

## USPOREDNA ANALIZA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE FIKSNIH FOTONAPONSKIH SUSTAVA U RAZLIČITIM DIJELOVIMA BIH

### COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTRICITY PRODUCTION FIXED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN DIFFERENT PARTS OF BIH

*Midhat Umihanić, Nurdin Čehajić, Nevres Salihović*

Stručni članak

**Sažetak:** U posljednje vrijeme sve veći značaj u proizvodnji električne energije se pridaje korištenju obnovljivih izvora energije među kojima je i solarna energija. Solarna energija je neiscrpan energetska resurs. Na zemljinoj kugli nema ni jedne države koja ne posjeduje ovaj energetska resurs u većoj ili manjoj mjeri, što između ostalog ovisi i od geografskog položaja lokacije od interesa. Jedan od načina iskorištenja solarne energije je njena pretvorba u električnu energiju pomoću fotonaponskih (PV - photovoltaic) sustava. Rad ima za cilj da pokaže utjecaj lokacije, odnosno geografskog položaja na ukupnu godišnju proizvodnju električne energije u Bosni i Hercegovini. U radu je prikazana simulirana proizvodnja električne energije fiksnog fotonaponskog sustava snage 1 kW za različite dijelove Bosne i Hercegovine na godišnjem nivou. Izvršena je usporedna analiza dobivenih rezultata. Za simulaciju je korišten online softver PVGIS (Photovoltaic Geographic Information System).

**Ključne riječi:** Solarna energija, proizvodnja električne energije, fotonaponski (FN) sustavi

Professional paper

**Abstract:** In recent times more importance in the production of electrical energy is given to the usage of renewable sources of energy including a solar energy. The solar energy is inexhaustible energy resource. Observing the matter globally there is no country or a state in the whole world which does not possess this resource of energy, which depends on the geographical position and location of a particular country. One of the principal ways of using solar energy is its transformation into the electric energy using photovoltaic (PV) systems. This work has for its main aim to present the influence of location, that is to say, its geographical location and its overall annual production of electrical energy in Bosnia and Herzegovina. This work presents simulated production of electrical energy of fixed photovoltaic system 1kW of power for different parts in Bosnia and Herzegovina on annual level. Comparative analysis of accumulated results is used. For a purpose of simulation, online software PVGIS (Photovoltaic Geographic Information System) is used.

**Keywords:** Solar energy, production of solar energy, photovoltaic (PV) systems.

## 1. UVOD

Sunčeva ili solarna energija je resurs koji je, ovisno od klimatskog područja, u većoj ili manjoj mjeri dostupan svim ljudima. Ova se energija u vidu svjetlosti i toplote širi u svemiru, pa tako jedan mali dio dolazi i do Zemlje. Solarna energija je besplatan i bilo gdje dostupan izvor energije jer nema nijedne zemlje na svijetu koja nema Sunčeve svjetlosti i skoro svaki oblik suvremene energije potiče od solarne energije [1].

Korištenjem solarne energije smanjuje se potreba za fosilnim gorivima, kao i zagađenje okoliša koje je prouzrokovano njihovim izgaranjem. Tehnologija korištenja solarne energije ne proizvodi stakleničke plinove koji uzrokuju globalno zagrijavanje i ne proizvodi radioaktivni otpad kao naslijeđe našim potomcima [2].

Usljed povećane ekološke svijesti i međunarodnih sporazuma koji zahtijevaju smanjenje emisije ugljen dioksida i poboljšanje energetske efikasnosti, nameće se obaveza za povećanjem udjela obnovljivih izvora

energije u ukupnom energetska zbroju zajednice. Zbog toga se sve više investira u solarnu energiju.

Europska energetska politika građena je na održivosti, konkurentnosti i sigurnosti opskrbe kroz niz mjera koje uključuju i mjere promocije obnovljivih izvora i energetske efikasnosti. Europska Unija se obavezala do 2020. godine smanjiti emisiju stakleničkih plinova za 20%, povećati uštedu energije za 20% zbog povećanja energetske efikasnosti, te za 20% povećati udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji („Cilj 20-20-20“) [3].

Ovaj rad ima za cilj da nam pokaže utjecaj lokacije, odnosno geografskog položaja na ukupnu godišnju proizvodnju električne energije fiksnog fotonaponskog sistema snage 1 kW za različite dijelove Bosne i Hercegovine. Na osnovu PVGIS online softvera izračunati su i prikazani dobiveni rezultati proizvodnje električne energije sa navedenim lokacijama na kojima je vršena simulacija.

## 2. ENERGIJA SUNČEVOG ZRAČENJA

Sunce je velika užarena plinovita „kugla“ promjera 1,392 miliona km koja se sastoji uglavnom od vodika i helija. Unutar Sunca, vodik se nuklearnim reakcijama fuzije pretvara u helij, što rezultira oslobađanjem velikih količina energije, uslijed kojih temperatura u unutrašnjosti Sunca premašuje 20 miliona °K. Međutim, to nije temperatura koja određuje elektromagnetska svojstva sunčevog zračenja, budući da zračenje iz unutrašnjosti u velikom dijelu apsorbira sloj negativnih vodikovih iona blizu površine. Dakle, temperatura površine Sunca je oko 6000 K, a spektar sunčevog zračenja približno odgovara spektru crnog tijela ugrijanog na temperaturu 5760 K. Stoga se temperatura od 5760 K može uzeti kao efektivna temperatura sunčeve površine, a iz nje primjenom Plankovog zakona moguće je proračunati energetski spektar sunčevog zračenja [4].

