

# Određivanje optimalnog odnosa instalisane snage fotonaponskih panela i instalisane snage invertora

Vojislav Kajtez, Predrag Mršić, Čedomir Zeljković

Univerzitet u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet, Banja Luka, Republika Srpska  
vojislav.kajtez@student.etf.unibl.org, predrag.mrsic@etf.unibl.org, cedomir.zeljko@etf.unibl.org

**Sažetak**—Tema rada je određivanje optimalnog faktora dimenzionisanja invertora, koji se definiše kao odnos instalisane snage fotonaponskih panela i instalisane snage invertora. Odabrani su matematički modeli kojima se adekvatno uvažavaju geometrijske i energetske karakteristike fotonaponskog sistema i na osnovu njih napisan je kôd programa za simulaciju. Razvijenim softverskim alatom testiran je rad fotonaponskog sistema za različite vrijednosti faktora dimenzionisanja u potrazi za maksimalnom godišnjom proizvodnjom. Proračun godišnje proizvodnje izvršen je korištenjem podataka za tipičnu meteorološku godinu, a odvojene analize izvršene su za dva klimatski različita područja na teritoriji Republike Srpske. Rezultati koji se dobijaju ovom metodologijom bazirani su isključivo na energetskom aspektu, dok ekonomski aspekt nije uzet u razmatranje.

**Ključne riječi**—faktor dimenzionisanja invertora; fotonaponski sistemi; optimizacija fotonaponskih sistema; softverski alat.

## I. UVOD

Fotonaponska tehnologija je u posljednjoj deceniji doživjela značajan napredak. Zadani ciljevi za udio električne energije koja se dobija konverzijom sunčeve energije postaju sve veći, samim tim i izazovniji za svijet u kome živimo. Prema podacima datim od strane IEA (IEA – International Energy Agency), može se izvesti zaključak da većina država, iz godine u godinu, bilježi rast ukupne instalisane snage fotonaponskih elektrana što rezultuje primjetnim promjenama u energetskom sektoru. S obzirom na to da se svijet trenutno nalazi u energetskoj reformi, sa ciljem dobijanja što više energije iz obnovljivih izvora, za očekivati je da će se intenzivni razvoj solarne energetike nastaviti i u narednim godinama. Države koje prednjače u ukupnoj instalisanoj snazi prema podacima iz 2021. godine su Kina (307 GW), SAD (95,2 GW), Japan (74,2 GW), Njemačka (58,5 GW) i Indija (49,7 GW) [1].

Prilikom projektovanja fotonaponskih sistema jedan od prvih zadataka jeste dimenzionisanje invertora koji će se koristiti u posmatranom sistemu. Dimenzionisanje invertora (eng. *inverter sizing*) je procedura kojom se bira odnos snage fotonaponskih panela (instalirana snaga na DC strani) i snage invertora na kojem su priključeni fotonaponski paneli (instalirana snaga na AC strani). Navedeni odnos se naziva faktor dimenzionisanja invertora i uobičajeno se označava sa

$R_S$ . Formulacija prethodno navedene definicije može se prikazati kao:

$$R_S = \frac{P_{PV,P}}{P_{inv,N}}, \quad (1)$$

gdje je  $P_{PV,P}$  ukupna instalirana snaga fotonaponskih panela, a  $P_{inv,N}$  instalirana snaga invertora na kojem su posmatrani paneli priključeni [2]. Za  $0 < R_S < 1$  inverter je predimenzionisan, dok je za  $R_S > 1$  poddimenzionisan. Kada je inverter predimenzionisan očigledno je da on neće biti u potpunosti iskorišten. Sa druge strane, kada je poddimenzionisan, javlja se tzv. efekat odsijecanja zbog limitirane izlazne snage invertora koji može značajno uticati na ukupno proizvedenu električnu energiju. Optimalnu vrijednost parametra  $R_S$  definitivno nije jednostavno odrediti, jer na njegovu vrijednost direktno ili indirektno utiču razni parametri počev od geografske lokacije elektrane i klime koja vlada na tom području, pa do nagiba i orijentacije fotonaponskih panela.

