

# Komparativna analiza različitih tehnoloških rešenja fotonaponske elektrane na pepelištu TE Morava

Matej Mićović, Miloš Stojanović, Milica Aščerić, Đorđe Lazović, Željko Đurišić

Katedra za elektroenergetske sisteme  
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet  
Beograd, Srbija

[micovicmatej@gmail.com](mailto:micovicmatej@gmail.com); [stojanovic.milos1996@gmail.com](mailto:stojanovic.milos1996@gmail.com); [ascericmilica4@gmail.com](mailto:ascericmilica4@gmail.com); [lazovic@etf.rs](mailto:lazovic@etf.rs); [djurisic@etf.rs](mailto:djurisic@etf.rs)

*Sažetak*—Napuštena pepelišta termoelektrana predstavljaju pogodno lokacije za izgradnju fotonaponskih elektrana velikih snaga. Jedna od takvih lokacija je pepelište TE Morava u Srbiji. U predloženom radu je izvršena detaljna analiza uslova izgradnje fotonaponske elektrane na ovom prostoru. Analizirana su različita tehnološka i tehnička rešenja realizacije solarne elektrane. Analizirana su dva tehnološka koncepta i to fotonaponska elektrana sa fiksnom konstrukcijom sa optimalno orijentisanim panelima i fotonaponska elektrana sa jednoosnim horizontalnim trekerima postavljenim u pravcu sever-jug. Za oba tehnološka rešenja analizirane su varijante sa fotonaponskim panelima sa jednostranim i dvostranim aktivnim površinama. Sve analize su sprovedene u profesionalnom softveru PVsyst u kojem je integrisana meteorološka baza podataka. Na osnovu sprovedenih analiza za svako od predloženih rešenja izvršen je proračun instalisane snage, godišnje proizvodnje i specifičnih svedenih troškova proizvodnje.

*Ključne reči*—solarne elektrane; bifacijalni solarni moduli; konstrukcije za praćenje položaja sunca (trekeri); LCOE; ROI; PVsyst;

## I. UVOD

Među najvećim izazovima poslednjih godina izdvaja se potreba za smanjenjem emisije gasova koji doprinose efektu staklene bašte, čemu, zbog masovnosti emisije, najviše doprinosi ugljen-dioksid ( $\text{CO}_2$ ), koji nastaje u najvećoj meri kao posledica sagorevanja uglja u termoelektranama. U tom smislu, značajan udeo u emisiji gasa  $\text{CO}_2$  ima sektor energetike. U Srbiji učešće energetike u ukupnoj emisiji  $\text{CO}_2$  iznosi oko 75% [1]. Razvoj i korišćenje solarne energije ima potencijal da smanji potrošnju goriva i zaštiti životnu sredinu [2]. Srbija ima energetski potencijal solarnog zračenja po jedinici površine koji je preko 30% veći od energetskog potencijala solarnog zračenja u Nemačkoj, koja je lider u proizvodnji električne energije iz fotonaponskih sistema u Evropi [3].

Prema NERP (eng. National Emission Reduction Plan) opt-out mehanizmu, jednom od modela za sprovođenje evropske regulative za velika ložišta, izabrane termoelektrane ne smeju da prekorače propisane limite za emisije štetnih gasova (sumpor-dioksida -  $\text{SO}_2$ , azotnih-oksida -  $\text{NO}_x$ ) i prašinu. Od 1. januara 2018. kada je direktiva stupila na snagu pa do njenog isteka 31. decembra 2023. izabrane termoelektrane su u mogućnosti da rade svega 20.000 časova. Jedna od elektrana koja je blizu kraja svog radnog veka je TE Morava [4].

U svrhu smanjenja emisije štetnih gasova, a kao obaveza da se termoelektrane ugase, javlja se potreba za dodatnom proizvodnjom električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE). Jedan takav izvor su solarne elektrane, posebno kada ih je moguće postaviti na neplodnom zemljištu kakva su i sama pepelišta termoelektrana. TE Morava ima relativno dobar geografski položaj u pogledu solarnog zračenja. Osim toga, prestankom rada termoagregata oslobađa se kapacitet i priključna oprema za injektiranje snage iz solarne elektrane koja bi potencijalno mogla biti izgrađena na pepelištu koje se nalazi u blizini termoelektrane. U ovom radu sprovedena je analiza realizacije solarne elektrane sa različitim konceptima. Cilj analiza je da se pokaže koje od predloženih rešenja ima najbolje ekonomske i tehničke parametre.

