

## ODREĐIVANJE OPTIMALNOG POLOŽAJA PRIJEMNIKA SUNČEVOG ZRAČENJA DETERMINING THE OPTIMAL POSITION OF THE SOLAR RADIATION RECEIVER

Nenad Jovančić, Slobodan Lubura, *Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo*  
e-mail: jovan692@yahoo.com, slubura@gmail.com

**Kratak sadržaj** – U radu su opisani principi za određivanje optimalnog položaja prijemnika sunčevog zračenja. Predstavljene su izvori podataka vezani za energiju sunčevog zračenja za veliki broj lokacija širom svijeta. Ovo predstavlja najvažniji podatak prilikom projektovanja bilo kog sistema koji direktno koristi energiju sunčevog zračenja.

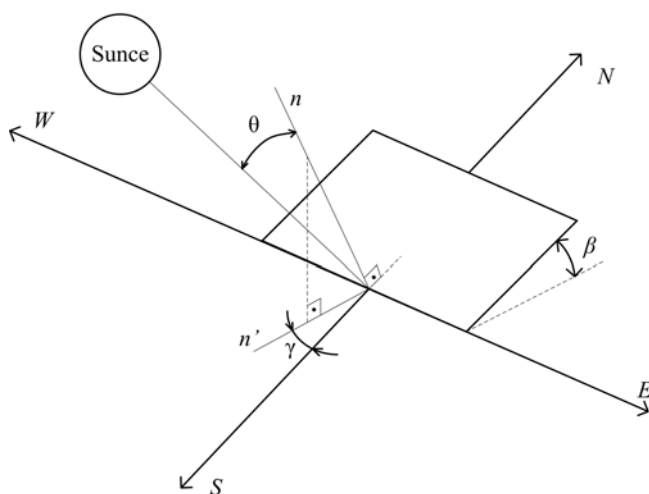
**Abstract** – This paper describes the principles for determining the optimal position of the receiver of solar radiation. Included are the sources of data related to the energy of solar radiation for a number of locations around the world. This is important information when designing any system that directly uses the energy of solar radiation.

### 1. UVOD

U svijetu je sve manje zaliha neobnovljivih izvora energije, kao što je nafta, prirodni gas, uglj i sl., a potrebe za energijom sve veće. Zbog toga se danas veliki broj naučnika bavi problematikom iskorištavanja tzv. obnovljivih izvora energije, kao što je energija vjetra, sunčevog zračenja, biomase, energija plime i oseke. Broj instaliranih sistema koji koriste obnovljive izvore energije svakim danom sve je veći. Trenutno su najzastupljeniji sistemi koji koriste energiju vjetra i sunčevog zračenja.

### 2. DEFINISANJE POZICIJE PRIJEMNIKA SUNČEVOG ZRAČENJA

Prijemnik sunčevog zračenja je najčešće ravna površina, kao što je površina zida ili neka zastakljena površina. Takav prijemnik može u odnosu na Zemlju i Sunce da bude proizvoljno orijentisan. Pozicija prijemnika sunčevog zračenja može se definisati preko nekoliko uglova. Ovi uglovi su prikazani na (Sl. 1). Pozicija prijemnika u odnosu na Zemlju definiše se preko dva ugla, **ugao orijentacije površine  $\gamma$**  (azimut) i **ugao nagiba površine  $\beta$**  (inklinacija). [1]



Sl. 1. Definisavanje pozicije prijemnika sunčevog zračenja

**Ugao orijentacije površine  $\gamma$**  je ugao između pravca juga **S** i projekcije normale površine **n** na horizontalnu ravan, poluprava **n'**. Ovaj ugao je pozitivan ako je projekcija normale zapadno od juga i negativan ako je ista, istočno od juga.

**Ugao nagiba površine  $\beta$**  je ugao između ravni prijemnika i horizontalne ravni, a uzima se kao pozitivan ukoliko je površina prijemnika nagnuta prema jugu, u suprotnom je negativan.

Pozicija prijemnika u odnosu na Sunce može se definisati korišćenjem **ugla upada solarnih zraka  $\theta$** . Ugao upada solarnih zraka je ugao između normale na površinu **n** i pravca sunčevih zraka.