Postoji više naučnih radova koji su posvećeni navedenoj tematici. *Camps* je u svom radu utvrdio da postoji mnogo više studija rađenih simulacijama nego onih što su vršene eksperimentalnim putem [3]. Simulacione metode su obično sprovedene sa uvažavanjem fizičkih ili tehnoloških aspekata, a najčešće se svode na softversku simulaciju. Fizički aspekti uključuju varijable kao što su lokacija, zračenje i temperatura, tip montaže, orijentacija i nagib modula, dok su tehnološki aspekti više vezani za fotonaponsku tehnologiju, efikasnost invertora, sisteme za praćenje putanje sunca i interval uzorkovanja [2]. U radu objavljenom od strane *Velasc-a*, u kojem su uvaženi određeni fizički aspekti, došlo se do zaključka da poddimenzionisanje utiče na smanjenje godišnje proizvodnje električne energije, a može doći i do pregrijavanja invertora što može imati negativne efekte [4]. *Notton* je u svojim analizama uvažio tehnologiju fotonaponskog panela, nagib panela, tip invertora i lokaciju. Njegov zaključak je da na faktor dimenzionisanja invertora znatno više uticaja ima kriva efikasnosti invertora nego tip tehnologije koji je upotrijebljen prilikom konstrukcije panela [5].

U studiji sprovedenoj u Portugaliji i Holandiji od strane *Kil-a* i *Weiden-a*, došlo se do zaključka da izlazna energija varira samo 0,5% za  $R_S$  u opsegu od 1,05 do 1,54 [6]. *Macedo* i *Zilles* su u svom istraživanju, u Brazilu, zaključili da se izlazna energija ne mijenja značajno za opseg  $R_S$  od 0,98 do

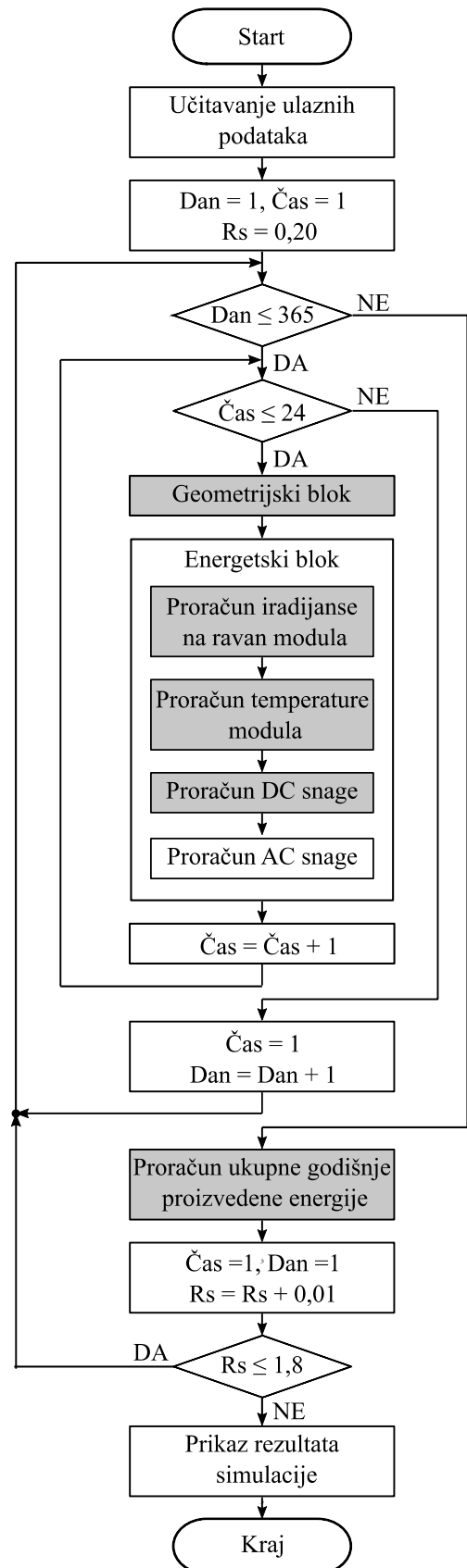
1,82 [7]. Tvrdnje da može doći do maksimalno 3% smanjenja energije pri opsegu  $R_S$  od 1 do 1,24 *Camps* je iznio u svom radu [3], dok sa druge strane, *Pieppo* i *Lund* su zaključili da će izlazna energija varirati maksimalno 2% za promjene  $R_S$  od  $\pm 20\%$  u odnosu na  $R_{S,opt}$  [8]. Dodatno, *Wang* je u svom radu, pored standardnih varijabli, uzeo u obzir i ekonomski aspekt i degradaciju panela. Njegovi rezultati su pokazali da se, za nižu specificiranu DC snagu i niži inverter/panel cjenovni omjer, optimalni opseg parametra  $R_S$  se kreće od 1,12 do 1,25, a sa druge strane za višu specificiranu DC snagu i inverter/panel cjenovni omjer, optimalni opseg parametra  $R_S$  se kreće u znatno manjem opsegu, od 1,17 do 1,19 [2].