U poglavlju II je dat kratak osvrt na tehnička i tehnološka rešenja uzeta u obzir u sprovedenim analizama. Poglavlje III se bavi tehničkim aspektima izgradnje fotonaponskih elektrana svakog varijantnog rešenja, a poglavlje IV njihovim ekonomskim analizama, unutar kojeg su prikazani rezultati i izvršena njihova komparacija. Za sve sprovedene analize korišćen je softverski alat PVsyst.

## II. ANALIZIRANA TEHNIČKA I TEHNOLOŠKA REŠENJA

### A. Monofacijalni i bifacijalni fotonaponski moduli

Iako su bifacijalni fotonaponski (FN) sistemi poznati od pedesetih godina prošlog veka, tek poslednjih nekoliko godina bifacijalni moduli nalaze sve veću primenu u solarnim sistemima. Glavna prednost ove tehnologije je njena sposobnost da koristi zračenje koje pada na zadnju stranu FN modula, povećavajući na taj način prinos energije po jedinici korišćene površine u poređenju sa odgovarajućim monofacijalnim sistemima, zbog dodatne energije koja se generiše sa zadnje strane [5]. Svakako, u svetu su neuporedivo veći instalisani kapaciteti sa monofacijalnim modulima nego sa bifacijalnim, pre svega iz razoga jer je ova tehnologija komercijalno dostupna tek poslednjih nekoliko godina. Osim toga, modelovanje performansi bifacijalnih FN sistema je veći izazov od monofacijalnih sistema i zahteva precizne alate za modelovanje.

### B. Fiksno postavljeni sistemi sa optimalnim nagibnim uglom

FN moduli moraju biti montirani na čvrste konstrukcije kako bi bili mehanički osigurani i orijentisani u željenom smeru. Montažne konstrukcije mogu biti fiksne ili sa sistemima

za praćenje položaja sunca. Sistem sa fiksnim nagibnim uglom se obično odize od horizontalne ravni kako bi se smanjilo zaprljanje usled trave, prašine i snežnih i kišnih padavina. Optimalna orijentacija treba da obezbedi maksimalnu godišnju energiju, uzimajući u obzir zaprljanje modula, zasenčenje koje prave susedni redovi i sezonske raspodele iradijacije. Dodatno prilagođavanje je potrebno izvršiti u slučaju korišćenja bifacijalnih modula zbog brojnih parametara koji na njega utiču poput albedna tla, odignutosti od tla, nagibnog i azimutnog ugla, broja redova, rastojanja između redova, kao i pozicija modula u jednom redu. Sistemi sa fiksnim nagibnim uglom su jednostavniji, jeftiniji i zahtevaju manje održavanja od sistema za praćenje položaja sunca. Oni su češća opcija u zemljama sa solarnim tržištem koje je u razvoju i ograničenom autohtonom proizvodnjom tehnologije za praćenje sunca.

### C. Sistemi za praćenje položaja sunca po jednoj osi rotacije

Na lokacijama koje karakteriše ravna topologija terena, sa nagibnim uglom manjim od  $10^\circ$ , mogu se koristiti konstrukcije sa rotirajućim osovinama koji obezbeđuju značajno veću proizvodnju električne energije po jedinici instalisane snage fotonaponskih panela. Najjednostavnija konstrukcija ovakvih sistema su jednoosni trekeri sa horizontalnom osovinom. Ovakvi sistemi usmeravaju panele ka suncu kako bi se što više smanjio ugao između pravca upadne svetlosti i normale na ravan panela, odnosno maksimizirala proizvodnja energije. U zavisnosti od lokacije i preciznih karakteristika sunčevog zračenja, sistemi sa jednoosnim praćenjem položaja sunca mogu povećati godišnji prinos energije i do 27% u odnosu na fiksne [6]. Bifacijalne solarne elektrane sa sistemima za praćenje položaja sunca pružaju dvostruku prednost u smislu prikupljene direktne i reflektovane komponente sunčevog zračenja na obe strane modula. Preliminarne analize pokazuju da je godišnji prinos energije jednoosnog praćenja položaja sunca bifacijalnog sistema za 5 do 10% veći od prinosa fiksno orijentisane solarne elektrane sa bifacijalnim modulima [7].

