):

- priključak na distributivnu mrežu u TS,
- ormara mjernog mjesta OMM u kome se nalazi sklopna i zaštitna oprema (prekidač, osigurač,

relej za nadzor napona i frekvencije, trofazni osigurač, kontrolno brojilo, priključna mjerna kutija, trofazno elektronsko dvosmjerno brojilo, strujni mjerni transformatori, kontaktor i grebenasta sklopka),

- glavni razvodni ormar (GRO) u kome se nalazi sklopna i zaštitna oprema (prekidači, osigurači, odvodnik prenapona, LED svjetiljke za ormar, tipkalo za nužni stop, monofazna utičnica, prekidač na vratima, higrostat i termostat, grijač),
- razvodni ormari elektrane RO-1, RO-2, RO-3, RO-4, RO-5 i RO-6 u kojima se nalazi sklopna i zaštitna oprema (NV osigurači, odvodnici prenapona),
- invertori u kojima se jednosmjerna električna energija pretvara u naizmjeničnu električnu energiju.

4. SOLARNI I ENERGETSKI POTENCIJAL LOKACIJE

U narednoj tabeli 2 je prikazan solarni i energetski potencijala FN sistema sa fiksnim nagibnim uglom i sa automatizovanim sistemom za praćenje Sunca.

Tabela 2. Procena proizvodnje i mjesečno zračenje za oba analizirana Sistema

Mjesec	Solarni potencijal	Energetski potencijal FN elektrane sa fiksnim nagibnim uglom	Energetski potencijal za FN elektranu sa rotatorskim sistemom za praćenje Sunca
	Globalno horizontalno zračenje na ravnu površinu	Ukupna korisna energija	Ukupna korisna energija
	[kWh/m ²]	MWh	MWh
Januar	37,20	64,4	55,4
Februar	52,40	81,4	75,0
Mart	98,10	139,3	144,4
April	128,10	158,8	182,2
Maj	161,30	181,6	219,7
Jun	179,10	193,9	245,8
Jul	184,50	199,3	251,1
Avgust	157,70	186,3	219,9
Septembar	106,40	136,1	146,4
Oktobar	73,70	107,9	104,9
Novembar	41,80	70,1	61,5
Decembar	30,40	50,8	42,4
Godišnje	1250,70	1 569,8	1 748,6

Najveći solarni potencijal za nevedeno područje je mjesec jul. Niži energetski potencijala ima sistem sa fiksnim nagibnim uglom jer fotonaponski paneli nisu optimalno nagnuti tokom cijele godine i niža je ukupna proizvodnja električne energije, dok kod rotatorskog sistema paneli prate položaj Sunca tokom dana čime se povećava ukupna proizvodnja električne energije.

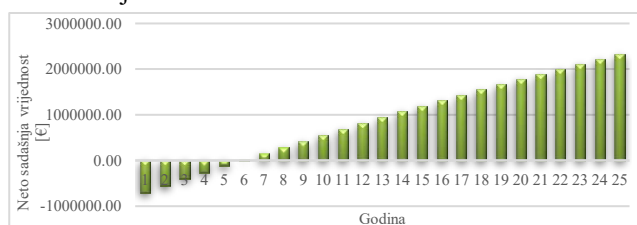
4. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

Ekonomski proračun je u obliku prostog proračuna sa ciljem da se prikaže osnovna isplativost investicije. Proračun nije rađen detaljno prema metodologiji ekonomskih analiza koje koriste ekonomisti, već je zasnovan na pojednostavljenom pristupu dovoljnog za tačnost tehno-ekonomske analize za fotonaponsku elektranu. Proračun je rađen sa pretpostavkom da elektrana od 1MW ima već potpisan ugovor o grantovanim otkupnim cijenama. U tabeli 3 su prikazani osnovni podaci za proračun tehno-ekonomske analize.

Tabela 3. Osnovni podaci za tehno-ekonomsku analizu

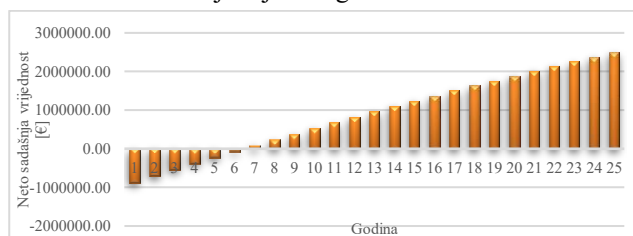
Naziv	Mj. jedinica	FN elektrane sa fiksnim nagibnim uglom	FN elektranu sa rotatorskim sistemom za praćenje Sunca
		Vrijednost	Vrijednost
Investicija	€	864.639,38	1.046.143,69
Prosječna godišnja proizvodnja	MWh	1 569, 8	1 748,7
Godišnji pad proizvodnje	%	0,4	
Otkupna cijena električne energije u Republici Srpskoj za solarne elektrane [7]	€/kWh	0,1035	
Troškovi rada (administrativne i operativne aktivnosti)	€	50	
Troškovi održavanja (od investicije)	%	1	
Referentna kamatna stopa	%	4,6	
Stopa inflacije	%	3,5	
PDV	%	17	

Na slikama 9 i 10 su prikazane neto zarade u sadašnjoj vrijednosti novca za FNE sa fiksnom i rotirajućom konstrukcijom.