U ovom radu su analizirani faktori dimenzionisanja invertora za dvije lokacije na teritoriji Republike Srpske na kojima vladaju dvije različite klime. Banja Luka je grad na sjeverozapadu republike gdje vlada umjerenokontinentalna klima, dok je Trebinje grad na jugoistoku gdje preovlađuje mediteranska klima. Pored klimatskih uticaja ispitan je uticaj i nagiba solarnih panela. U cilju dobijanja relevantnih rezultata simulacija, prilikom određivanja ekvivalentne krive efikasnosti invertora uzeta su u obzir četiri različita invertora koji su u aktuelnom trenutku najzastupljeniji na ovim prostorima.

## II. METODOLOGIJA PRORAČUNA

Metodologija proračuna godišnje proizvodnje energije se može podijeliti u dva osnovna bloka: geometrijski i energetska. Geometrijski blok je sastavljen od funkcija u kojima se određuje pozicija Sunca i proračunava ugao pod kojim padaju Sunčevi zraci na module. Funkcije za geometrijski blok su preuzete iz rada [9]. Energetski blok sadrži funkcije kojima se proračunava iradijansa na ravan fotonaponskih panela, temperatura panela i DC snaga. Ove funkcije su takođe preuzete iz rada [9], dok je funkcija za model invertora razvijena u ovom radu.

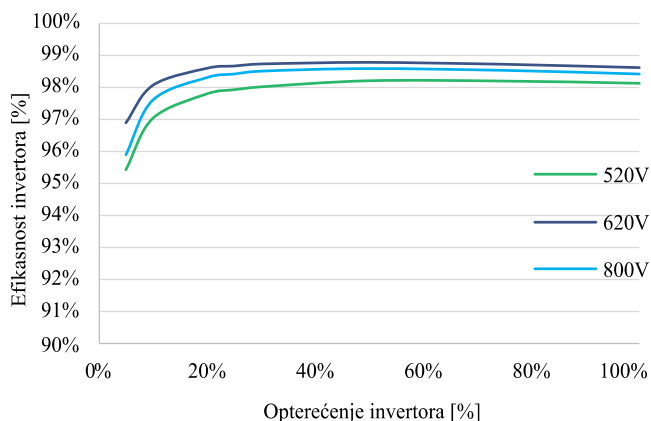
Računarski program je koncipiran tako da se na početku unesu ulazni podaci među kojima su geografska lokacija, nagib i orijentacija panela, DC snaga sistema, karakteristični gubici sistema, itd. Potom se za odabranu geografsku lokaciju, koristeći podatke o tipičnoj meteorološkoj godini, učitava vektor direktne i difuzne iradijanse i ambijentalne temperature. Ti podaci su preuzeti iz kalkulatora *PVWatts* američke Nacionalne laboratorije za obnovljivu energiju - NREL (engl. *National Renewable Energy Laboratory*) [10]. Da bi se mogao odrediti optimalan faktor dimenzionisanja invertora ( $R_S$ ), mijenja se vrijednost ovog faktora u opsegu od 0,20 do 1,80 sa korakom 0,01. U okviru proračuna za jednu vrijednost faktora dimenzionisanja vrši se proračun godišnje proizvedene energije na satnom nivou. Sumiranjem satnih vrijednosti snaga dobija se ukupna godišnja proizvodnja električne energije. Optimalna vrijednost faktora dimenzionisanja se ima za najveću godišnju proizvodnju energije. Na sl. 1 prikazan je kompletan dijagram toka programa. Dijelovi programa koji su preuzeti iz rada [9] su označeni sivom bojom.