Plankov zakon je jednadžba kojom se određuje intenzitet elektromagnetskog zračenja crnog tijela u ovisnosti od temperature i frekvencije, odnosno valne dužine.

Plankov zakon [5] izražen preko frekvencije je dat preko izraza (1):

$$E(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (1)$$

isti zakon izražen preko valne dužine dat je izrazom (2):

$$E(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (2)$$

gdje su  $E$  ( $\text{W/m}^3$ ) energija,  $\nu$  (Hz) frekvencija,  $\lambda$  (m) valna dužina,  $T$  (K) temperatura,  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  (Js) Plankova konstanta,  $c = 3 \cdot 10^8$  (m/s) brzina svjetlosti i  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  (J/K) Boltzmanova konstanta.

Dakle, energija (snaga) kojom Sunce zrači sa svoje površine iznosi oko  $9,5 \cdot 10^{25}$  (W) i to se zračenje sastoji od različitih valnih dužina. Većina sunčevog zračenja (oko 99 %) se odnosi na valne dužine iz opsega 0,275 do 4,6  $\mu\text{m}$ . Spektar sunčevog zračenja može da se podijeli na tri područja: ultraljubičastu ( $0,01 \mu\text{m} < \lambda < 0,39 \mu\text{m}$ ), vidljivu ( $0,40 \mu\text{m} < \lambda < 0,76 \mu\text{m}$ ) i infracrvenu ( $0,76 \mu\text{m} < \lambda < 4,0 \mu\text{m}$ ). Od ukupne energije koja se generira na Suncu, 50% odlazi na infracrveno, 40% na vidljivo i oko 10% na ultraljubičasto područje. Maksimalna energija zračenja je na valnoj dužini od  $\lambda = 0,476 \mu\text{m}$ .

### 2.1. Sunčevo zračenje na granici Zemljine atmosfere

Sunčevo zračenje koje dopire do vanjskog ruba Zemljine atmosfere naziva se ekstraterestičko zračenje (iradijacija), te predstavlja veoma mali dio energije kojom Sunce zrači sa svoje površine. Budući da se udaljenost Zemlje od Sunca mijenja tokom godine, tako se mijenja i ekstraterestičko zračenje i kreće se od 1307  $\text{W/m}^2$  do 1399  $\text{W/m}^2$  na površini koja je normalna

na smjer zračenja. Ekstraterestičko zračenje na površinu koja je normalna na smjer zračenja, za srednju udaljenost Zemlje od Sunca (149,68 miliona km) naziva se sunčeva (solarna) konstanta. Utvrđivanje solarne konstante i njene moguće promjenjivosti počelo je na prijelazu u 20. vijek. Nakon nekoliko desetina godina satelitskih mjerenja utvrđeno je da solarna konstanta i nije konstanta, nego se mijenja kako se i sunčeva aktivnost mijenja. Ipak, Svjetska meteorološka organizacija je 1981. godine standardizirala solarnu konstantu i ona iznosi:  $E_{OSR} = 1367,7 \text{ W/m}^2$  [4].

### 2.2. Sunčevo zračenje na površini Zemlje

Zbog velike udaljenosti Zemlje i Sunca može se smatrati da se sunčevo zračenje prije ulaska u Zemljinu atmosferu sastoji od snopa paralelnih elektromagnetskih valova. Međudjelovanjem sa plinovima i česticama u atmosferi sunčevo zračenje se može upiti (oko 18 %), odbiti (oko 10 %) ili više manje nesmetano proći kroz atmosferu (oko 70 %).

Prilikom prolaska kroz atmosferu dolazi do apsorpcije sunčevog zračenja, i to  $x$  i  $y$  zraka u ionosferi, ultraljubičastog zračenja u ozonskom omotaču i infracrvenog zračenja u nižim slojevima atmosfere. Pored apsorpcije, dio sunčevog zračenja se rasijava na suhom zraku, vodenoj pari i česticama nečistoća koje se nalaze u zraku. Zbog apsorpcije i rasijavanja, dolazi do slabljenja energije sunčevog zračenja koja dopijeva do površine Zemlje. Stupanj ovog slabljenja ovisi od fizičkih i kemijskih karakteristika atmosfere, kao i od dužine puta sunčevog zračenja kroz Zemljinu atmosferu. Put svjetlosti kroz atmosferu za neku lokaciju ekvivalentiran je masom zraka AM (od *Air Mass*). Na putu kroz zemljinu atmosferu izgubi se oko 25 do 50 % intenziteta sunčevog zračenja od onog koje je dospjelo na rub atmosfere.

Rasijavanjem sunčevog zračenja na atomima i molekulama plinova i česticama nečistoća u zračnom omotaču Zemlje, nastaje difuzno zračenje. Kada sunčevo zračenje na svom putu dopijeva do molekule plina ili čestice, pobuđuje je na titranje i zračenje, čime pobuđena čestica postaje izvor elektromagnetskog zračenja specifične valne dužine. Primljenu energiju, molekula odnosno čestica, predaje nejednako u svim pravcima, dio se odbija nazad u svemir, a dio se raspršuje na Zemlji. Difuzno zračenje raste sa povećanjem oblačnosti, vodene pare i čestica nečistoća u atmosferi. Ukupno sunčevo zračenje koje dopijeva do površine Zemlje sastoji se od dvije komponente: prva, kao što je već navedeno, predstavlja difuzno zračenje, a druga potiče direktno sa površine Sunca (direktno zračenje). Direktno zračenje kratkovalnog je karaktera, za vrijeme sunčanog dana manifestira se kao kombinacija žučkastog svjetlosnog snopa i topline. Treba napomenuti da direktno sunčevo zračenje ne utječe na povišenje temperature zraka.

