

DOI: [10.46793/CIGRE37.C6.01](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.C6.01)**C6.01****ANALIZA RADA SOLARNE ELEKTRANE SA VERTIKALNO POSTAVLJENIM
BIFACIJALNIM SOLARNIM PANELIMA****ANALYSIS OF THE OPERATION OF A SOLAR POWER PLANT WITH VERTICALLY
MOUNTED BIFACIAL SOLAR PANELS****Vladimir Antušević, Aleksandar Pejović***

Kratak sadržaj: Ovaj rad analizira prednosti jednog od inovativnih pristupa proizvodnji električne energije iz energije sunčevog zračenja korišćenjem vertikalno postavljenih bifacijalnih solarnih panela u solarnim elektranama. Tradicionalne horizontalne konfiguracije suočavaju se sa izazovima kao što su efikasnost korišćenja zemljišta, ograničenja prostora i promenljiva izloženost sunčevom zračenju tokom dana kao i visoke temperature panela usled čega efikasnost solarnog panela može znatno opasti. Vertikalna konfiguracija elektrane nudi nekoliko prednosti, uključujući veću iskorišćenost prostora, potencijalno smanjenje zasenčenja između panela, bolja eksploatacija u pogledu zagrevanja panela tokom letnjih dana kao i potencijal za poboljšanu proizvodnju električne energije tokom sunčanih sati bez najvećeg intenziteta zračenja. Glavna prednost ovakvog sistema je da u ranim jutarnjim časovima i kasnim popodnevним časovima elektrana daje veću proizvodnju od konvencionalnih sistema sa horizontalno postavljenom, južno orijentisanom konfiguracijom. Koristeći simulacione modele i studije slučaja iz realnog primera tržišta električne energije i tipskih dnevnih dijagrama potrošnje, u radu će biti analizirana izvodljivost vertikalnih solarnih elektrana kako u tehničkom tako i u ekonomskom aspektu. Rezultati simulacija će pokazati da proizvodnja ovakvog tipa elektrane u određenim satima tokom dana bolje odgovara dnevnom dijagramu potrošnje. Trend izgradnje navedenih elektrana je u sve većem rastu i može postati jedan od značajnih tipova distribuiranih obnovljivih izvora električne energije pronalazeći svoju upotrebu kako u urbanim sredinama poput gradova, krovova zgrada, parkova u kojima je prostor ograničen tako i na poljoprivrednom zemljištu gde se proizvodnja električne energije može kombinovati sa uzgojem različitih agrikultura.

Ključne reči: *Bifacijalni paneli, Vertikalna konfiguracija, Solarna elektrana, Distribuirani izvor električne energije*

Abstract: This paper analyzes the advantages of one of the innovative approaches to the production of electricity from the energy of solar radiation using vertically mounted bifacial solar panels in solar power plants. Traditional horizontal configurations face challenges such as land use efficiency, space limitations, and variable exposure to solar radiation throughout the

* Vladimir Antušević, GMS Consult doo, vantusevic@gms-consult.com
Aleksandar Pejović, GMS consult, apejovic@gms-consult.com

day as well as high panel temperatures, which can significantly decrease solar panel efficiency. The vertical configuration of the power plant offers several advantages, including greater space utilization, potential reduction of shading between panels, better exploitation in terms of panel heating during summer days, and the potential for improved electricity generation during non-peak solar hours. The main advantage of such a system is that in the early morning and late afternoon the power plant produces more than conventional systems with a horizontally placed, south-facing configuration. Using simulation models and case studies from a real example of the electricity market and typical daily consumption diagrams, the paper will analyze the feasibility of vertical solar power plants in both technical and economic aspects. The results of the simulations will show that the production of this type of power plant at certain hours during the day better corresponds to the daily consumption diagram. The trend of building the aforementioned power plants is growing and can become one of the significant types of distributed renewable sources of electricity, finding its use both in urban areas such as cities, roofs of buildings, parks where space is limited, and on agricultural land where electricity production can be combined with the cultivation of various crops.

Key words: *Bifacial modules, Vertical configuration, Solar power plant, Distributed renewable sources of electricity*

1 UVOD

Jedan od glavnih trendova razvoja elektroenergetskog sistema zasniva se na sve većem prisustvu distribuiranih izvora električne energije čiji je udeo u ukupnom sistemu u konstantnom rastu. Pored konvencionalnih elektrana srednjih i velikih snaga, inovativna rešenja proizvodnje električne energije iz solarnih panela mogu biti uključena u različita rešenja gde bi pored svoje osnovne funkcije za proizvodnju električne energije paneli mogli imati i dodatne funkcije.

Ovaj rad analizira jedno od inovativnih načina instalacije i eksploatacije solarne elektrane koja ima vertikalno postavljene bifacijalne fotonaponske panele. U poglavlju broj 2 će biti navedene glavne prednosti ovakve elektrane kao i realni primeri u kojima su elektrane sa vertikalnim panelima pronašle primenu i uveliko su sastavni deo pojedinih distributivnih sistema. Kako bi se napravio dobar model elektrane uvažavajući topografiju terena korišćen je programski alat PV Case, dok je za analizu eksploatacije elektrane korišćen program PV Syst. U poglavlju broj 3 su navedeni parametri simulacija koji su korišćeni, topografije terena koje su uzete u razmatranje kao i odabir elektroenergetske opreme. Radi određivanja najpogodnijeg terena za instalaciju elektrane sa vertikalnim panelima, koji su orijentisani u pravcu istok-zapad, u poglavlju 4 su prikazani modeli i pojedini rezultati simulacija za elektrane sa istom instalisanom snagom ali na terenima koji su orijentisani prema različitim stranama sveta. Kao glavni parametri prikazana su međusobna zasenčenja koje prave redovi kao i dnevni dijagrami proizvodnje za karakterističan letnji dan u zavisnosti od položaja Sunca. U poslednjem poglavlju prikazane su godišnje injektirane električne energije u mrežu za svih 5 mogućih rešenja kao i analiza prosečne dnevne proizvodnje za letnji i zimski period godine. Kako bi se stekao utisak o ekonomskoj dobiti instalacije ovakve elektrane prikazana je analiza na osnovu satnih cena električne energije u Srbiji za 2024.