### III. TEHNIČKA ANALIZA VARIJANTNIH REŠENJA

Izgradnja solarne elektrane je predviđena na pepelištu TE Morava. Površina zemljišta koja je na raspolaganju iznosi oko 50 ha, međutim kada se oduzmu ivični delovi koji će služiti za izgradnju puteva i ograde, kao i oni koji će unutar solarne elektrane služiti za kretanje vozila i radnika u cilju održavanja, i one koji su pod gustom šumom, preostala raspoloživa površina za instalaciju FN panela je oko 32 ha. Za svako varijantno rešenje s obzirom da se odnose na istu lokaciju (geografske širine  $44,2191^\circ$ , geografske dužine  $21,1642^\circ$  i prosečne nadmorske visine 105 m) važe isti meteorološki parametri (poput iradijacije, temperature, brzine vetra, relativne vlažnosti vazduha i zamućenosti atmosfere). Za potrebe ovog rada u softver PVsyst su učitani meteorološki podaci iz baze softvera Meteonorm. Na osnovu ove baze podataka za ciljnu lokaciju je utvrđena ukupna godišnja insolacija na horizontalnu površinu koja iznosi  $1299 \text{ kWh/m}^2$ .

U simulacijama sa monofacijalnim modulima usvojene vrednosti srednjih koeficijenata refleksije solarnog zračenja se razlikuju za mesece u kojima se očekuju snežne padavine i onih gde ih nema. Standardna vrednost koeficijenta refleksije je 0,2 u slučaju da nema snežnog prekrivača. U simulacijama sa

bifacijalnim modulima usvojena vrednost koeficijenta refleksije tla je 0,8 što se može imati ako se delovi podloge između susednih redova prekriju sitnim belim kamenjem, belim membranama ili aluminijumskim folijama. S obzirom da se radi o pepelištu, ovakve investicije imaju opravdanost jer se ne prekriva plodno zemljište i sprečava se rasturanje pepela.

Kod fiksnih optimalno orijentisanih konstrukcija je optimalni nagibni ugao dobijen primenom softvera PVsyst, očitavanjem sa dijagrama zavisnosti godišnje proizvedene energije od nagibnog ugla panela, i to uz uvažavanje međusobnih senki susednih redova, kao i uz uvažavanje električnih gubitaka usled zasenčenja. Taj nagibni ugao za panele visine 4,6 m i rastojanja između susednih redova 10,6 m iznosi  $31^\circ$ . Indeks prekrivenosti terena je 0,43, što je u softveru PVsyst definisano kao odnos širine panela i rastojanja između susednih redova. Ovako definisani parametri odgovaraju uglu senke od  $19,7^\circ$ , što je izuzetno dobra vrednost u pogledu senki u kritičnom zimskom periodu (21. decembar), za koji je poželjno da ugao senki bude manji od  $22^\circ$ . Orijetacija modula je potpuno južna sa azimutnim uglom od  $0^\circ$ . Panel čine 4 modula po visini i 10 po dužini.

Kod horizontalnog praćenja položaja sunca po osi sever – jug definisani granični uglovi koje sistem zauzima u ranim jutarnjim satima i kasnim večernjim su  $+60^\circ$  i  $-60^\circ$ . Azimutni ugao ose rotacije S-J ima vrednost  $0^\circ$ . Panel čine 3 modula po širini i 10 po dužini. Usvojeno rastojanje između susednih redova je 10 m u pravcu istok zapad, pri čemu je indeks prekrivenosti terena 0,344.

U tabeli I je dat pregled osnovnih parametara sistema za analizirana varijantna rešenja.