Sl. 1. Dijagram toka programa

### III. MODELOVANJE INVERTORA

Invertor je pretvarač energetske elektronike koji vrši konverziju jednosmjerne struje u naizmjeničnu struju. Svaki invertor ima svoje tehničke parametre, od kojih su posebno važni nazivna snaga i stepen iskorištenja. Nazivna snaga predstavlja nominalnu snagu, odnosno maksimalnu AC snagu. U izrazu (1) ova snaga je označena sa  $P_{inv,N}$ . Stepen iskorištenja je drugi parametar od suštinske važnosti. Na Sl. 2 prikazana je efikasnost invertora proizvođača Huawei, tip SUN2000-50KTL-M0 [11]. Stepen iskorištenja invertora nije konstantan, nego se mijenja u zavisnosti od opterećenja invertora i u zavisnosti od napona na DC strani. Napon na DC priključcima invertora zavisi od mnogo faktora, među kojima su tip i broj fotonaponskih panela u nizu, te vremenske prilike koje vladaju u datom momentu, jer se napon mijenja u zavisnosti od snage Sunčevog zračenja i temperature fotonaponskog panela. Iz tog razloga proizvođači obično u grafičkom prikazu izdvoje tri karakteristike za tri vrijednosti napona (niži, srednji i viši napon). Ove naponske vrijednosti nisu iste za sve proizvođače, ali se mogu izvući odgovarajući naponski opsezi. Tako postoji kriva efikasnosti za niži napon u opsegu od 400 V do 520 V, srednji napon od 590 V do 670 V i viši napon za opseg od 800 V do 870 V [11]–[14]. Takođe, iz karakteristika efikasnosti invertora može se zaključiti da su invertori konstruisani tako da za srednji naponski opseg efikasnost invertora dostiže najveće vrijednosti. Ovaj podatak, sam po sebi, govori da prilikom dimenzionisanja invertora, posmatrano sa strane efikasnosti, poželjno je odabrati konfiguraciju da napon na DC priključcima invertora bude što je moguće bliži srednjem naponskom opsegu. Važno je napomenuti da na snagu sa kojom invertor radi utiče i temperatura ambijenta. Naime, kada temperatura ambijenta pređe određenu granicu, sistem za hlađenje invertora ne može da ohladi invertor, te on počne da smanjuje izlaznu snagu kako bi smanjio snagu koja se disipira na elektronskim komponentama. U ovom radu se smatra da temperatura ambijenta nikad neće biti takva da će doći do smanjenja snage invertora zbog problema sa hlađenjem.



Sl. 2. Krive efikasnosti invertora proizvođača Huawei, tip SUN2000-50KTL-M0 [11]

Prilikom određivanja ekvivalentne krive efikasnosti uzeta su u obzir četiri različita proizvođača invertora, a to su redom

Fronius, SMA, Huawei i Sungrow [11]–[14]. Ovi proizvođači invertora su ujedno i najzastupljeniji na prostoru BiH. U analizi su uzeti invertori ne stariji od tri godine sa nominalnim snagama od 50 kVA. Radi jednostavnosti, usvojeno je da se napon na DC priključcima invertora nalazi u srednjem opsegu, te su analizirane krive efikasnosti za srednji opseg napona. Zavisnost stepena iskorištenja, ekvivalentne krive efikasnosti, u odnosu na opterećenje invertora može se predstaviti u sljedećem obliku:

$$\eta(\zeta) = k_1 + k_2 \cdot \zeta + \frac{k_3}{\zeta}, \quad (2)$$

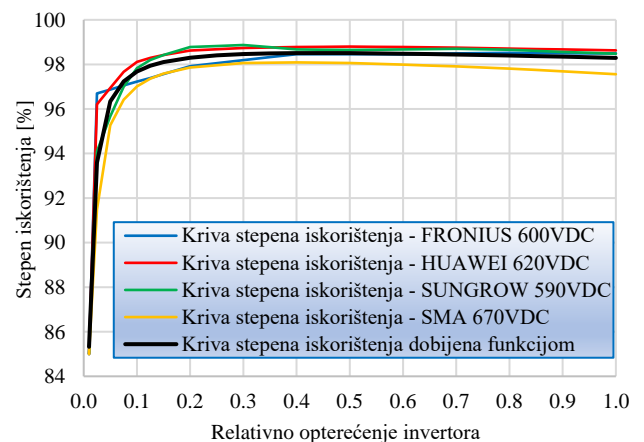
gdje su  $k_1$ ,  $k_2$  i  $k_3$  koeficijenti, a  $\zeta$  relativno opterećenje invertora. Koeficijenti su estimirani metodom najmanjih kvadrata odstupanja i dobijene su vrijednosti:

$$k_1 = 99,1321;$$

$$k_2 = -0,7029;$$

$$k_3 = -0,1380.$$

Na Sl. 3 prikazane su krive efikasnosti četiri analizirana invertora, kao i ekvivalentna kriva efikasnosti data izrazom (2).



Sl. 3. Krive efikasnosti invertora proizvođača Fronius, Huawei, Sungrow, SMA, kao i ekvivalentna kriva efikasnosti