2 PRIMENA SOLARNIH ELEKTRANA SA VERTIKALNO POSTAVLJENIM FOTONAPONSKIM MODULIMA

Iako je u Srbiji tip elektrane sa vertikalno postavljenim panelima još uvek inovativno rešenje, u državama koje su predvodnici u integraciji obnovljivih izvora energije u svoje distributivne sisteme ovo rešenje je odavno našlo primenu i u sve većoj meri je zastupljeno. Tradicionalno južno orijentisane elektrane sa horizontalno postavljenim panelima (pod nagibnim uglom od 20-30°) iziskuju dosta raspoložive površine dok instalacija velikih i dugačkih konstrukcija na terenima sa velikim nagibom može predstavljati problem u fazama izvođenja projekta. Glavna mana kod ovakvih elektrana je što dnevni dijagram proizvodnje ne prati u najboljem nivou dijagrame potrošnje i cena električne energije, stoga može se desiti da postoji višak proizvedene energije u trenucima kada to sistemu nije potrebno. Jedan od načina za prevazilaženje navedenih problema je da se u profil proizvodnje uključe elektrane sa vertikalnim panelima koje se mogu instalirati u različitim sistemima a da pritom ne zauzimaju previše korisnog prostora koji se može iskoristiti u druge namene. Glavna prednost elektrana sa vertikalnim panelima orijentisanim u pravcu istok-zapad je ta što u dnevnom dijagramu proizvodnje postoje 2 maksimum i to jutarnjim i popodnevним satima kada je u sistemu najveća potrošnja električne energije.

2.1 Poljoprivreda

Kombinovanje proizvodnje električne energije sa poljoprivrednom proizvodnjom jedan je od aktuelnih trendova u Evropi koji pronalazi svoju primenu u uzgoju različitih useva kao što su vinogradi, borovnice... Prva istraživanja vezana za paralelnu proizvodnju električne energije i poljoprivrednih dobara su sprovedena u Japanu još u ranim 2000., dok je taj trend malo kasnije došao u Evropu gde je među prvima primenjen u Francuskoj i Nemačkoj. Broj radova je značajno porastao u poslednjih 10 godina a od ukupnog broja radova vezanih na ovu temu čak 90% je objavljen u prethodnih 5 godina, dok u poslednje 2 godine oko 60% [1]. Ovakav pristup se u stranoj literaturi naziva "Agrivoltaic" i kao glavnu prednost ima iskorišćenje poljoprivrednog zemljišta koje je bitno pogotovo ako je zemljište skupo ili na neki način ograničeno. Integracija elektrane sa vertikalnim panelima u ovakvim sistemima može biti vrlo efikasna. Veliki broj istraživanja ukazuje da ovakve elektrane daju benefite na poljoprivredne kulture jer ih štite od ekstremnih vremenskih prilika kao što su snažne oluje dok uticaj na prosečnu temperaturu ide u korist biljkama. Prosečne dnevne temperature ostaju niže tokom najtoplijih letnjih dana u odnosu na temperature na otvorenom polju dok su dnevne promene manje. U poljoprivrednim sistemima sa instaliranim fotonaponskim panelima minimalne noćne temperature su bile više u proseku za 0.5-2.4°C, dok su maksimalne dnevne temperature bile niže u proseku za 1.5-6°C u odnosu na otvoren teren [1]. Temperaturni stres usled preniskih ili previsokih temperatura može značajno uticati na produktivnost biljaka, dok se instaliranjem elektrane ovaj efekat može ublažiti.

Teren koji je pod nagibom i dobro osunčan je idealan za uzgoj većine poljoprivrednih kultura a istovremeno je pogodan i za konfiguraciju solarne elektrane koja može dati dobre izlazne parametre. Primeri su dati na slikama ispod:



Slika 1: Kombinovanje poljoprivredne proizvodnje i solarne elektrane

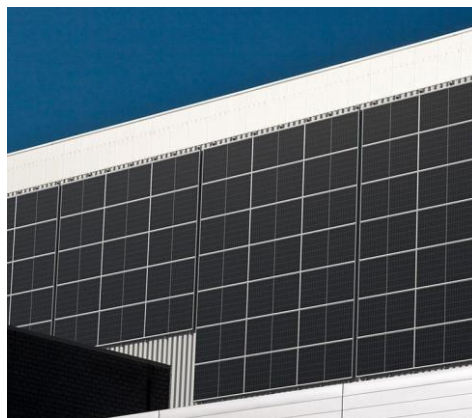
2.2 Infrastrukturni objekti

Integracija izvora električne energije u postojeće i nove infrastrukturne objekte ima ogroman potencijal. Solarna elektrana sa vertikalnim panelima koja ima paralelnu funkciju pronalazi svoje mesto na objektima kao što su:

- Autoput
- Železnice
- Vodeni kanali
- Fasade zgrada
- Ograde

Prostor oko autoputeva ili železnica može biti iskorišćen za instalaciju vertikalno postavljenih solarnih elektrana koje bi imale funkciju zvučnih barijera ili ograda i ujedno mogu predstavljati značajan distribuiran izvor električne energije.

Elektrane sa vertikalnom panelima mogu biti instalirane na fasadama zgrada, poslovnih/ stambenih zajednica i industrijskih centara i na taj način doprineti energetskej efikasnosti celog objekta. Pored same električne energije koju će elektrana proizvesti, ušteda energije se postiže ako se paneli instaliraju na fasadu koja ima južnu orijentaciju i koja je osunčana tokom najtoplijeg dela dana. Paneli bi sprečili direktno zračenje na fasadu zgrade i smanjili temperaturu unutar objekta a samim tim i potrebu za uključivanjem rashladnih sistema.



Slika 2: Vertikalna postavka panela na spoljašnji zid industrijskog objekta

3 SIMULACIJE U PROGRAMSKIM ALATIMA

Programske simulacije su odrađene u programskim alatima PV Syst i PV Case. Kao ograničavajući faktor u simulacijama uzeta je raspoloživa površina koja je u svim simulacijama iznosila 10 hektara. Instalirana AC i DC snaga elektrana je u svakoj varijaciji ista kako bi se rezultati mogli adekvatno analizirati i uporediti.

3.1 Topografija terena

U simulacijama je korišćen teren sa nagibom od 25° koji je dovoljno strm za dobro iskorišćenje elektrane a pored toga na takvom terenu je moguć rad sa teškom mehanizacijom. Odrađeno je više orijentacija terena kako bi se uporedili dobijeni rezultati i izvukli zaključci za proizvedenu električnu energiju. Simulacije su odrađene za nagib terena prema istoku, jugoistoku, jugu, jugozapadu i zapadu. Takav teren pogoduje proizvodnji električne energije dok istovremeno može biti iskorišćen i u poljoprivredne svrhe.

3.2 Parametri simulacija

3.2.1 PV Case

Kako bi konfiguracija elektrane bila ispravno projektovana na datom terenu uvažavajući međusobna zasenčenja usvojeno je međusobno rastojanje redova od 6.5m. Prednost odabranog terena pod nagibom je ta što rastojanje između redova ne mora da bude toliko veliko kao kada bi teren bio ravan.

