

**IDEJNO TEHNIČKO RJEŠENJE - PROJEKAT SOLAR 5000+**  
**Fotonaponski sistemi sa opsegom snage 10 kW - 1000 kW**  
Korisnici: Fizička i pravna lica

**Objekat: Fotonaponski sistemi snage 10 kW - 1000 kW**

**Lokacija: Crna Gora**

**Investitor: Elektroprivreda Crne Gore A.D.**

**Projektant: Greener d.o.o.**



## SADRŽAJ

1. PROJEKTNI ZADATAK.....	3
2. UVOD.....	6
2.1 IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	7
2.2 ANALIZA POTROŠNJE POSLOVNIH OBJEKATA.....	7
2.3 TEHNIČKI PREDUSLOVI ZA INSTALACIJU FOTONAPONSKOG SISTEMA.....	8
3. TEHNIČKO RJEŠENJE.....	8
3.1 Priključenje objekta na distributivnu mrežu .....	8
3.2 Izbor fotonaponskih modula .....	10
3.3 Invertor – zahtjevane tehničke karakteristike .....	11
3.4 OČEKIVANI REZULTATI PROJEKTA SOLAR 5000+ .....	14
3.5 Preporuke za konfiguraciju fotonaponskog sistema.....	15
3.6 Sistem za monitoring tehničkih i ekonomskih parametara .....	16
3.7 Energetska oprema za priključenje fotonaponskog sistema .....	17
3.8 Potkonstrukcija .....	17
3.9 Gromobranska instalacija .....	19
4. PREDMJER I PREDRAČUN.....	22

## 1. PROJEKтни ZADATAK

### ПРОЈЕКТНИ ЗАДАТАК

Суочени са неминовношћу реализације што брже и ефикасније енергетске транзиције, преласка производње електричне енергије са фосилних горива на обновљиве изворе, а свјесни чињенице да Црна Гора има изузетне потенцијале за производњу електричне енергије засноване на принципу фотонапонског ефекта, ЕПЦГ покреће иницијативу за реализацију Пројекта Солари 5000+ (даље у тексту 5000+) за физичка и правна лица,.

Овај Пројекат обухвата:

1. Набавку средстава за финансирање пројекта 5000+.
2. Израду техничког рјешења, техничке спецификације и набавку опреме за потребе пројекта.
3. Уградњу мрежно повезаних (он грид) фотонапонских система снаге од 10 до 1000 kW на објектима у власништву физичких и правних лица.
4. Обезбјеђење субвениције финансирања пројекта од стране ЕПЦГ у износу од 20%.

Комисија за инвестиције у енергетски сектор ће формирати **Пројектни одбор**, тијело које ће бити одговорно за реализацију пројекта, а у чијем саставу ће бити представници Владе Црне Горе, Еко Фонда, ЕТФ-а, Цедиса, ЕСГ-а и ЕПЦГ-а. Пројектни одбор ће реализовати следеће активности:

- a. Урадити Студију изводљивости.
- b. Урадити Идејно техничко рјешење
- ц. Расписати Јавни позив за обезбјеђење финансирања пројекта 5000+. С обзиром да европске и свјеске банке издвајају значајна средства за финансирање „зелених пројеката“, Јавни позив конципирати на начин да се обезбједи максимални могући износ грантова (бесповратних средстава). Максимални износ кредита би износио 70 милиона евра.
- д. Финансирање, односно кредитирање пројекта 5000+ треба да, уколико је могуће, обезбједи да корисници плаћају рату кредита, за соларну опрему, која ће бити димензионисана на начин да покрије све годишње потребе корисника за електричном енергијом, на годишњем нивоу.
- e. Контрола техничке спецификације за тендерски поступак набавке опреме која је потребна за реализацију пројекта 5000+
- ф. Извршити набавку неопходне опреме - јавни позив
- г. Организовати снажну и правовремену медијску кампању за анимацију корисника да учествују у пројекту

- х. Јавни позив за грађане-кориснике и правна лица који задовољавају услове позива
- и. Дефинисање неопходних процедура за припрему техничке документације и извођење радова

Вриједност пројекта може износити максимално 70 милиона евра и укупна инсталисана снага може износити укупно 70 MW.