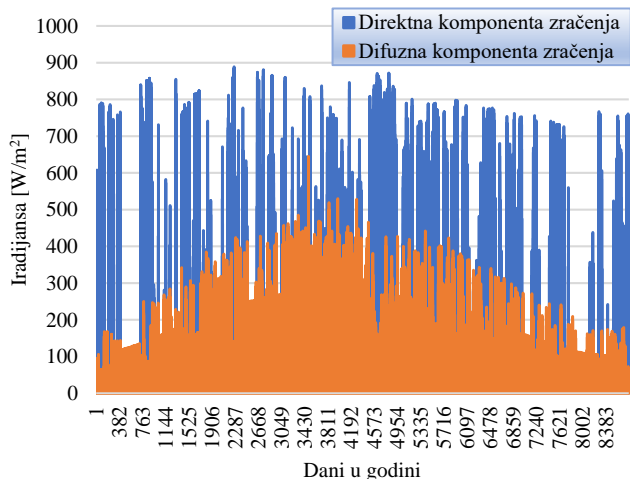
### IV. REZULTATI SIMULACIJE

#### A. Ulazni podaci

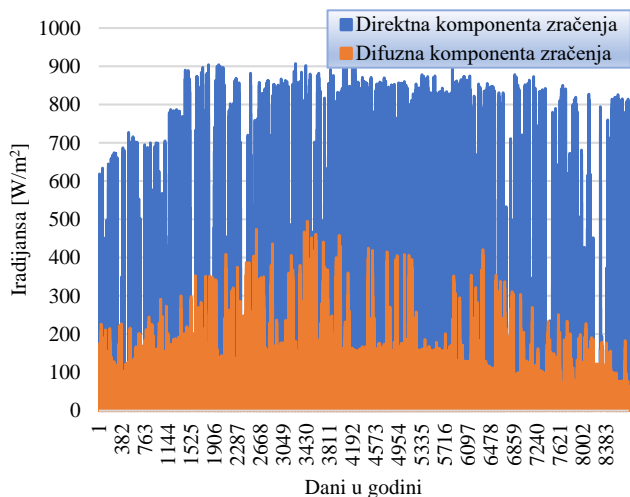
Ulazni podaci koji su potrebni za simulaciju i koji se prvo učitavaju su: geografska lokacija, nagib i orijentacija modula, DC snaga sistema (50.000 W), ukupni gubici na DC strani (14%), nominalna radna temperatura ćelija (46,51°C), vektor direktne iradijance na normalnu podlogu, vektor difuzne iradijance na horizontalnu podlogu i vektor ambijentalne temperature. Navedeni vektori su preuzeti iz podataka o tipičnoj meteorološkoj godini i dati su na satnom nivou te se i proizvodnja električne energije računa na satnom nivou.

Prva lokacija od interesa obuhvata sjeverni dio Republike Srpske, banjalučku regiju, u kojoj vlada umjereno kontinentalna klima, dok se druga odnosi na krajnji jug

Republike Srpske i regiju grada Trebinja u kojoj vlada sredozemna klima. Na Sl. 4 i Sl. 5 prikazane su direktna i difuzna komponenta Sunčevog zračenja za odabrane lokacije. Pored analize ova dva klimatska područja, u određenoj mjeri, ispitani su slučajevi koji se odnose na tip fotonaponske elektrane, tj. da li je elektrana planirana na zemlji ili na krovu objekta. Za slučaj kada je elektrana planirana na zemlji, optimalni ugao fotonaponskih panela se kreće od 30° do 40°. Kada je riječ o elektranama na krovu, nagib panela direktno zavisi od krovne konstrukcije objekta. Nagib krovne konstrukcije za proizvodne hale, skladišne hale i objekte slične namjene se obično kreće od 5° do 15° te je iz tog razloga uzet u razmatranje ugao od 10°. Za sve analizirane varijante fotonaponskih sistema usvojeno je da su fotonaponski paneli orijentisani ka jugu.



Sl. 4. Direktna i difuzna komponenta sunčevog zračenja za područje grada Banje Luke



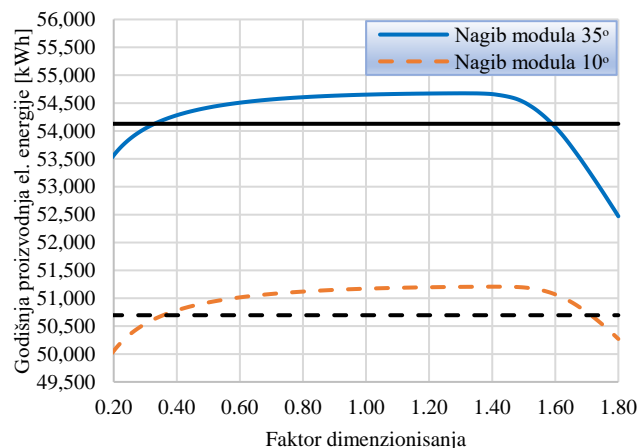
Sl. 5. Direktna i difuzna komponenta Sunčevog zračenja za područje grada Trebinja

Simulacija je vršena za faktor dimenzionisanja invertora u opsegu od 0,20 do 1,80 sa korakom od 0,01. Program je koncipiran tako da DC snaga sistema ostaje fiksna, podešena