3.2.2 PV Syst

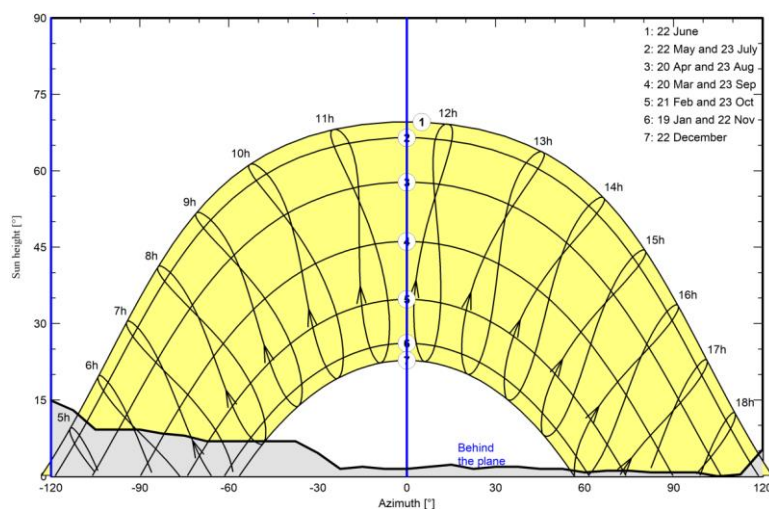
Projektovan model elektrane napravljen u PV Case-u je uvežen u PV Syst i odrađena simulacija rada kako bi se dobile satne vrednosti proizvodnje električne energije tokom cele godine. Bitan parametar u simulacijama predstavlja albedo koji značajno utiče na proizvodnju električne energije u elektrana sa verikalnom konfiguracijom pa je zato definisan za sledeće mesece:

Tabela 1: Usvojene mesečne vrednosti albeda

Januar	0.5	Jul	0.25
Februar	0.3	Avgust	0.25
Mart	0.2	Septembar	0.2
April	0.2	Oktobar	0.2
Maj	0.25	Novembar	0.2
Jun	0.25	Decembar	0.5

U mesecima u kojima je očekivan sneg albedo je viši jer sneg dobro reflektuje sunčevo zračenje, dok je u mesecima bez snega vrednost albeda je niža. Prosečna godišnja vrednost iznosi 0.275.

Meteorološki podaci koji uvažavaju sunčevu iradijaciju, prosečne temperature, padavine i položaj Sunca su odabrani na lokaciji Srbije na brdovitom terenu u blizini grada Kraljeva. Na slici ispod prikazana je putanja Sunca kao i zasenčenje koje se stvara usled prepreka na horizontu:



Slika 3: Putanja Sunca i zasenčenje usled prepreka na horizontu

3.3 Elektroenergetska oprema

U simulacijama su korišćeni fotonaponski moduli sledećih karakteristika:

Tabela 2: Parametri izabranog fotonaponskog modula

Proizvođač i naziv modula	Tongwei solar, TWMNF-66HD710
Pmax	710Wp
Vmp	40.69V
Imp	17.45A
Efikasnost	22.9%
Faktor bifacijalnosti	85%

Faktor bifacijalnosti je veoma bitan parametar u radu svake solarne elektrane a pogotovo elektrane sa vertikalno postavljenim panelima jer on predstavlja odnos efikasnosti zadnje strane u odnosu na prednju stranu modula odnosno govori o tome koliki će doprinos proizvodnji električne energije dati zadnja strana panela. Proizvođači fotonaponskih modula su u nastojanju da poboljšanjem tehnologije proizvodnje ovaj faktor podignu i iznad 90%. U simulacijama su korišćeni invertori sledećih karakteristika:

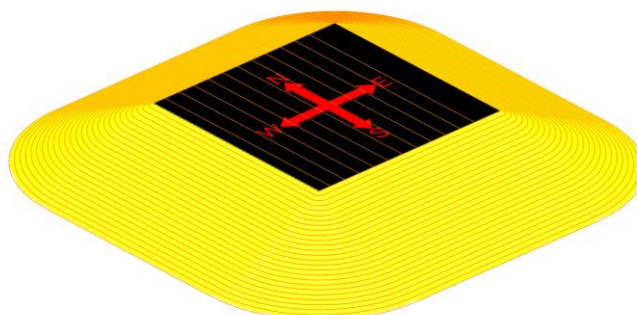
Tabela 3: Parametri izabranog invertora

Proizvođač i naziv invetora:	Huawei, SUN2000-330KTL-H1
Nominalna aktivna snaga:	300kW
Nomialni ulazni napon:	1080V
Nominalna izlazna struja:	216.6A
Opseg radnih napona MPP trakera:	500-1500V
Maksimalna radna struja MPP trakera:	65A

Pri projektovanju solarne elektrane treba obratiti pažnju kolikom snagom će biti opterećen inverter. Faktor koji govori o tome da li je inverter dovoljno opterećen se zove ILR (Inverter load ratio) koji u navedenim simulacijama iznosi 1.55. Jedan string je formiran od 26 redno vezanih fotonaponskih modula čime se postiže optimalan rad na MPP trakeru invertora.

4 ELEKTRANA SA VERTIKALNIM PANELIMA ORIJENTISANIM U PRAVCU ISTOK-ZAPAD

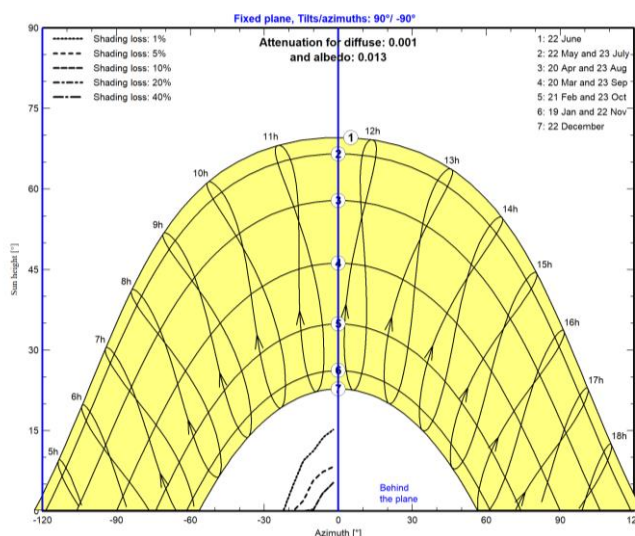
U svrhu simulacija formiran je model terena sa nagibom od 25° prema različitim stranama sveta na koje je predviđena instalacija elektrane. Na raspoloživom prostoru od 10 hektara moguća je instalacija ukupno 504 stringova od po 26 modula kojima se postiže instalisana snaga od 9304kWp. Konverzija jednosmernog sistema napona i struja u naizmeničan realizovan je instalacijom 20 invertora nominalne snage 300kW, čime se postiže nominalna AC snaga elektrane od 6MW.



