

# Uticaj refleksije sunca od fotonaponskih panela na lokalitetu Hodovo na drumski i vazdušni saobraćaj

## Influence of sun reflection from photovoltaic panels on road and air traffic at the Hodovo site

**Zejnir Trešnjo, prof. VŠ; Visoka škola "Logos Centar" Mostar, [zejnir.tresnjo@logos-centar.com](mailto:zejnir.tresnjo@logos-centar.com)**

**Akaid Saradak, pred.VŠ; Visoka škola „Logos Centar“ Mostar, [akaid@logos-centar.com](mailto:akaid@logos-centar.com)**

### Rezime

Veliki broj sunčanih dana u godini, male naseljenosti ovog područja, blizina putne komunikacije i blizina dalekovoda (priključak na elektroenergetsku mrežu) samo su neki od razloga da ova lokacija predviđena za izgradnju postrojenja Solarne elektrane Stolac investitora "SOLAR-MAX" d.o.o. Mostar bude jedna od napogodnijih lokacija za proizvodnju solarne energije u Bosni i Hercegovini.

Sve analize i procjene provedene u ovoj studiji su pokazale da ovo postrojenje svojim položajem ne može izazvati nikakve negativne efekte, koji mogu nastati usljed refleksije sunca od fotonaponskih panela, prvenstveno efekat zaslijepljenosti kod vozača na cesti koja prolazi neposredno pored ovog postrojenja. Također, uticaj refleksije sunca na lokalno stanovništvo koje se može naći na mjestima gdje se eventualno može uočiti refleksiju (istočno i zapadno od Solarne elektrane Stolac ( u saljem tekstu SES) je beznačajno i može se uporediti sa trenutnim refleksijama koje mogu nastupiti od staklenih prozora na zgradama ili nekih vodenih površina.

**Ključne riječi:** solarni paneli, refleksija svjetlosti, efekt zaslijepljivanja

### Summary

Due to the large number of sunny days a year, low uninhabited area, proximity to roads and proximity to transmission lines (connection to the electricity network), the location planned for the construction of the photovoltaic power plant Stolac (investor "SOLAR-MAX" d.o.o. Mostar) is one of the most suitable locations for solar energy production in Bosnia and Herzegovina.

All analyzes and assessments conducted in this study have shown that this plant by its position can not cause any negative effects, which may occur due to sun reflection from photovoltaic panels, primarily the effect of blindness by drivers on the road passing next to this plant. Also, the impact of sun reflection on the local population that can be found in places where reflection may be observed (east and west of photovoltaic power plant) is insignificant and can be compared to current reflections that can occur from glass windows on buildings or some water surfaces.

**Keywords:** solar panels, light reflection, glare effect

### 1. Uvod

Posljednjih godina postoji sve veći interes za obnovljive energetske izvore, naročito za Sunčevu (solarnu) energiju. Dokazano je da je energija koja dolazi od Sunca u periodu od 24 sata, u mogućnosti da pokrije sve ljudske potrebe za energijom u sljedećih 180 godina. Podaci pokazuju da nam Sunce svakodnevno šalje oko 960 biliona kWh energije ili 1,36 kWh/m<sup>2</sup> [1].

Energija Sunčeva zračenja je neophodna za očuvanje života na Zemlji. Ona određuje temperaturu na površini Zemlje i daje gotovo svu energiju potrebnu za prirodne procese na Zemljinoj površini i u atmosferi.

Značajniji udio Sunčeve energije u pokrivanju energetske potrebe mogao bi se očekivati u bliskoj budućnosti. Da bi Sunčeva energija zamijenila stare izvore, potrebno je da bude jeftinija od njih. Razne su procjene o iskorištavanju Sunčeve energije u budućnosti. Neke su pesimistične, druge, naprotiv, suviše optimistične. Svi se, međutim, slažu da će se povećati udio Sunčeve energije u budućoj energetskej potrošnji.

Solarna električna energija ne bi mogla biti proizvedena bez ljudskih tvorevina, solarnih panela ili solarnih ćelija, koji imaju glavni cilj pribaviti izvor čiste obnovljive energije, koja nosi sa sobom i male troškove održavanja. Sunčane ćelije omogućuju direktnu pretvorbu Sunčeve u električnu energiju na vrlo jednostavan način. Da bi se energija Sunca kao izvora što bolje iskoristila u fotonaponskom uređaju potrebno je poznavati karakteristike upadnog Sunčevog zračenja. Najvažnije karakteristike upadne Sunčeve energije za fotonaponske primjene su:

- spektralni sadržaj upadnog zračenja;
- gustoća snage (ozračenje) koju Sunce zrači;
- ugao pod kojim upadno Sunčevo zračenje upada na plohu fotonaponskog uređaja;
- energija zračenja koju Sunce emitira kroz godinu dana ili tokom dana za određenu plohu.

