

# MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE NA KROVOVIMA POSTOJEĆIH ZGRADA

## SMJERNICE ZA ANALIZU KROVOVA





# MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE NA KROVOVIMA POSTOJEĆIH ZGRADA

SMJERNICE ZA ANALIZU KROVOVA

### **Nakladnik**

Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije

### **Za nakladnika**

**Adam Butigan**, mag. ing. geod.

### **Izrađivači dokumenta Mogućnosti korištenja Sunčeve energije na krovovima postojećih zgrada – Smjernice za analizu krova**

Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije

**Mirjana Mamić**, dipl. ing. građ.

**Zvonimir Jelušić**, mag. ing. aedif.

### **Izrada slikevnih prikaza/ilustracija i oblikovanje publikacije**

**Zvonimir Jelušić**, mag. ing. aedif.

### **Voditeljica projekta**

**Mirjana Mamić**, dipl. ing. građ.

### **Recenzija**

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva,

Zavod za visoki napon i energetiku

**Hrvoje Bašić**, dipl. ing. elektrotehnike

prof. dr. sc. **Hrvoje Pandžić**, dipl. ing. elektrotehnike

### **Realizacija**

**Glosa d. o. o.** Rijeka

### **Priprema za tisak**

**Tempora** Rijeka

### **Tisak**

**AKD d. o. o.** Zagreb

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Sveučilišne knjižnice Rijeka pod brojem 150617069.

ISBN 978-953-58515-7-8



# MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE NA KROVOVIMA POSTOJEĆIH ZGRADA

SMJERNICE ZA ANALIZU KROVOVA

Javna ustanova **Zavod za prostorno uređenje**  
PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE



Rijeka, 2023.



## Predgovor

Klimatske promjene i uništavanje okoliša egzistencijalna su prijetnja Europskoj uniji i svijetu. Za rješavanje tih problema usvojen je Europski zeleni plan, nova strategija rasta kojom se EU nastoji preobraziti u pravedno i prosperitetno društvo u kojem do 2050. godine neće biti neto emisija stakleničkih plinova i u kojem gospodarski rast nije povezan s upotrebom resursa.

Zelena i digitalna tranzicija u fokusu je i razvojne strategije Republike Hrvatske. Jedan od ciljeva je propagacija Hrvatske kao jedne od predvodnica u pretvaranju klimatskih i ekoloških izazova u prilike, osiguravanjem pravedne i uključive tranzicije prema klimatskoj sigurnosti. Posebna pažnja u provedbi zelene tranzicije usmjerena je na mjere energetske učinkovitosti i podršku korištenja obnovljivih izvora energije, uključujući geotermalnu energiju, energiju mora i energiju Sunca. Kad se u fokus stavi energija Sunca, vidljivo je da po sadašnjim instaliranim kapacitetima malih solarnih elektrana Hrvatska značajno zaostaje za susjednim zemljama članicama EU.

Kao jedna od glavnih prepreka u pokretanju ambicioznijih projekata na području solarne energije, odnosno malih solarnih elektrana, svakako je nedostatak finansijskih, pravnih i stručnih kapaciteta lokalnih vlasti.

Primorsko-goranska županija prepoznala je taj problem kroz izradu stručnih podloga i publikacija upravo u svrhu rješavanja glavnih prepreka za izgradnju malih solarnih elektrana na krovovima kuća, zgrada i industrijskih postrojenja.

Vođeni idejom popularizacije malih solarnih elektrana i pružanje tehničke i stručne podrške lokalnoj samoupravi i drugim zainteresiranim strankama, Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije izradila je stručnu podlogu – mogućnosti korištenja Sunčeve energije na krovovima postojećih zgrada. Ta je stručna podloga osmišljena kao pomoć za premošćivanje dosadašnjih ključnih problema s kojima se jedinice lokalne samouprave susreću prilikom pokretanja projekata za izgradnjom malih sunčanih elektrana na krovovima zgrada.

**Hrvoje Bašić**, dipl. ing. elektrotehnike

prof. dr. sc. **Hrvoje Pandžić**, dipl. ing. elektrotehnike

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za visoki napon i energetiku

## Mogućnosti korištenja Sunčeve energije na krovovima postojećih zgrada – Smjernice za analizu krova

Zakonska je obveza jedinica lokalne samouprave da u svojim dokumentima prostornog uređenja stvore preduvjete za implementaciju projekata korištenja obnovljivih izvora energije na njihovom području.

Prostornim planom Primorsko-goranske županije, obvezuju se općine i gradovi da u prostornim planovima uređenja analiziraju potencijale i omoguće korištenje obnovljivih izvora energije i provedbu mjera energetske učinkovitosti. Planiranje potreba i načina opskrbe električnom energijom obuhvaća:

- izradu planerskih podloga, ažuriranje prostornih planova te rezerviranje prostora za korištenje obnovljivih izvora energije
- uvođenje prostorno-planskih odredbi kojim će se olakšati primjena obnovljivih izvora energije u postojećim objektima (stambenim, gospodarskim, društvenim)
- izradu lokalnih energetskih bilanci i prostornih planova koji uključuju mogućnost korištenja obnovljivih izvora energije.

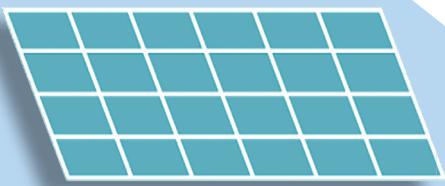
Smjernice za analizu krova izrađene su kao pomoć jedinicama lokalne samouprave za utvrđivanje fotonaponskog potencijala na krovovima postojećih zgrada.

# Sadržaj

Predgovor .....	5
Mogućnosti korištenja Sunčeve energije na krovovima postojećih zgrada – Smjernice za analizu krovova .....	6
I. dio .....	9
1. Uvod .....	10
2. Korištenje Sunčeve energije.....	12
2.1. Samostojeće sunčane elektrane .....	13
2.2. Sunčane elektrane na krovovima zgrada .....	13
3. Analiza mogućnosti korištenja krovova za ugradnju FN modula .....	15
3.1. Potencijal Sunčevog zračenja – Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe .....	16
3.2. Orijentacija krova .....	18
3.3. Tip krova .....	20
3.4. Zasjenjenje fotonaponskih modula .....	20
3.5. Krovni izvodi/prolazi .....	21
3.6. Zasjenjenje krova vegetacijom ili sa susjednih građevina .....	23
3.7. Statika krova .....	24
3.8. Nagib fotonaponskih modula .....	24
3.9. Tehničke karakteristike FN modula .....	25
4. Metodologija izrade .....	26
4.1. Odabrana metoda za analizu krovova .....	27

II. dio – Smjernice .....	29
5. Smjernice za analizu krovova .....	30
5.1. Prikupljanje ulaznih podataka .....	30
5.2. Područje obuhvata .....	31
5.3. Početno filtriranje podataka .....	32
5.4. Ovisnost tlocrtne površine i isplativosti elektrane .....	32
5.5. Filtriranje podataka na temelju minimalne tlocrtne površine .....	32
5.6. Kategorizacija objekata – Utvrđivanje povoljnih ploha .....	33
5.7. Odabir koeficijenta redukcije .....	36
5.8. Kategorizacija objekata u dvije skupine .....	37
5.9. Fotonaponski potencijal .....	38
5.10. Proračun fotonaponskog potencijala .....	38
5.11. Faktor orientacije za proračun fotonaponskog potencijala .....	39
5.12. Photovoltaic Geographical information system – PVGIS .....	41
5.13. Rezultati analize .....	43
6. Zaključak .....	44
Dodatak – Primjer analize krovova .....	45
Analiza krovova za utvrđivanje fotonaponskog potencijala .....	46
Kategorizacija .....	49
Photovoltaic Geographical Information System – PVGIS .....	50
Izvori slikovnih priloga .....	51

# I. dio



Javna ustanova **Zavod za prostorno uređenje**  
PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE



## 1. Uvod

Primorsko-goranska županija opredijelila se za promicanje energetske učinkovitosti i korištenje obnovljivih izvora energije, odnosno promicanje ekološki prihvatljivih energetskih rješenja kojima će se uz kvalitetno zadovoljenje energetskih potreba, značajno unaprijediti i ekološka shema Primorsko-goranske županije.

Iskorištavanje Sunčeve energije već godinama bilježi neprekidni rast u gotovo cijelom svijetu, te počinje dobivati važnu ulogu u elektroenergetskom sustavu većine zemalja. Tehnologije fotonaponskih ćelija i koncentrirane Sunčeve energije ubrzano se razvijaju, a ulaganja investitora postaju sve veća. Pretpostavka je da će u budućnosti iskorištavanje obnovljivih izvora energije, pa tako i Sunčeve energije, neprekidno rasti, ponajviše zbog zadanih ciljeva o smanjenju emisija stakleničkih plinova, povećanju upotrebe električne energije iz obnovljivih izvora energije, smanjenja cijene izgradnje obnovljivih izvora energije, te želje za što manjom ovisnošću o fosilnim gorivima koja postaju sve skuplja.

U Prostornom planu Primorsko-goranske županije (PP PGŽ) određeno je 6 sunčanih elektrana građevinama od županijskog interesa i za njih su određeni uvjeti gradnje. Time je omogućeno ishođenje lokacijskih dozvola temeljem PP PGŽ-a, odnosno olakšano je i potaknuto investiranje u njihovu izgradnju. Dosadašnja su iskustva u planiranju i provedbi projekta samostojećih sunčanih elektrana pokazala da je za pripremu projekta samostojeće sunčane elektrane do lokacijske i/ili građevinske dozvole potrebno nekoliko godina te da je za instaliranje fotonaponskih sustava snage 1 MW potrebno 1 – 3 ha prostora, ovisno o konfiguraciji terena te o lokalnim posebnim uvjetima za izgradnju.

Za instaliranje sunčanih elektrana, koje nisu planirane u PP PGŽ-u, potrebno je u prostornim planovima uređenja općina/gradova osigurati znatne površine, što je posebno teško na uskom i osjetljivom priobalnom području zbog nepogodnosti terena (konfiguracije terena) i ranjivosti prostora.

Osim što samostojeće (neintegrirane) sunčane elektrane zauzimaju značajne površine, postoji mogućnost negativnih utjecaja na određene vrste flore i faune i/ili tipove staništa. Također i na krajobrazne vrijednosti pojedinih područja, što u pravilu zahtijeva dugotrajne postupke koji prethode izdavanju akata za građenje.

Kako bi se ubrzao postupak izgradnje sunčanih elektrana i smanjio pritisak na prostor, nametnula se ideja planiranja sunčanih elektrana na krovovima zgrada u građevinskim područjima naselja i građevinskim područjima izdvojene namjene izvan naselja.

Radi stvaranja standardiziranog okvira za utvrđivanje fotonaponskog/solarnog potencijala ciljanog područja naselja, mjesnog odbora ili općine, Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije izradila je Smjernice za analizu krova za postavljanje sunčanih (solarnih/fotonaponskih) elektrana.

Jedan od glavnih fokusa ovih Smjernica jest izraditi standardizirane analize za utvrđivanje fotonaponskog potencijala svih objekata u javnom vlasništvu, kao i višestambenih i društvenih zgrada koje s obzirom na površinu i strukturu vlasništva imaju velik potencijal za proizvodnju električne energije.

Kao podloga za izradu Smjernica izrađen je i pilot-projekt analize iskoristivosti sunčanih elektrana na krovovima zgrada, u kojem su analizirani svi objekti na tipičnim područjima gradskog i prigradskog karaktera. Svrha je projekta bila kategorizirati i utvrditi fotonaponski potencijal područja te definirati cjelokupnu problematiku s kojom se moguće susresti prigodom planiranja takvih elektrana.



## 2. Korištenje Sunčeve energije

Sunčeva svjetlosna i toplinska energija na Zemlji rezultat su zračenja Sunčeve energije. Za razliku od fosilnih goriva, Sunčeva je energija dostupna u gotovo neograničenoj mjeri, ne proizvodi štetne ugljične emisije i besplatna je. Jedna od velikih prednosti Sunčeve energije je sposobnost proizvodnje energije na udaljenim mjestima gdje ne postoji mogućnost priključenja na mrežu.

Sunčane elektrane (SE) koriste Sunčevu svjetlost (izravnu, raspršenu i odbijenu<sup>1,2</sup>) za pretvorbu u električnu energiju. Kao osnovni element za tu pretvorbu koriste se fotonaponski (solarni) paneli za koje je karakteristično da proizvode istosmjernu energiju te ih je potrebno povezati u sustav fotonaponske elektrane pri čemu se istosmjerna energija pretvara u izmjeničnu energiju i isporučuje u izmjenični elektroenergetski sustav. U komercijalnoj uporabi najzastupljeniji tip fotonaponskih modula su kristalični silicijski FN paneli, odnosno monokristalni i polikristalni silicijski paneli. Monokristalni moduli imaju veću učinkovitost i duži životni vijek no istovremeno su i skupljci od polikristalnih modula.

Godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava ovisi o količini Sunčeva zračenja na mjestu instaliranja elektrana, nagibu i orientaciji fotonaponskih modula, zasjenjenju i tehničkim karakteristikama komponenti sustava.

Prema načinu izvedbe sunčanih elektrana razlikuju se:

- Samostojeće sunčane elektrane (neintegrirane)
- Sunčane elektrane na krovovima zgrada (integrirane).



**1** B. Kirn, M. Topic, "Diffuse and direct light solar spectra modeling in PV module performance rating", Solar Energy, 150 (2017), pp. 310-316, doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.047.

**2** E. D. Kosten, B. K. Newman, J. V. Lloyd, A. Polman and H. A. Atwater, "Limiting Light Escape Angle in Silicon Photovoltaics: Ideal and Realistic Cells," in IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 5, no. 1, pp. 61-69, Jan. 2015, doi: 10.1109/JPHOTOV.2014.2360566.