Један од основних елемената овог Пројекта је обезбјеђивање таквог начина финансирања да се омогући учеснику у пројекту, физичком или правном лицу, да му кредитна рата, за отплату инсталисане опреме, по могућности, не буде већа од дотадашњих трошкова за утрошену електричну енергију, не рачунајући на ангажовање мрежног капацитета (максиграф).

Приликом реализације пројекта мора се водити рачуна о регионалној заступљености потрошача, не угрожавајући економску оправданост пројекта.

Неопходно је узети у обзир и што равномјернију заступљеност свих потрошача (водећи рачуна о њиховој досадашњој потрошњи израженој у kWh), не угрожавајући техничке карактеристике фотонапонских система и финансијску оправданост пројекта.

Да би се реализовао Пројекат неопходно је урадити Идејно-техничко решење које ће одговорити основној поставци пројектног задатка.

Потребно је урадити свеобухватну Студију изводљивости, укључујући варијабилност основних параметара, инсталисане снаге ФНСЕ, цијене опреме, број сунчаних сати, цијене електричне енергије на берзи, каматних стопа за кредитирање пројекта, са и без субвенција.

Приликом израде Идејног техничког рјешења и коначне Студије изводљивости, потребно је разматрати вриједности историјске потрошње предметних објеката на основу чега је потребно формирати снагу фотонапонског система довољног за комплетно покривање потреба за електричном енергијом на годишњем нивоу. Додатно, потребно је анализирати однос одобрене прикључне снаге система и снаге предложеног фотонапонског система (у складу са ставом 1 члана 96 важећег Закона о енергетици) као и расположиве кровне површине за монтажу фотонапонских модула.

Приликом одређивања количина и снага инверторских уређаја који ће бити коришћени у пројекту 5000+, обезбједити флексибилност у креирању конкретних техничких рјешења како би се што прецизније димензионисао производни капацитет који покрива потребе крајњег корисника.

Разматрајући соларни потенцијал на територији Црне Горе као и густину насељености за потребе овог пројекта, предлаже се следећа регионална заступљеност уградње планираних фотонапонских система:

- 40% инсталација југ - приморје,
- 40% инсталација средишњи дио,
- 20% инсталација сјевер.

Идејним рјешњем дати предлог процентуалне расподјеле потконструктивних елемената за монтажу фотонапонских модула, анализирајући типове кровних покривача објеката за које су власници исказали заинтересованост за опремање фотонапонским системом.

---

Милутин Ђукановић  
Предсједник Одбора директора



EPCG AD Nikšić / Montenegrin Electric Enterprise AD Niksic

## 2. UVOD

Predmet ove dokumentacije je tehničko rješenje fotonaponskih sistema za proizvodnju električne energije koji se planiraju realizovati na krovovima objekata u vlasništvu fizičkih i pravnih lica. Ukupna planirana snaga svih fotonaponskih sistema koji će biti realizovani projektom iznosi 70 MW. Objekti na kojima se planira izgradnja fotonaponskih sistema su rezidencijalni (stambeni objekti u vlasništvu fizičkih lica), hoteli, restorani, privredni objekti, sportske hale, skladišta, tržni centri, benzinske stanice, javni objekti (škole, bolnice, administrativne zgrade) i svi ostali objekti u kojima jedno ili više pravnih lica obavlja djelatnost. Dokument ima za cilj definisati osnovne tehničke kriterijume razvoja projekta SOLAR 5000+ i dati smjernice za njegovu implementaciju.

Cilj decentralizovane instalacije fotonaponskih sistema je podmirivanje sopstvenih potreba krajnjeg potrošača za električnom energijom. Preduslov za instalaciju je postojanje raspoložive krovne površine za montažu fotonaponskih modula koja mora biti u potpunosti osunčana, bez zasjenčenja okolnih objekata, stabala, ventilacionih izvoda, dimnjaka i drugih objekata. Dodatan uslov jeste postojanje aktivne potrošnje električne energije na lokaciji na kojoj se gradi fotonaponski sistem, pogotovo u periodu kada se vrši proizvodnja električne energije. Dimenzionisanje sistema se vrši na osnovu istorijskih podataka o potrošnji objekta, na godišnjem nivou.