### 3. IZVORI PODATAKA O SUNČEVOM ZRAČENJU

Najbitniji parametar prilikom projektovanja nekog sistema koji koristi energiju sunčevog zračenja, jeste upravo poznavanje vrijednosti te energije. U nastavku će biti predstavljeno na koji način se može doći do podataka o energiji sunčevog zračenja za lokaciju od interesa.

Za određenu lokaciju energija sunčevog zračenja se određuje mjerenjem i/ili analitički. Mjeriti se može lokalno ili satelitski. Analitički pristup daje zadovoljavajuće rezultate ukoliko je poznat tzv. indeks prozračnosti  **$K_t$** . Jedan od instrumenata koji ima mogućnost mjerenja intenziteta sunčevog zračenja jeste piranometar.

Određeni podaci su dostupni od različitih institucija koje integrišu mjerenja meteoroloških stanica i satelita, sa analitičkom obradom za višegodišnja razdoblja i različite rezolucije. Svi izvori koji nisu rezultat posebnih mjerenja za konkretnu lokaciju imaju neodređenost koja može biti i do 30%. Varijabilnost usljed lokalnih vremenskih prilika još je veća. Neodređenost je manja na nivou procjene za ukupnu godišnju ozračenost. Primjer izvora podataka koje je moguće kupiti je **ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecast, [data.ecmwf.int/data](http://data.ecmwf.int/data))**. Postoje i podaci koji su slobodno dostupni, npr.: (i) **NASA SMSE (Surface Meteorology and Solar Energy)** za razdoblje od 1983-1993

u rezoluciji od 1°, (ii) **PVGIS** (*Photovoltaic Geographical Information System*), rezolucija 1x1 km, čiji su podaci korišćeni u ovom radu.

Pored internet stranica, postoje i kompletni softveri, kao što je **METEONORM**, razvijen od strane Švajcarskih stručnjaka, koji takođe daje podatke o sunčevom zračenju za veliki broj lokacija širom svijeta. Do ovih podataka METEONORM dolazi zahvaljujući prostornoj interpolaciji sa preko 2400 meteoroloških stanica širom svijeta.

#### 4. OPTIMALAN POLOŽAJ PRIJEMNIKA SUNČEVOG ZRAČENJA

Kada se govori o optimalnom položaju prijemnika sunčevog zračenja misli se na onaj položaj pri kome je količina zračenja koja dopijeva do prijemnika najveća moguća. Optimalan položaj je različit za različite lokacije na Zemlji. Dakle, funkcija je geografskog položaja lokacije od interesa. Takođe, on je funkcija vremena, odnosno doba dana i godine.

Kada je riječ o optimalnom položaju sve prijemnike sunčevog zračenja možemo podijeliti u dvije grupe:

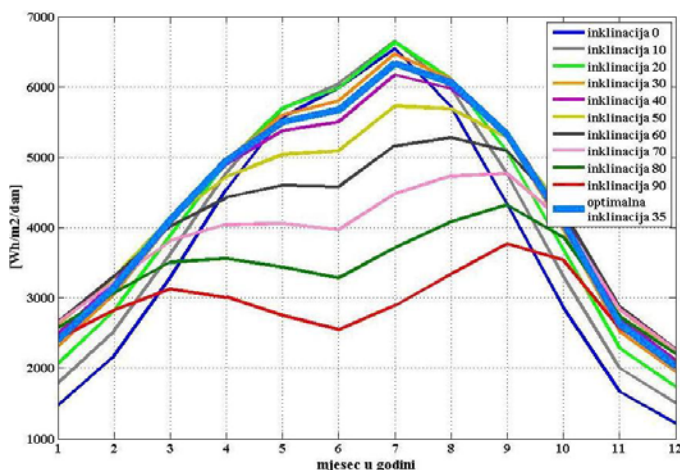
- fiksni prijemnici sunčevog zračenja,
- prijemnici sunčevog zračenja sa mogućnošću praćenja pozicije Sunca.

Na osnovu ovoga, razlikuju se i principi pri određivanju optimalnog položaja prijemnika sunčevog zračenja.