TABELA I. OSNOVNI PARAMETRI SISTEMA

Pregled osnovnih parametara sistema	Monofacijalni sistemi		Bifacijalni sistemi	
	Fiksni	Osa S - J	Fiksni	Osa S - J
Instalisana snaga [MWp]	30	23,66	30	23,66
Broj modula	55556	43815	55556	43815
Broj invertora	26	19	26	19
Broj stringova	3268	2921	3268	2921
$P_{DC}/P_{AC}$	1,15	1,25	1,15	1,25

Korišćeni su moduli proizvođača Longi solar, istih naznačenih snaga, istih dimenzija i iste efikasnosti i za monofacijalne i za bifacijalne sisteme. Tip monofacijalnih je LR5-72 HPH 540M, a tip bifacijalnih LR5-72 HBD 540M, čije su naznačene snage 540Wp, a efikasnosti 21,17%. U svakom od varijantnih rešenja su korišćeni invertori proizvođača ABB CORE 1000.0-TL, naznačene snage 1MW.

Na Sl. 1 je prikazan prostorni izgled, odnosno konfiguracija solarne elektrane instalisane snage 30 MWp, sa maksimalnim iskorišćenjem raspoložive površine.



Slika 1. Prostorni izgled solarne elektrane instalisane snage 30 MWp u softverskom alatu PVsyst

Performanse fotonaponskih elektrana opadaju tokom njihovog životnog veka, razlog tome je degradacija modula usled starenja, a starenje ima negativan uticaj i na komponente postrojenja. Priloženi rezultati se odnose na prvu godinu eksploatacije elektrane i oni su dovoljni za poređenje analiziranih varijantnih rešenja jer se svako od njih razmatra na istoj lokaciji i sa istom opremom, izuzev montažnih konstrukcija.

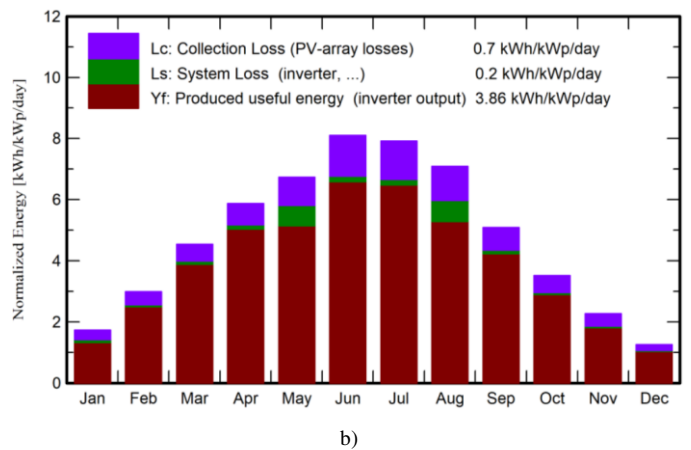
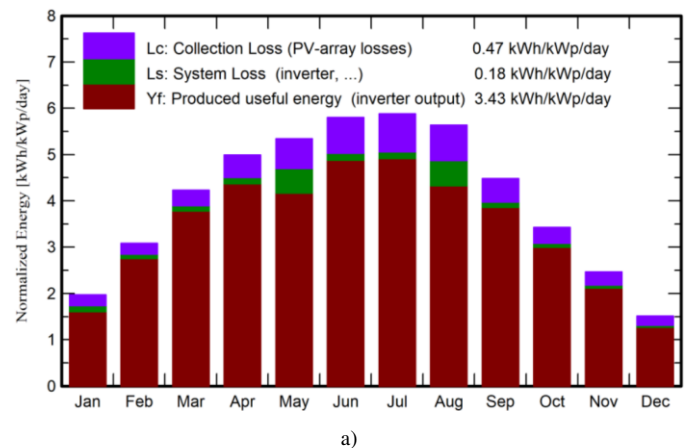
U tabeli II je dat prikaz najčešće korišćenih parametara za kvantifikaciju performansi solarne elektrane za svako od analiziranih varijantnih rešenja. Pri njihovom poređenju treba imati u vidu da svaki od navedenih parametara treba da ima što veću vrednost, te su elektrane sa najvećim vrednostima parametara najekonomičnije sa aspekta njihovog odnosa proizvodnje električne energije i gubitaka.