Za izradu fotonaponskih sistema i praktično iskorištenje Sunčeve energije bitno je poznavati podatke o dostupnoj Sunčevoj energiji na datom mjestu u određeno vrijeme. Najvažniji mjereni podaci su podaci o insolaciji (osunčanju) te ukupnom i difuznom ozračenju horizontalne plohe.

Sunčevo zračenje koje upada na nagnutu plohu kolektora fotonaponskog modula se mijenja tokom dana, mjeseca i godine, a ovisi i o zemljinom geografskom položaju te lokalnim atmosferskim prilikama.

Bosna i Hercegovina je zemlja odličnog geografskog položaja, klimatskih uslova i mnogih drugih karakteristika, te je čine jednom interesatnom investicijskom destinacijom za proizvodnju solarne električne energije. Za razliku od većine zemalja koje imaju razvijene programe istraživanja primjene Sunčeve energije naša zemlja ulaže vrlo malo (skoro nikako) sredstava u izgradnju obnovljivih izvora električne energije (vjetar i sunce). Tek u zadnje vrijeme započete su određene aktivnosti u tom pravcu koje su inicirane uglavnom od strane pojedinaca a ne od države. Projekt izgradnje "Solarne elektrane Stolac" investitora "SOLAR-MAX" d.o.o. Mostar jedan je od prvih ove vrste u Bosni i Hercegovini.

Pored svi pozitivnih efekata, izgradnja solarnih elektrana na određenim lokacijama može, vrlo često, izazvati i negativne efekte u bližoj i daljoj okolini, kao što su npr. "zasljepljenje" učesnika u drumskom i vazdušnom saobraćaju, koje se javlja kao refleksija sunca od fotonaponskih panela. Upravo, ova Studija ima za cilj da izvrši procjenu utjecaja refleksije sunca od fotonaponskih panela planirane "Solarne elektrane Stolac" na lokalitetu "Dubrave" na učesnike u saobraćaju.

## **2. Opis projekta sa informacijama o lokaciji**

Investitor SOLAR-MAX d.o.o. Mostar se odlučio za gradnju solarne elektrane (SE) na području Općine Stolac. Lokacija buduće solarne elektrane je na platou "Dubrave", K.O. Pješivac, broj k.č 1/40. Područje je prilično nenaseљeno, sa odličnom mediteranskom klimom, koju karakterizira veoma mala količina padavina, velik broj sunčanih dana i zemljište pogodno za gradnju. Uvidom u dokumentaciju vidljivo je da se radi o zemljištu označeno kao pašnjak i u potpunosti je u privatnom vlasništvu. Instalirana snaga buduće solarne elektrane je 300 kW i godišnja proizvodnja će iznositi, prema procjeni oko 0,5 GWh (što je ekvivalentno potrebi od oko 220 domaćinstava, uz godišnje smanjenje emisije CO<sub>2</sub> u iznosu od cca 750 t).

Priključak elektrane bit će opisan u glavnom projektu a prema uslovima nadležne elektrodistribucije. Lokacija buduće Solarne elektrane se nalazi između naselja Kozice (sjever) i Masline (južno), te naselja Pješevac Greda jugozapadno. U blizini predmetne lokacije nalaze se još neka manja naselja: Ljuca, Dudovine, Hodovo, Čardaci, Ćemalovina, Crnići, Rivine, Kremenac, Opličići, Domanovići (Slika 2.1.). Od većih gradova nalazi se Stolac, Čapljina i Mostar (Slika 2.2.), a približna udaljenost ovih gradova/naselja od predmetne lokacije data je u tabeli 2.2.



Slika 2.1. Satelitska slika lokacije buduće SE sa bližom okolinom

Koordinate na kojima će biti smještena Solarna elektrana date su u tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Koordinate lokacije Solarne elektrane Stolac [2]

	X	Y
A	4776011,52	6492704,52
B	4776011,52	6492779,52
C	4775878,18	6492779,54
D	4775878,18	6492704,54



*Slika 2.2. Satelitska slika lokacije buduće solarne elektrane sa širom okolinom*

U tabeli 2.2. prikazane su udaljenosti nekih manjih i većih naselja od Solarne elektrane.