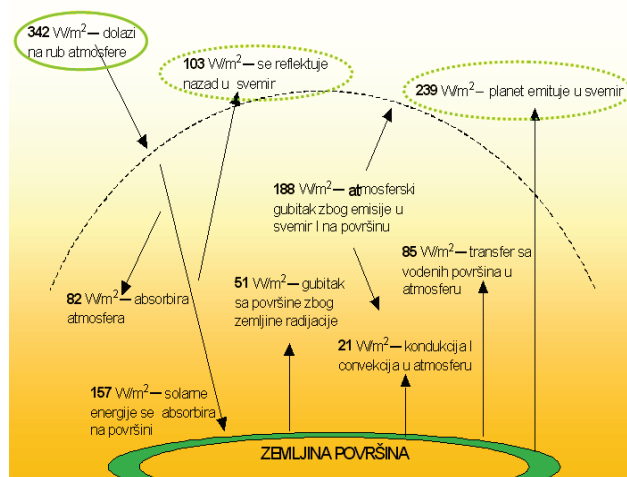
Pri kontaktu sa Zemljom, ovisno o svojstvima podloge, veći će dio sunčevog zračenja Zemlja upiti, a manji dio zračenja će se reflektirati. Svojstvo podloge da reflektira zračenje može se izraziti koeficijentom refleksije ili albedom. Potpuno bijelo tijelo ima albedo 1,0 jer potpuno odbija sunčevo zračenje, a potpuno crno tijelo ima albedo nula [6].

Kao najčešća vrijednost albeda uzima se 0,2 (travnata površina) i kao takva ulazi u proračune fotonaponskih sustava. Dakle, na Zemljinu površinu iz atmosfere dopire direktno i difuzno (raspršeno) sunčevo zračenje, te se upija ili odbija na Zemljinoj površini.

Ukupna količina sunčevog zračenja na horizontalnu površinu naziva se ukupno ili globalno zračenje. Globalno zračenje se sastoji od direktnog, difuznog i odbijenog sunčevog zračenja. Mjerna jedinica globalnog zračenja je  $W/m^2$ .

Drugi, šire prihvaćen pojam u znanstvenim krugovima je insolacija, odnosno trajanje sunčeve insolacije. Pojam insolacija odnosi se na gustoća sunčevih zraka na određenoj površini, uz određenu orijentaciju, kroz određeno vrijeme. Proizvod ukupnog zračenja i vremena daje nam insolaciju. Mjeri se u  $Wh/m^2$  ili  $kWh/m^2$ . Energija sunčevog zračenja koja dopire do površine Zemlje ovisi u prvom redu od trajanja insolacije (broju sunčanih sati), dok trajanje insolacije ovisi od geografske širine i od godišnjeg doba.

Podaci o energiji sunčevog zračenja najčešće su prikazani kao prosječne vrijednosti. Prosječna mjesečna ili godišnja energija sunčevog zračenja na nekoj lokaciji dobiva se kao aritmetička sredina za sve dane u promatranom mjesecu odnosno godini.



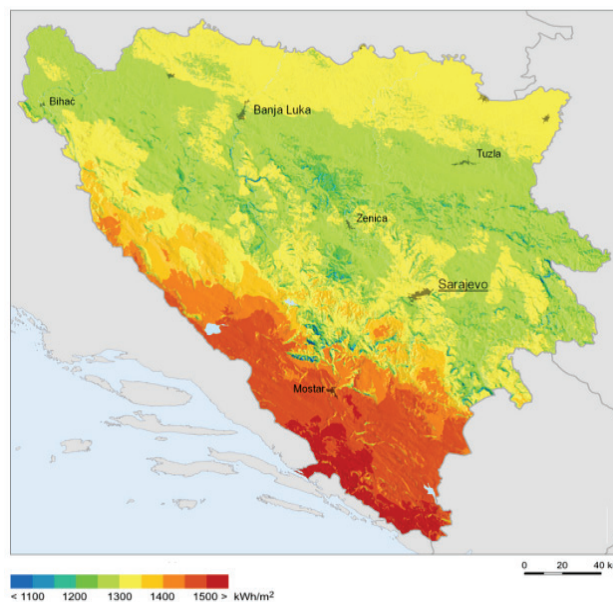
Slika 1. Sunčeva energija koja dolazi i odlazi sa Zemlje [7]

Dotok ukupnog sunčevog zračenja koje dopire do Zemljine površine iznosi oko  $920 W/m^2$ . Ako je projekcija površine Zemlje  $127,73 \cdot 10^6 km^2$  dotok energije je  $117512 TW$ . Zbog rotacije Zemlje, ta se energija raspoređuje po cijeloj površini Zemlje od  $510,1 \cdot 10^6 km^2$ , pa je prosječni dotok energije  $239 W/m^2$ , odnosno  $5,52 kWh/m^2$  dnevno. Od toga Zemljina površina prima  $157 W/m^2$ , dok istovremeno zrači u svemir  $51 W/m^2$ . Razlika između iznosa energije koji dolazi na i koji odlazi sa površine Zemlje je  $106 W/m^2$ . Iznos energije koja dolazi Sunčevim zračenjem i apsorbira se u atmosferi je  $82 W/m^2$ , a kada se ovom iznosu dodaju  $21 W/m^2$  kondukcijom i konvekcijom transfera sa površine Zemlje i  $85 W/m^2$  transfera sa vodenih površina, ukupna gustoća toplotnog toka u atmosferi iznosi  $188 W/m^2$ . Od ovog iznosa se  $82 W/m^2$  zrače u svemir. Iz navedenog je vidljivo da neto terestrijalni gubitak energije iznosi  $239 W/m^2$ , pa su

prema tome dobici i gubici energije zračenja izbalansirani na rubu atmosfere (slika 1.) [7].