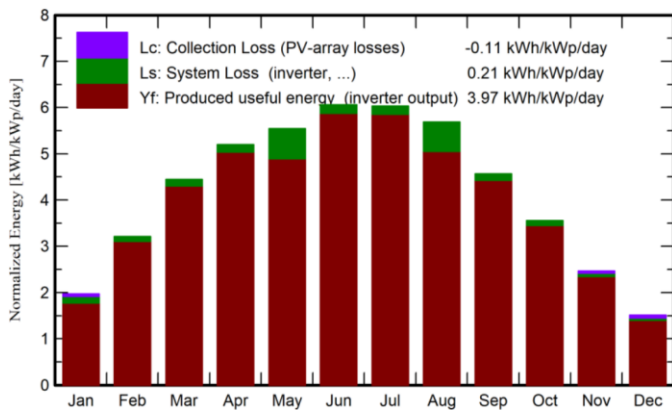
TABELA II. PREGLED PARAMETARA PROIZVODNJE

Pregled parametara proizvodnje	Monofacijalni sistemi		Bifacijalni sistemi	
	Fiksni	Osa S - J	Fiksni	Osa S - J
Godišnja proizvodnja [MWh]	37520	33346	43444	37981
Specifična godišnja proizvodnja [kWh/kWp]	1251	1409	1448	1605
Odnos performansi	0,841	0,810	0,974	0,923

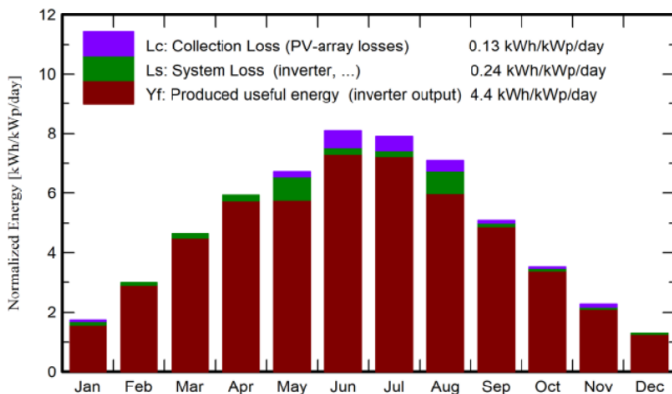
Može se primetiti da se za specifičnu godišnju proizvodnju imaju veće vrednosti kod sistema za jednoosno praćenje položaja sunca po osi rotacije sever-jug nego kod fiksnih optimalno orijentisanih sistema. Razlog tome je optimalnija okrenutost njegovih panela prema suncu u toku jutarnjih i popodnevni sati. Takođe se može primetiti i da se kod bifacijalnih modula imaju veće vrednosti nego kod monofacijalnih, što se i očekivalo zbog dodatne proizvodnje sa zadnje strane. Odnos performansi je definisan kao odnos izlazne AC energije i teorijski maksimalne koju bi moduli generisali pretvaranjem prihvaćene insolacije u korisnu električnu energiju prema svojoj instalisanoj snazi, te bolja okrenutost suncu ne uvećava ovaj parametar, ali ga zato gubici električne energije umanjuju. Zato se zbog najnižih gubitaka kod fiksno postavljenih modula (gubici usled bliskih senki i gubici usled nerasplošivosti sistema) ima i veća vrednost odnosa performansi.

Na Sl. 2 su dati mesečni grafički prikazi normalizovanih proizvodnji svakog od analiziranih sistema.





c)



d)

Slika 2. Grafički mesečni prikazi normalizovane proizvodnje sistema: a) fiksnog optimalno orijentisanog sa monofacijalnim modulima; b) sa horizontalnom osom rotacije s-j i monofacijalnim modulima; c) fiksnog optimalno orijentisanog sa bifacijalnim modulima; d) sa horizontalnom osom rotacije s-j i bifacijalnim modulima

#### IV. EKONOMSKA ANALIZA VARIJANTNIH REŠENJA

Ključni parametri koji određuju strukturu finansiranja projekta su: ROI (sumirani procentualni povraćaj investicije na kraju životnog veka elektrane) i period otplate. Finansijska analiza uzima u obzir investicione i operativne troškove, troškove zamene, kamatnu stopu i prihode elektrane.