## 2.1. Samostojeće sunčane elektrane

- Postavljaju se kao zasebne konstrukcije na tlo.
- U skladu sa zakonskom regulativom, za gradnju samostojećih elektrana potrebno je ishodovati akte za građenje.
- U odnosu na sunčane elektrane na krovovima zgrada, samostojeće sunčane elektrane imaju veći utjecaj na okoliš, kulturne i krajobrazne vrijednosti.
- Dosadašnja iskustva pokazala da dugotrajni postupci prethode izdavanju akata za građenje. Proces pripreme projektne dokumentacije i ishođenja akata za građenje, produljen je:
  - izradom studije utjecaja na kulturne i krajobrazne vrijednosti
  - ocjenom o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš kojoj prethodi izrada elaborata zaštite okoliša
  - izradom Studije Glavne ocjene prihvatljivosti zahvata na ekološku mrežu
  - provedbom Glavne ocjene prihvatljivosti zahvata na ekološku mrežu.



## 2.2. Sunčane elektrane na krovovima zgrada

- Integrirane sunčane elektrane su one koje se postavljaju na površini građevina. U ovim se Smjernicama istražuje potencijal samo za sunčane elektrane koje se postavljaju na krovove zgrada.
- Prema Pravilniku o jednostavnim i drugim građevinama i radovima<sup>3</sup>, mogu se graditi bez građevinske dozvole u skladu s glavnim projektom.
- Glavni projekt treba sadržavati najmanje elektrotehnički projekt, projekt konstrukcije (statika), i prikaz mjera zaštite od požara.



<sup>3</sup> Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN 112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20, 74/22)

- Obvezna je prijava gradilišta prije izvođenja radova, vođenje građevinskog dnevnika i provedba stručnog nadzora u gradnji.
- Na krovovima postojećih zgrada moguće je izgraditi sunčanu elektranu za vlastitu proizvodnju priključenu na postojeći priključak, te komercijalnu sunčanu elektranu za prodaju električne energije priključenu na zasebno brojilo.
- **Priključna snaga sunčane elektrane za vlastitu potrošnju ne smije prelaziti priključnu snagu koju kupac ima zakupljenu u smjeru preuzimanja električne energije iz mreže<sup>4</sup>.**
- **Veličina priključne snage komercijalne sunčane elektrane ovisi o mogućnostima priključenja u mrežu na lokaciji<sup>5</sup>.**
- Na zgradama koje su pojedinačno nepokrenuto kulturno dobro, ili se nalaze u kulturno-povijesnoj cjelini koja je zaštićeno kulturno dobro, potrebno je ishoditi odobrenje za ugradnju solarne elektrane od konzervatorskih ureda Ministarstva kulture i medija RH<sup>6</sup>.
- Za postizanje zadovoljavajućeg povrata investicije bitan je optimalan odnos vlastite potrošnje zgrade i proizvodnje elektrane.
- Osnovno ograničenje korišteno u ovim Smjernicama je minimalna instalirana snaga fotonaponskih modula od 5 kW. Ograničenje je postavljeno kao faktor sigurnosti za određivanje minimalne površine krova na koju je moguće ugraditi fotonaponske panele, neovisno o isplativosti postavljanja integriranih sunčanih elektrana.

**4** Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/21)

**5** Pravila o priključenju na prijenosnu mrežu, Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu

**6** U skladu sa Zakonom o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN 69/99, 151/03, 157/03, 100/04, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 98/15, 44/17, 90/18, 32/20, 62/20), te preporukama za primjenu mjera učinkovitosti na graditeljskoj baštini

### 3. Analiza mogućnosti korištenja krovova za ugradnju FN modula

Ove se Smjernice izrađuju radi stvaranja standardiziranog okvira, uz pomoć kojega bi jedinice lokalne samouprave i ostale zainteresirane stranke na području Primorsko-goranske županije mogle utvrditi fotonaponski potencijal određenog područja.



Za provedbu analize preporuča se korištenje GIS softverskih alata.

Prije utvrđivanja metodologije, u početnom su poglavlju opisani svi potencijalni utjecaji na proizvodnju električne energije. Uz **insolaciju** (osunčanost), najbitniji parametar za određivanje proizvodnje električne energije, opisani su utjecaji **orientacije i tipa krova, zasjenjivanja krova, statike krova, nagiba fotonaponskih modula** u odnosu na vodoravnu plohu te **tehničke karakteristike** komponenti sustava.

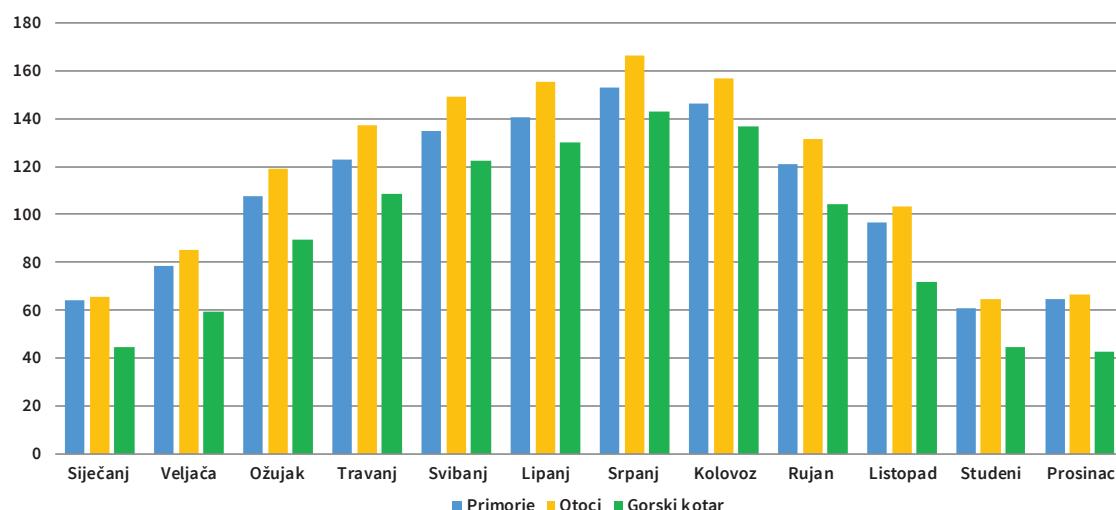
### 3.1. Potencijal Sunčevog zračenja – Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe

Ključni parametar za određivanje količine proizvedene električne energije na fotonaponskim modulima je insolacija, koja je definirana kao ukupna količina Sunčevog zračenja na vodoravnu plohu u određenom vremenskom intervalu, odnosno vrijeme tijekom kojeg je neko mjesto obasjano Suncem. Trajanje insolacije ponajprije ovisi o geografskoj širini i o godišnjem dobu.

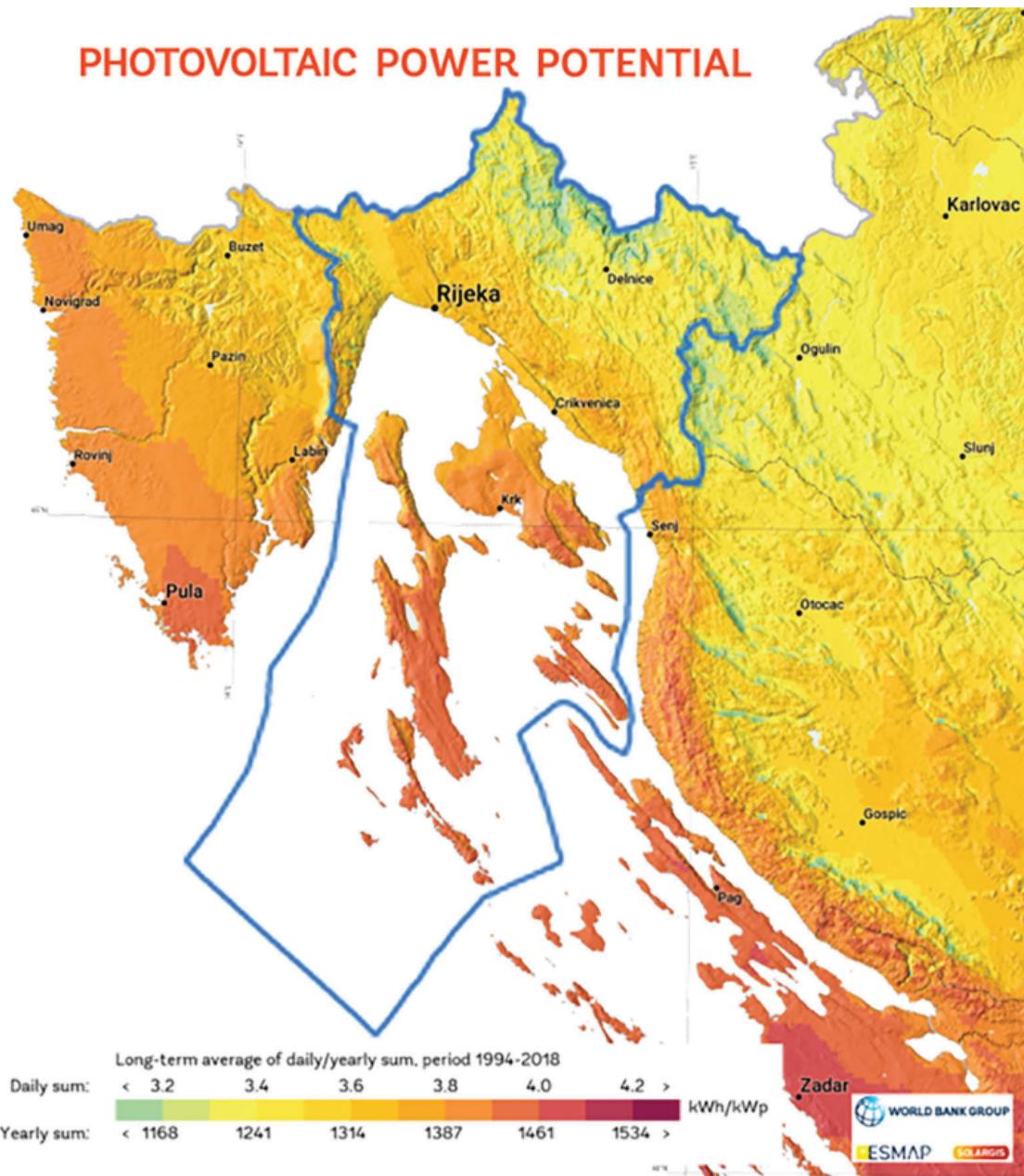
Na području Primorsko-goranske županije, ovisno o lokaciji, fotonaponsko postrojenje nazivne snage 1 kW može godišnje proizvesti između 1.100 i 1.450 kWh električne energije (uz pretpostavku južne orientacije, ukupnog gubitka sustava od 14 % te nagib modula od 35°).

Po vrijednostima insolacije, unutar Primorsko-goranske županije ističu se kvarnerski otoci koji pokazuju i 20 % veće vrijednosti godišnjega Sunčevog zračenja od Gorskog kotara i ostatka priobalja. Primjerice, sunčana elektrana snage 1 kW na kvarnerskim otocima može proizvesti od 1.300 do 1.450 kWh električne energije godišnje. Procijenjena proizvodnja električne energije u priobalnom području Županije iznosi od 1.200 do 1.300 kWh godišnje, dok je u Gorskem kotaru moguće proizvesti od 1.100 do 1.250 kWh električne energije godišnje.

Prosječna proizvodnja električne energije po mjesecima (kWh)  
– za postrojenje nazivne snage 1 kW (po regijama Primorsko-goranske županije)



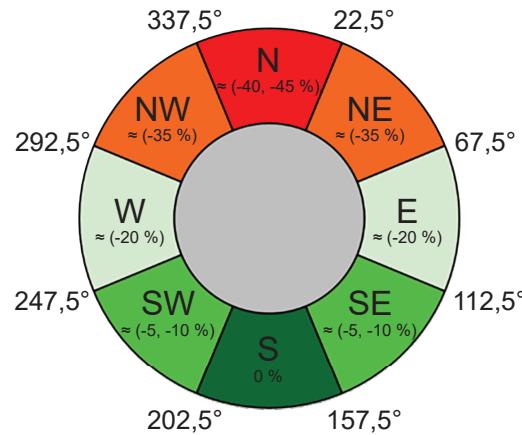
## Analiza mogućnosti korištenja krovova za ugradnju FN modula