U Bosni i Hercegovini vrijednost dnevne količine zračenja na horizontalnu površinu se kreće od  $3,4 kWh/m^2$  (Bosanski Brod) do  $4,22 kWh/m^2$  (Trebinje), odnosno između  $1241$  i  $1540 kWh/m^2$  godišnje (slika 2). Trajanje insolacije, odnosno prosječni broj sunčanih sati godišnje je oko  $2400$  sati [8].

Promatrajući sliku 2. može se zaključiti da će zbog različite dnevne količine zračenja, za različite dijelove BiH, biti različita i proizvodnja odnosno dobit električne energije.



Slika 2. Potencijal sunčeve energije u BiH sa vrijednostima globalnog zračenja na horizontalnu površinu [8]

Uspoređujući naš solarni potencijal sa drugim evropskim zemljama (Njemačka, Poljska, Švedska i dr.) koje značajno koriste sunčevu energiju, Bosna i Hercegovina ima znatno veći kapacitet ( $10\% - 30\%$ ) godišnje solarne radijacije, ali nažalost nedovoljno iskorišten (prema istraživanjima, potencijali solarne energije u BiH su  $70,5$  miliona  $GWh$ /godišnje – EVD, 2009) [7].

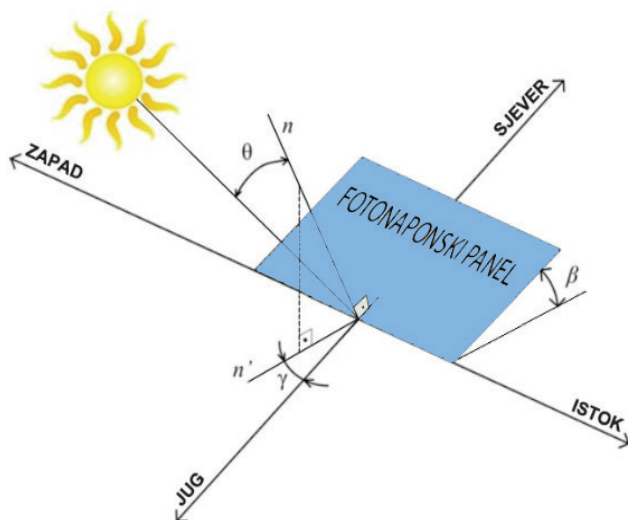
### 3. FAKTORI KOJI UTJEČU NA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE POMOĆU FOTONAPONSKIH SUSTAVA

Postoji mnogo faktora koji utječu na rad i efikasnost fotonaponskih sustava što ima za posljedicu i utjecaj na proizvodnju električne energije, odnosno energetske dobit. Ti faktori su vezani za geografski položaj lokacije od interesa, odnosno za klimatske uvjete i za prostornu orijentaciju fotonaponskih sustava. U klimatske uvjete spadaju: broj sunčanih dana u godini, stanje atmosfere (vedro, poluoblačno, oblačno) i zagađenost atmosfere. S obzirom da se na njih ne može utjecati, onda posebnu pažnju treba posvetiti prostornoj orijentaciji

fotonaponskih sustava. Prostorna orijentacija solarnog prijemnika, odnosno pozicija fotonaponskih sustava definirana je preko nekoliko uglova u odnosu na Zemlju i Sunce.

Pozicija solarnog prijemnika u odnosu na Zemlju definira se preko ugla orijentacije površine  $\gamma$  (azimut) i ugla nagiba površine  $\beta$  (inklinacija), a pozicija prijemnika u odnosu na Sunce definira se preko ugla upada solarnih zraka  $\theta$  [9]. Ovi uglovi prikazani su na slici 3.

Kut orijentacije površine  $\gamma$  ili azimut je kut između pravca juga i prave  $n'$ . Prava  $n'$  je projekcija prave  $n$  na horizontalnu ravan. Prava  $n$  je normalna na površinu solarnog prijemnika. Azimut je pozitivan ako je projekcija normale zapadno od juga i negativan ako je projekcija normale istočno od juga.



Slika 3. Definiranje prostorne orijentacije FN sustava

Kut nagiba površine  $\beta$  ili inklinacija je kut između površine solarnog prijemnika i horizontalne ravni. Inklinacija je pozitivna ako je površina solarnog prijemnika nagnuta prema jugu, u suprotnom je negativna.

Kut upada solarnih zraka  $\theta$  je kut između normale  $n$  na površinu solarnog prijemnika i pravca sunčevih zraka.

#### 4. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE FIKSNOG FOTONAPONSKOG SUSTAVA SNAGE 1kW ZA RAZLIČITE DIJELOVE BIH

Proizvodnja električne energije je najveća kada je količina sunčevog zračenja koja dopijeva do FN sustava najveća moguća. Da bi količina sunčevog zračenja koja dođe do FN sustava bila što veća, potrebno je FN sustav postaviti u optimalni položaj prema Suncu. Optimalni položaj je različit za različite lokacije na Zemlji, dakle, funkcija je geografskog položaja. Također, on je funkcija vremena, odnosno doba dana i godine. Budući da se u radu analiziraju fiksni FN sustav za sve lokacije su uzeti

optimalni fiksni uglovi inklinacije i azimuta koji su različiti za različite lokacije. Fiksni uglovi inklinacije i azimuta su optimizirani za određene lokacije pomoću online softvera PVGIS, i njihove vrijednosti su prikazane u tabeli 1