Kako bi došli do podatka o ukupnim troškovima po MWh koji elektrana proizvodi, neophodno je sve troškove svesti na isti period. Investicioni troškovi su na početku perioda eksploatacije, dok su operativni troškovi tokom celog životnog veka elektrane. U praksi se najčešće sreće model aktualizovanih troškova proizvodnje električne energije (*Levelized Cost of Electricity - LCOE*). Period eksploatacije kao i kamatna stopa su uvaženi u proračunu.

Način na koji se LCOE faktor računa u softverskom paketu PVsyst je dat sledećom jednačinom:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

Aktualizovani troškovi proizvodnje električne energije su izraženi u \$/MWh. Članovi formule predstavljaju:  $I_t$  - Investicioni troškovi u godini  $t$  (\$);  $E_t$  - Neto proizvodnja električne energije u godini  $t$  (MWh);  $M_t$  - Operativni troškovi u godini  $t$  (\$);  $r$  - Interesna stopa;  $t$  - Godina eksploatacije (1, 2, ...,  $n$ );  $n$  - Period eksploatacije solarne elektrane.

Cene troškova koje se koriste za ekonomsku analizu su usvojene na osnovu studije koju je radila IRENA (*International Renewable Energy Agency*) za razne klase troškova za mnogobrojne države sveta [8]. Cene su izražene u \$/kW ili kao jedinične vrednosti po broju elemenata čiji se trošak određuje. Izabrana je Nemačka kao referentna država sa većinom troškova uvećanim za 20%. U ukupnu cenu investicije su uračunate cene modula, invertora, kablova, monitoring sistema, sistema bezbednosti i zaštite, troškove projekta, analiza, studija, dozvola kao i troškove održavanja i zamene pojedine opreme elektrane, kao što su invertori. Takođe u troškove ulaze i cene mehaničke i električne instalacije. Mehanička instalacija obuhvata izradu trase kablova, ugradnju modula, noseće konstrukcije, invertora i transport opreme. Električna instalacija obuhvata DC kabliranje, vezivanje modula, AC kabliranje i električne testove [8]. Usvojena je cena električne energije od 0,11\$/kWh, dok su diskontna stopa i godišnja inflacija po 3%.

Na Sl. 3 je dat pregled usvojenih jediničnih cena po kWp instalisane snage u poređenju sa tržištem Nemačke [8].

Total installed cost (2020 USD/kW)

Category	Cost Component	Germany	
Module and inverter hardware	Modules	234.0	280.8
	Inverters	32.6	39.2
BoS hardware	Racking and mounting	57.1	68.5
	Grid connection	67.0	0.0
	Cabling/ wiring	36.8	44.1
	Safety and security	8.9	10.7
	Monitoring and control	4.8	5.8
Installation	Mechanical installation	60.0	72.0
	Electrical installation	46.9	56.3
	Inspection	11.6	13.9
Soft costs	Margin	91.2	76.0
	Financing costs	3.9	4.6
	System design	9.0	9.0
	Permitting	19.5	23.4
	Incentive application	5.1	0.0
	Customer acquisition	11.1	0.0

Slika 3. Usvojene vrednosti komponenti troškova za potrebe LCOE analize razvrstane po vrsti troška, pri čemu su sa desne strane prikazane usvojene cene u poređenju sa Nemačkom

Cene se odnose na monofacijalne module sa fiksnim nosećim konstrukcijama. Cena bifacijalnih modula je izražena po jednom modulu i usvojena je vrednost od 190\$, što uključuje i povećanje oko 10% u odnosu na cenu odgovarajućeg monofacijalnog modula i još dodatnih 15% na postavljanje podloge ispod modula (između redova) u cilju povećanja koeficijenta refleksije. Kod elektrane sa sistemima

za praćenje položaja sunca po horizontalnoj osi su usvojene jedinične cene montažnih konstrukcija za 10% više nego kod konstrukcija sa fiksnim sistemima.

U tabeli III je dat pregled, odnosno uporedna analiza ekonomskih parametara različitih varijantnih rešenja sa monofacijalnim i bifacijalnim fotonaponskim modulima.