*Tabela 2.2. Udaljenost predmetne lokacije od okolnih naselja*

<b>Naselje/grad</b>	<b>Udaljenost (km)</b>
Ljuca	0,9
Kozice	1,5
Pješevac Greda	0,6
Čemalovina	0,5
Masline	2,5
Crnići	2,4
Rotimlja	6,7
Hodovo	4,5
Stolac	6,6
Mostar-aerodrom	18
Domonovići	9,4
Čapljina	19

U blizini istočne strane planirane lokacije prolazi magistralna cesta M 17.3 (pravac pružanja je sjever-jug), tako da njena najkraća udaljenost do planiranih fotonaponskih panela iznosi cca 250 m. Prednosti saobraćajne povezanosti će se najviše očitovati u vrijeme izgradnje solarne elektrane prilikom dopremanja opreme (solarni kolektori, inverteri itd.).

Solarna elektrana biti će izgrađena od solarnih panela nominalne snage 200 W. Solarna elektrana će se prostirati na površini od cca 10 000 m<sup>2</sup>, na kojoj će biti instalirano oko 1404 FN modula ukupne instalirane snage od 300 kW. Dimenzije solarnih panela su 1580x808x45mm. Broj instaliranih FN modula, tip kao i snaga pojedinačnih modula ovisi o Investitoru i njegovoj



konačnoj odluci. Optimalni ugao postavljanja solarnih panela za zimski i ljetni režim rada je između 30 i 35 stepeni.

### 3. Razlozi za odabir planirane lokacije

Koristeći se statističkim podacima, ova regija se označava kao predio sa najvećim brojem sunčanih dana u godini i kao takva predstavlja idealnu lokaciju za gradnju pogona ovakve vrste u BiH. Iz podataka o broju sunčanih dana za pojedine gradove Hercegovine (Tabela 3.1.) vidimo da područje Stoca ima prosječno 260 sunčanih dana u godini.

Tabela 3.1. Prosječan broj sunčanih dana za pojedine gradove u Hercegovini [2]

Grad	Prosječan broj sunčanih dana u godini
Mostar	260
Neum	270
<b>Stolac</b>	<b>260</b>
Ljubuški	260
Čapljina	270

Na slici 3.1. prikazan je godišnji iznos globalnog Sunčevog zračenja za BiH.



Slika 3.1. Godišnji iznos globalnog Sunčevog zračenja za BiH [6]

### 4. Procjena Sunčevog zračenja

Osnovni ulazni podatak o Sunčevom zračenju je srednja dnevna ozračenost vodoravne plohe, koja se dobiva raznim mjerenjem. Time se bavi posebna grana meteorologije, aktinometrija. Za praktično iskorištavanje Sunčane energije važni su podaci o insolaciji (osunčanju), ukupnom ozračenju horizontalne plohe i difuznom ozračenju horizontalne plohe. Postupak procjene

raspoloživog Sunčevog potencijala za određenu lokaciju olakšan je postojanjem baza podataka koje sadrže sve informacije o intenzitetu Sunčevog zračenja, temperaturama okoline, prosječnim dnevnim temperaturama itd.

Sunčevo zračenje koje upada na plohe na Zemlji može biti [3]:

- neposredno: zračenje Sunčevih zraka
- difuzno zračenje neba: raspršeno zračenje cijelog neba zbog pojava u atmosferi
- sunčevo difuzno zračenje: difuzno zračenje bliže okolice Sunčevog diska koji se vidi sa Zemlje
- odbijeno zračenje: zračenje koje se odbija od okoline i pada na posmatranu plohu.

Trenutno postoji više kvalitetnih baza podataka, a u skupinu najkorištenijih baza podataka spadaju:

- PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System
- NASA – Surface meteorology and solar energy database,

Bitno je napomenuti da podaci o intenzitetu Sunčeva zračenja na okomitu plohu u prethodno navedenim bazama podataka nisu izmjereni, već su izračunati.

## 5. Podaci o intenzitetu Sunčevog zračenja na području Stoca

Podaci o intenzitetu Sunčeva zračenja potrebni su za proračun proizvodnje električne energije fotonaponskog sistema. Zemljina geografska širina i dužina specificiraju lokaciju objekta na kojem se nalazi fotonaponski sistem.

Zemljina geografska širina predstavlja važnu varijablu pri solarnim kalkulacijama i veoma je značajna varijabla pri izračunavanju Sunčevog ozračenja površine postavljene pod određenim uglom (FN modula). Stolac se nalazi se na  $43^{\circ} 04' 50''$  sjeverne zemljine geografske širine i na  $17^{\circ} 57' 40''$  istočne zemljine geografske dužine. Podaci o Sunčevom zračenju na području Stoca uzeti su iz PVGIS-ove baze podataka.