Tabela 1. Optimalni uglovi inklinacije i azimuta

Grad	Geografska lokacija	Kut inklinacije $\beta$ (°)	Kut azimuta $\gamma$ (°)
Banja Luka	44°46'0" sjeverno 17°10'59" istočno	33	-1
Bihać	44°49'9" sjeverno 15°52'14" istočno	31	-2
Brčko	44°52'10" sjeverno 18°48'34" istočno	33	0
Goražde	43°40'12" sjeverno 18°58'40" istočno	30	0
Livno	43°49'35" sjeverno 17°0'37" istočno	34	3
Mostar	43°20'34" sjeverno 17°48'7" istočno	35	-3
Sarajevo	43°51'48" sjeverno 18°24'47" istočno	32	1
Travnik	44°13'37" sjeverno 17°39'36" istočno	31	-2
Trebinje	42°42'32" sjeverno 18°21'7" istočno	34	4
Tuzla	44°32'17" sjeverno 18°40'33" istočno	32	-2

U radu je izvršena simulacija i analiza proizvodnje električne energije za fiksne FN sustave nominalne snage 1 kW. Za analizu su uzete različite lokacije Bosne i Hercegovine, tabela 1.

Za simulaciju i analizu proizvodnje električne energije korišten je PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) Interactive Maps on-line kalkulator [8].

PVGIS pruža popis solarnih energetske resursa i procjenu proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sustava temeljen na geografskoj karti u Evropi, Africi i jugozapadnoj Aziji. On je dio „SOLAREC“ (*Solar Electricity Action*) akcije koja doprinosi implementaciji obnovljivih izvora energije u EU kao održivog i dugoročnog izvora energije [9].



The screenshot displays the PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) interface. On the left, a map of Bosnia and Herzegovina is shown with a red pin indicating a location near Tuzla. The map includes latitude (44.546) and longitude (18.677) coordinates. On the right, the 'Performance of Grid-connected PV' configuration panel is visible, showing various settings:

- Performance of Grid-connected PV**
- Radiation database: Climate-SAF PVGIS
- PV technology: CdTe
- Installed peak PV power: 1 kWp
- Estimated system losses: 14%
- Fixed mounting options:**
  - Mounting position: Free-standing
  - Slope: 31°
  - Azimuth: -5°
- Tracking options:**
  - Vertical axis: 0°
  - Inclined axis: 0°
  - 2-axis tracking:
- Output options:**
  - Show graphs:
  - Web page:

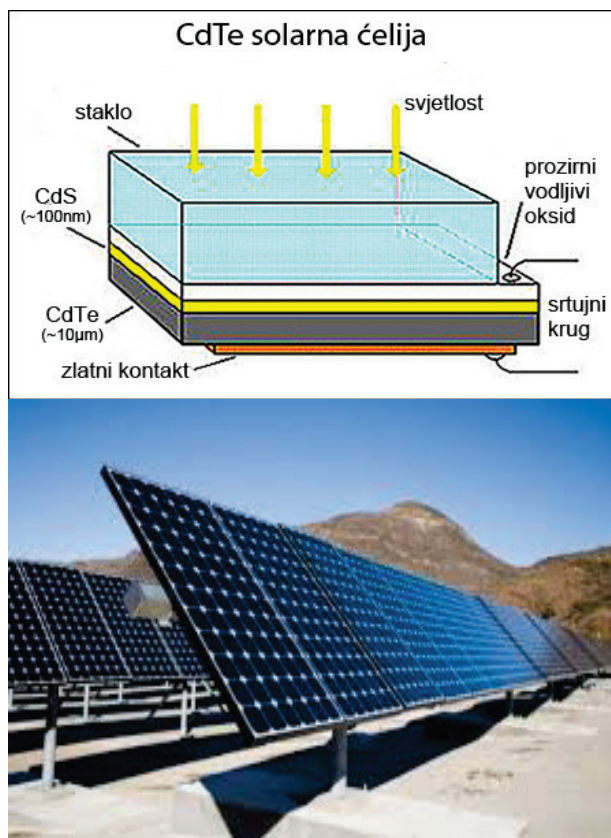
A 'Calculate' button is located at the bottom of the configuration panel.

Slika 4. Radno okruženje softvera PVGIS [8]

Na slici 4. je prikazano radno okruženje softvera PVGIS. Softver PVGIS na osnovu ulaznih parametara za određenu geografsku lokaciju daje određene izlazne podatke kao što je proizvodnja električne energije, dnevno zračenje, mjesečno zračenje kao i zračenje na godišnjem nivou. Ulazni parametri u softver su: geografska lokacija lat/long, vrsta FN tehnologije, instalirana snaga FN sustava, definiranje gubitaka, kut inklinacije i kut azimuta. Ulazni parametri također mogu biti podaci o samom FN sustav, odnosno da li je sustav fiksni ili ima mogućnost rotacije, jednoosne ili dvoosne.

Simulacija je izvršena za FN sustave tipa kadmijeva telurida (CdTe). Tehnologija tankog filma kadmijeva telurida (engl. thin-film cadmium telluride) ima najmanju emisiju štetnih plinova u životnom ciklusu, većinom zbog toga što je utrošak energije za proizvodnju takvog modula najmanji od svih fotonaponskih modula. Na slici 5. je prikazan FN sustav tipa kadmijeva telurida.