Slika 4: Model terena projektovan u PV Case-u

4.1 Elektrana na terenu sa istočnim nagibom

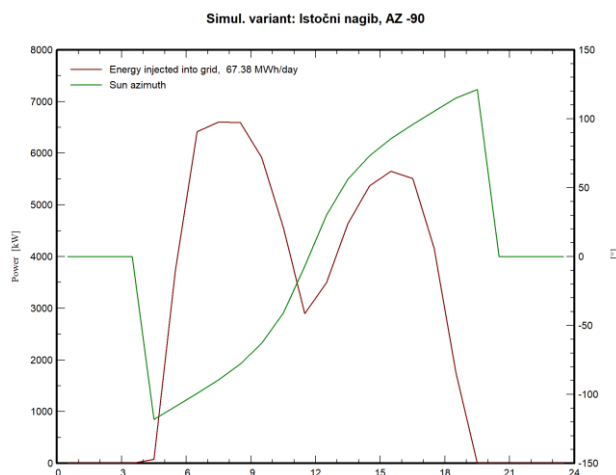
Postavljanjem elektrane na istočnu padinu terena, postiže se efikasno iskorišćenje energije sunčevog zračenja u jutarnjim časovima pre nego što Sunce dođe u solarno podne. Na godišnjoj putanji Sunca na slici ispod može se uočiti da međusobno zasenčenje između redova ne postoji.



Slika 5: Putanja Sunca i zasenčenja za elektranu na istočnom nagibu terena

Prednja strana panela je orijentisana prema istoku pa sunčeva zračenja nakon podneva padaju na zadnju stranu panela, što je i prikazano plavom linijom na slici 5. Kako su korišćeni bifacijalni paneli sa koeficijentom od 85%, iskorišćeno je i zračenje koje pada na zadnju stranu.

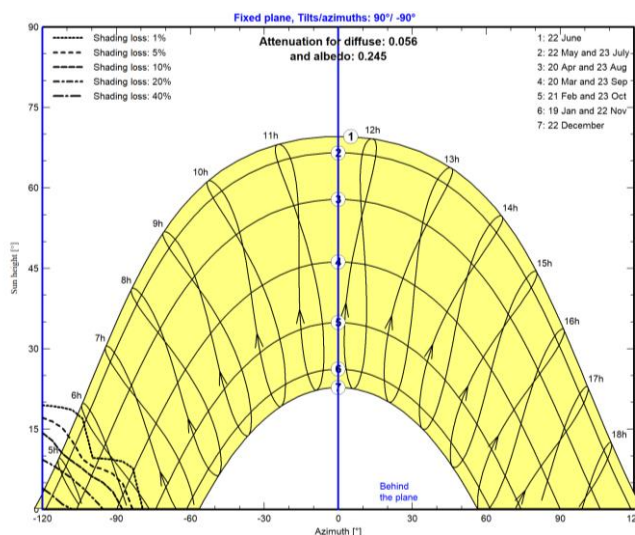
Na slici ispod prikazan je dnevni dijagram proizvodnje za tipičan letnji dan kao i putanja Sunca kroz azimutni ugao. Uočava se da je jutarnje injektiranje energije u mrežu veće nego popodnevno iz razloga jer je prednja strana efikasnija u konverziji energije.



Slika 6: Dijagram proizvodnje i putanja Sunca za elektranu na istočnom nagibu terena

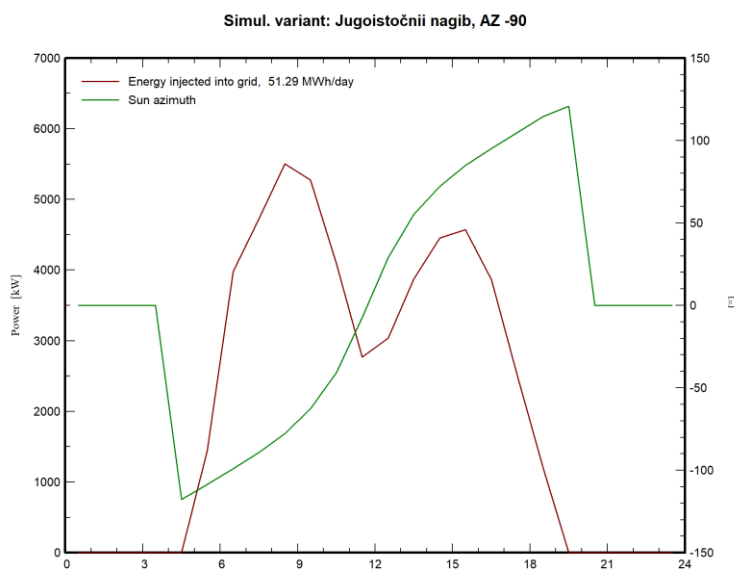
4.2 Elektrana na terenu sa jugoistočnim nagibom

Postavljanjem elektrane na jugoistočnu padinu terena, takođe se postiže se efikasno iskorišćenje energije sunčevog zračenja u jutarnjim časovima pre nego što Sunce dođe u solarno podne ali za razliku od slučaja 4.1 sada postoji zasenčenje zbog drugačije orijentacije terena na kojem su postavljeni paneli što se vidi na slici 7. Paneli su prednjom stranom i u ovom slučaju okrenuti prema istoku.



Slika 7: Putanja Sunca i zasenčenja za elektranu na jugoistočnom nagibu terena

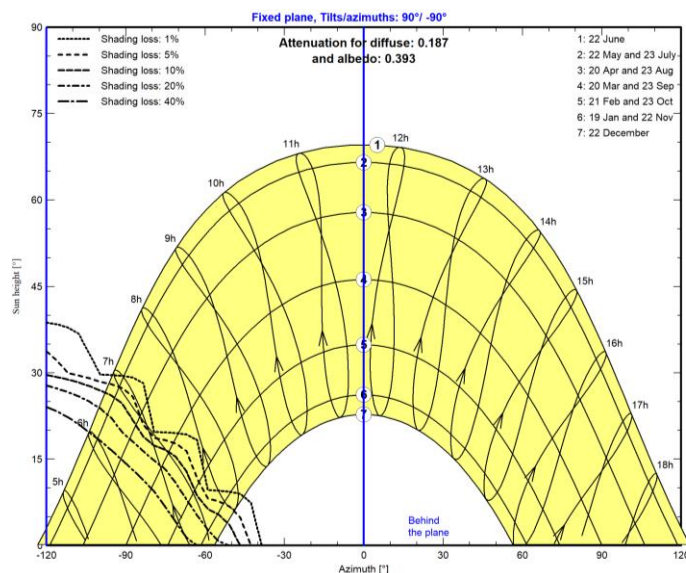
Dnevni dijagram proizvodnje je sličnog karaktera kao u tački 4.1, s tim što su sada maksimalne vrednosti nešto niže, zbog manjeg efektivnog sunčevog zračenja na ravan fotonaponskog modula.