**Tabela 5.1.** Podaci o Sunčevom zračenju [6]

Stolac Zemljina geografska širina [N]: $43^{\circ} 04' 50''$ Zemljina geografska dužina [E]: $17^{\circ} 57' 40''$
--

Mjeseci	$H_h$ (Wh/m <sup>2</sup> )	$H_{opt}$ (Wh/m <sup>2</sup> )	$H(90^{\circ})$ (Wh/m <sup>2</sup> )	$I_{opt}$ ( $^{\circ}$ )	$T_{24h}$ ( $^{\circ}C$ )
Januar	1620	2690	2710	63	6.2
Februar	2390	3480	3130	55	7.1
Mart	3660	4610	3490	44	9.8
April	5000	5500	3310	29	13.4
Maj	6220	6160	2960	16	18.4
Juni	6710	6330	2690	10	22.2
Juli	7150	6930	2980	14	24.7
August	6180	6600	3540	25	24.4
Septembar	4750	5880	4130	41	20.1
Oktobar	3150	4530	3920	53	16.6
Novembar	1890	3060	3000	61	11.4
Decembar	1390	2370	2440	64	7.7
Godišnje	4190	4850	3190	35	15.2

gdje je:

$H_h$ : dnevno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu (Wh/m<sup>2</sup>)

$H_{opt}$ : dnevno Sunčevo zračenje na optimalnu kosu plohu (Wh/m<sup>2</sup>)

$H(90^{\circ})$ : Sunčevo zračenje na plohu  $90^{\circ}$  (Wh/m<sup>2</sup>)

$I_{opt}$ : mjesečni optimalni ugao ( $^{\circ}$ )

$T_{24h}$ : srednja mjesečna temperatura ( $^{\circ}C$ ).

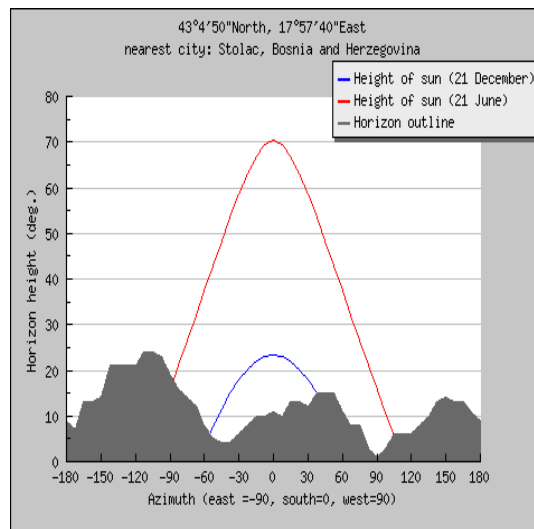
Zemljin geografski položaj, vremenski uslovi te blaga mediteranska klima pružaju optimalne uslove za korištenje Sunčeve energije na području južnog dijela Hercegovačko-neretvanskog kantona, a grad Stolac spada u sam vrh raspoloživog Sunčevog potencijala u Bosni i Hercegovini.

Osnovni podaci za grad Stolac preuzeti iz PVGIS-ove baze podataka prezentovani su na sljedećim slikama.

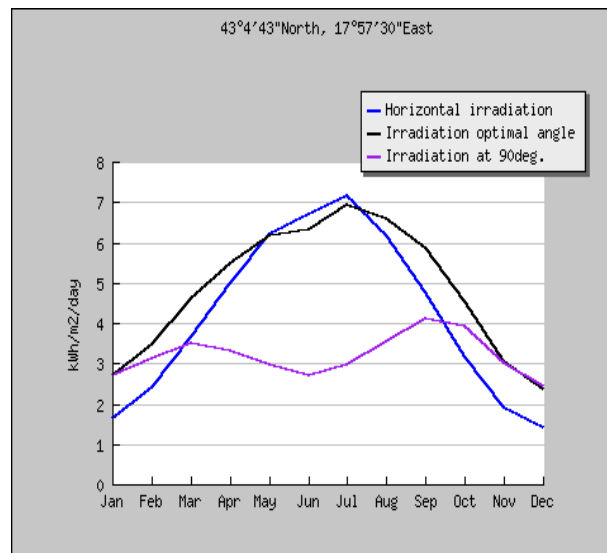
Na osnovu ovih podataka za grad Stolac može se zaključiti sljedeće:

- prosječna godišnja insolacija iznosi oko 1,50 MWh/m<sup>2</sup> godišnje,
- prosječan broj sunčanih sati iznosi 2500 sati.