Kadmij telurid (CdTe) je polikristalni tankoslojni materijal, koji ima gotovo idealan energetski procjep od 1,44 eV, te veliku mogućnost apsorpcije. Iako se najčešće koristi u FN komponentama bez dodavanja drugih materijala, relativno je lagano postići leguru sa cinkom ili živom kako bi poboljšali svojstva komponente. Isto kao i kod bakar-indij-selenid (CIS) solarne ćelije tankog filma, CdTe filmovi mogu se polagati na jeftine podloge (plastika, staklo i sl.). CdTe ćelije imaju jednoliku strukturu, sa kadmijevim sulfidom kao gornjim slojem n-tipa poluvodiča. Za antirefleksni sloj, ali i transparentni provodljivi sloj koristi se tanki sloj oksida. Zbog unutarnjeg otpora p-tipa CdTe materijala, CdTe materijal se postavlja kao intristični sloj dok se kao p-tip materijala koristi cink-telurid (ZnTe).



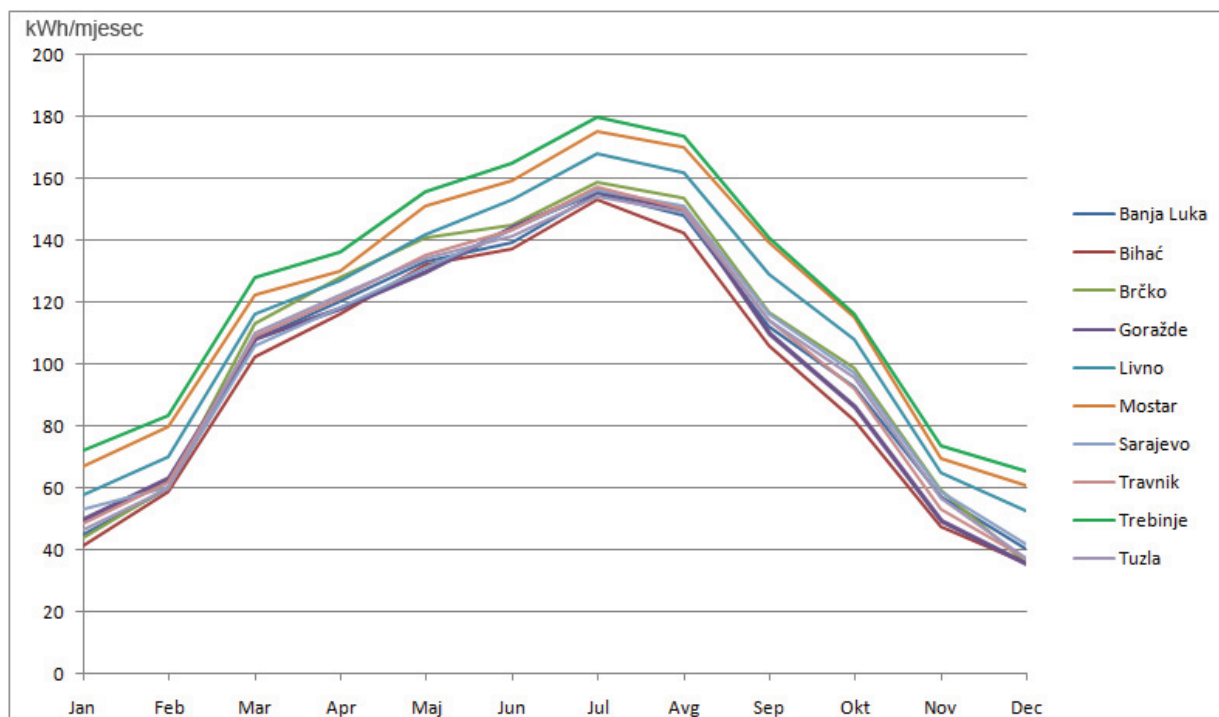
Slika 5. Tehnologija FN sustava na bazi tankog filma kadmijeva telurida [10,11]

Parametri sustava korištenog za simulaciju su:

- Nominalna snaga fotonaponskog sustava: 1.0 kW (CdTe).

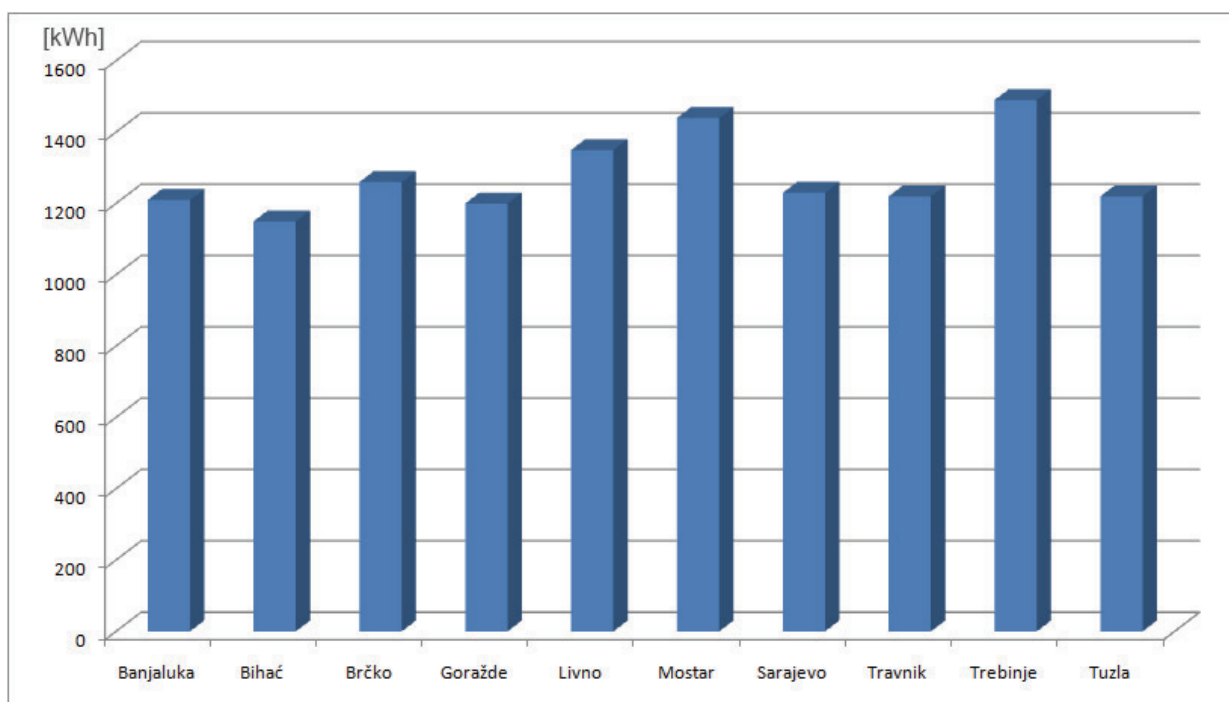
- Procijenjeni gubici zbog temperature i slabog zračenja: 1,3% (koristeći lokalne temperature okoline).
- Procijenjeni gubitak zbog efekta refleksije: 2,9%.
- Ostali gubici (kablovi, inverter i sl.): 14,0%
- Kombinirani gubici fotonaponskog sustava: 17,5%.