##### 4.1 FIKSNI PRIJEMNICI SUNČEVOG ZRAČENJA

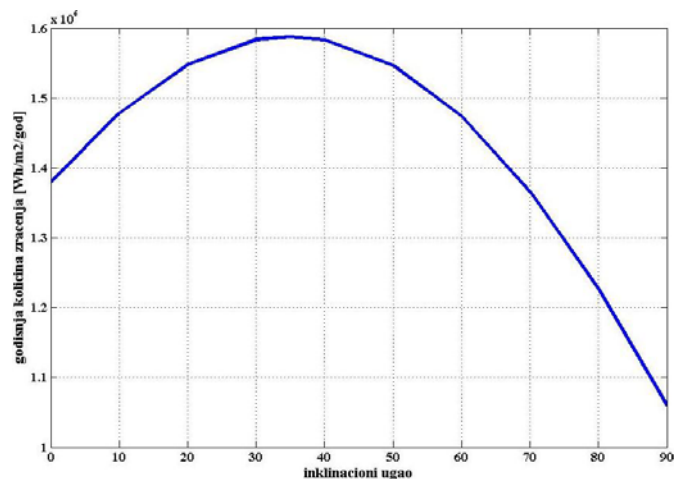
Fiksni prijemnici sunčevog zračenja nemaju mogućnost praćenja pozicije Sunca. To su najčešće sistemi koji su pričvršćeni (fiksirani) na krovove ili fasade kuća, zgrada i sl. Njihov stepen iskorišćenja je manji nego kod sistema koji imaju mogućnost praćenja, ali se ipak često primjenjuju.

Postoje dva principa prilikom računanja optimalnog položaja fiksnih prijemnika sunčevog zračenja. Prvi od njih je analitički, kod koga je matematički aparat veoma složen i ovde mu neće biti posvećena pažnja. Drugi princip se zasniva na analizi podataka o sunčevom zračenju za lokaciju od interesa. Da bi se objasnio ovaj princip, posmatrajmo (Sl. 2). Na njoj je prikazan godišnji profil količine zračenja za Sarajevo (geografska širina  $\varphi=43,87^\circ$ ) za različite inklinacione uglove, pri nultom azimutu.



Sl. 2. Dnevna količina zračenja u toku godine za Sarajevo

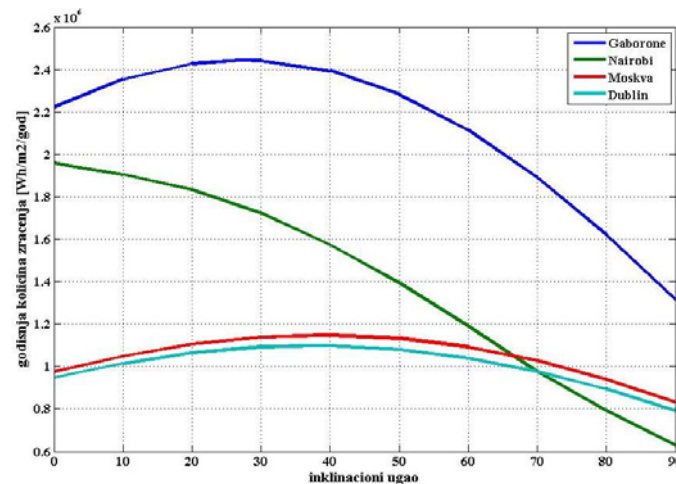
Sa (Sl. 2) se može vidjeti da godišnji profil količine zračenja, veoma zavisi od inklinacionog ugla, pri nultom azimutu. Horizontalno postavljena površina (inklinacija 0°) prima najveću količinu zračenja tokom ljeta. Ovo znači, ako sistem treba da radi samo ljeti, nagib treba da bude što bliži horizontalnom položaju, što je više moguće. Kada se pogleda kriva koja odgovara nagibu vertikalne površine (inklinacija 90°), može se uočiti da površina dobija najmanju količinu zračenja od svih uglova tokom većeg dijela godine, osim u zimskim mjesecima.