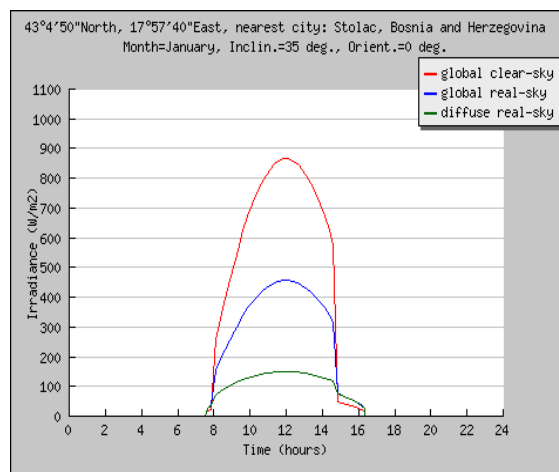
Na osnovi stvarnih i proračunatih podataka može se zaključiti da je lokacija grada Stoca izrazito povoljna za postavljanje fotonaponskog sistema.



Slika 5.1. Cilindrični Sunčev dijagram [6]



Slika 5.2. Graf Sunčevog zračenja za različite plohe[6]



Slika 5.3. Prosječna globalna ozračenost fiksnog panela pod uglom inklinacije od  $35^{\circ}$  (mjesec juli i januar) za grad Stolac [6]

## 6. Efekt zasljepljivanja

Procjena efekta zasljepljivanja zasniva se na tehničkom opisu planiranog postrojenja solarne elektrane u odnosu na svjetlosnu refleksiju. Ispitivanje refleksija se obično izvodi sa geometrijskim modelom kako bi se odredili vremenski intervali u kojima treba računati na refleksiju svjetlosti od FN panela na užem i širem području lokacije. Procjenom jačine emisije reflektirane sunčeve svjetlosti i analizom položajnih odnosa (postrojenja, solarnih panela, posmatrača), te geometrijske putanje Sunca može se izvršiti procjena odgovarajućih vremenskih intervala u kojima se mogu očekivati refleksije, koje bi mogle ugroziti drumski i vazdušni saobraćaj.

Osnovni preduslov nastanka zasljepljivanja je da fotoni dođu do fotoreceptorskih stanica u mrežnici oka. Ovo je samo moguće ukoliko su očni mediji propusni za odgovarajuće zračenje, te ukoliko biokemijskim putem uslijedi pretvaranje zaprimljene optičke energije zračenja u električne impulse.

Svjetlost predstavlja dio elektromagnetskog spektra koje je vidljivo ljudskom oku. Ljudsko oko je više manje transparentno u području talasnih dužina od otprilike 380 nm do 1400 nm. Pri tome mi „vidimo“ samo one fotone koji spadaju u područje od cca. 380 nm do 780 nm. Ovo područje se naziva svjetlost ili vidljivo zračenje. Optičko zračenje talasne dužine ispod 300 nm zadržava rožnjača, dok očno sočivo blokira zračenje iz područja od 300nm do 400nm [4].

Ljudsko oko posjeduje mogućnost adaptacije tj. posjeduje mogućnost da se prilagodi trenutnoj okolini ovisno od uslova osvjetljenja. Mogućnost adaptacije očituje se u prilagođavanju na jačanje, ali i slabljenje svjetlosnog intenziteta.

Kada govorimo o zasljepljivanju, onda se uglavnom radi o situaciji kada su oči odjednom izložene većoj količini svjetlosti, tako da nisu u mogućnosti da se u datom trenutku dovoljno prilagode.

Zadatak vida je da se prilagodi objektima koji se razlikuju po gustoći svjetlosti, kontrastima i bojama. Pri tome, trenutačna prilagodba očiju igra bitnu ulogu i ona uglavnom ovisi od gustoće svjetlosti okoline.



Zasljepljivanje predstavlja stanje vida koje nastaje zbog prevelike apsolutne gustoće svjetlosti, prevelikih razlika u gustoći svjetlosti ili zbog nepovoljne raspodjele gustoće svjetlosti u vidnom polju, te nam time stvara osjećaj nelagode ili nam smanjuje vizualne performanse [4].

Također, bitna je veličina zasljepljujućeg svjetlosnog izvora, odnosno bitan je njegov ugao, kao i mjesto projekcije određenog zasljepljujućeg svjetlosnog izvora na mrežnici, tj. ugao između zasljepljujućeg svjetlosnog izvora i pravca gledanja. Oči se često nehotično okreću ka zasljepljujućem svjetlosnom izvoru, ukoliko se isti sa strane reflektira na mrežnici, gdje se nalaze posebno svjetlosno osjetljivi štapići.

Pojmovno se zasljepljivanje opisuje na različite načine, a pri tome se razlikuju sljedeći pojmovni parovi: simultano i sukcesivno zasljepljivanje, direktno i posredno zasljepljivanje, unutarvidno i periferno zasljepljivanje, kao i adaptacijsko i apsolutno zasljepljivanje [4].