Slika 8: Dijagram proizvodnje i putanja Sunca za elektranu na jugoistočnom nagibu terena

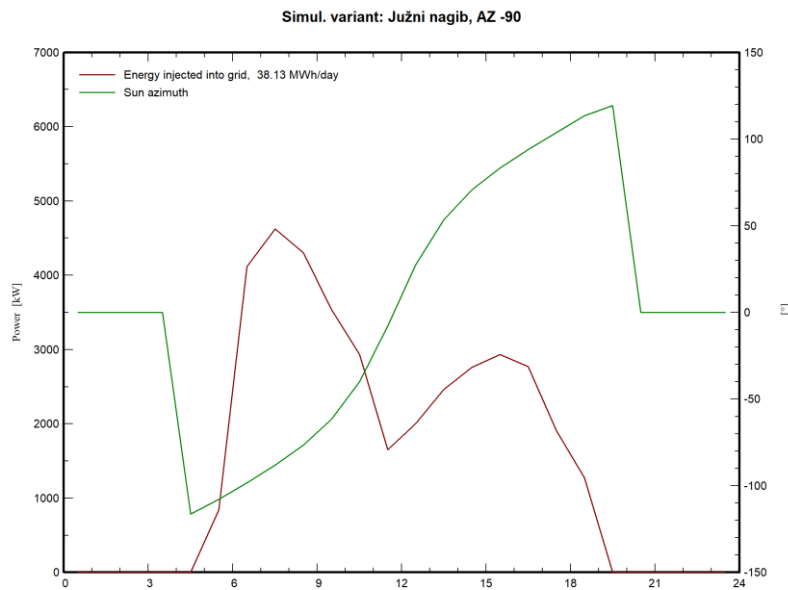
4.3 Elektrana na terenu sa južnim nagibom

U ovom slučaju, kada je elektrana postavljena na južnom nagibu, zasenčenju u jutarnjim časovima kada je Sunce nisko na horizonstu je najizraženije što se vidi na slici 9. Paneli kao i u prethodna dva slučaja su orijentisani prema istoku. Proizvodnja električne energije u ovom je značajno manja nego u prethodna dva što će biti pokazano u tački 5.



Slika 9: Putanja Sunca i zasenčenja za elektranu na južnom nagibu terena

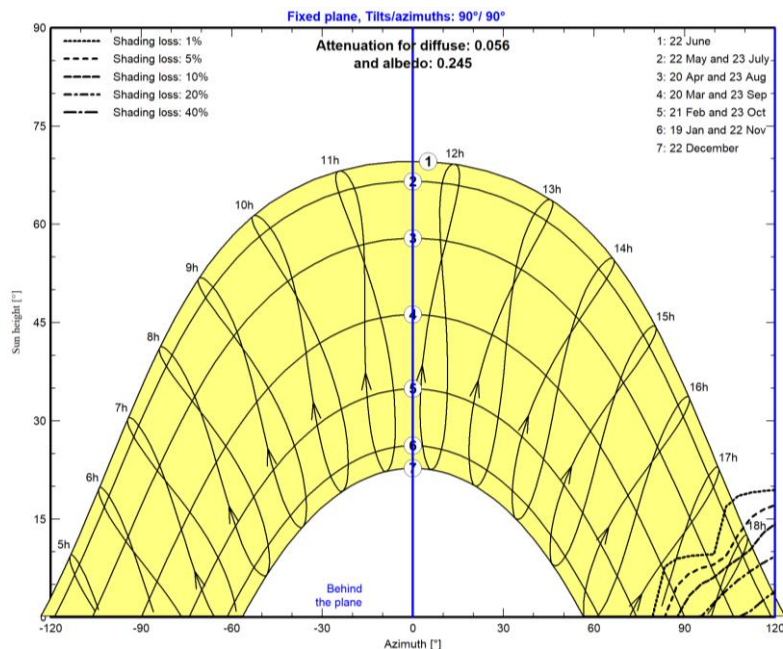
Dnevni dijagram proizvodnje, kao i u prethodna dva slučaja, pokazuje da je bolje proizvodnja u prepodnevним satima jer je prednja strana fotonaponskog modula efikasnije konvertuje energiju sunčevog zračenja u električnu energiju nego što to radi zadnja strana modula.



Slika 10: Dijagram proizvodnje i putanja Sunca za elektranu na južnom nagibu terena

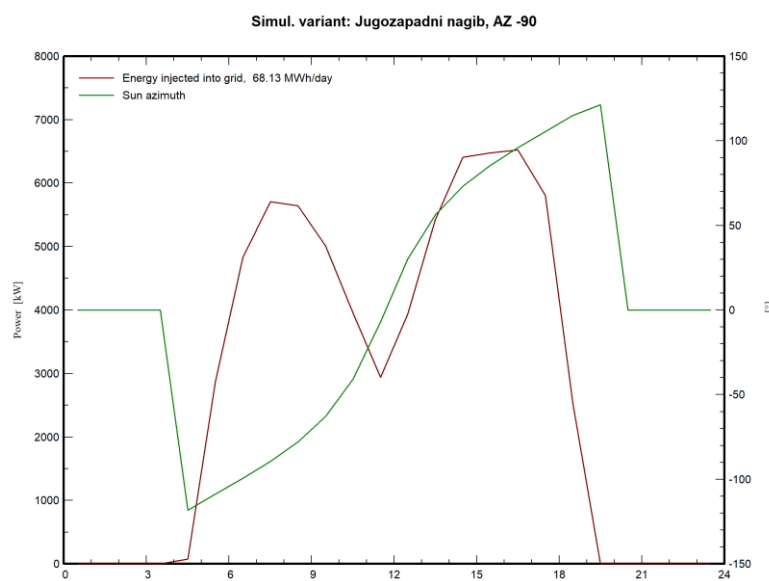
4.4 Elektrana na terenu sa jugozapadnim nagibom

Kako bi se sunčevo zračenje što bolje iskoristilo, u ovom slučaju je prednja strana panela okrenuta prema zapadu. Ovim načinom orijentacije se postiže veća proizvodnja u popodnevним satima, što je dobro u pogledu elektroenergetskog sistema kada je potreba za električnom energijom veća. Postoji malo zasenčenje između redova u trenucima zalaska Sunca, što se može primetiti na slici ispod:



Slika 11: Putanja Sunca i zasenčenja za elektranu na jugozapadnom nagibu terena

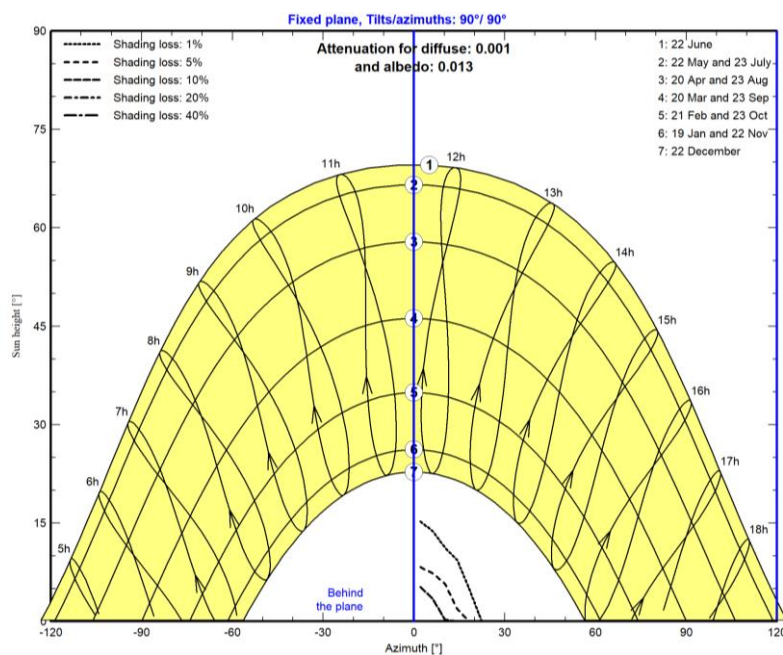
Dnevni dijagram proizvodnje tipičnog letnjeg dana potvrđuje da je veća proizvodnja u popodnevним satima.



Slika 12: Dijagram proizvodnje i putanja Sunca za elektranu na jugoistočnom nagibu terena

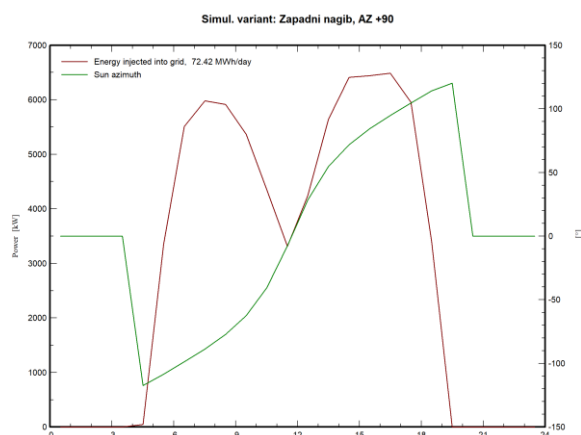
4.5 Elektrana na terenu sa zapadnim nagibom

Analogno postavljanjem panela na istočnu padinu, slične prednosti važe i za elektranu postavljenu na zapadnu padinu. Međusobno zasenčenje ne postoji dok je prednja strana panela orijentisana prema zapadu pa je i veća proizvodnja popodne nego prepodne.



Slika 13: Putanja Sunca i zasenčenja za elektranu na zapadnom nagibu terena

Dnevni dijagram proizvodnje je istog karaktera kao u tački 4.4 s tim što su maksimumi u ovom slučaju još više izraženi.



Slika 14: Dijagram proizvodnje i putanja Sunca za elektranu na zapadnom nagibu terena

5 ANALIZA REZULTATA

5.1 Pregled rezultata

PV Syst generiše satnu proizvodnju za odabranu godinu eksploatacije elektrane na osnovu čega je generisana tabela ispod sa osnovnim parametrima:

Tabela 4: Rezultati analiza

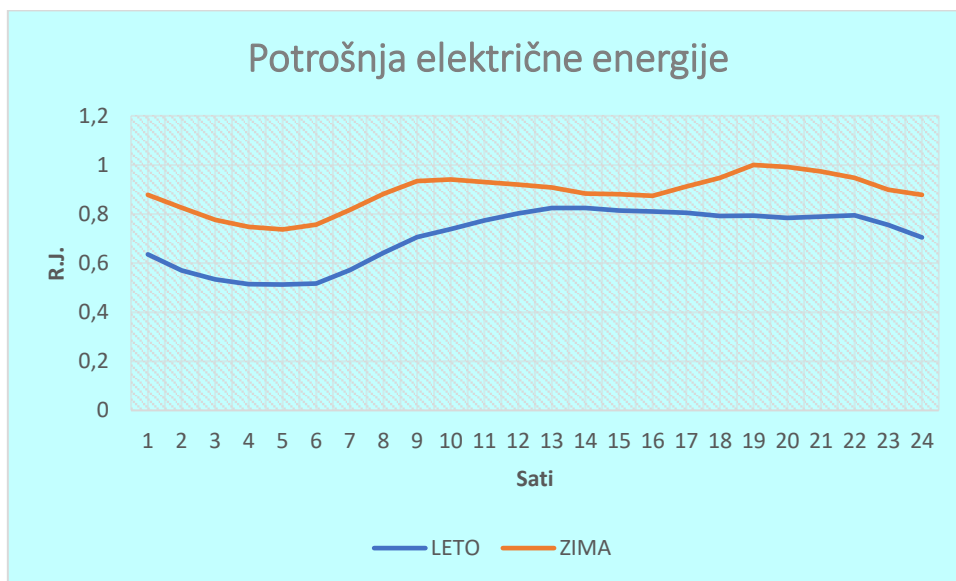
Nagib terena	Istok (4.1)	Jugoistok (4.2)	Jug (4.3)	Jugozapad (4.4)	Zapad (4.5)
DC snaga [kWp]	9300	9300	9300	9300	9300
AC snaga [kW]	6000	6000	6000	6000	6000
Injektirana energija [MWh/god]	11488	10945	7371	11793	12498
Specifična proizvodnja [kWh/kWp/god]	1235	1176	849	1268	1349
Faktor iskorišćenja elektrane[%]	21,8	20,8	14	22,4	23,7

Iz dobijenih rezultata se vidi da najbolje rezultate daju varijante elektrana koje su postavljene na terenu koji ima istočni ili zapadni nagib, gde je zapadni nagib u blagoj prednosti. Kako su dnevni dijagrami proizvodnje za varijante 4.1 i 4.2 istog karaktera, kao i za varijante 4.4 i 4.5, u narednom poglavlju biće analizirani samo slučajevi 4.1 i 4.5 koji ujedno daju najbolje rezultate.