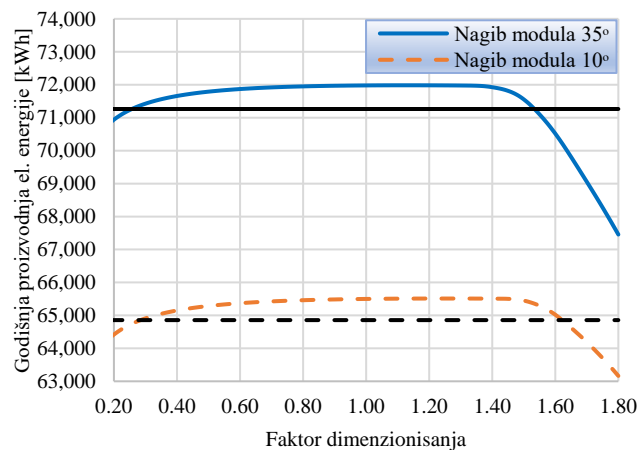
na 50.000W, a promjenom faktora dimenzionisanja se ustvari mijenja snaga invertora.

## B. Rezultati

Prva analizirana lokacija je sjever entiteta, područje grada Banje Luke, a potom i jug. područje grada Trebinja. Za obje lokacije, krive proizvodnje električne energije za uglove panela od 35° i 10° su prikazane na jednom dijagramu kako bi se dobio bolji vizuelni pregled razlika u rezultatima simulacije. Grafici godišnje proizvedene električne energije u zavisnosti od faktora dimenzionisanja invertora za područje grada Banje Luke su prikazani na Sl. 6, a za područje grada Trebinja na Sl. 7.



Sl. 6. Proizvodnja električne energije u zavisnosti od faktora dimenzionisanja invertora za područje grada Banje Luke



Sl. 7. Proizvodnja električne energije u zavisnosti od faktora dimenzionisanja invertora za područje grada Trebinja

Posmatranjem grafika dobijenih u rezultatima simulacije može se zaključiti da sve karakteristike imaju sličan izgled. Na dva mjesta može se primijetiti da dolazi do većih promjena u vrijednostima generisane električne energije. Ova dva mjesta se mogu definisati kao tzv. koljena krivih i postoji jedno koljeno na početku (lijevo koljeno) i drugo na kraju (desno koljeno). Iz prethodno rečenog proističe da se karakteristike mogu podijeliti u tri karakteristična segmenta.

Prvi segment obuhvata dio krive od vrijednosti energije dobijene za  $R_S = 0,20$  pa do vrijednosti energije koja odgovara kraju lijevog koljena. Ovaj dio krive je karakterističan po tome što inverter radi u izrazito predimenzionisanom režimu, nije ekonomski opravdan te se može okarakterisati kao neprihvatljiv segment. Drugi segment, tj. srednji segment predstavlja dio krive od kraja lijevog koljena do početka desnog. U navedenom segmentu dolazi do jako malih promjena u generisanoj električnoj energiji. Prvobitno energija raste do maksimalne vrijednosti energije  $W_P$  (engl. *peak*), a potom slijedi blagi pad. Vrijednost faktora dimenzionisanja invertora koji odgovara vrijednosti  $W_P$  predstavlja optimalnu vrijednost i može se definisati kao  $R_{S\_OPT}$ . Navedeni segment je karakterističan po tome što energija ima jako male varijacije u odnosu na maksimalnu vrijednost te se ovaj kompletan opseg krive može definisati kao prihvatljiv segment. I konačno, treći segment obuhvata dio krive od početka desnog koljena pa do vrijednosti energije dobijene za  $R_S = 1,80$ . Treći segment je karakterističan po tome što u ovom dijelu efekat limitiranja izlazne snage invertora ipak dolazi do izražaja te krive bilježe nagli pad godišnje proizvedene električne energije. Pored navedenog, u trećem segmentu zbog prilično velikih vrijednosti faktora dimenzionisanja, postoji opasnost od termičkih naprazenja invertora. S obzirom na rečeno, treći segment, kao i prvi, se može smatrati neprihvatljivim prilikom dimenzionisanja invertora

Za slučaj prikazan na Sl. 6, u kome je analizirano područje grada Banje Luke, kada je ugao panela  $10^\circ$ ,  $R_{S\_OPT}$  bilježi vrijednost 1,40 dok za sistem u kome su paneli pod uglom od  $35^\circ$  ima vrijednost 1,31. Dobijeni rezultati govore da kada je nagib panela manji od optimalnog ( $35^\circ$ ), efekat limitiranja snage manje dolazi do izražaja, što za posljedicu ima da se za takav sistem može odabrati inverter manje snage. Za geografsko područje grada Trebinja (Sl. 7), u poređenju sa rezultatima za područje grada Banje Luke, proizvodnja u slučaju nagiba panela  $35^\circ$  je veća za oko 32%, dok je za slučaj nagiba panela od  $10^\circ$  veća za oko 28%. Ovo su naravno očekivani rezultati jer klima koja vlada na krajnjem jugu Republike Srpske je znatno povoljnija za solarnu energetiku. Što se tiče faktora dimenzionisanja, bilježe se vrijednosti  $R_{S\_OPT\_35^\circ} = 1,13$  i  $R_{S\_OPT\_10^\circ} = 1,24$ .