Sl. 3. Zavisnost godišnje količine zračenja od inklinacionog ugla

Da bi došli do veoma bitnog zaključka, pogledajmo (Sl. 3), gdje su ucrtane godišnje vrijednosti količine zračenja dobijenih za Sarajevo, kao funkcija inklinacionog ugla, pri nultom azimutu. Maksimalum ove krive odgovara optimalnom inklinacionom uglu. Kao što se može vidjeti, maksimalna vrijednost zračenja je postignuta za ugao od 35°, što je blisko geografskoj širini ove lokacije.

Može se zaključiti, kao opšte pravilo, da inklinacioni ugao koji je blizak geografskoj širini lokacije prijemnika daje najveće ukupne količine zračenja tokom godine. Neki autori navode kao optimalni inklinacioni ugao  $\beta_{opt}=(0,9-1,3) \varphi$ . [3]



Sl. 4. Godišnja količina zračenja u zavisnosti od inklinacionog ugla

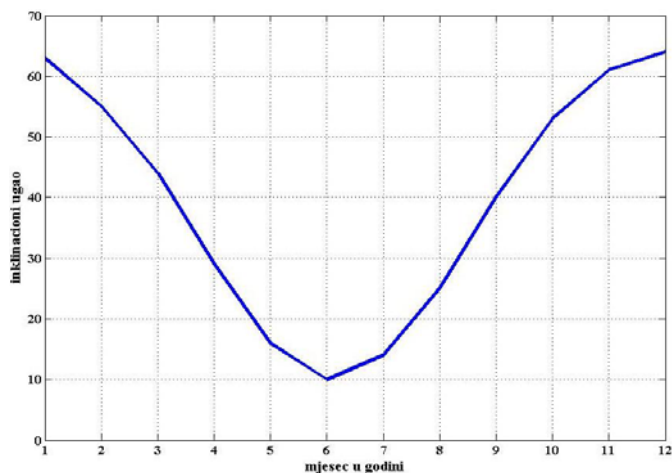
Ovo se takođe može vidjeti i sa (Sl. 4), gdje je prikazana ukupna godišnja količina zračenja dobijena za četiri različite lokacije u svijetu: Nairobi (KENYA)  $\varphi=1,16^\circ$ -jug, Gaborone

(BOTSWANA)  $\varphi=24,38^\circ$ -jug, Moscow (RUSSIA)  $\varphi=55,45^\circ$ -sjever i Dublin (IRELAND)  $\varphi =53,20^\circ$ -sjever. I u ovom slučaju, pravilo geografske širine se pokazalo kao dovoljno tačno. Kako grafici sa (Sl. 3) i (Sl. 4) pokazuju, ne postoji jasno definisan maksimum krive, već se kriva blago proteže u okolini maksimuma. To nam ostavlja slobodu da ne moramo striktno ispoštovati pravilo geografske širine, a ipak ćemo biti u okvirima optimalnog položaja sistema.

Što se tiče ugla azimuta, prema mnogim autorima, dovoljno efikasno rješenje je da bude zadovoljeno sledeće pravilo. Na lokacijama koje se nalaze na Sjevernoj hemisferi, prijemnici sunčevog zračenja treba da budu orjentisani prema jugu, a na lokacijama koje se nalaze na Južnoj hemisferi, prijemnici treba da su orjentisani prema sjeveru. [3]