*Adaptacijsko zasljepljivanje* se definira kao prolazno zasljepljenje ovisno od gustoće svjetlosti, na koje postoji mogućnost prilagodbe. Pri tome se svaka smetnja koja prelazi jedan određeni nivo lokalne ili vremenske prilagodbe oka, može nazvati adaptacijskim zasljepljivanjem. Kod adaptacijskog zasljepljivanja se više radi o adaptacijskom problemu oka nego o nekom stvarnom zasljepljujućem događaju. Primjer za ovakvu vrstu zasljepljivanja je izlazak iz jedne relativno mračne prostorije na sunčevu svjetlost na otvorenom ili izlazak iz slabo osvijetljenog tunela na dnevno svjetlo.

Do *relativnog zasljepljivanja* dolazi kada na mrežnjači oka, zbog prevelikih razlika u gustoći svjetlosti u vidnom polju, dođe do lokalnih smetnji u adaptaciji, koja u pogođenom području dovodi do promjene osjetljivosti na različite nadražaje, oštine vida, te viđenja boja. Zahvaljujući lokalnoj adaptaciji, pri čemu je uključen samo jedan dio fotoreceptora mrežnjače, relativno zasljepljivanje se može izjednačiti tek nakon relativno dugo vremena. Kod relativnog zasljepljivanja, osim odvratanja pažnje sa predmeta posmatranja, može doći do zastoja, odnosno do onesposobljenja vida. S druge strane, negativno se utječe na vidne sposobnosti upravo kroz prilagodbu na previsok i time nepovoljan nivo gustoće svjetlosti.

Do *apsolutnog zasljepljivanja* dolazi kada u vidnom polju dođe do tako velike gustoće svjetlosti da prilagodba oka više nije moguća. Ukoliko zasljepljenje uslijedi usred tako velike gustoće svjetlosti da prilagodba nije moguća, dolazi do zaštitnih reakcija, kao što je zatvaranje očnih kapaka, okretanje glave, te eventualno suženje oka.

Lokalni opseg apsolutnog zasljepljivanja prostire se od pojedinačnih područja vidnog polja, odnosno lokaliziranog zasljepljivanja, do zasljepljivanja cjelokupnog vidnog polja. Do apsolutnog zasljepljivanja može doći npr. pri pogledu na suncem osunčane snježne ili vodene površine ili ponekad i pri posebno svijetloj dnevnoj svjetlosti. Pri visokim do jako visokim gustoćama svjetlosti općenito dolazi do zaštitnih refleksa, kao što je nehotično zatvaranje očnih kapaka ili skretanja glave.

Od posebnog interesa za procjenu rizika je i vremenski interval u kojem je vidna sposobnost ograničena zbog zasljepljivanja, čak i ako je ista nastupila zbog kratkotrajnog svjetlosnog nadražaja, iz razloga što se za to vrijeme mogu predvidjeti objekti čije se osvijetljenje zbog zasljepljivanja, odnosno zbog smetnje pri prilagodbi, ne ističe dovoljno u odnosu na trenutni prag percepcije. Kao posljedica toga, određeni objekti, čiji kontrast nije dovoljno udaljen od navedenog praga, mogu kratkotrajno postati nevidljivi.

U kontekstu zasljepljivanja uobičajeni su još neki pojmovi, i to: direktno i posredno zasljepljivanje, te unutarvidno i periferno zasljepljivanje. Ovi su pojmovi povezani sa izvorom zasljepljivanja, njegovim položajem unutar vidnog polja, te vremenskim slijedom zasljepljivanja.

*Direktno zasljepljivanje* nastaje kada je zasljepljivanje prouzrokovano neposredno (direktno) od strane svijetleće površine nekog izvora svjetlosti, tj. kada se zasljepljujući izvor svjetlosti nalazi direktno u vidnom polju, dok je uzrok posrednog zasljepljivanja refleksija zasljepljujućeg izvora svjetlosti od reflektirajuće površine, odnosno zasljepljivanje se vrši posredno. U ovom slučaju objekti mogu, i bez zasljepljivanja, samo zahvaljujući opadanju razlike između gustoće svjetlosti prilikom interferencije sa refleksijom, postati nevidljivi. Tu stoga govorimo o refleksijskom zasljepljivanju, budući se radi o odsjaju tj. refleksiji jake gustoće svjetlosti od sjajne površine.

Ukoliko se zasljepljujući izvor svjetlosti nalazi u pravcu gledanja tj. u njegovoj blizini (unutar polja, tj. u središnjem području vidnog polja), takvo zasljepljivanje nazivamo *unutarvidno zasljepljivanje*, dok zasljepljivanje kod položaja koji se nalazi na periferiji (van) vidnog polja, nazivamo *periferno zasljepljivanje*.