Sistem za proizvodnju električne energije se planira priključiti na postojeću elektroenergetsku infrastrukturu, u skladu sa uslovima za priključenje koje izdaje operator distributivnog sistema (ODS). Tačka priključenja fotonaponskog sistema na distributivnu mrežu mora biti locirana na granici vlasništva, na fasadi objekta, odnosno drugom podesnom mjestu van objekta, dostupnom za očitavanje tehničkih parametara, kontrolu i manipulacije stručnim službama CEDIS-a.

U skladu sa važećim Zakonom o energetici (član 96), ovim projektom se razvija prosumer koncept (produce and consume) u Crnoj Gori. Koncept prosumer podrazumjeva aktivnu razmjenu električne energije sa distributivnom mrežom pri čemu korisnik (fizičko ili pravno lice) isporučuje višak u distributivnu mrežu i povlači iz nje u skladu sa sopstvenim potrebama. Energetski bilansi se svode 01.aprila tekuće godine nakon čega se vrši obračun predate i preuzete električne energije.

Snage fotonaponskih sistema će biti definisane nakon tehničke analize objekta a ista će se naći u opsegu 10-1000 kW.

Dimenzionisanje snage sistema bi trebalo vršiti prema sljedećim kriterijumima:

1. Realne potrebe objekta za električnom energijom – analiza profila potrošača
2. Raspoloživa krovna površina i stanje krovne površine
3. Odobrena priključna snaga objekta i tehničke mogućnosti priključenja na distributivnu mrežu



**Slika 1:** Izvođenje fotonaponskog sistema na krovu poslovnog objekta  
(izvor: [www.carolinasolarquote.com](http://www.carolinasolarquote.com))

Analizom istorijskih podataka o potrošnji poslovnih objekata koji su dostupni snabdjevaču (EPCG), kao i detaljnim sagledavanjem uslova u kojima će takav sistem funkcionisati (mikrolokacija, orijentacija i nagib krovne površine, zasjenčenje od ostalih objekata) moguće je odrediti snagu fotonaponskog sistema koji bi u uslovima neto mjerenja, na godišnjem nivou pokrивao sve potrebe korisnika za električnom energijom.

## 2.1 IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

U skladu sa Zakonom o planiranju i izgradnji objekata (član 223), fotonaponski sistemi snage 30 kW do 5 MW se svrstavaju u kategoriju lokalnih objekata od opšteg interesa. Za ove objekte je potrebno izraditi Glavni projekat fotonaponskog sistema sa pratećim Elaboratima koji se odnose na analizu statičke stabilnosti objekta nakon postavljanja fotonaponskih modula kao i na zaštitu od požara.

Prije izrade tehničke dokumentacije, potrebno je pribaviti Urbanističko-tehničke uslove (UTU) i uslove za priključenje na distributivnu mrežu. Ovi uslovi mogu biti objedinjeni u jedan dokument. Izradu tehničke dokumentacije je potrebno vršiti u svemu prema važećem Pravilniku o načinu izrade i sadržini tehničke dokumentacije ("Službeni list Crne Gore", br. 044/18 od 06.07.2018).

Nakon završetka izrade tehničke dokumentacije, projekat je potrebno revidovati od strane ovlaštene organizacije i pribaviti sve potrebne saglasnosti.

Dobijanje pozitivnog izvještaja revizije je jedan od posljednjih administrativnih koraka nakon čega se vrši prijava građenja i kreće u realizaciju investicije. Nakon provjere instalacije i puštanja sistema u rad, sklapa se Ugovor između korisnika i snabdjevača o razmjeni električne energije.

## 2.2 ANALIZA POTROŠNJE POSLOVNIH OBJEKATA

Analizom istorijskih podataka o potrošnji poslovnih objekata dostavljenih od strane Investitora EPCG, (ukupan broj analiziranih potrošača 1 245), izvršena je klasifikacija grupa potrošača prema odobrenoj snazi objekta koja je ujedno i maksimalna snaga fotonaponskog sistema koji se može priključiti na predmetnoj lokaciji. U sljedećoj tabeli su prikazani rezultati analize.