Rezultati izvršene simulacije proizvodnje električne energije fiksnih fotonaponskih sustava snage 1 kW za različite dijelove BiH po mjesecima, prikazani su na slici 6.



**Slika 6.** Grafički prikaz moguće proizvodnje električne energije fotonaponskog panela od 1kW po mjesecima za različite dijelove BiH

Na slici 7. je dan grafički prikaz moguće proizvodnje električne energije iz fotonaponskog sustava na godišnjem nivou za nekoliko gradova u BiH.



**Slika 7.** Moguća proizvodnja električne energije FN sustava od 1kW za različite lokacije u BiH

Analizirajući dobivene rezultate moguće proizvodnje električne energije u BiH, slika 6 i slika 7, jasno je vidljivo da je najveća moguća proizvodnja električne energije fotonaponskog sustava snage 1kW na u Trebinju 1490 kWh, a najmanja moguća proizvodnja je u Bihacu 1140 kWh na godišnjem nivou.

Također, sa slike 7. je jasno vidljivo da nakon Trebinja, po vrijednosti električne energije slijedi Mostar (oko 1400 kWh/god.) i Livno (oko 1300 kWh/god.) , dok gradovi Tuzla, Travnik i Sarajevo imaju gotovo identičnu mogućnost proizvodnje električne energije PV sustava u iznosu od 1200 kWh/godini, što se može promatrati s aspekta sličnog geografskog položaja.

Ako bi se vršila usporedba BiH sa drugim evropskim zemljama koji imaju manji solarni potencijal, onda se sa pravom može reći da je solarni potencijal u BiH značajan, ali je trenutno nedovoljno iskorišten. Primjera radi, Njemačka koja ima manji solarni potencijal od BiH u 2013 godini imala je solarni kapacitet od 36 GW instalirane snage [12].

Gledajući globalno, broj instaliranih fotonaponskih sustava u svijetu svakim danom sve je veći. Na slici 8. je prikazano top 10 zemalja u svijetu koji su lideri u proizvodnji električne energije pomoću PV sustava za 2013 godinu.

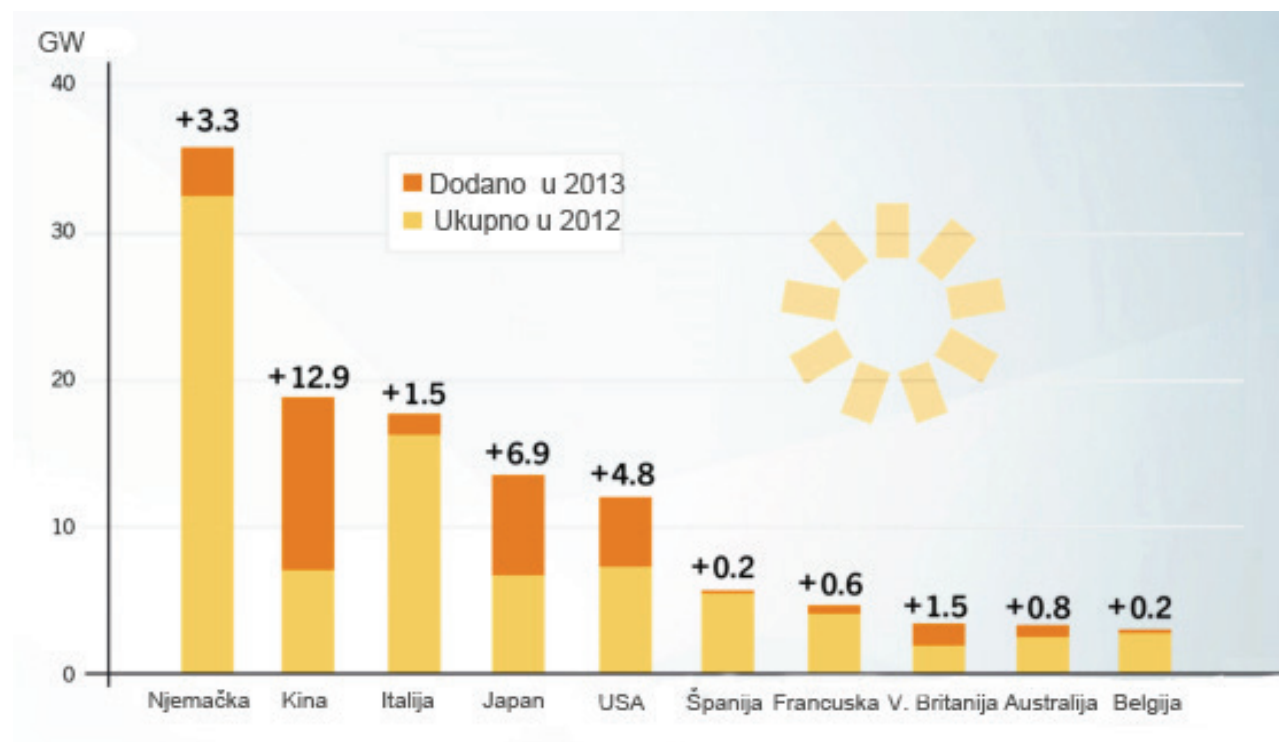
Industrija EU predviđa da će do 2030. godine biti u pogonu preko 600 GW fotonaponskih sustava. Ovaj rast instaliranih kapaciteta trebao bi generirati i nova radna mjesta: 465.000 radnih mjesta u 2015. godini, te 900.000 radnih mjesta u 2020. godini, od čega će nešto manje od polovice biti zaposleno u sektoru instaliranja i prodaje fotonaponskih sustava.