5.2 Prosečna dnevna potrošnja i cene električne energije za leto i zimu

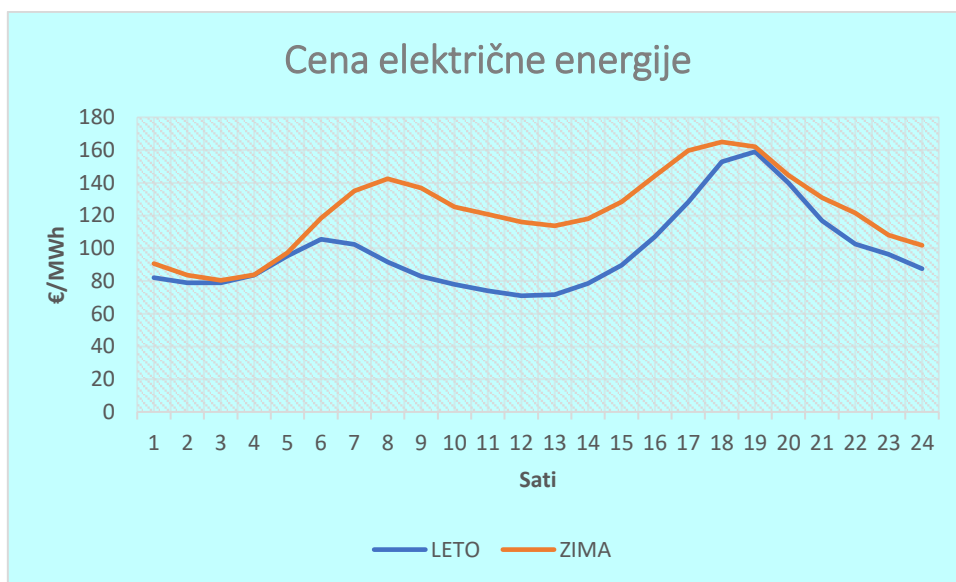
Koristeći javno dostupne podatke o satnoj potrošnji električne energije [2], formirani su karakteristični dnevni dijagrami potrošnje električne energije u Srbiji za 2024. godinu za period leta i zime kao dva karakteristična godišnja doba u pogledu potrošnje.

Na grafiku ispod dijagram je predstavljen u relativnim jedinicama. Tokom zimskog perioda, kada je potrošnja električne energije veća nego leti, se uočava jedna vršna vrednost u prepodnevnom i druga u popodnevnom satima dok se na letnjem dijagramu javlja jedan maksimum pretežno u popodnevnom satima.



Slika 15: Dijagram potrošnje električne enegije za leto i zimu u Srbiji

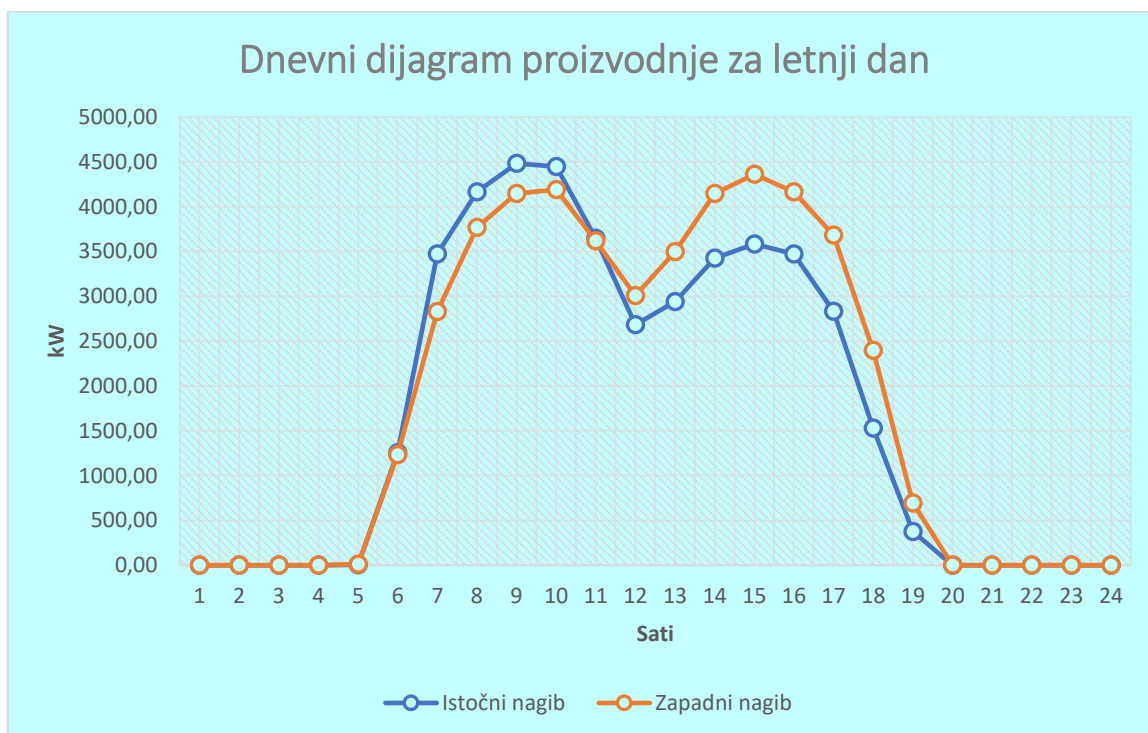
Podaci o satnim promenama cene električne energije su preuzeti sa [3] i prikazani su za jedan tipski letnji i zimski dan na slici 16. U dnevnoj promeni električne energije jasno se uočavaju dva ekstremuma i to u jutarnjim časovima u periodu 7-9č i popodne u periodu 17-19č.