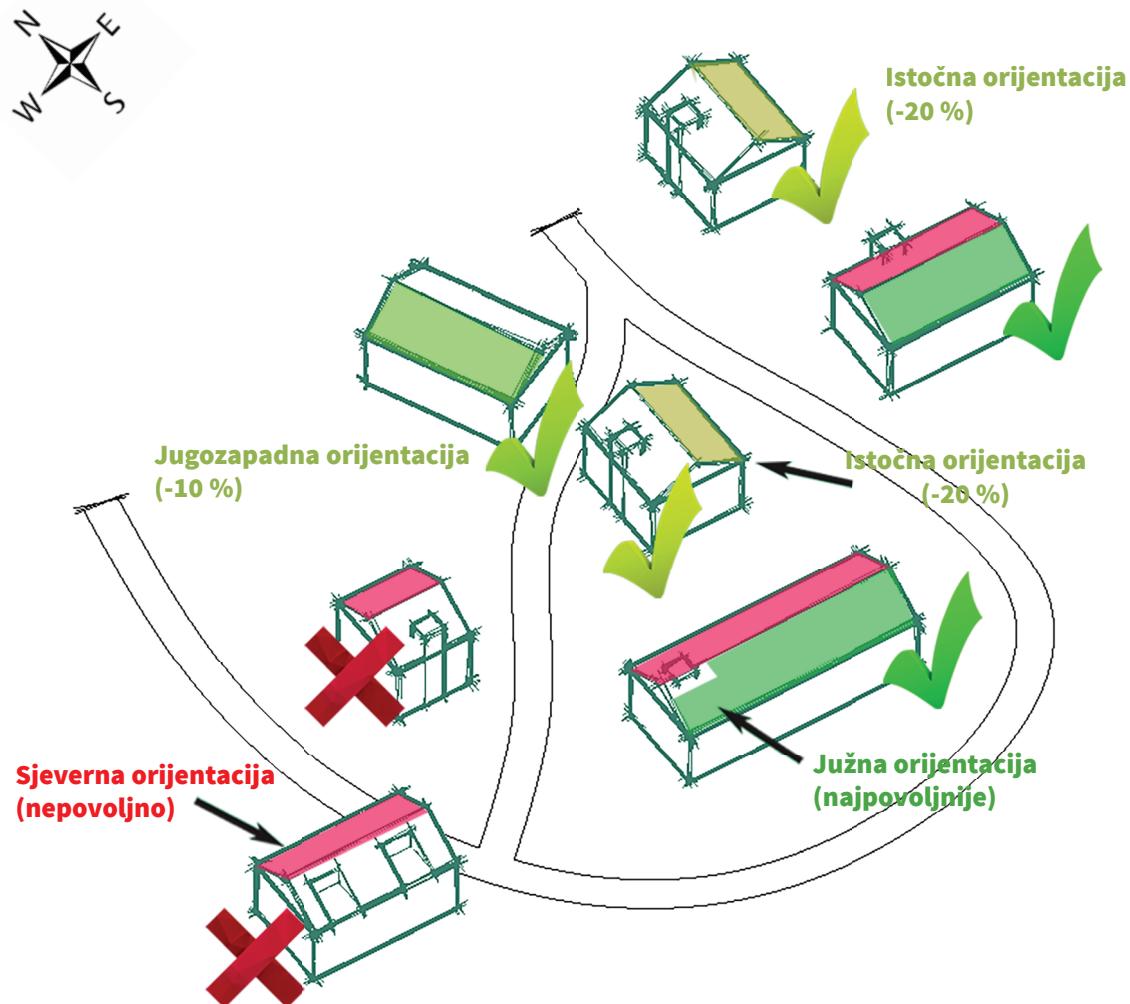
Izvor: World Bank Group, SolarGIS

### 3.2. Orijentacija krova

Jedan od važnijih faktora koji izravno utječe na količinu proizvedene energije jest orientacija krovišta. Prema potencijalu proizvodnje električne energije, južna se orientacija smatra najpovoljnijom zbog najveće osunčanosti.



Ploha krova orijentirana prema sjeveru (sjeverozapadu i sjeveroistoku) smatra se nepovolnjom za postavljanje fotonaponskih panela. Proizvodnja energije na sjevernoj plohi može biti gotovo 50 % manja u odnosu na južnu plohu. Prilikom utvrđivanja pogodnosti krovišta za postavljanje fotonaponskih modula, istočnu i zapadnu orientaciju također se smatra povoljnima. Međutim, proizvodnja električne energije iz panela, u odnosu na južnu ekspoziciju, smanjena je za oko 20 % (oko 5 % – 10 % za jugoistok i jugozapad), ovisno o otklonu krovne plohe od juga.

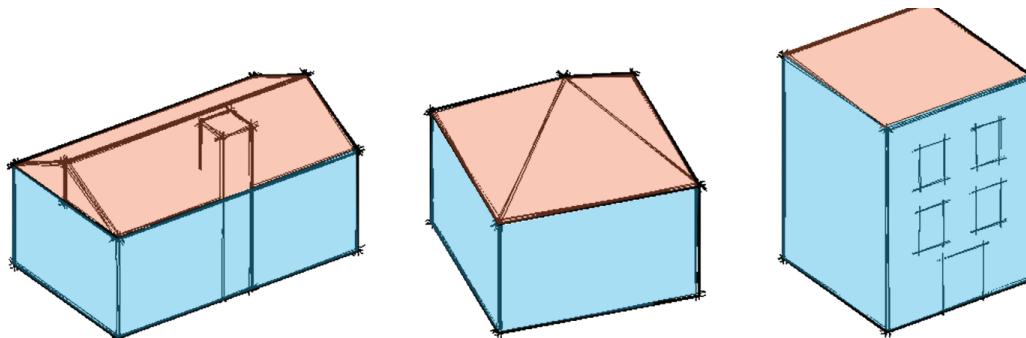


Analiza mogućnosti korištenja krovova za ugradnju FN modula

### 3.3. Tip krova

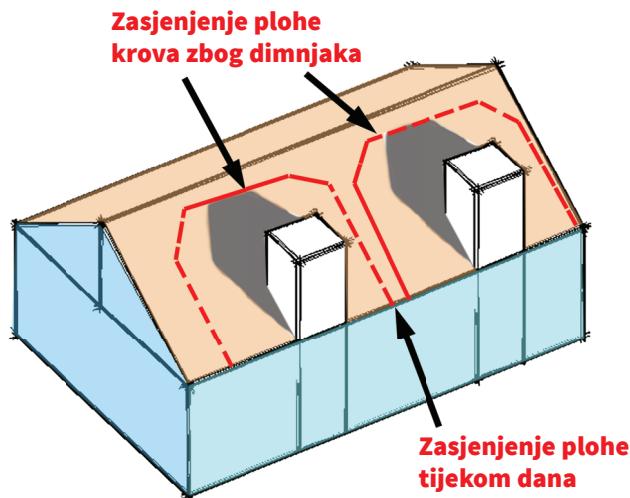
Za utvrđivanje dostupne površine krova za postavljanje fotonaponskih panela, velik utjecaj ima tip krova, odnosno da li je krov kosi ili ravni. U naravi, ravni krovovi imaju veću iskoristivu površinu za postavljanje fotonaponskih modula zbog toga što se podrazumijeva da je cijela ploha krova povoljne orientacije. Na ravnim se krovovima paneli najčešće postavljaju na metalnu konstrukciju s nagibom od 15 % – 25 %, u odnosu na vodoravnu plohu. Ukoliko su kod ravnih krovova izvedeni bočni (zabatni) zidovi, potrebno je procijeniti i utjecaj potencijalnog zasjenjivanja dijela plohe. Kod dvostrešnih krovova jedna je ploha krova često orijentirana prema sjevernoj strani i time nije povoljna za postavljanje panela.

Kod tlocrtno složenijih zgrada, najčešći su tip izvedbe višestrešni složeni krovovi. Zbog (u prosjeku) većeg broja tlocrtno malih krovnih ploha, većeg broja krovnih izvoda i geometrijski nepogodnih ploha (nepovoljne za postavljanje pravokutnih panela), višestrešni krovovi u pravilu imaju manji postotak povoljnih površina za postavljanje fotonaponskih modula, u odnosu na dvostrešne i ravne krovove.



### 3.4. Zasjenjenje fotonaponskih modula

Zasjenjenje modula od ostalih elemenata krova, susjednih građevina, vegetacije ili zbog snježnih oborina ili lišća, realna je situacija koja može imati veliki utjecaj na proizvodnju električne energije fotonaponskih ploča. Ako je mali dio solarne fotonaponske ploče pod utjecajem zasjenjenja, smanjuje se korisnost cijelog fotonaponskog panela. Razlog tome jest što se taj fotonaponski panel sastoji od niza serijski spojenih fotonaponskih ćelija. Kada se smanji izlazna snaga pojedine ćelije, izlazna snaga cijelog sustava spojenog u seriju svodi se na razinu struje koja prolazi kroz ćeliju na kojoj se prikuplja najmanje svjetlosti. Iako na



svremenim fotonaponskim panelima postoje rješenja za djelomično umanjenje gubitaka (zaobilazne diode, mikroinverteri, optimizatori snage fotonaponskih panela i sl.), ne smiju se podcijeniti utjecaji zasjenjenja plohe krova.

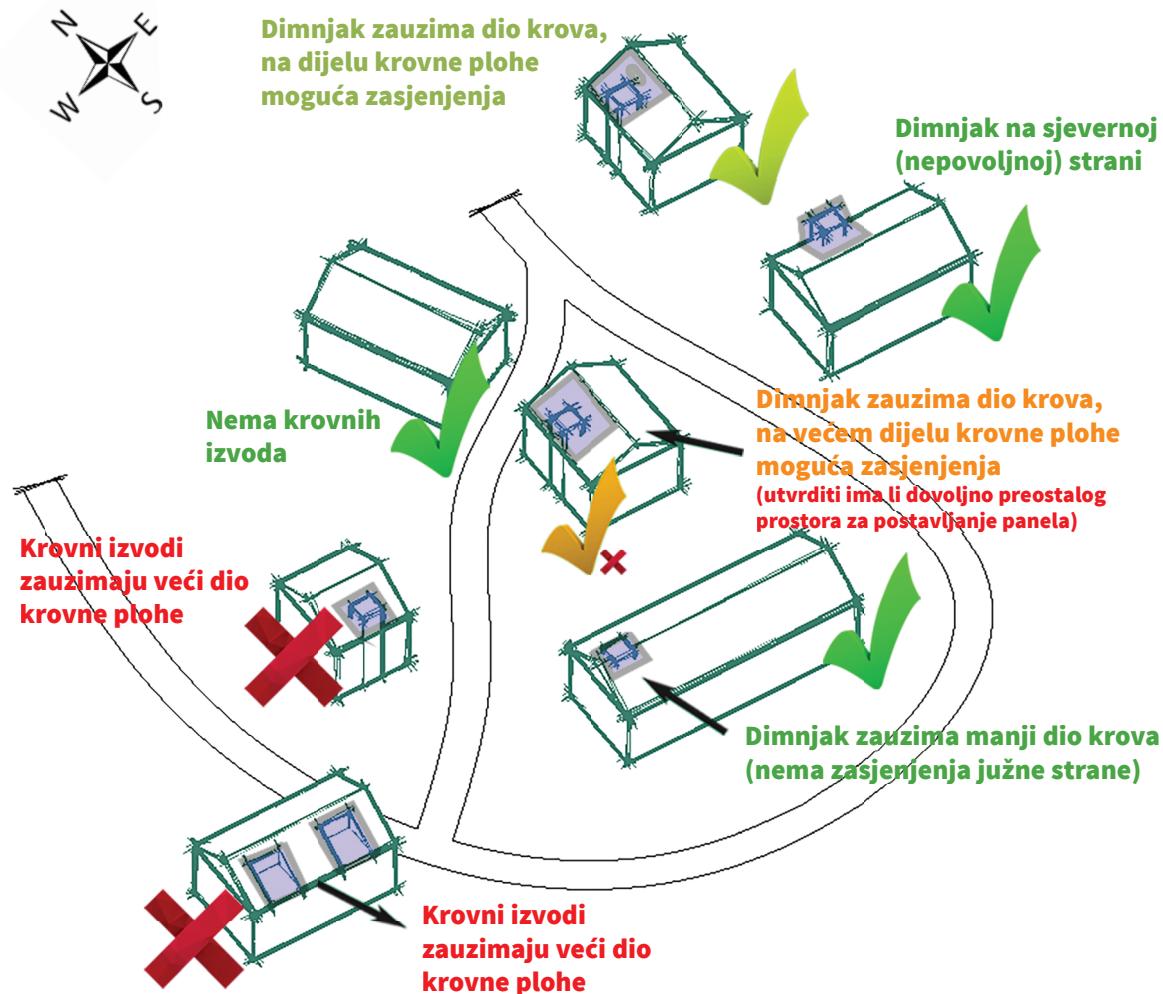
### 3.5. Krovni izvodi/prolazi

Osim što „zauzimaju prostor“ krova i smanjuju površinu na koju se mogu postaviti paneli, krovni izvodi/prolazi zasjenjuju dio plohe krova. Pod krovne izvode/prolaze ubrajaju se dimnjaci, ventilacijski kanali za provjetravanje, ventilacijski izlazi nad kanalizacijskim vodovima, klima-uređaji, antenski sustavi, EKI-uređaji, krovne konzole i sl.

Kod planiranja integriranih sunčanih elektrana, utjecaj zasjenjivanja krova od krovnih izvoda/prolaza nerijetko se podcjenjuje. U određenim situacijama, zasjenjivanje plohe krova tijekom dijela dana može utjecati na smanjenje proizvodnje električne energije u istoj mjeri kao i nepovoljna orientacija krovišta.

Prilikom analize, potrebno je predvidjeti zasjenjenja dijela krovišta zbog krovnih izvoda/prolaza. Utjecaji zasjenjivanja trebaju se predvidjeti tijekom čitavog dana u skladu s kretanjem Sunca.