## 5. ZAKLJUČAK

Istraživanjem je utvrđeno da se na temelju dovoljnog sunčanog potencijala u BiH trebaju poduzeti neophodne mjere kako bi se povećao udio obnovljivih izvora energije, a jedan od njih je i korištenje sunčeve energije upotrebom fotonaponskih sustava za dobivanje električne energije.

Značajnijim rastom instaliranih kapaciteta PV sustava doprinijelo bi se ispunjavanju globalnih zahtjeva u pogledu očuvanju okoliša i čuvanju prirodnih bogatstava, te bi se povećala energetska neovisnost zemlje. Uzimajući u obzir solarni potencijal BiH i činjenicu da cijena PV sustava značajno pada (od 5 \$/W u 1995. godini do 0,75 \$/W koliko se očekuje u 2015. godini), jasno je da se može očekivati značajni rast instaliranih kapaciteta. Ovaj proces će generirati i nova radna mjesta, pod uvjetom da educiramo stručne i obučene instalatere kako bi sa vlastitim kadrovima i znanjima adekvatno odgovorili svim zahtjevima i izazovima koji su prisutni u ovoj danas izrazito rastućoj profesiji i bili aktivni učesnici na tržištu rada. Educiran kadar bi pored instaliranja opreme solarnih sustava, radio i na upoznavanju korisnika/investitora s eventualnim poticajima u skladu sa usvojenom zakonskom regulativom u BiH, ispravnim dimenzioniranjem sustava, kao i sa osnovama rada i održavanja sustava.

Pravilnim projektiranjem PV sustava, uzimajući u obzir važeću zakonsku regulativu koja se odnosi na mjere subvencioniranja proizvodnje energije iz obnovljivih izvora moguća, moguće je troškove energije na godišnjem nivou u periodu otplate instalirane tehnologije značajno smanjiti, dok je nakon tog perioda moguće zadovoljenje energetske potreba gotovo bez ikakvih troškova.



Slika 8. Solarni PV kapacitet top 10 zemalja [12]

## 6. LITERATURA

- [1] Agić, S.: Solarni kolektori, CEE Tuzla, 2011.
- [2] Kulišić, P.; Vuletin, J.; Zulim, I.: Sunčane ćelije, Školska knjiga Zagreb, 1994.
- [3] Energy 2020, A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy, Publication Office of the European Union, Luxemburg, 2011.
- [4] Bilić, Z.: Napajanje udaljenog stambenog objekta pomoću energije vjetra i sunčevog zračenja, diplomski rad, Osijek, 2006.
- [5] <http://www.wikipedia.org> (Dostupno: 20.02.2015.)
- [6] Jackson, F.: Planning and installing Photovoltaic Systems, Green Dragon Energy, Berlin, October 2007.
- [7] Čehajić, N.: Pasivno korištenje sunčeve energije - Trombov zid, Tehnički glasnik, Vol. 7, No. 4 (2013) 363-370
- [8] <http://photovoltaic-software.com/pvgis.php> (Dostupno: 05.02.2015.)
- [9] Axaopoulos, P., Pitsilis, G.: Energy software program for educational use, Renewable Energy, Vol. 32 (2007)
- [10] [http://solarcellcentral.com/companies\\_page.html](http://solarcellcentral.com/companies_page.html) (Dostupno: 26.02.2015.)
- [11] <http://solarknowledge.blogspot.com/2011/11/solar-chile-and-first-solar-to-co.html> (Dostupno: 20.02.2015.)
- [12] Renewables 2014. Global Status Report (Dostupno: 27.02.2015.)

### Kontakti autora:

**mr. Midhat Umihanić, dipl.ing.el.**

J.U. Mješovita srednja škola Živinice  
Ul. Alije Izetbegovića 12a  
75270 Živinice  
+387 35 772 611  
midhatu@live.com

**mr.sc. Nurdin Čehajić, dipl.ing.maš.**

J.U. Mješovita srednja škola Živinice  
Ul. Alije Izetbegovića 12a  
75270 Živinice  
+387 35 772 611  
nurddin\_cekajic@hotmail.com

**Nevres Salihović, dipl.ing.el.**

J.U. Mješovita srednja škola Živinice  
Ul. Alije Izetbegovića 12a  
75270 Živinice  
+387 35 772 611  
nevres.s.mssziv@gmail.com