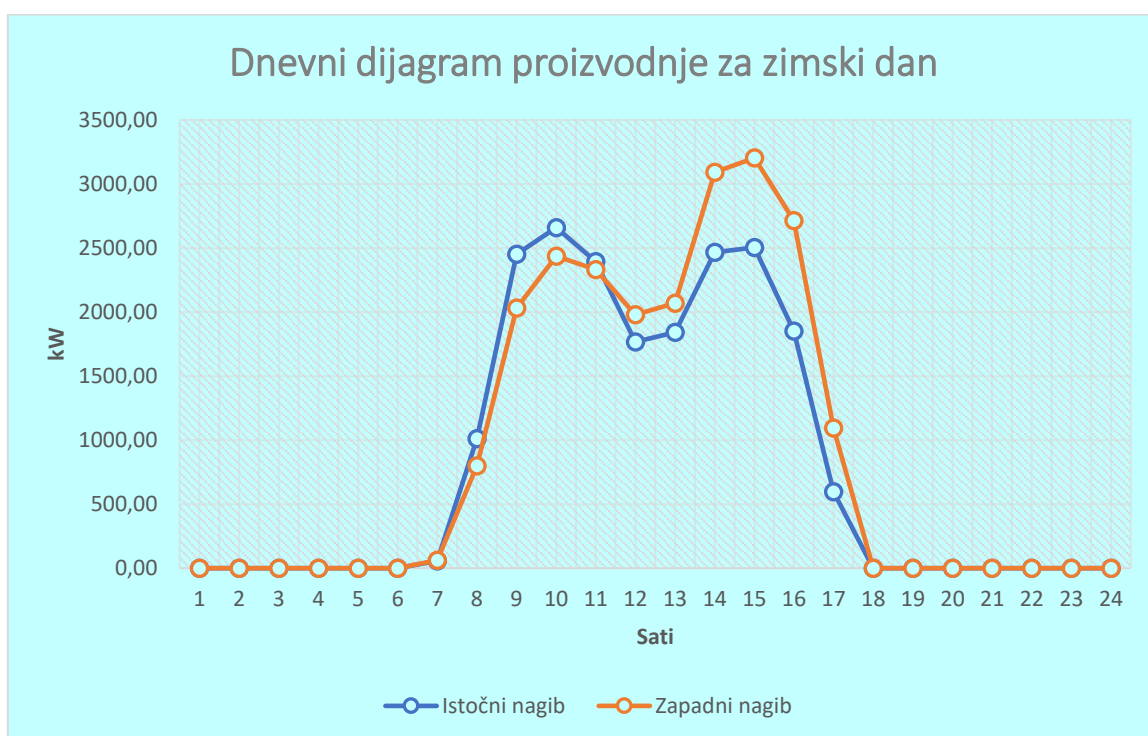
Slika 16: Dijagram cena električne enegije za leto i zimu u Srbiji

Za leto i zimu su odrađene srednje vrednosti proizvodnje za slučaj iz tačke 4.1 i 4.5. Rezultati sa satnom rezolucijom su prikazani na slikama 17. i 18. Prosečna dnevna proizvodnja ima osobinu da ima 2 skoka i to tokom prepodneva i poslepodneva, dok u trenucima kada je Sunce najviše tj oko podneva proizvodnja je u blagom opadanju jer tada sunčevi zraci ne padaju direktno na ravan panela.

Posmatrajući grafike na slikama 17. i 18. i upoređujući ih sa prirodom grafika na slikama 15. i 16. primećuje se da proizvodnja elektrane sa vertikalnim panelima veoma dobro prati dijagrame potrošnje i cene.



Slika 17: Dijagram proizvodnje električne energije za leto za varijante elektrane na terenu sa istočnim i zapadnim nagibom



Slika 18: Dijagram proizvodnje električne energije za zimu za varijante elektrane na terenu sa istočnim i zapadnim nagibom

U prepodnevnom satima dominantniju proizvodnju će imati elektrana koja je instalirana na terenu sa istočnim nagibom dok u popodnevnom satima dominantnija proizvodnja je iz elektrane koja je instalirana na terenu sa zapadnim nagibom. Razlog zbog koje dijagrami nisu idealno simetrični je taj što faktor bifacijalnosti nije 100% i što broj sunčanih sati na različitim terenima nije isti.

5.3 Ekonomska analiza

Kako bi se stekao utisak u ekonomskoj isplativosti ovakvog projekta, u tabeli ispod su navedene godišnje zarade koje bi instalacija pojedinačnog tipa elektrane donela.

Tabela 5: Ekonomska evaluacija

Nagib terena	Prognozirana godišnja zarada
Istok	1,101,174 €
Jugoistok	1,047,227 €
Jug	705,452 €
Jugozapad	1,149,245 €
Zapad	1,216,437 €

Iako je količina isporučene električne energije u varijanti 4.5 veća za 8% u odnosu na isporučenu električnu energiju u tački 4.1, prognozirana zarada je veća za 10%. Razlog je što je cena isporučene energije veća u popodnevnom satima što se može videti na slici 16.

6 ZAKLJUČAK

Rezultati sprovedenih simulacija su pokazali da je integracija solarnih elektrana sa vertikalnim panelima itekako opravdana i da može pronaći svoje mesto kao distribuiran izvor električne energije. Orijentacijom panela u pravcu istok-zapad dobija se pogodan dijagram proizvodnje električne energije koji se dobro poklapa sa dijagramima potrošnje i cene električne energije. Idealan teren za instalaciju ovakvog tipa elektrana predstavlja teren pod nagibom koji je okrenut prema istoku ili prema zapadu kada je eksploatacija ovakve elektrane najbolja. Jedno od mogućih rešenja je simbioza sa poljoprivrednom proizvodnjom pogotovo na terenima pod nagibom koji su pogodni kako sa strane proizvodnje električne energije tako i sa poljoprivredne proizvodnje.

7 LITERATURA

- [1] “A systematic review of agrivoltaics: productivity, profitability, and environmental co-benefits“, Ganesh Pandey, Sarah Lyden, Evan Franklin, Benjamin Millar, Matthew Tom Harrison
- [2] ENTSOE Transparency Platform, <https://transparency.entsoe.eu/>
- [3] EMBER, <https://ember-energy.org/>
- [4] Željko Đurišić, Jovan Mikulović, “Solarna energetika”, Elektrotehnički fakultet Beograd, Beograd 2019

- [5] “Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications“, Stephan Schindelea, Maximilian Trommsdorffa, Albert Schlaaka, Tabea Obergfella, Georg Bopp, Christian Reise, Christian Braun, Axel Weselek, Andrea Bauerle, Petra Högy, Adolf Goetzberger, Eicke Weber
- [6] “Integration of vertical solar power plants into a future German energy system“, Sophia Reker, Jens Schneider, Christoph Gerhards
- [7] “Agrivoltaic Farm Design: Vertical Bifacial vs. Tilted Monofacial Photovoltaic Panels“, Rehan Younasa, Hassan Imrana, Muhammad Hussnain Riaza, Nauman Zafar Butta
- [8] PV Case, <https://pvcase.com/>
- [9] PV Syst, <https://www.pvsyst.com/>
- [10] “Evaluating the real-world performance of vertically installed bifacial photovoltaic panels in residential settings: empirical findings and imlications“, OmarH.AL-Zoubi, HamzaAl-Tahaine, RebhiA.Damseh, A.H.AL-Zubi, Alhaj-Saleh A. Odat and Bashar Shboul
- [11] “Applicability of Existing Photovoltaic Module Temperature Model Parameters to Bifacial Solar Panels“, Julianna Varjopur