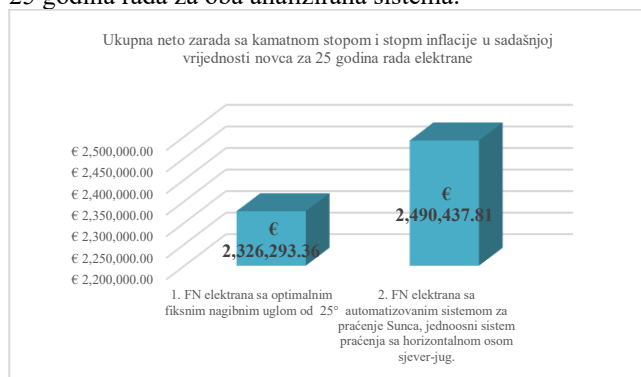
Slika 9. Neto sadašnja vrijednost zarade za FNE sa fiksnom konstrukcijom

Period isplate investicije za fotonaponsku elektranu sa fiksnom konstrukcijom je u 6. godini.



Slika 10. Neto sadašnja vrijednost zarade za FNE sa rotatorskim sistemom

Period isplate investicije za fotonaponsku elektranu sa rotatorskim sistemom je u 7. godini. Na osnovu poraćuna na slici 11 je prikazana ukupna neto zarada sa kamatnom stopom i stopom inflacije u sadašnjoj vrijednosti novca za 25 godina rada za oba analizirana sistema.



Slika 11. Ukupna neto zarada za 25 godina rada

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu uporedne analize fotonaponskog sistema sa fiksnim nagibnim uglom i sistema sa praćenjem Sunca u horizontalnoj osi rotacije, rotatorski sistem pokazuje bolju ekonomsku isplativost. Iako su početna ulaganja značajno veća za 45%, zahvaljujući većoj godišnjoj proizvodnji električne energije automatizovani sistem omogućava veći ukupni prihod za oko 160.000€. Međutim, automatizovani sistem zahtjeva složeniju opremu, češće i specijalizovano održavanje, kao i dodatni angažman stručnog kadra što povećava rizike u eksploataciji. Na osnovu dobijenih podataka i uzimajući u obzir kompletnu analizu predlaže se ulaganje u fiksni sistem za ovu lokaciju zbog njegove jednostavnosti, pouzdanosti, nižih troškova početnog ulaganja i nižih troškova održavanja. Kao preporuka za budući razvoj sistema prijedlog je da se razmotri ulaganje u baterijski sistem za skladištenje električne energije (BESS – Battery Energy Storage System) u kombinaciji sa SCADA sistemom za upravljanje i praćenje tržišnih cijena.

5. LITERATURA

- [1] Jovan Mikulović, Željko Đurišić, 2019, Solarna energetika, Beograd
- [2] “Prirodni i tehnički potencijal sunčeve energije u Bosni i Hercegovini“, Haris Lulić, Adnan Đugum, <https://www.ceps.edu.ba/Files/DIT/Godina%205%20Broj%202/16.pdf?ver1> (pristupljeno u avgustu 2024.)
- [3] PVsyst V8.0.12
- [4] https://www.hugergy.com/smd-horizontal-single-axis-tracker_p82.html, (pristupljeno u junu 2025.)
- [5] <https://solarno.net/sezonski-podesiva-konstrukcija-za-solarne-elektrane/>, (pristupljeno u septembru 2024.)
- [6] <https://earth.google.com/web/@45.12544895,17.25719301,88.53534975a,978.34408395d,35y,0h,0t,0r/data-OgMKATA> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [7] <https://reers.ba/wp-content/uploads/2022/12/Odluka-o-visini-garantovanih-otkupnih-cijena-i-premija-za-elektricnu-energiju-proizvedenu-iz-obnovljivih-izvora-energije-jul-2022.-godine.pdf>, (pristupljeno u oktobru 2024.)

Kratka biografija:



Mirjana Četojević rođena je u Sanskom Mostu 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektroenergetski sistemi odbranila je 2025. godine
kontakt:
stojanovic.mirjana10@gmail.com



Zoltan Čorba

Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. godine, a od 2021. je u zvanju vanrednog profesora. Oblasť interesovanja su fotonaponsko pretvaranje i kvalitet električne energije.