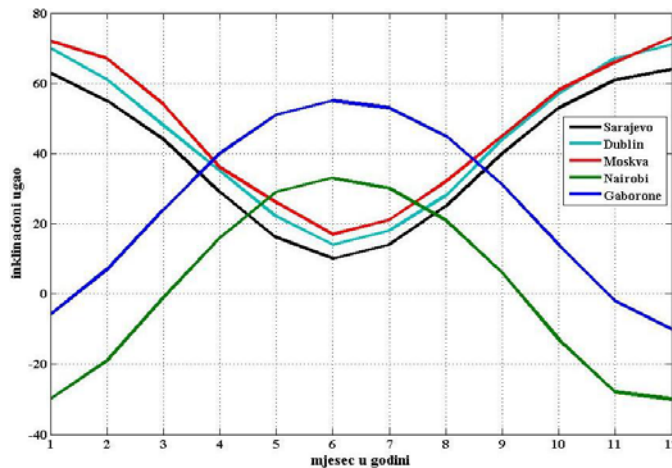
## 4.2 PRIJEMNICI SUNČEVOG ZRAČENJA SA MOGUĆNOŠĆU PRAĆENJA POZICIJE SUNCA

Optimalan položaj prijemnika sunčevog zračenja, za istu lokaciju, mijenja se tokom godine. Ova promjena se može vidjeti na (Sl. 5). Na slici je data promjena optimalnog inklinacionog ugla za Sarajevo u toku jedne godine.



Sl. 5. Promjena optimalnog inklinacionog ugla tokom godine za Sarajevo

Kako bi se povećala efikasnost sistema koji koriste energiju sunčevog zračenja, razvijeni su sistemi koji imaju mogućnost praćenja pozicije Sunca. Ovi sistemi u toku dana generišu znatno više energije nego fiksni prijemnici.



Sl. 6. Promjena optimalnog inklinacionog ugla tokom godine za različite lokacije na Zemlji

Interesantno je vidjeti razliku u promjeni optimalnog inklinacionog ugla za mjesta koja se nalaze na različitim tačkama planete Zemlje. Za to će nam poslužiti (Sl. 6) na kojoj su prikazane promjene optimalnog inklinacionog ugla za pet različitih lokacija. Tri od njih (Sarajevo, Dublin i Moscow) se nalaze na Sjevernoj hemisferi, a ostale dvije (Nairobi i Gaborone), na Južnoj hemisferi. Može se vidjeti da maksimum krive koja odgovara tački sa Južne hemisfere odgovara minimumu krive za tačku sa Sjeverne hemisfere i obrnuto. Ovo je posledica međusobnog položaja Sunca i Zemlje i putanje kojom se Zemlja kreće oko Sunca.

Postoji više načina klasifikacije sistema koji imaju mogućnost praćenja pozicije Sunca. U literaturi se najčešće sreće podjela prema osi rotacije, i podjela na osnovu primjenjenog senzorskog sistema za praćenje pozicije Sunca. [2].

Klasifikacija na osnovu ose rotacije obuhvata sisteme sa jednom osom rotacije i sisteme sa dvije ose rotacije. Sistemi sa jednom osom rotacije omogućavaju praćenje Sunca u toku dana samo u pravcu istok-zapad (praćenje inklinacionog ugla). Ovakvi sistemi daju od 25 % do 30 % više energije u odnosu na fiksne sisteme.

Za razliku od njih, dvoosni rotirajući sistemi pored ovog kretanja imaju i drugu osu rotacije, sjever-jug (praćenje ugla azimuta). Ona omogućava da se izvrši preciznija korekcija položaja prijemnika u odnosu na Sunce u toku cijele godine, zbog činjenice da se osa rotacije Zemlje, u odnosu na ravan njenog kretanja oko Sunca, nalazi pod nagibom od  $23,5^\circ$ . Kod ovih sistema, povećanje efikasnosti je od 30 % do 40 % u odnosu na fiksne sisteme.

Kod senzorskog sistema za praćenje pozicije Sunca razlikuju se dva osnovna tipa rotirajućih sistema: aktivni i pasivni rotirajući sistemi.

**Aktivni sistemi** po svojoj strukturi i primjenjenim mjernim principima pripadaju grupi složenih, kompleksnih sistema, zbog čega je u literaturi usvojena sledeća uslovna podjela ovih sistema:

- rotirajući sistemi sa mikroprocesorskom kontrolom, koji svoj rad baziraju na preciznom izračunavanju putanje kretanja i pozicije Sunca,
- rotirajući sistemi sa mikroprocesorskom kontrolom i senzorskim stepenom koji omogućava neprekidno praćenje Sunca,
- rotirajuće sisteme koji kombinuju prethodna dva principa.