Tabela 4: Analiza broja potrošača i procentualna raspodjela po kategorijama potrošnje

STRUKTURA ANALIZIRANIH POTROŠAČA				
Odobrena snaga	Broj potrošača	Procent. učešće	Prosječna godišnja potrošnja	Ukupna godišnja potrošnja
do 33 kW	990	79.52%	48 481 kWh	<b>47.996 GWh</b>
od 30 do 50 kW	45	3.61%	78 366 kWh	<b>3.526 GWh</b>
od 50 do 100 kW	51	4.10%	154 089 kWh	<b>7.858 GWh</b>
od 100 do 150 kW	54	4.34%	188 443 kWh	<b>10.175 GWh</b>
od 150 do 200 kW	42	3.37%	392 932 kWh	<b>16.503 GWh</b>
od 200 do 250 kW	41	3.29%	256 136 kWh	<b>10 501 GWh</b>
preko 250 kW	22	1.77%	394 912 kWh	<b>8 688 GWh</b>
<b>Ukupno</b>	<b>1245</b>	<b>100%</b>		<b>105.24 GWh</b>

Procjenjuje se da će prosječna potrošnja preduzeća konstatno rasti.



Dalje je izvršena analiza potrebne snage fotonaponskog sistema za podmirivanje kompletne potrošnje električne energije pretpostavljajući da svaki od navedenih objekata posjeduje dovoljnu raspoloživu krovnu površinu za instalaciju fotonaponskih modula (s obzirom da projektant nije imao precizne informacije o raspoloživim krovnim površinama objekta, usvojena je ova pretpostavka).

Proračun snage fotonaponskog sistema je određen prostim dijeljenjem ukupne godišnje potrošnje objekta sa 1250 jer je na osnovu svih dosadašnjih analiza solarnog potencijala različitih lokacija na nivou Crne Gore moguće definisati prosječnu specifičnu godišnju proizvodnju električne energije iz 1 kW instalisanog fotonaponskog sistema koja iznosi 1250 kWh/kW (prosječna vrijednost je uzeta sa rezervom od cca 10% kako bi rezultat proizvodnje u svakom slučaju ispunio projektovane vrijednosti).

Najveći broj analiziranih potrošača (>90%) ima potrebu za fotonaponskim sistemom čija se snaga kreće u opsegu 10 – 1000 kW te se ovim projektom predlaže nabavka fotonaponske opreme čijom se kombinacijom mogu kreirati svi navedeni sistemi. **Na ovaj način, ostvariće se apsolutna fleksibilnost u prilagođavanju tehničkog rješenja potrebama objekta.**

## 2.3 TEHNIČKI PREDUSLOVI ZA INSTALACIJU FOTONAPONSKOG SISTEMA

Da bi sistem mogao biti implementiran, potrebno je obezbjediti osnovne tehničke preduslove:

- raspoloživu krovnu površinu za instalaciju fotonaponskih modula (pod raspoloživom površinom podrazumijeva se krovna površina na kojoj nema ventilacionih izvoda, dimnjaka, krovnih prozora ili bilo kakvih fizičkih prepreka kao ni sjenke od strane objekata koji se nalaze na krovu ili u neposrednoj blizini glavnog objekta); krovna površina mora biti orjentisana južno (jugoistočno ili jugozapadno) pri čemu opseg azimutnog ugla iznosi 90° - 270° (gledano od sjevera, u smjeru kretanja kazaljke na satu); Minimalni nagibni (altitudni) ugao krovne površine iznosi 5°;
- priključenje na distributivnu mrežu u skladu sa Uslovima operatora distributivne mreže (ODS) poštujući sva tehnička ograničenja;

Za jedan dio objekata (40%) je potrebno izvršiti povećanje odobrene snage objekta kako bi se na mjestu lokacije mogao priključiti fotonaponski sistem koji će u potpunosti zadovoljiti potrebe korisnika. Inicijativu za povećanje snage je potrebno podnijeti ODS-u isključivo ukoliko se utvrdi da postoji dovoljna raspoloživa površina za montažu svih potrebnih fotonaponskih modula. **Proceduru za povećanje odobrene snage objekta je potrebno prilagoditi u administrativnom i tehničkom smislu kako bi operator distributivne mreže imao što preciznije informacije sa terena.**

**Sa pravne strane, korisnik je dužan biti legalan potrošač i posjedovati uredan list nepokretnosti za objekat na kome planira izgradnju fotonaponskog sistema, bez tereta.**