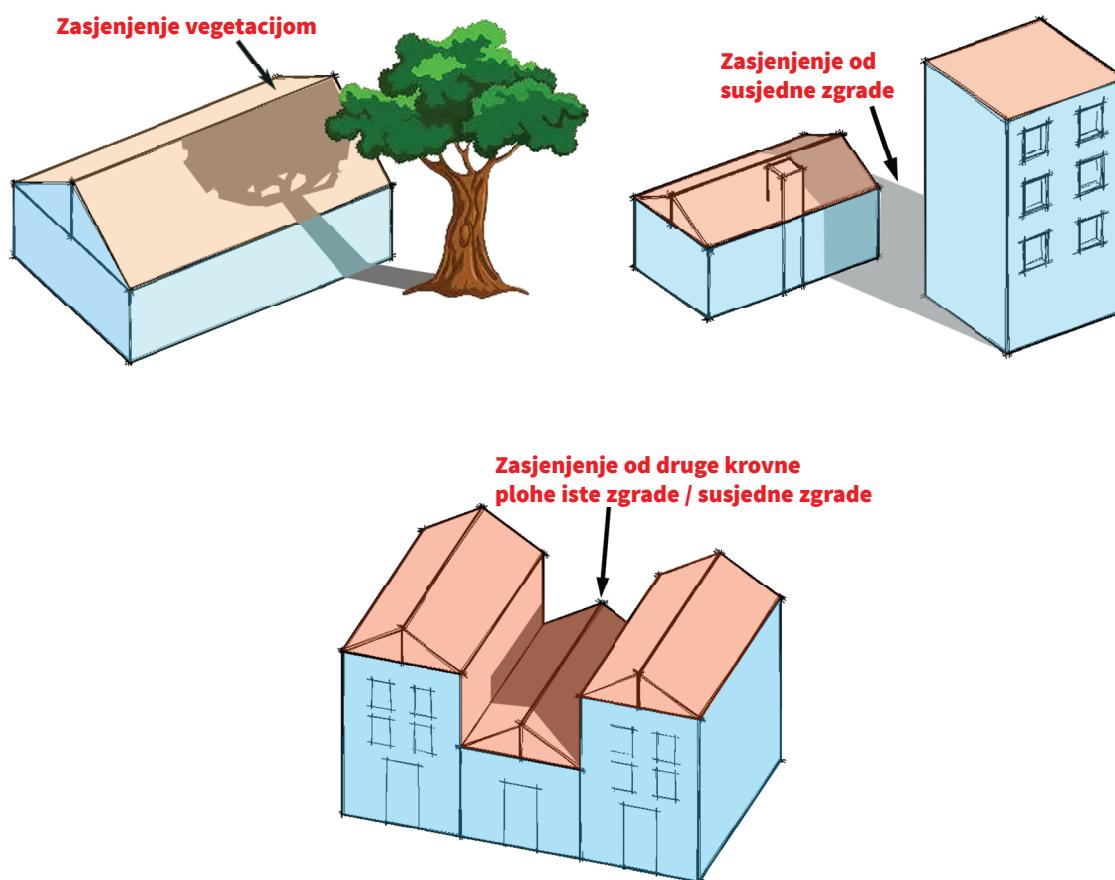
## Analiza mogućnosti korištenja krovova za ugradnju FN modula



### 3.6. Zasjenjenje krova vegetacijom ili sa susjednih građevina

Utjecaj na zasjenjenje plohe krova mogu imati i krošnje stabala koja su prerasla plohu krova, ali i susjedne zgrade koje zasjenjuju tu zgrade. Što se tiče vegetacije, u pravilu se tlocrtnom analizom ne može u potpunosti procijeniti utjecaj zasjenjivanja iz razloga što se na digitalnoj ortofoto podlozi ne mogu procijeniti relativne visine krova i stabala. Osim u slučajevima kada je zasjenjenje vegetacijom izravno vidljivo na digitalnoj podlozi, procjena utjecaja vegetacije i zasjenjivanja obično se može odrediti tek nakon terenskog obilaska.

Zasjenjivanje od susjednih građevina nešto je rjeđe i uglavnom postoji kod tipičnih gradskih naselja, kod prizemnih objekata sagrađenih uz višekatnice, ili uz blokove zgrada različite visine (često u gradskim središtima).



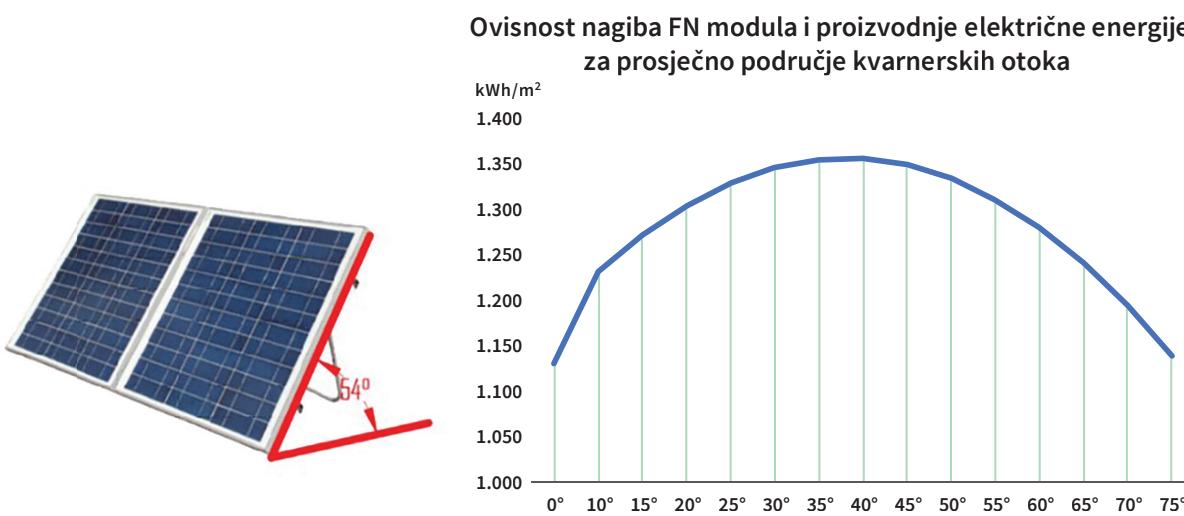
### 3.7. Statika krova

Postavljanjem fotonaponskih panela na krov povećava se utjecaj težine krova i utjecaj vjetra na statiku cijele zgrade. Na pojedinim objektima, zbog lošeg stanja krovne konstrukcije, postavljanje fotonaponskih modula može narušiti statičku stabilnost krova. Stoga, takvi se krovovi označavaju nepovoljnima za postavljanje fotonaponskih panela. Stanje krovišta, odnosno statika krova, može se procijeniti tek detaljnijom inženjerskom analizom, uglavnom u fazi izrade glavnog projekta sunčane elektrane.

### 3.8. Nagib fotonaponskih modula

Na količinu proizvedene električne energije direktno utječe i nagib fotonaponskih modula, u odnosu na vodoravnu ravnicu. Za područje Republike Hrvatske i Primorsko-goranske županije, okvirno najpovoljniji kut postavljanja fotonaponskih modula iznosi  $35^{\circ}$  do  $40^{\circ}$ . Zbog paraboličnog izgleda funkcije nagiba i proizvodnje električne energije, nagibi fotonaponskih modula od  $20^{\circ}$  do  $55^{\circ}$ , u odnosu na vodoravnu plohu, imaju minimalne gubitke u proizvodnji električne energije.

S obzirom na to da prosječni nagibi kosih krovova u primorskem tipu gradnje iznose oko  $20^{\circ}$  –  $25^{\circ}$ , te da se kod ravnih krovova fotonaponski moduli u pravilu postavljaju pod kutom do  $20^{\circ}$ , utjecaj nagiba fotonaponskih modula je u prosjeku minimalan (manji od 5 %).



### 3.9. Tehničke karakteristike FN modula

Najzastupljeniji tipovi kristaličnih silicijskih modula na tržištu – monokristalni i polikristalni, generalno se razlikuju u učinkovitosti, cijeni i životnom vijeku. Monokristalni moduli u pravilu imaju nešto veću učinkovitost (15 % – 24 % naspram 13 % – 20 %<sup>7</sup>) i dulji životni vijek, ali zato su i cjenovno skupljci u odnosu na polikristalne module. Iako svaka individualna elektrana ima drukčije tehničke specifikacije i lokalne prilike, uzimajući u obzir prosječne atmosferske utjecaje (kiša, snijeg, vjetar, zaprašivanje), gubitke u inverteru i linijske gubitke te gubitke zbog dotrajalosti (smanjenje učinkovitosti oko 0,5 % godišnje), prosječni sistemski gubici (i gubici zbog dotrajalosti) procjenjuju se na 14 %.

<sup>7</sup> A. Ameur, A. Berrada, K. Loudiyi, R. Adomatis, "Performance and energetic modeling of hybrid PV systems coupled with battery energy storage", Hybrid Energy System Models (2021), pp. 195-238, doi: 10.1016/b978-0-12-821403-9.00008-1

## 4. Metodologija izrade

Utvrđivanje fotonaponskog potencijala krova na većim područjima kompleksan je i specifičan posao. U inozemnoj stručnoj literaturi za različita područja koristi se mnogo različitih metoda određivanja fotonaponskog potencijala, koje se kreću od aproksimativnog utvrđivanja na temelju ukupnih površina svih objekata, manualnih metoda, do složenih GIS analiza koje za analizu koriste 3D modele podataka.

Osim neujednačene kvalitete i općenito nepostojanja podataka (podloga) za pojedine države/regije, problematika utvrđivanja fotonaponskog potencijala očitava se i u činjenici da za različite države/regije postoji značajna razlika u stilu i načinu izgradnje objekata kao i načinu izvođenja krovnih konstrukcija te krovnih izvoda/prolaza. U skladu s time, metoda koja dobro aproksimira jedno područje ne daje nužno kvalitetne rezultate kod određivanja fotonaponskog potencijala drugog područja.

U literaturi se razlikuju tri različita pristupa, odnosno tri različite metodologije za određivanje fotonaponskog potencijala. To su:

- Metode aproksimacije podataka
- Manualni izračun potencijala
- Automatizirani GIS (3D) proračuni.

### Metode aproksimacije podataka

Metoda aproksimacije podataka provodi se na način da se udjeli (postoci) ravnih/kosih krova, orijentacije krova, nagiba krova, krovnih komponenata te zasjenjenih područja krova, okvirno procjenjuju na temelju iskustvenih metoda iz sličnih studija i/ili GIS analiza. Fotonapski potencijal određuje se za velika područja preko međuodnosa ukupne površine krova i aproksimiranih podataka o površinama i elementima krova. Pojedine metode aproksimacije povoljne površine krova provode se i na temelju gustoće populacije na promatranom području.

Popularnost tih metoda počiva na njihovoj jednostavnosti; provedba analiza nije vremenski ni tehnički zahtjevna, a konačni rezultat daje korisne podatke o fotonapskom potencijalu promatranog područja.

## Manualne metode izračuna potencijala

Manualne metode izračuna fotonaponskog potencijala temelje se na individualnim analizama objekata pomoću snimaka iz zraka (digitalni ortofoto). Orientacija, krovni izvodi/prolazi te zasjenjenja, procjenjuju se za svaki objekt posebno. Takve analize daju kvalitetnije i točnije podatke o fotonaponskom potencijalu individualnog objekta, u odnosu na metode aproksimacije. Međutim, istodobno su i vremenski puno zahtjevnije u odnosu na ostale metode izračuna potencijala.

## Automatizirani GIS (3D) proračuni

Najveća razlika između automatiziranih GIS proračuna i ostalih metoda proračuna jest u činjenici da se pogodnost krova za postavljanje fotonaponskih modula određuje automatizirano na temelju softverski predodređenih karakteristika krova, bez potrebe za procjenjivanjem vrijednosti ili manualnog odabira građevina. Takav pristup često rezultira bržim, objektivnijim i točnijim rezultatima.

Automatizirane GIS metode primarno koriste 3D modele za određivanje solarno povoljnih dijelova krova. 3D modeli generiraju se pomoću digitalnih ortofoto snimaka i podataka o visinama (LiDAR podaci) te su u nastavku kombinirani s nagibom, orijentacijom, konstrukcijskim elementima krova i zasjenjenjima za određivanje fotonaponskog potencijala.

Zbog nepostojanja kvalitetnijih LiDAR podataka (većih rezolucija) na području Republike Hrvatske, i potrebe za korištenjem značajnijih računalnih resursa, provedba takvih metoda na području Hrvatske zasad nije realna.

### 4.1. Odabrana metoda za analizu krova

Metoda automatiziranih GIS (3D) proračuna je u startu otklonjena kao osnova za izradu ovih Smjernica zbog nedostatka kvalitetnijih podloga i LiDAR podataka, bez čije dostupnosti nije ni moguće tehnički provesti kvalitetnu analizu.

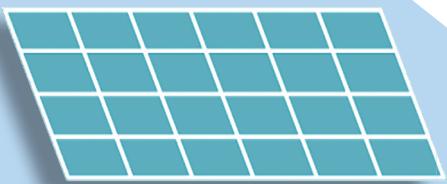
S obzirom na to da je jedan od uvodnih ciljeva ovih Smjernica utvrditi povoljnost individualnih krova za postavljanje fotonaponskih modula, metoda aproksimacije je također napoljetku odbačena. Iako u praksi proizvodi brze i kvalitetne rezultate o fotonaponskom potencijalu, bez mogućnosti preciznijeg određivanja povoljnosti individualnih krova za postavljanje

fotonaponskih modula, i činjenice da za područje Hrvatske ne postoje usporedive analize pomoću kojih bi se lakše mogli odrediti koeficijenti aproksimacije, prednost je napisljetu dana manualnoj metodi izračuna fotonaponskog potencijala.

Zaključak je da će manualna metoda utvrđivanja povoljnosti krova i izračuna fotonaponskog potencijala pružiti najkvalitetnije podatke za utvrđivanje povoljnosti objekata javne i društvene namjene na području kvarnerskih otoka i priobalja Primorsko-goranske županije.

Provedbom manualne metode na većem setu podataka osigurat će se kvalitetan okvir za aproksimaciju elemenata krova i zasjenjenja potrebnih za provedbu metode aproksimacije u budućnosti, sve radi procjene fotonaponskog potencijala cjelokupne Primorsko-goranske županije. Na taj način, osim lokalne komponente (određivanje povoljnosti krova individualnih objekata) ove Smjernice mogu poslužiti i za buduće određivanje fotonaponskog potencijala čitave Primorsko-goranske županije.