Drugačiji pristup analizi rezultata simulacije se može izvršiti na način da se odredi opseg faktora dimenzionisanja za koji godišnja proizvodnja analiziranih sistema neće odstupiti značajno u poređenju sa maksimalnom vrijednošću. Tako, ako se za analizirane fotonaponske sisteme postavi uslov da proizvedena električna energija ne smije varirati više od 1% u odnosu na maksimalnu, dobiće se opsezi faktora dimenzionisanja čije su vrijednosti date u tabeli 1. Na Sl. 6 i 7 horizontalnom linijom su prikazane vrijednosti energija koje su za 1% manje od maksimalnih vrijednosti. Donja granica faktora dimenzionisanja ima prilično male vrijednosti za sve analizirane sisteme, a najniža vrijednost dobija se slučaj područja grada Trebinje pri uglu panela od  $35^\circ$ . Dobijena vrijednost od 0,26 govori da je u tom slučaju

instalirana snaga invertora čak četiri puta veća od instalirane snage fotonaponskih panela. Iako ovoliko predimenzionisanje invertora ima zadovoljavajuće tehničke performanse, rijetko se koristi u praksi jer nije ekonomično. Postoje rijetke specifične situacije u kojima je inverter u ovoj mjeri predimenzionisan kao što su npr.:

- kvarovi na većim dijelovima segmenata fotonaponskih panela, što za posljedicu ima da je inverter prinuđen da radi sa manjim faktorom dimenzionisanja;
- već posjedovanje opreme (prvenstveno invertora) koja nije usklađena sa sistemom koji se zahtijeva (instalirana snaga na DC strani);
- donacije u kojima nije vođeno računa o usklađenosti opreme.

**TABELA 1. OPSEG PARAMETRA  $R_S$  ZA VARIJACIJE PROIZVEDENE ELEKTRIČNE ENERGIJE OD 1% U ODNOSU NA MAKSIMALNU VRIJEDNOST**

Analizirane lokacije	Nagib panela $35^\circ$	Nagib panela $10^\circ$
Područje grada Banje Luke	$0,32 < R_S < 1,58$	$0,40 < R_S < 1,71$
Područje grada Trebinja	$0,26 < R_S < 1,53$	$0,29 < R_S < 1,61$

## V. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran problem određivanja optimalnog faktora dimenzionisanja invertora  $R_S$  sa ciljem maksimizacije godišnje proizvodnje fotonaponskog sistema. Pokazano je da se za svaku zadatu konfiguraciju sistema i zadate klimatske uslove može odrediti optimalna vrijednost faktora dimenzionisanja  $R_{S\_OPT}$ . Za vrijednosti  $R_S < 1$  inverter je predimenzionisan i sva snaga koja se razvije na DC strani će se konvertovati u AC snagu, ali sa generalno manjim stepenom iskorištenja, tako da sa smanjenjem  $R_S$  ispod jedinice dolazi i do smanjenja godišnje proizvodnje. U slučaju kada je  $R_S > 1$ , inverter je poddimenzionisan i javlja se efekat limitiranja snage, pa bi se na prvi pogled moglo očekivati da će godišnja proizvodnja opadati takođe i sa rastom parametra  $R_S$ . Rezultati ovog rada pokazuju da za fiksnu snagu na DC strani sistema, odabiranjem invertora manje snage može se dobiti veća proizvodnja električne energije. Ovakav rezultat je posljedica oblika krive efikasnosti invertora i činjenice da inverter češće radi u režimima sa većim stepenom iskorištenja u odnosu na slučaj kada je  $R_S < 1$ . Ipak, nakon što faktor dimenzionisanja pređe određenu vrijednost  $R_{S\_OPT}$ , efekat limitiranja snage invertora značajnije dolazi do izražaja i bilježi se pad proizvedene električne energije. Ovaj dio krive se može objasniti na način da inverter jednostavno nema dovoljno velik kapacitet da konvertuje svu snagu koja se razvija na DC strani sistema. Pad vrijednosti proizvedene električne energije ipak neće biti značajan do određene vrijednosti faktora dimenzionisanja te iz tog razloga je urađena analiza rezultata sa dozvoljenom varijacijom energije u odnosu na maksimalnu vrijednost. Sa dozvoljenom varijacijom od 1% u odnosu na maksimalnu, prema tabeli 1, zaključak je da opseg faktora dimenzionisanja u većoj mjeri zavisi od karakteristika fotonaponskog sistema i da se za pojedine tipove sistema može odabrati inverter instalirane snage čak i od 60% od instalirane snage

fotonaponskih panela (slučaj područja grada Banja Luke, nagib panela 10°).