## **7. Postupak računanja relleksije – procjena refleksije**

Glavni cilj ove studije je procjena utjecaja refleksije sunca (odsaj) od fotonaponskih panela postrojenja Solarne elektrane Stolac na učesnike u drumskom i vazдушnom saobraćaju. Reflektovani odsjaji su refleksije od ogledala ili drugih glatkih površina, kao što su prozori stambenih zgrada, vodene površine, automobili itd. Zbog svoje relativno velike sjajnosti, reflektovani odsjaj od fotonaponskih panela na predmetnoj lokaciji ima izuzetan značaj za osobe koje mogu vidjeti sliku sunca koje reflektiraju solarne ploče, a koji za njih može izazvati negativne efekte, prije svega zaslijepljenost. Ovo se može dogoditi samo pod određenim uslovima. Da bi se vidjela slika sunca reflektovanog od panela to zahtjeva određeno usklađivanje položaja osobe, panela i sunca (pri vedrom nebu).

Na većini lokacija oko postrojenja Solarne elektrane nije moguće vidjeti refleksiju sunca od fotonaponskih panela. Na primjer, lokacije koje se nalaze direktno sjeverno i južno od panela, kao i lokacije neposredno u blizini panela obično nemaju ogledalnu refleksiju sunca. Da bi se procjenio utjecaj refleksije potrebno je identificirati ključne lokacije (ceste, zgrade, aerodomi itd.) gdje nastali reflektovani odsjaj može izazvati problem zaslijepljenosti, što je jedan od razloga izrade ove studije.

Postupak računanja refleksije sunca od fotonaponskih panela danas je u svijetu dosta dobro razrađen. Već postoje gotovi kompjuterski programi napisani pomoću "Matlab" (programski jezik napravljen za rješavanje naučnih i tehničkih problema), gdje je potrebno samo unijeti ulazne podatke kao što su: lokacija postrojenja solarne elektrane na zemlji (zemljina geografska širina i dužina), veličina, razmak i nagib solarnih ploča, položaj posmatrača (ključne lokacije) i vrijeme (dan, sat, minuta i sekunda).

U bilo kojem trenutku (dan, sat, minuta i sekunda) program izračunava položaj sunca pomoću već usvojene solarne jednačine koja uzima u obzir refrakciju svjetlosti kroz atmosferu. Također, program identifikuje jedinični vektor upadnog sunčevog zraka u pravouglom koordinatnom

sistemu (Kartezijev koordinatni sistem) i njegovu refleksiju od panela (jedinični vektor refleksije). Vektor refleksije se dobiva iz sljedeće relacije [5]:

$$\vec{R} = \vec{S} - 2(\vec{S} \cdot \vec{N}) \cdot \vec{N}$$

gdje je :

$\vec{R}$  - izračunati jedinični vektor refleksije

$\vec{S}$  - jedinični vektor upadnog sunčevog zraka

$\vec{N}$  - jedinični vektor normale na panel

Jedinični vektor reflektiranog zračenja crta putanju od posmatrača do panela i ako reflektovani zrak presjeca površinu panela onda posmatrač vidi sunce. Kako se sunce pomjera tokom dana mijenja se ugao vektora refleksije i posmatrač vidi "hod" sunca na solarnom panelu. Na ovaj način računar prati položaj odsjaja i program memoriše vrijeme i mjesto refleksije.

Program pretpostavlja da je Sunce tačkasti izvor svjetlosti, ali se može vršiti proračun refleksije uzimajući u obzir da je Sunce jedan sferni disk.

Prije računanja refleksije potrebno je pažljivo odabrati ključne lokacije (tačke) gdje će se posmatrati reflektovani odsjaj od fotonaponskih panela. Tačke na kojima će se vršiti analiza refleksije date su na slici 7.1. Obično se uzima da je visina posmatračevih očiju 1,5 metar iznad tla. Ako postoji odsjaj on se može vidjeti u istom vremenskom intervalu i na visini nešto većoj ili manjoj od 1,5 m, što je jako važno za vozače različitih veličina automobila.



Slika 7.1. Položaj ključnih tački u odnosu na lokaciju SE Stolac

Na posmatranim tačkama koje se nalaze na zemlji reflektovani odsjaj se može pojaviti samo u jutro ili navečer kada je sunce niže na nebu. Općenito, da bi posmatrač u jutro vidio refletirajući odsjaj sa panela mora se nalaziti na jugozapadu od bloka panela, odnosno, u večernjim satima mora se nalaziti na jugoistoku od panela. Imajući ovo u vidu pojednostavljen je izbor tačaka posmatranja refleksije za predmetnu lokaciju.