## II. dio



# Smjernice

Javna ustanova **Zavod za prostorno uređenje**  
PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE



## 5. Smjernice za analizu krovova

Na temelju dosadašnjih iskustava u analizi krovova ustanovljeno je da provedbom manualne analize krovova, bez podataka o visini dimnjaka, relativnoj visini obližnjih stabala u odnosu na krov, različitoj razini zasjenjivanja po godišnjim dobima, te činjenice da postoji velika individualna razlika između svakog krova, u konačnici grafičkom metodom nije moguće utvrditi fotonaponski potencijal individualnog krova na razini preciznosti terenske analize i inženjerskog projektiranja.

U skladu s tim, glavni fokus ove analize nije stavljen na utvrđivanje fotonaponskog potencijala na razini individualnog objekta, već na **utvrđivanje objekata/krovova za koje se može s velikom sigurnošću utvrditi da će imati zadovoljavajući rok povrata investicije ili zadovoljavajuće količine proizvedene električne energije**. Također, jedan od ciljeva analize jest i procjena fotonaponskog potencijala za cijelokupno promatrano područje.

### 5.1. Prikupljanje ulaznih podataka

**Početni korak koji prethodi analizi krovova jest definiranje ulaznih podataka. Osnovni ulazni podatak na kojem počiva analiza jest digitalna ortofoto podloga (DOF).**

Radi lakše analize i uočavanja krovova i krovnih izvoda/prolaza, poželjno je da DOF bude što precizniji (veće rezolucije). Kvaliteta krajnjeg ishoda analize u dobroj mjeri počiva na kvaliteti DOF-a.

#### Ulazni podatak – površina krova / tlocrtna površina objekta

Za provedbu analize, jedan od glavnih preduvjeta su i podaci o tlocrtnoj površini krovova. S obzirom na to da ne postoje javno dostupni podaci o površinama i nagibima krovova, površina krova aproksimirana je tlocrtnom površinom građevina. Korištenje tlocrtne površine kod ravnih krovova pruža dovoljno točan podatak o površini krova. Međutim, kod kosih krovova korištenjem tlocrtnih podataka realno se podcjenjuje površina krova, koja ovisno o nagibu krova u prosjeku može biti veća za 10 % do 15 % za primorski tip gradnje. Budući da je tlocrtna površina građevina jedini javno dostupni podatak, za potrebe analize prepostavlja se da će aproksimacija krovne površine tlocrtnom površinom građevina proizvesti dovoljno precizan podatak.

Podatke o tlocrtnoj površini građevina može se prikupiti preko katastra zemljišta, automatskom AI detekcijom krovova preko GIS aplikacija, ili ručno uz pomoć digitalnih podloga. Tlocrtna površina može se dobiti i kombinacijom više metoda. Objekte koji nisu evidentirani u katastru zemljišta može se odrediti i manualno uz pomoć digitalnih podloga.

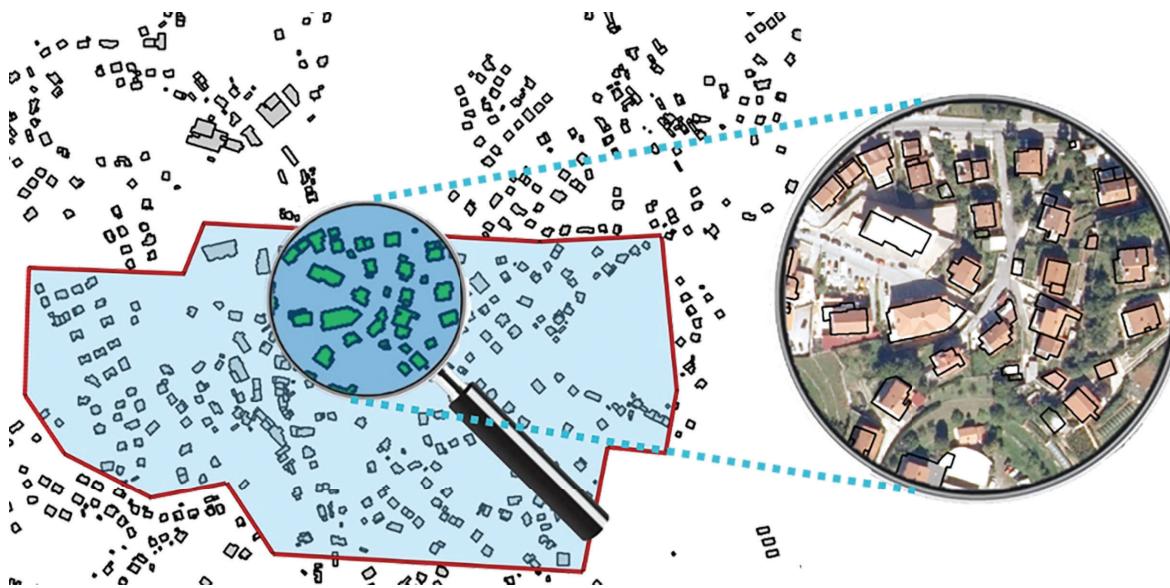
Za detaljniju analizu krovova mogu se obavljati i terenska fotografiranja i koristiti besplatni servisi za pregledavanje podataka u prostoru („Google maps“, „OpenStreetMap“).

## 5.2. Područje obuhvata

### Odabir ciljanog područja analize

Nakon definiranja ulaznih podataka slijedi odabir područja obuhvata analize.

Kao područje odabira može se odrediti administrativna granica naselja, mjesnog odbora ili nekoga drugog ciljano odabranog područja. Ovisno o zahtjevima analize, unutar područja analize mogu se analizirati i samo ciljani objekti, primjerice, svi objekti u javnom vlasništvu unutar administrativnog područja općine ili grada.



### 5.3. Početno filtriranje podataka

Pregledom svih objekata unutar područja obuhvata, može se uočiti da na osnovnom skupu podataka postoji mnogo objekata za koje se bez analize, samo na osnovi tlocrtne površine, može zaključiti kako nisu povoljni za postavljanje fotonaponskih modula. Da bi se takve objekte isključilo iz analize, u prvom je koraku potrebno odrediti minimalnu tlocrtnu površinu i na osnovi nje filtrirati podatke.

### 5.4. Ovisnost tlocrtne površine i isplativosti elektrane

Vrijeme povrata investicije za gradnju integriranih sunčanih elektrana u pravilu se smanjuje s povećanjem površine krova pod fotonaponskim panelima zbog umanjenja utjecaja jediničnih troškova gradnje.

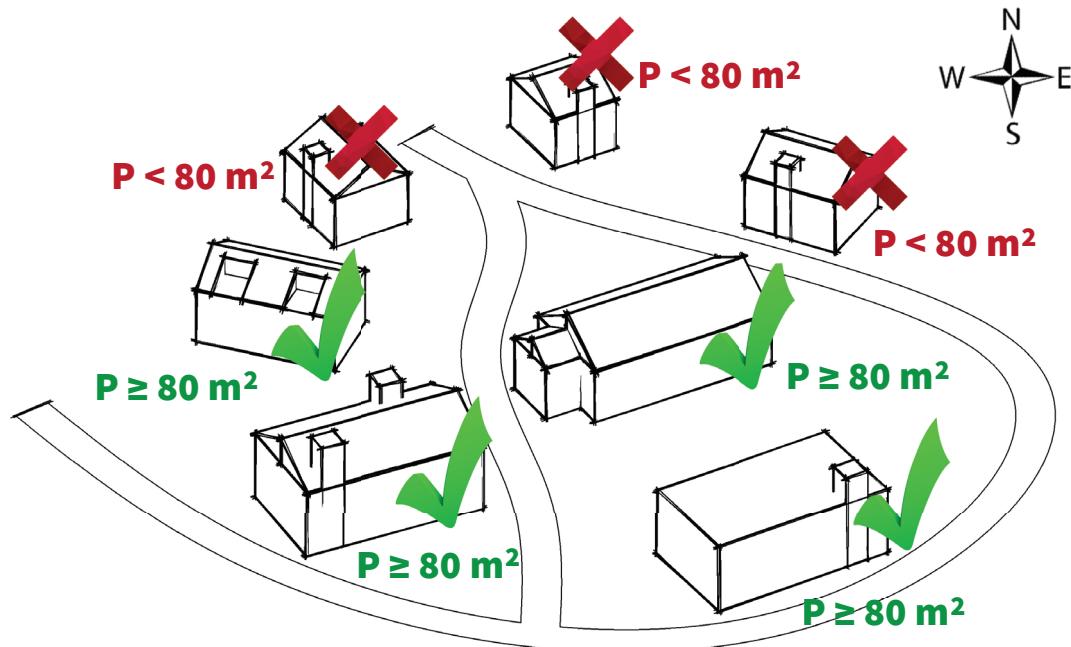
**U početnim pretpostavkama ovih Smjernica naglašeno je da minimalna snaga ugradnje fotonaponskih modula iznosi 5 kW (faktor sigurnosti u smislu određivanja minimalne površine krova na koju je moguće ugraditi fotonaponske panele), za čiju je ugradnju potrebna minimalna površina od  $30\text{ m}^2$  (cilj analize može biti i utvrđivanje svih objekata na koje je moguće postaviti fotonaponske elektrane nizivne snage od 10 kW, koje zauzimaju površinu od 60 do  $70\text{ m}^2$ ).**

Uzevši u obzir činjenicu da je od ukupne tlocrtne površine krova, u prosjeku svega 30 % – 40 % povoljno za postavljanje fotonaponskih panela (nije zasjenjena, nema krovnih istaka, nije smještena na sjevernoj strani, poštivanje mjera zaštite od požara), za ugradnju integrirane fotonaponske elektrane optimalne snage od 5 kW u prosjeku je potrebno oko 80 – 100  $\text{m}^2$  ukupne površine krova, odnosno oko  $50\text{ m}^2$  „povoljne površine“ koja će biti detaljnije objašnjena u sljedećim poglavljima.

### 5.5. Filtriranje podataka na temelju minimalne tlocrtne površine

Kako bi se ubrzala analiza te otklonili svi objekti za koje se po kriteriju tlocrtne površine može zaključiti da nisu dovoljno isplativi za postavljanje fotonaponskih panela, potrebno je filtrirati sve objekte koji su manji od referentne tlocrtne površine. To je granična površina za koju se s velikom sigurnošću može ustvrditi da objekti koji su manji od granične vrijednosti,

neće biti isplativi za postavljanje fotonaponske elektrane. Za slučaj kosih krovova u tipičnom naselju gradskog i prigradskog karaktera predlaže se filtriranje svih objekata manjih od  $80 \text{ m}^2$ . Ovisno o snazi sunčane elektrane i povratku investicije koji se želi postići, ona se može i proizvoljno mijenjati.



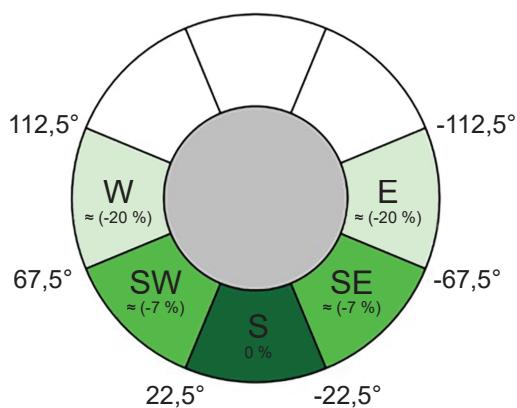
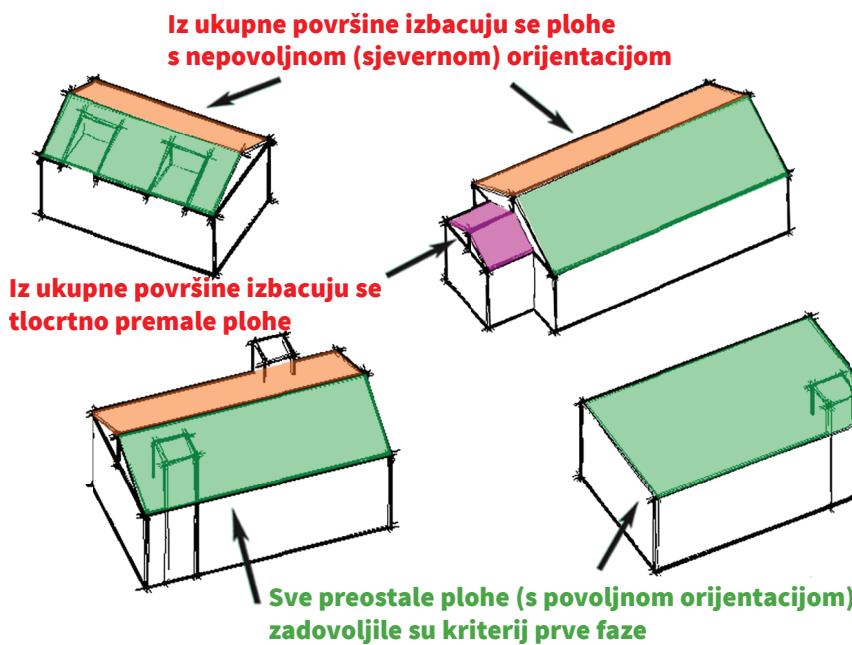
## 5.6. Kategorizacija objekata – Utvrđivanje povoljnih ploha

Da bi se kategoriziralo objekte s obzirom na energetski potencijal, potrebno je u početnom koraku utvrditi površinu na koju se mogu postaviti fotonaponski paneli. Iz ukupne površine krova isključuju se svi nepovoljni utjecaji za proizvodnju električne energije, kao što su nepovoljna orientacija krova, zasjenjenja, površine pod krovnim izvodima/prolazima, premale plohe krova za fizičku ugradnjnu panela i sl.

Radi stvaranja standardizirane analize nepovoljni utjecaji će se procjenjivati u **dviјe faze**.