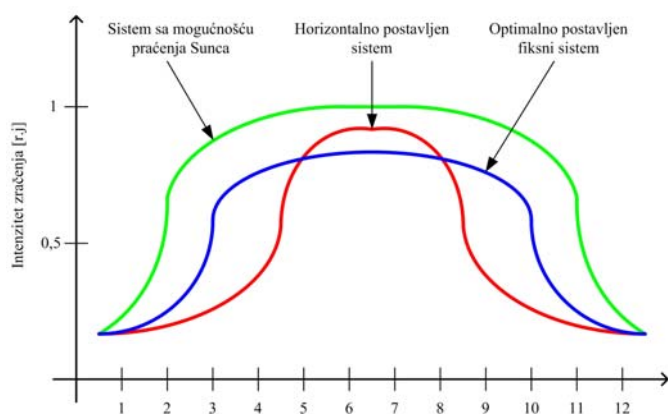
Sa druge strane, **pasivni sistemi** ne sadrže električne motore ili neku dodatnu elektronsku kontrolu. Njihov rad se zasniva na toplotnom širenju fluida, kao što je freon, koji se nalazi u simetrično izbalansiranoj mehaničkoj strukturi i koja sadrži nekoliko parova aktuatora (klipova). Pri različitom intenzitetu sunčevog zračenja dijelovi realizovane strukture, se zagrijavaju na različite temperature, čime se prouzrokuje da zagrijani freon ispari i ostvari neki protok, ili izazove pomjeraj klipa.

Iz prethodno navedenog, možemo vidjeti da sistemi koji imaju mogućnost praćenja pozicije Sunca imaju veću

efikasnost, nego fiksni sistemi. Međutim, i ovi sistemi imaju svojih nedostataka

Negativne strane sistema sa mogućnošću praćenja Sunca su sledeće:

- poskupljuju instalaciju (duplo),
- otežavaju održavanje,
- povećavaju masu samog sistema,
- mogućnost pomjeranja u samo nekoliko položaja (npr. 4 puta godišnje), ne daje značajno povećanje efikasnosti. [6]



Sl. 7. Poređenje različitih vrsta fotonaponskih sistema

Na (Sl. 7) upoređene su godišnje količine zračenja za tri različita solarna sistema. Vidimo da je količina zračenja najveća za slučaj sistema koji ima mogućnost praćenja Sunca, dok je za fiksni sistem (sa optimalnim položajem) količina manja, a za horizontalno postavljen sistem, količina zračenja je najmanja. [6]

## 5. ZAKLJUČAK

Iskorištavanje obnovljivih izvora energije je pravac u kome danas nauka sve dalje ide. Osnovni problem kod sistema koji koriste obnovljive izvore energije jeste mali stepen iskorišćenja. Za fotonaponske sisteme on u laboratorijskim uslovima iznosi nešto malo više od 30 %. Dok je tipični, koeficijent korisnog dejstva kod komercijalnih panela, negdje oko 15-ak %. Zbog toga, svaki korak ka povećanju efikasnosti ovakvih sistema donosi ogromne rezultate u pogledu dobijene energije. Ovaj rad je imao za cilj da pokaže kako pozicija samog prijemnika utiče na njegovu iskoristivost. Isto tako, pokazano je na koji način možemo da odredimo optimalan položaj nekog prijemnika sunčevog zračenja i koliko je moguće povećati efikasnost ako prijemnik zauzima optimalan položaj.

## LITERATURA

- [1] Axaopoulos P., Pitsilis G., *Energy software programs for educational use*, Renewable Energy 32, Atina, januar 2007.
- [2] Dejan Lazić, *Jednoosni rotirajući merni sistem za praćenje pozicije Sunca*, diplomski rad, Niš, 2007.
- [3] Frank Jackson, *Planning and installing Photovoltaic Systems*, Green Dragon Energy, Berlin, oktobar 2007.
- [4] Nenad Jovančić, *Pretvaranje energije sunčevog zračenja u električnu – fotonaponski sistemi*, diplomski rad, Istočno Sarajevo, oktobar 2009.
- [5] **PVGIS** - *Photovoltaic Geographical Information System*
- [6] Zdenko Šimić, *Energija Sunca*, Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb, Zavod za visoki napon i energetiku, 2009.