## 3. TEHNIČKO RJEŠENJE

### 3.1 Priključenje objekta na distributivnu mrežu

Radi postizanja fleksibilnosti u pripremi tehničkih rješenja, predlaže se kombinovana upotreba invertora snage 10 kW, 20 kW, 50 kW i 100 kW. Na ovaj način, omogućena je optimizacija tehničkog rješenja i preciznije prilagođavanje proizvodnih kapaciteta potrebama krajnjeg korisnika za



električnom energijom. Broj invertora je određen detaljnom analizom prijavljenih korisnika i njihovih potreba za pokrivanje sopstvene potrošnje objekta.

Tabelarni prikaz potrebne količine invertora je sljedeći:

Tip invertora	Invertor 10 kW	Invertor 20 kW	Invertor 50 kW	Invertor 100 kW
Količina	500	800	280	350
<b>UKUPNO:</b>	<b>70 MW</b>			

Tačka priključenja mora biti određena od strane projektanta a sve u skladu sa preporukama I uslovima za priključenje koje izdaje operator distributivne mreže. To može biti ormar koji se postavlja na fasadi objekta (ili na fasadi trafostanice) ali i niskonaponski blok postojeće transformatorske stanice ukoliko uslovi na terenu zadovoljavaju primjenu ovakvog rješenja. Svakako, u skladu sa uslovima ODS-a, na "pragu elektrane" potrebno je predvidjeti kontrolno brojilo za očitavanje ukupne proizvedene električne energije. Podatke o strujama brojilo preuzima preko strujnih transformatora X/5A a prenosni odnos je potrebno odrediti u zavisnosti od snage sistema.

Za sisteme snage do 30 kW, neophodno je predvidjeti osnovnu relejnu zaštitu (podnaponska/prenaponska, podfrekventna/nadfrekventna, prisutnost, redosljed I asimetrija faza) dok se za sisteme snage preko 30 kW predviđa upotreba multifuncionalnog releja koji ima integrisane ROCOF (Rate of change of frequency) i VVS (Voltage Vector shift) zaštite. **Podešavanje zaštite mora vršiti sertifikovano lice, zajedno sa inženjerima relejne zaštite operatora distributivnog sistema.**

Nakon definisanja snage sistema, potrebno je izvršiti dimenzionisanje napojnih kablova na relacijama inverter – RO-AC-PV I RO-AC-PV – tačka priključenja.

Zaštita na DC strani se ostvaruje upotrebom DC odvodnika prenapona koji je integrisan u invertorskom uređaju. Prekostrujna zaštita na DC strani se, po potrebi, ostvaruje upotrebom DC topljivih osigurača koji su integrisani u invertorskom uređaju. Kada se na isti MPPT priključuje više od dva stringa, tada je potrebno obezbijediti prekostrujnu zaštitu jer u slučaju pojave kvara na jednom stringu, ostala dva koja su paralelno povezana sa njim napajaju mjesto kvara te može doći do pregrijavanja ove pozicije I eventualno pojave požara. Tehničkim preporukama je definisano da nazivna struja topljivog osigurača mora biti u opsegu  $1.5 \times I_{sc} < x < 2.4 \times I_{sc}$  pri čemu je  $I_{sc}$  struja kratkog spoja fotonaponskog modula koju deklarirše proizvođač. Predloženim konfiguracijama sistema, ne postoji slučaj gdje se na isti MPPT uređaj paralelno povezuje više od dva stringa te nije neophodno obezbijediti zaštitu od preopterećenja na DC strani sistema. Ipak, predlaže se upotreba integrisanih topljivih osigurača nazivne struje 20 A kao dodatna zaštita sistema.