U **prvoj fazi** potrebno je za svaki objekt pojedinačno, iz ukupne površine krova isključiti nepovoljno orijentirane plohe krova (sjever, sjeveroistok i sjeverozapad) te krovne plohe za koje se ocjeni da svojom veličinom nisu dovoljno velike da se na njih postave paneli (predlaže se filtriranje svih ploha manjih od  $10\text{ m}^2$ ). Za provedbu prve faze predlaže se grafička analiza u GIS softveru te unošenje podataka o krovovima u atributne tablice.

### FAZA 1.



U sklopu Faze 1., za potrebe kasnijeg izračuna FN potencijala, predlaže se da se za svaki objekt u atributnu tablicu unese podatak o orijentaciji objekta (jug, jugoistok, jugozapad, istok i zapad).

U **drugoj fazi** iz preostalih krovnih ploha za koje se utvrdi da imaju povoljnu orijentaciju potrebno je isključiti:

- površine koje se nalaze izravno pod krovnim izvodima/prolazima
- površine za koje se ocjeni da se zasjenjuju od tih istih krovnih izvoda (najčešće dimnjaci), vegetacije ili susjednih građevina, te naposljetu
- dijelove plohe krova za koje se utvrdi da nemaju dovoljnju preostalu površinu ili povoljan tlocrtni oblik da se na njih postave pravokutni standardizirani moduli.

Za razliku od prve faze u kojoj su se povoljne površine utvrđivale isključivo grafičkom analizom, za provedbu druge faze predlaže se uvođenje koeficijenta redukcije na površine proizašle nakon prve faze. Koeficijentom redukcije preostala površina iz prve faze umanjuje se u skladu s površinom koju zauzimaju krovni izvodi/prolazi i zasjenjene površine.

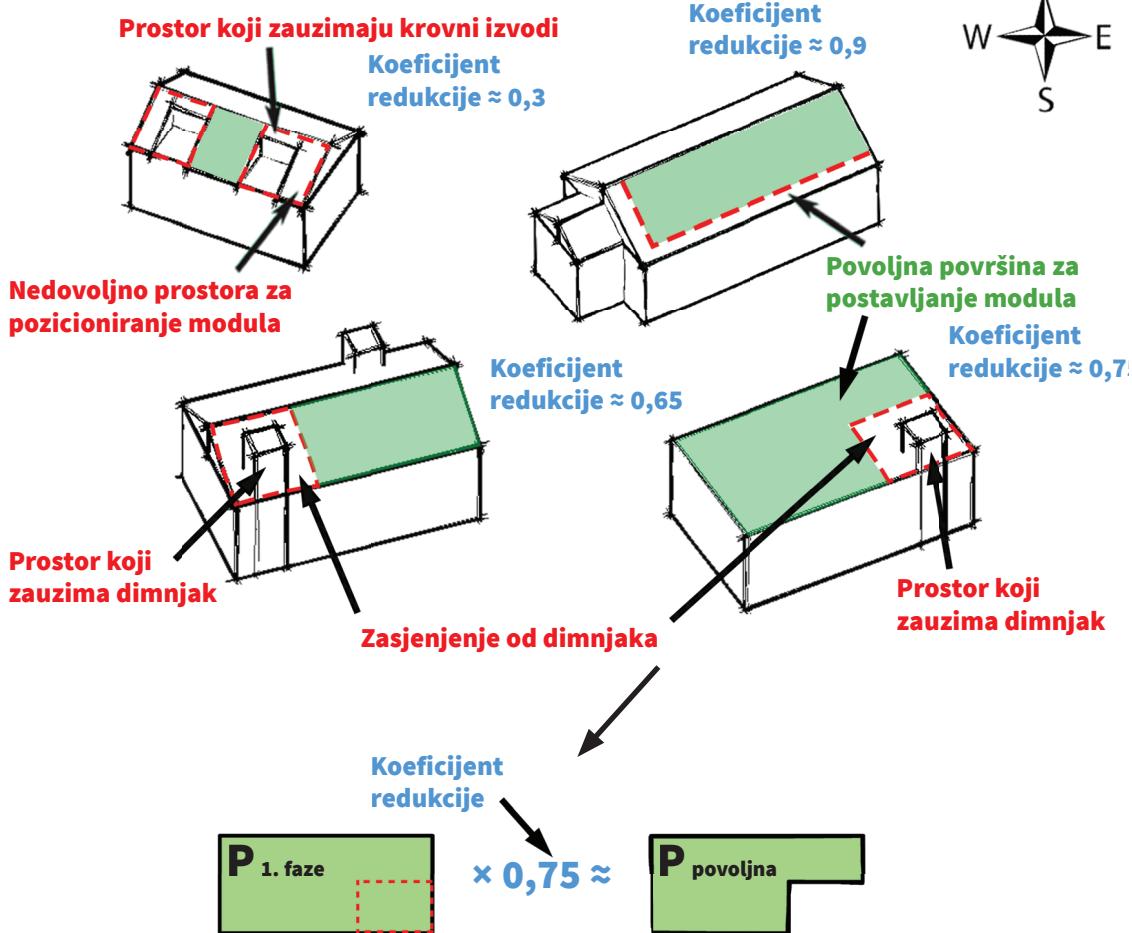
U skladu s uvodnim prepostavkama analize, razina preciznosti grafičke analize s odabranim ulaznim podacima i nedostatkom pojedinih informacija o objektima (visina dimnjaka, vegetacije itd.), ne može se mjeriti s terenskom analizom i postupkom inženjerskog projektiranja elektrane. Iz tog je razloga fokus ovih Smjernica stavljen na provedbu brze i pouzdane analize koja će s velikom sigurnošću **utvrditi objekte sa zadovoljavajućim povratom investicije i/ili traženu razinu proizvodnje električne energije.**

Umjesto provedbe cjelokupne grafičke analize (procjenjivanja zasjenjivanja i pogodnosti krovnih ploha) koja je dugotrajna i teško provediva, u konačnici je odabrana kompromisna metoda s korištenjem koeficijenta redukcije. Njegovim uvođenjem značajno će se skratiti vrijeme trajanja analize, dok kvaliteta konačnog rezultata neće značajno varirati.

## 5.7. Odabir koeficijenta redukcije

Koeficijent redukcije je proizvoljan faktor vrijednosti od 0 do 1 koji se množi s površinom povoljno orientiranih ploha krova, proizašlih kao rezultat prve faze. Njegova se vrijednost određuje ovisno o količini zasjenjenja, broju krovnih izvoda/prolaza, i dimenzijsima preostalih ploha krova. Kod krovnih ploha za koje se procijeni da su u cijelosti zasjenjene ili nepovoljne, koeficijent redukcije iznosi 0, a kod potpuno slobodnih ploha iznosi 0,9 (zbog dodatnih mjera zaštite od požara).

### FAZA 2.



## 5.8. Kategorizacija objekata u dvije skupine

Rezultat analize nakon filtriranja minimalnom tlocrtnom površinom i provedbom Faze 1. i Faze 2. jest „povoljna površina za postavljanje panela“. Na osnovi veličine „povoljne površine“, objekti se svrstavaju u dvije skupine:

- 1. Pogodni** („povoljna površina“  $> 50 \text{ m}^2$ )
- 2. Nepogodni** („povoljna površina“  $< 50 \text{ m}^2$ ).

Kriterij za utvrđivanje granične vrijednosti „povoljne površine“ na osnovi koje se objekte svrstava kao „pogodne“, ovisi o osnovnim ciljevima analize. Ukoliko je cilj utvrditi sve objekte za koje se može ostvariti povoljan povrat investicije (snaga min. 5 kW), u prvu se skupinu kategoriziraju svi objekti za koje se analizom utvrdi da imaju veću povoljnu površinu za postavljanje fotonaponskih modula od  $50 \text{ m}^2$ .

Već je ranije utvrđeno da je za postavljanje fotonaponske elektrane od 5 kW potrebno min.  $30 - 35 \text{ m}^2$  krova, ali zbog razmaka između modula, geometrijskih razlika krova i fotonaponskih modula, mjera zaštite od požara te nepredviđenih zasjenjenja, u stvarnosti je za postavljanje fotonaponskih panela potrebno više prostora. Za potrebe ove analize odlučeno je da će se koristiti relativno konzervativne procjene u rasponu od 30 % do 40 % razlike između neto i bruto površine modula, te je u skladu s time odabrana „granična povoljna površina“ od  $50 \text{ m}^2$ .

Ukoliko je cilj analize utvrditi objekte većega proizvodnog potencijala, parametar „povoljne površine“ može se i povećavati u skladu s ciljanom proizvodnjom električne energije (primjerice ukoliko se želi utvrditi sve objekte s proizvodnim kapacitetom od minimalno 10 kW).

**Kategorizacijom objekata u dvije skupine zadovoljen je prvi cilj ove analize. Ukoliko je kao dodatni cilj određen izračun fotonaponskog potencijala provodi se i sljedeći dio analize.**

## 5.9. Fotonaponski potencijal

Počevši od ulaznih podataka o tlocrtnoj površini građevina, njihovim filtriranjem na temelju minimalne tlocrte površine te konačno kategoriziranja, ovisno o „povoljnoj površini za postavljanje fotonaponskih modula“, filtrirani su svi objekti za koje se s velikom sigurnošću može utvrditi da su povoljni za postavljanje fotonaponskih modula.

Svim objektima, koji su svrstani kao „pogodni“, poznata je „povoljna površina“ i njihova orijentacija. Oni predstavljaju ulazne podatke za izračun **fotonaponskog potencijala, odnosno okvirne proizvodnje električne energije koju su ti objekti u stanju proizvesti.**

Budući da određivanje fotonaponskog potencijala individualnih objekata bez detaljnijih podataka o krovovima nije fokus analize, za potrebe analize odredit će se okvirni fotonaponski potencijal samo na razini promatranog područja. Izračunom na većem setu podataka, odnosno objekata, umanjit će se utjecaj srednje pogreške zbog nedostatka podataka (o zasjenjivanju, visini vegetacije, dimnjaka i sl.) o individualnim objektima.

## 5.10. Proračun fotonaponskog potencijala

Zbrojem „povoljnih površina“ svih analiziranih objekata, kategoriziranih kao „pogodni“ nakon 2. faze analize, dobit će se osnovni podatak na temelju kojeg se može izračunati fotonaponski potencijal.

Uzveši u obzir činjenicu da je za fotonaponsku elektranu snage 1 kW potrebno postaviti konstrukciju od oko  $6 \text{ m}^2$  (**0,167 kW na 1 m<sup>2</sup>**), u prvom koraku se „povoljnu površinu“ množi s  $0,167 (\text{kW}/\text{m}^2)$ . Rezultat je **maksimalna snaga fotonaponske elektrane koju je teoretski moguće ugraditi na „povoljnu površinu“ krova.**

Zbog razmaka između modula, geometrijskih razlika između modula i krova te nepredviđenih zasjenjenja, ugrađivanje fotonaponskih modula na maksimalno dostupnu površinu krova u praksi nije realna. Iz toga razloga postojeća „maksimalna snaga fotonaponske elektrane koju je teoretski moguće ugraditi na predmetni krov“ reducira se za **25 % za slučaj kosih krovova**, odnosno maksimalna snaga množi se s koeficijentom 0,75. **Kod ravnih krovova**, zbog prosječno većih razmaka između modula maksimalna snaga reducira se za **35 %**, odnosno množi se s koeficijentom 0,65.

Redukcije od 25 % za kose, odnosno 35 % za ravne krovove, odabrane su na temelju iskustvenih metoda za područje Primorsko-goranske županije te ostalih usporedivih studija koje su se bavile određivanjem fotonaponskog potencijala u inozemstvu.

Konačni rezultat je podatak o ukupnoj **procijenjenoj snazi fotonaponskih elektrana koje je moguće postaviti na predmetni krov (kW)**.

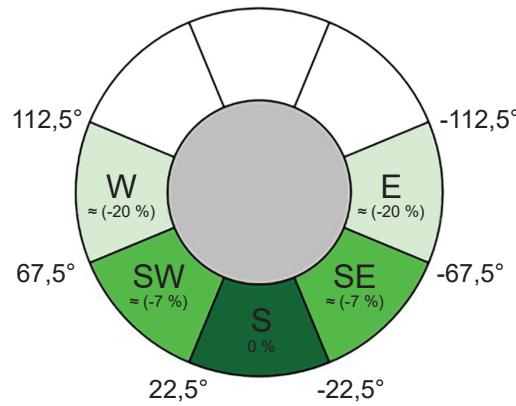
Povoljna površina	Maks. teoretska snaga FN elektrane	Tip krova (koeficijent)	Procijenjena snaga FN elektrane
<b>P1</b>	<b>P1 × 0,167 (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Kosi (0,75)</b>	<b>P1 × 0,167 (kW/m<sup>2</sup>) × 0,75</b>
<b>P2</b>	<b>P2 × 0,167 (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Kosi (0,75)</b>	<b>P2 × 0,167 (kW/m<sup>2</sup>) × 0,75</b>
<b>P3</b>	<b>P3 × 0,167 (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Kosi (0,75)</b>	<b>P3 × 0,167 (kW/m<sup>2</sup>) × 0,75</b>
<b>P4</b>	<b>P4 × 0,167 (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Ravni (0,65)</b>	<b>P4 × 0,167 (kW/m<sup>2</sup>) × 0,65</b>
			<b>Σ = Ukupna procijenjena snaga svih FN elektrana</b>

## 5.11. Faktor orientacije za proračun fotonaponskog potencijala

Ovisno o orientaciji, odnosno otklonu od juga, ukupna proizvodnja električne energije za objekte koji su označeni kao povoljni može biti smanjena i do 25 % (za slučaj istočne i zapadne orientacije). U skladu s time orientacija objekta ne smije se zanemariti pri izračunu fotonaponskog potencijala.