Za predmetnu lokaciju ključne tačke za posmatranje refleksije odabrane su duž magistralne ceste (jugoistočno od SE), kao i jugozapadno gdje se nalaze neka od naseljenih mjesta (Pješevac Greda i Ćemalovina). Za procjenu refleksije sunca od solarnih panela na izabranim (ključnim) tačkama potrebno je poznavati sljedeće:

- nadmorska visina lokacije SE i nadmorske visine tačaka posmatranja,

- konfiguracija terena na i oko lokacije
- nagnutost panela (ugao postavljanja panela prema suncu)
- "hod" sunca tokom cijele godine,
- udaljenost i položaj posmatrane tačke od panela

Uzimajući u obzir sve ove parametre može se zaključiti da se na promatranima tačkama 1, 2, 3, 4 i 5, duž magistralne ceste M 17.3 (slika 7.1), ne može uočiti reflektujući odsjaj niti jedan dan u godini.

Refleksije se mogu vidjeti jedino u tačkama 6 i 7 koje se nalaze na brežuljcima iznad naselja Pješevac Greda i Čemalovina. Posmatrači u tačkama 6 i 7 će vidjeti refleksije u jutarnjim satima gledajući u pravcu istoka. Ove refleksije mogu trajati, ne više od 15 minuta, a javljaju se između marta do septembra.

Prema tome posmatrač koji vozi automobil cestom koja prolazi sa istočne strane (neposredno uz postrojenje solarne elektrane - Stolac) gdje su smješteni FN-paneli, u pravcu Mostara, zbog udaljenosti (blizine) od istih, kao i nagiba terena nije u mogućnosti vidjeti refleksiju sunca od panela niti jedan dan u godini.

Ograničenje brzine na ovoj saobraćajnici je 60 km/h, što znači da bi automobil pored postrojenja FN panela (dužine 1000 m) prešao za manje od jedne minute. Prema tome, i da postoji mogućnost refleksija koju bi eventualno vozač mogao uočiti na nekoj od dionica ove ceste, to bi trajalo vrlo kratko (ispod 5 sekundi) i to u večernjim satima pri zalasku sunca. Ove eventualne refleksije koje bi uočili vozači vozila se mogu uporediti sa refleksijama od vodenih površina jezera ili zgrada sa staklima pored kojih prolazi to isto vozilo.

Zbog velike udaljenosti Aerodrom Mostar od ove lokacije (cca 18 km), utjecaj refleksije na pilote je beznačajan i također se može porediti sa uobičajenim refleksijama koje mogu doći sa zemlje (vodene površine, staklene zgrade i dr.).

## 8. Zaključak

Veliki broj sunčanih dana u godini, mala naseljenost ovog područja, blizina putne komunikacije i blizina dalekovoda (priključak na elektroenergetsku mrežu) čine da lokacija predviđena za izgradnju postrojenja Solarne elektrane Stolac bude jedna od najpogodnijih lokacija za proizvodnju solarne energije u Bosni i Hercegovini.

Sve analize i procjene provedene u ovoj studiji su pokazale da ovo postrojenje svojim položajem ne može izazvati nikakve negativne efekte koji mogu nastati usljed refleksije sunca od fotonaponskih panela, prvenstveno efekat zaslijepljenosti kod vozača na cesti koja prolazi neposredno pored ovog postrojenja. Također, utjecaj refleksije sunca na lokalno stanovništvo koje se može naći na mjestima gdje se eventualno može uočiti refleksiju (istočno i zapadno od SE) je beznačajno i može se uporediti sa trenutnim refleksijama koje mogu nastupiti od staklenih prozora na zgradama ili nekih vodenih površina.

S obzirom da izgradnja postrojenja fotonaponske elektrane Hodovo/Stolac na predmetnom lokalitetu neće imati negativan uticaj na saobraćajnice, naselja i susjedne objekte, sa aspekta zaštite od refleksije nisu potrebne izvedbe vizualne prepreke.

## Literatura

1. Matić, Z: *Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske, Priručnik za energetska korištenje Sunčevog zračenja*, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, (2007).

2. Energocontrol d.o.o. Mostar: *Idejni projekt postrojenja Solarne elektrane Stolac*, august 2011. godine.
3. Kulišić, P: *Novi izvori energije, II. dio, Sunčana energija i energija vjetra*, Školska knjiga, Zagreb, (1991).
4. Ingenierbuero für Technischen Umweltschutz Dr.-Ing. Frank Droscher: *Beurteilung der möglichen Blendwirkung eines Solarperks und dessen thermischen Effekte am Verkehrslandeplatz Eberswalde-Finow*, März 2011.
5. OptiSolar Inc.: *Topaz Solar Farm Reflection Study*, .
6. Korišteni izvor s web-a: <http://re.jrc.cec.eu.int/pvgis/solradframe.php?en&europe>