Na kraju treba napomenuti da je optimizacija faktora dimenzionisanja invertora u ovom radu bazirana samo na tehničkim parametrima i rađena je sa ciljem maksimizacije godišnje proizvodnje fotonaponskog sistema. Ukoliko bi se u analizu dodali i ekonomski kriterijumi i za cilj postavila npr. minimalna cijena proizvedenog kilovat-časa električne energije, dobile bi se drugačije vrijednosti optimalnog faktora dimenzionisanja invertora.

#### LITERATURA

- [1] IEA [International Energy Agency], Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2021, Report IEA-PVPS T1-39:2021.
- [2] H.X. Wang, M.A. Muñoz-García, G.P. Moreda, M.C. Alonso-García "Optimum inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems based on energetic and economic considerations", *Renewable Energy* 118 (2018) 709-717.
- [3] X. Camps, G. Velasco, J. de la Hoz, H. Martín, "Contribution to the PV-to-inverter sizing ratio determination using a custom flexible experimental setup", *Appl. Energy* 149 (2015) 35-45.
- [4] G. Velasco, F. Guinjoan, R. Piqué, A. Conesa, J.J. Negroni, "Inverter power sizing considerations in grid-connected PV systems", in: 2007 Eur. Conf. Power Electron. Appl. EPE, 2007.
- [5] G. Notton, V. Lazarov, L. Stoyanov, "Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations", *Renew. Energy* 35 (2010) 541-554.
- [6] A.J. Kil, T.C.J. Van Der Weiden, "Performance of modular grid connected PV systems with undersized inverters in Portugal and The Netherlands", in: Proc. 1994 IEEE 1st World Conf. Photovolt. Energy Convers. - WCPEC (A Jt. Conf. PVSC, PVSEC PSEC), vol. 1, 1994, pp. 1028-1031.
- [7] W.N. Macedo, R. Zilles, "Operational results of grid-connected photovoltaic system with different Inverter's sizing factors (ISF) ", *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 15 (2007) 337-352.
- [8] K. Peippo, P.D. Lund, "Optmal sizing of solar array and inverter in grid-connected photovoltaic systems", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 32 (1994) 95-114.

- [9] Č. Zeljković, P. Mršić, B. Erceg, "Metod za određivanje uticaja prepreka na godišnju proizvodnju fotonaponskih sistema", III naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost - ENEF 2017, novembar, 2017.
- [10] NREL's PVWatts® Calculator (NREL - National Renewable Energy Laboratory), Website Version 8.0.2, <https://pvwatts.nrel.gov>.
- [11] HUAWEI, SUN2000-50KTL-M0, Smart String Inverter, oficijalni tehnički list proizvođača invertora.
- [12] FRONIUS, TAURO 50-3-D, Direct Version, oficijalni tehnički list proizvođača invertora.
- [13] SMA, STP 50-41, Sunny Tripower Core1, oficijalni tehnički list proizvođača invertora.
- [14] SUNGROW, SG50KTL-M-20, String Inverter, oficijalni tehnički list proizvođača invertora.

#### ABSTRACT

This paper deals with the problem of optimal selection of the inverter sizing factor, which is defined as the ratio of the rated power of the photovoltaic panels and the rated power of the inverter. Mathematical models were selected to adequately take into account the geometric and energy characteristics of the photovoltaic system, and based on them, the simulation program code was written. The developed software tool was used to test the operation of the photovoltaic system for different values of the inverter sizing factor in search of maximum annual production. The annual production calculation was performed using data for a typical meteorological year, and separate analyzes were performed for two climatically different locations on the territory of the Republic of Srpska. The results obtained by this methodology are based exclusively on the energy aspect, while the economic aspect is not taken into consideration.

#### **DETERMINING THE OPTIMAL RATIO BETWEEN THE RATED POWER OF PHOTOVOLTAIC PANELS AND THE RATED POWER OF THE INVERTER**

Vojislav Kajtez, Predrag Mršić, Čedomir Zeljković