Budući da se orientacija krova računa na razini pojedinačne zgrade, a metoda proračuna fotonaponskog proračuna (objašnjena u kasnijim poglavljima) podrazumijeva izračun prosječne orientacije svih zgrada, odlučeno je da će se **utjecaj orientacije** ukalkulirati u proračun na način da se procijenjena snaga pojedinačne FN elektrane reducira faktorom orientacije te da se rezultat – **zbroj ukupne procijenjene snage FN elektrana, unese u proračun FN potencijala**. Prema predloženoj metodi, svim se objektima dodjeljuje koeficijent orientacije koji se zatim množi s procijenjenom snagom FN elektrane. Ovisno o orientaciji, dodjeljuju se sljedeći koeficijenti:

1. Jug, ravni krov → koeficijent orientacije = 1
2. Jugoistok i jugozapad → koeficijent orientacije = 0,93
3. Istok i zapad → koeficijent orientacije = 0,8



Procijenjena snaga FN elektrane	Orijentacija	Ukupna reducirana snaga – Redukcija faktorom orijentacije (za proračun FN potencijala)
$P1 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75$	Jug (0 %)	$P1 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75 \times 1$
$P2 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75$	Jugoistok (-7 %)	$P2 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75 \times 0,93$
$P3 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75$	Istok (-20 %)	$P3 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75 \times 0,8$
$P4 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,65$	Nema (0 %)	$P4 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,65 \times 1$
$\Sigma = \text{Ukupna procijenjena snaga svih FN elektrana}$		$\Sigma 2 = \text{Ukupna reducirana snaga za proračun FN potencijala}$

Rezultat umnoška procijenjene snage FN elektrane i faktora orijentacije je **ukupna reducirana snaga** s kojom se kreće u proračun FN potencijala.

Podatak o ukupnoj reduciranoj snazi računski je pokazatelj koji služi isključivo za potrebu izračuna fotonaponskog potencijala.

Povoljna površina	Maks. teoretska snaga FN elektrane	Tip krova (koeficijent)	Procijenjena snaga FN elektrane	Orijentacija	Ukupna reducirana snaga – Redukcija faktorom orijentacije (za proračun FN potencijala)
<b>P1</b>	$P1 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)}$	Kosi (0,75)	$P1 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75$	Jug (0 %)	$P1 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75 \times 1$
<b>P2</b>	$P2 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)}$	Kosi (0,75)	$P2 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75$	Jugoistok (-7 %)	$P2 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75 \times 0,93$
<b>P3</b>	$P3 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)}$	Kosi (0,75)	$P3 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75$	Istok (-20 %)	$P3 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,75 \times 0,8$
<b>P4</b>	$P4 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)}$	Ravni (0,65)	$P4 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,65$	Nema (0 %)	$P4 \times 0,167 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 0,65 \times 1$
			$\Sigma = \text{Ukupna procijenjena snaga svih FN elektrana}$		$\Sigma 2 = \text{Ukupna reducirana snaga za proračun FN potencijala}$

## 5.12. Photovoltaic Geographical Information System – PVGIS

Za posljednji korak u utvrđivanju fotonaponskog potencijala preporuča se korištenje besplatnog web servisa „Photovoltaic Geographical information system“ (PVGIS).



PVGIS omogućava korisniku pristup informacijama o Sunčevom zračenju za bilo koje područje na Zemlji, kao i izračun proizvodnje električne energije sunčanih elektrana. PVGIS alat razvijen je u zajedničkom istraživačkom centru Europske komisije i javno dostupan na stranicama Europske komisije.

Fotonaponski potencijal, odnosno procijenjena godišnja proizvodnja energije, može se izračunati nakon odabira lokacije, vršne snage fotonaponske elektrane, fotonaponske tehnologije, sistemskih gubitaka elektrane te nagiba i orijentacije modula.

Za proračun je potrebno odabrati okvirnu lokaciju unutar područja obuhvata. Vršna snaga jednaka je već izračunatoj „**ukupnoj reduciranoj snazi**“, dok se za tehnologiju fotonaaponskih modula i sistemskih gubitaka predlaže postavljanje zadanih vrijednosti (kristalni silicijski moduli s 14 % sistemskih gubitaka). Kao nagib modula može se postaviti prosječni nagib od 25 %. Konačno, s obzirom na to da je orientacija objekata već uračunata prilikom proračuna ukupne reducirane snage, kao orijentaciju (azimut) potrebno je odabrati kut pomaka od juga od 0°.

**PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV**

Solar radiation database\*  
PVGIS-SARAH

PV technology\*  
Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]\*  
14

System loss [%]\*  
14

Fixed mounting options

Mounting position \*  
Roof added / Building integrated

Slope [°]\*  
0

Azimuth [°]\*  
0

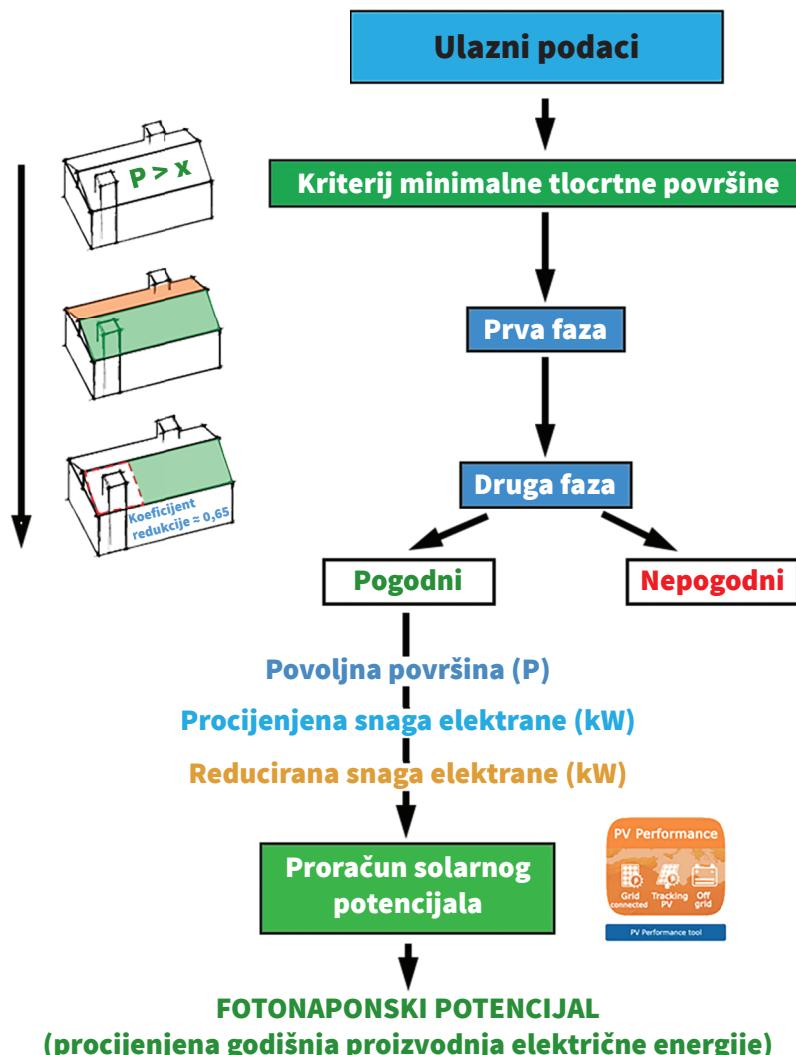
Optimize slope  
 Optimize slope and azimuth

Odabirom opcije za vizualizaciju rezultata, nakon unošenja svih parametara, aplikacija će izračunati procijenjenu godišnju proizvodnju energije („yearly PV energy production“ [kWh]), odnosno fotonaponski potencijal prema terminologiji ovih Smjernica.

Uz procijenjenu godišnju proizvodnju energije, PVGIS daje i nekoliko ostalih rezultata, među ostalim, i proizvodnju električne energije po mjesecima, Sunčevu iradijaciju na promatranoj području, i kretanje Sunca tijekom godine.

Shema kategorizacije objekata prikazana je na slici u nastavku.

### Shema kategorizacije



### 5.13. Rezultati analize

Analizom krova na promatranom području odredit će se svi **objekti za koje se s velikom sigurnošću mogu osigurati zadovoljavajuće količine proizvedene električne energije ili zadovoljavajući rok povrata investicije**. Proračunom u PVGIS aplikaciji također će se izračunati **fotonaponski potencijal**, odnosno procijenjena godišnja proizvodnja energije svih objekata označenih kao povoljni za postavljanje fotonaponskih panela.

Indirektno, procesom eliminacije objekata u procesu analize, jedan od značajnih podataka svakako jest i broj objekata koji nisu zadovoljili kriterije analize, odnosno za koje je utvrđeno da nisu podobni za postavljanje fotonaponskih modula. Zajedno s informacijom o postotku „povoljnih površina“, u odnosu na ukupne površine krova, provedba takvih analiza na većem setu podataka može pružiti kvalitetne ulazne podatke za stvaranje metode aproksimacije podataka kojom se može utvrditi fotonaponski potencijal specifičan za cijelokupnu Primorsko-goransku županiju.

## 6. Zaključak

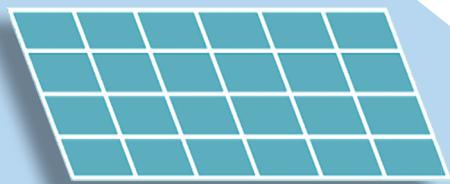
U skladu s obvezama korištenja obnovljivih izvora energije proizašlim iz Prostornog plana Primorsko-goranske županije, ali i postojećoj zakonskoj regulativi, Javna ustanova Zavod za prostorno planiranje Primorsko-goranske županije izradila je „Smjernice za analizu kroova za postavljanje fotonaponskih modula“ kao okvir jedinicama lokalne samouprave u ispunjavanju navedenih zahtjeva.

Jedan od glavnih fokusa ovih Smjernica jest utvrditi fotonaponski potencijal svih zgrada u javnom vlasništvu (škole, vrtiće, zgrade općina i sl.) i višestambenih zgrada u privatnom vlasništvu. Te su zgrade u prosjeku veće tlocrte površine i na njima je moguće proizvesti najveće količine električne energije. Zbog više razloga, kod javnih i višestambenih zgrada u stvarnosti postoji slaba inicijativa za pokretanje projekata izgradnje fotonaponskih elektrana.

Cilj je ovih Smjernica popularizirati proizvodnju električne energije na krovovima zgrada. Na osnovi ovih Smjernica, sve zainteresirane stranke (ponajprije jedinice lokalne samouprave na području Primorsko-goranske županije) mogu na relativno brz i pouzdan način utvrditi povoljnost krova za ugradnju fotonaponskih modula i fotonaponski potencijal određenog područja.

Zbog najpovoljnije insolacije kao i osjetljivosti elektroopskrbne mreže, kvarnerski otoci su prepoznati kao područje Primorsko-goranske županije na kojem bi povećanje udjela solarne energije donijelo najviše koristi.

# Dodatak



Primjer analize  
krovova

Javna ustanova **Zavod za prostorno uređenje**  
PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE



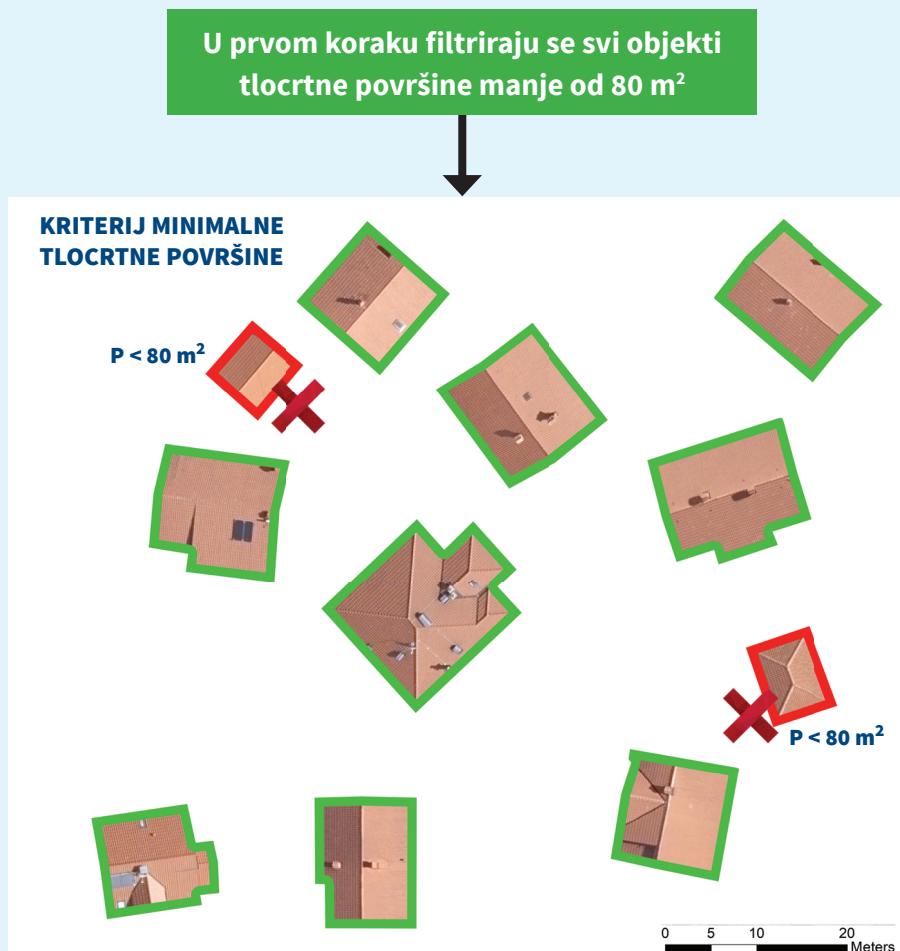
## Analiza krova za utvrđivanje fotonaponskog potencijala

U nastavku je na konkretnom primjeru prikazan postupak kategorizacije objekata i utvrđivanja fotonaponskog potencijala na odabranom setu podataka koji uključuje 11 objekata.