TABELA III. UPOREDNA ANALIZA EKONOMSKIH PARAMETARA

Pregled ekonomskih parametara	Monofacijalni sistemi		Bifacijalni sistemi	
	Fiksni	Osa S - J	Fiksni	Osa S - J
LCOE	0,043	0,038	0,040	0,036
ROI	263,1	311,0	283,9	328,4
Period povraćaja investicije	5,7	5,0	5,4	4,9

Kao što se može videti u tabeli III najekonomičnije varijantno rešenje je solarna elektrana sa bifacijalnim modulima sa sistemima za praćenje položaja sunca po horizontalnoj osi rotacije sever-jug. Takođe se može uočiti da se za iste sisteme elektrana dobijaju bolji ekonomski pokazatelji kod elektrana sa bifacijalnim modulima nego sa monofacijalnim. Može se uočiti i da su monofacijalne elektrane sa sistemima za horizontalno praćenje položaja sunca sever-jug ekonomičnije od elektrana sa bifacijalnim modulima fiksno orijentisanih konstrukcija.

Osim ekonomskih dobiti koje su prikazane u tabeli III, sistemi za praćenje položaja sunca obezbeđuju pogodniji dnevni profil proizvodnje jer povećavaju proizvodnju FN elektrane u jutarnjim i večernjim satima, kada je cena električne energije obično veća. Pored toga, omogućavaju smanjenje gubitaka usled snežnih padavina jer obezbeđuju automatizovano otklanjanje snega sa panela. Takođe, mogu optimizovati nagibni ugao panela pri jakim vetrovima i kiši, čime mogu poboljšati efekte samočišćenja panela.

## V. ZAKLJUČAK

Gore sprovedenom tehno-ekonomskom analizom su prikazane mogućnosti izgradnje solarne elektrane na postojećem pepelištu TE Morava u Svilajncu. Kako je zemljište na kome je pepeo neupotrebljivo za bilo koji vid poljoprivrednog ili stambenog iskorišćenja, sasvim je opravdano iskoristiti ga za izgradnju solarne elektrane.

Instalisana snaga koja se može imati za maksimalno iskorišćenje raspoloživog zemljišta je oko 30 MWp. Ugradnjom bifacijalnih modula i refleksionih prekrivki terena imala bi se dobit energije i do 20% u odnosu na odgovarajući monofacijalni sistem bez refleksionih prekrivki terena. Parametri proizvodnje kao i ekonomski parametri su na strani bifacijalnih sistema, što i jeste rezultat koji je očekivan i logičan, ali svakako treba imati u vidu da su kod bifacijalnih elektrana između susednih redova postavljane podloge koje karakteriše veća refleksija sunčevog zračenja, što unosi i

dodatni investicioni trošak. Takođe uporednom analizom je pokazano da su tehno-ekonomske performanse bolje kod elektrana sa sistemima za praćenje položaja sunca rotacijom po horizontalnoj osi u pravcu sever-jug, nego kod fiksno postavljenih sistema, bez obzira da li koristili monofacijalne ili bifacijalne module. Treba podsetiti da se pri računanju investicionih troškova nije koristila cena zemljišta, niti njegovo rentiranje u troškovima rada i održavanja, jer je investitor ujedno i vlasnik tog zemljišta, a ono nema tržišnu vrednost. Takođe se nisu razmatrali troškovi koji bi se imali pri vraćanju bankarskih kredita, usvojeno je da investitor ima taj novac. Oba prethodna parametra doprinose boljoj vrednosti LCOE faktora, ali su zato usvojene vrednosti cene električne energije i njen godišnji rast znatno ispod očekivanog za tržište Evrope, što umanjuje njenu vrednost, ali je na strani sigurnosti.

Vrednosti koje se dobijaju za očekivanu godišnju proizvodnju energije i vrednosti finansijskih parametara su zadovoljavajuće, a svakako treba imati u vidu varijaciju cene sve opreme u elektrani, materijala, dodatne neplanirane troškove, kao i pojedine usluge. Takođe nije moguće doći do konkretnih cena pojedine opreme, posebno što cene variraju od proizvođača do proizvođača i zbog nestabilnosti cena sirovina. Takođe dinamičan trend promena se javlja i kod cene električne energije iz solarnih sistema. Tehno - ekonomska analiza koja je izvršena u softveru PVsyst pokazuje da su sva varijantna rešenja ekonomski isplativa prema vrednostima parametara LCOE, perioda povraćaja investicije i ROI.

## LITERATURA

- [1] Energy Community Secretariat's WB6 Energy Transition Tracker 07/2020[Online]. Available: [https://www.energy-community.org/dam/jcr:2077a2ba-805a-4ca2-afcb-91c90ecc0878/EnC\\_WB6\\_ETT1\\_072020.pdf](https://www.energy-community.org/dam/jcr:2077a2ba-805a-4ca2-afcb-91c90ecc0878/EnC_WB6_ETT1_072020.pdf) (10.01.2022.)
- [2] G. Lin, S. Bimenyimana, M.-L. Tseng, C.-H. Wang, Y. Liu, L Li (2020), Photovoltaic Modules Selection from Shading Effects on Different Materials, *Symmetry* 2020, 12(12), 2082
- [3] I. Batić, Ž. Đurišić (2020) Analiza kapaciteta i uslovi izgradnje fotonaponskih sistema na krovovima školskih objekata u Srbiji, *ENERGETIKA* 2020, pp. 394-401
- [4] Energy Community Secretariat's WB6 Energy Transition Tracker 06/2021[Online]. Available: [https://www.energy-community.org/dam/jcr:c7db8188-0b04-443b-9f41-728ee182fc90/EnC\\_WB6\\_ETT3\\_062021.pdf](https://www.energy-community.org/dam/jcr:c7db8188-0b04-443b-9f41-728ee182fc90/EnC_WB6_ETT3_062021.pdf) (10.01.2022.)
- [5] Dimitrij Chudinzow, Jannik Haas, Gustavo Diaz-Ferran, Simon Moreno-Leiva, Ludger Eltrop, "Simulating the energy yield of a bifacial photovoltaic power plant", *Solar Energy*, 2019
- [6] Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants: A Project Developer's Guide[Online]. Available: [https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b3db-d3-983e-4ee3-a67b-cdc29ef900cb/IFC+Solar+Report\\_Web+08+05.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kZePDPG](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b3db-d3-983e-4ee3-a67b-cdc29ef900cb/IFC+Solar+Report_Web+08+05.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kZePDPG) (19.12.2021.)
- [7] Bifacial Photovoltaic Modules and Systems: Experience and Results from International Research and Pilot Applications, Report IEA – PVPS T13-14: 2021. [Online]. Available: [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-14\\_2021-Bifacial-Photovoltaic-Modules-and-Systems-report.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-14_2021-Bifacial-Photovoltaic-Modules-and-Systems-report.pdf) (12.2.2022.)
- [8] Renewable power generation costs in 2020 [Online]. Available: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA\\_Power\\_Generation\\_Costs\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf) (10.01.2022.)

#### ABSTRACT

Abandoned coal fly ash field of the thermal power plants are ideal locations for the construction of utility-scale photovoltaic power plants. One of such locations is the coal fly ash field of the Morava thermal power plant in Serbia. In the proposed paper, a techno-economic analysis of the installation of a photovoltaic power plant in this area was performed. Various technological and technical solutions for the realization of a solar power plant have been analyzed. Two technological concepts were analyzed, namely a photovoltaic power plant with a fixed-tilt orientation with optimally oriented panels and a photovoltaic power plant with horizontal single-axis trackers in the north-south direction. For both technological solutions, variants with monofacial and bifacial

panels were analyzed. All analyzes were performed in the professional software PVsyst in which the meteorological database is integrated. Based on the conducted analyzes, for each of the proposed solutions, the calculation of installed capacity, annual energy production and production costs of produced MWh was performed.

#### **COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF THE PHOTOVOLTAIC POWER PLANT AT THE COAL FLY ASH FIELD OF THE MORAVA THERMAL POWER PLANT**

Matej Mićović, Miloš Stojanović, Milica Aščerić, Đorđe  
Lazović, Željko Đurišić