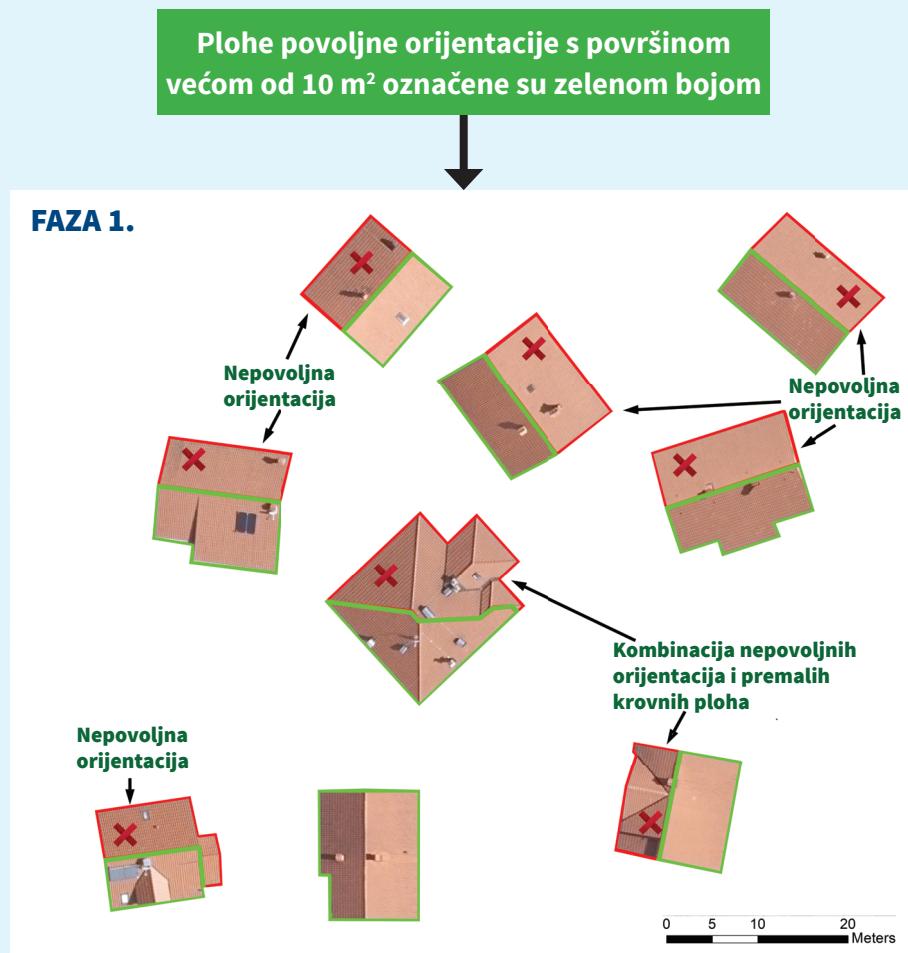
CILJ ANALIZE:

- Utvrditi sve objekte na koje se s velikom sigurnošću može postaviti fotonaponsku elektranu snage 5 kW.
- Utvrditi fotonaponski potencijal područja.

ULAZNI PODATAK: digitalna ortofoto podloga (DOF) preciznosti 5 cm, ručno označene tlocrtne površine krova



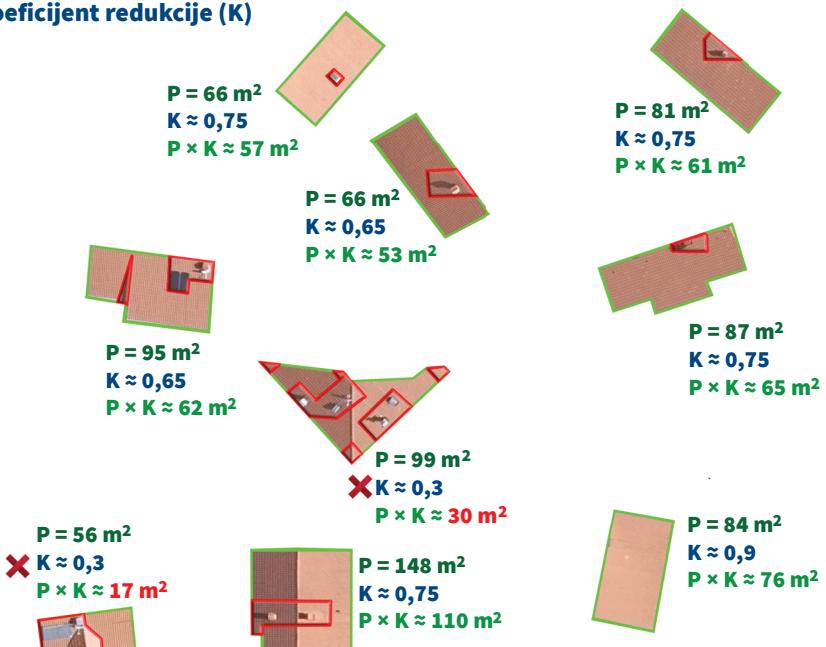
**FAZA 1.** U Fazi 1. izbacuju se sve plohe sjeverne orijentacije (uključujući sjeveroistok i sjeverozapad) i sve krovne plohe za koje je ocijenjeno da nemaju dovoljno veliku površinu za postavljanje fotonaponskih modula ( $< 10 \text{ m}^2$ ).



**FAZA 2.** Faza 2. provodi se na način da se preostalim površinama povoljne orientacije iz Faze 1. dodijeli koeficijent redukcije ovisno o broju i izgledu građevnih elemenata i utjecaja za koje se prepostavi nepovoljan utjecaj za postavljanje fotonaponskih modula i proizvodnju električne energije. Umnožak preostalih površina i koeficijenata redukcije naziva se „povoljnom površinom za postavljanje fotonaponskih modula“.

Nastavno na cilj utvrđivanja krovova na kojima je moguće postaviti FN elektrane min. snage 5 kW  
– određena je granična „povoljna“ površina od 50 m<sup>2</sup>.

**FAZA 2.**  
Koeficijent redukcije (K)



## Kategorizacija

Na osnovi „povoljne površine za postavljanje fotonaponskih modula“ provodi se kategorizacija objekata u dvije skupine (granična površina je 50 m<sup>2</sup>):

- **Pogodni**
- **Nepogodni.**

U predmetnom primjeru, od 9 preostalih krovova, 7 je kategorizirano povoljnima za postavljanje fotonaponskih modula.

**Radi određivanja fotonaponskog potencijala nakon kategorizacije slijedi:**

1. Svaka „povoljna površina“ množi se s koeficijentom 0,167 (kW/m<sup>2</sup>) kako bi se dobilo maksimalnu teoretsku snagu FN elektrane.
2. Ovisno o tipu krova (kosi ili ravni) reducira se maksimalnu teoretsku snagu za 25% (kosi krovovi) ili 35% (ravni krovovi) za dobivanje procijenjene snage FN elektrane.
3. Procijenjenu snagu dodatno se reducira ovisno o orijentaciji objekata (koeficijent 1,0 [jug], 0,93 [jugoistok, jugozapad] ili 0,8 [istok, zapad]).

Konačni rezultat je „reducirana snaga“ elektrane.

Zbroj svih „reduciranih snaga“ FN elektrana daje ulazni podatak o snazi elektrane za proračun FN potencijala u PVGIS aplikaciji.

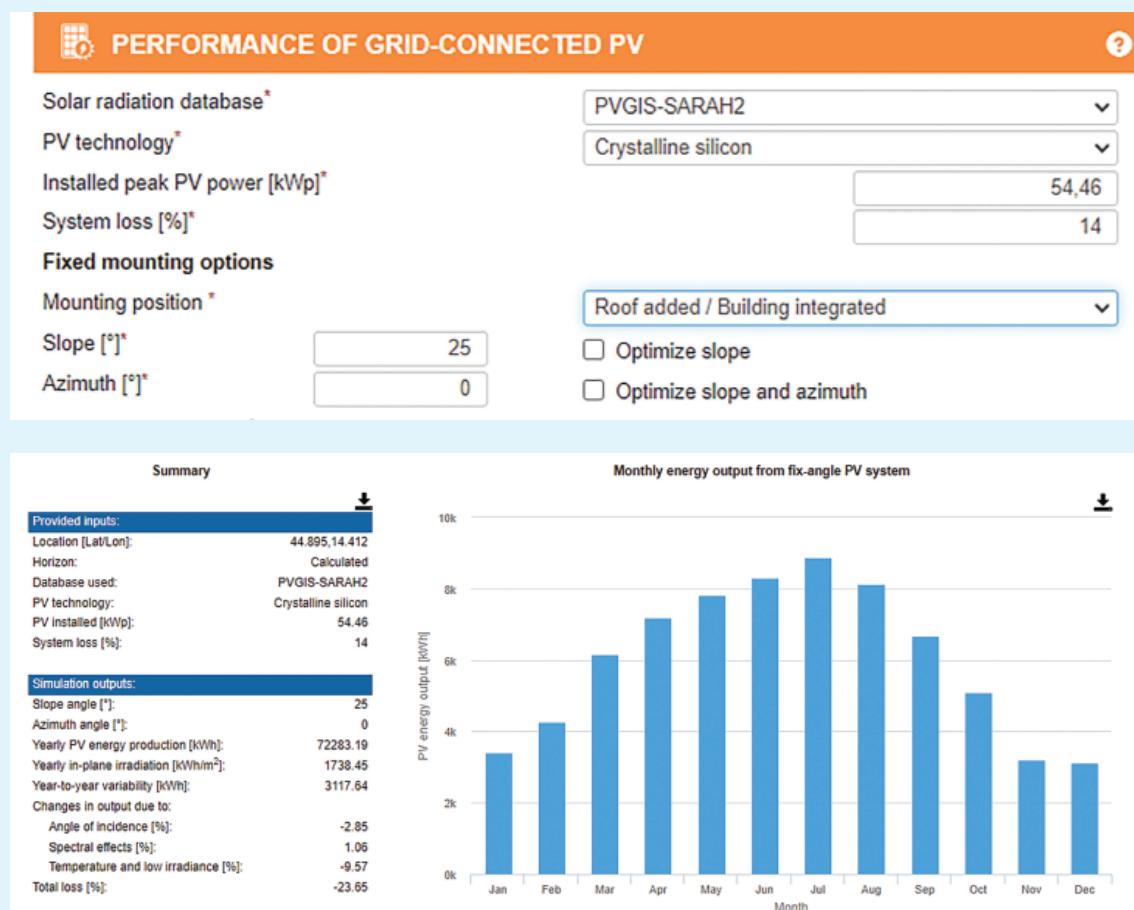
Povoljna površina (m <sup>2</sup> )	Maks. teoretska snaga FN elektrane (kW)	Tip krova	Procijenjena snaga FN elektrane	Koeficijent orijentacije	Reducirana snaga (kW)
57	$57 \times 0,167 = 9,52$	Kosi (0,75)	$9,52 \times 0,75 = 7,14$	0,93	$7,14 \times 0,93 = 6,64$
53	8,85	Kosi (0,75)	6,64	0,93	6,17
61	10,19	Kosi (0,75)	7,64	0,93	7,10
62	10,35	Kosi (0,75)	7,76	1	7,76
65	10,86	Kosi (0,75)	8,15	1	8,15
110	18,37	Kosi (0,75)	13,78	0,8	11,02
76	12,69	Kosi (0,75)	9,52	0,8	7,62
<b>484</b>			<b>57,63</b>		<b>54,46</b>

## Photovoltaic Geographical Information System – PVGIS

Početni korak u PVGIS-u je definiranje okvirne lokacije područja i unošenje tehničkih parametara FN elektrane.

### Parametri u PVGIS-u:

- Za solarnu bazu podataka i tehnologiju izrade preporuča se ostaviti zadane (predefinirane) vrijednosti.**
- Vršna fotonaponska snaga jednaka je zbroju „reduciranih snaga“.**
- Sistemski gubici → preporuča se ostaviti zadane vrijednosti od 14 %.**
- Nagib modula aproksimiran je prosječnim nagibom krovova od 25 %.**
- Azimut (odmak od juga) → 0 % s obzirom na to da je faktor orijentacije već uračunat prilikom izračuna reducirane snage FN elektrane.**



## Izvori slikovnih priloga

- Naslovnica – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
9. str. – <https://creazilla.com/>; 2. 10. 2023.  
11. str. – <http://www.control-solar.com/>; 2. 10. 2023.  
12. str. – <https://eea.innovationnorway.com>; 2. 10. 2023.  
13. str. (gore) – <https://www.solarpulseenergy.com>; 2. 10. 2023.  
13. str. (dolje) – <https://www.turbosquid.com>; 2. 10. 2023.  
15. str. – <https://www.istockphoto.com>; 2. 10. 2023.  
17. str. – <https://globalsolaratlas.info/map>; 2. 10. 2023.  
18. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
19. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
20. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
21. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
22. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
23. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
24. str. – <https://m.indiamart.com>; 2. 10. 2023.  
29. str. – <https://creazilla.com>; 2. 10. 2023.  
31. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
33. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
34. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
36. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
40. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
41. str. – <https://re.jrc.ec.europa.eu>; 2. 10. 2023.  
42. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
45. str. – <https://creazilla.com>; 2. 10. 2023.  
46. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
47. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
48. str. – JU ZZPU PGŽ; obrada: autor  
50. str. – <https://re.jrc.ec.europa.eu>; 2. 10. 2023.



pg  
č

ISBN 978-953-58515-7-8