U skladu sa važećim standardom MEST EN 50549-1 kao i tehničkim preporukama ODS, podešenje zaštite invertora je potrebno izvesti u skladu sa vrijednostima iz sljedeće tabele:

Tabela 5: Vrijednosti prema kojima je potrebno podesiti zaštitu fotonaponskog sistema

Zaštitna funkcija	Ograničenje	Vrijeme djelovanja
Podnaponska $U <$	195 V	1,5 s
Prenaponska $U >$	253 V	0,2 s
Podfrekventna $f <$	47 Hz	1 s
Nadfrekventna $f >$	51 Hz	0,2 s
Trajni prenapon ( $U_{NOM\_max}$ srednje 10min)	253 V	3 s
Zaštita od ostrvskog rada (Vektorski skok)	7°	Trenutno
Zaštita od ostrvskog rada ( $df/dt$ )	1 Hz/s	Trenutno
Podešenje napona za automatsko ponovno priključenje nakon ispada u mreži	$0,85 \times U_n \leq U \leq 1,1 \times U_n$	
Podešenje frekvencije za automatsko ponovno priključenje nakon ispada u mreži	$49,5 \text{ Hz} \leq f \leq 50,1 \text{ Hz}$	

Vrijeme ponovnog uključanja nakon ispada u mreži	60 s
Gradijent aktivne snage nakon ponovnog priključenja	10 % Pmax / min
Trajno injektiranje jednosmjerne struje	0,5% nominalne izlazne struje invertora ili 20mA

Dio tehničkih zahtjeva se ostvaruje podešenjem relejne zaštite koja reaguje na špulnu kontaktora za odvajanje fotonaponskog sistema od distributivne mreže dok se drugi dio ostvaruje izborom invertora koji je testiran u skladu sa standardima koji propisuju integrisane zaštite koje uređaj mora posjedovati da bi mogao normalno funkcionisati.

Svi razvodni ormari u kojima se vrši smještaj energetske opreme za priključenje fotonaponskog sistema moraju biti označeni propisanim tablicama upozorenja da se na lokaciji vrši dvostrano napajanje. Veoma je važno obezbijediti bezbjednu integraciju fotonaponskih sistema kroz upoznavanje korisnika sa elementima sistema i neophodnim mjerama zaštite.

### 3.2 Izbor fotonaponskih modula

Oprema fotonaponskih sistema je konstatno u procesu unapređivanja pri čemu se efikasnost pojedinih elemenata neprekidno povećava. Za potrebe ovog tehničkog rješenja a koje podrazumjeva implementaciju fotonaponskih sistema na krovnim površinama poslovnih objekata, predlaže se upotreba monofacijalnih monokristalnih fotonaponskih modula. Monokristalne silicijumske module u odnosu na polikristalne karakteriše veća mehanička otpornost, veća efikasnost, bolji temperaturni koeficijent, duži vijek trajanja, manji uticaj na proizvodnju uslijed visokih temperatura i smanjenje iradijacije. Ovi moduli su djelimično skuplji od polikristalnih ali sve gore navedene prednosti opravdavaju investiciju, pogotovo ukoliko se posmatra eksploatacioni period od 25 godina koliko iznosi radni vijek sistema.

Na tržištu se trenutno nalaze monokristalni moduli različitih dimenzija i snaga. Na osnovu detaljne analize dimenzija modula, njihove težine i mogućnosti manipulacije na visinama, a s obzirom da projekat tretira izgradnju sistema većih kapaciteta (do 1 MW), opravdana je upotreba modula snage 540 Wp koji ima neznatno veće dimenzije. Detaljne tehničke karakteristike su definisane nakon detaljne analize 10 najzastupljenijih modula na tržištu. Minimalna efikasnost ovog modula iznosi 20.65%. Smanjenje efikasnosti tokom eksploatacije, usled degradacije modula, iznosi 2% u prvoj godini i 0.55% tokom svake naredne godine. Nakon 25 godina, očekuje se da moduli rade sa minimalnom efikasnošću od 84.8%. Okvirne dimenzije modula snage 540 Wp su 2278x1133x35mm a iste variraju u zavisnosti od proizvođača. Fotonaponski moduli moraju biti izrađeni u half cell tehnologiji i posjedovati Anti PID (potential induced degradation) zaštitu.

Standardna garancija na fotonaponske module iznosi 12 godina na proizvod i 25 godina na performanse fotonaponskih ćelija. U tenderskoj dokumentaciji bi trebalo zadržati istovjetne garancije proizvođača.

Osnovne karakteristike predloženog fotonaponskog modula su date u sljedećoj tabeli:

Monokristalni fotonaponski modul snage 540 Wp	
Snaga modula (STC*)	540Wp
Napon Vmpp (STC)	31,2 V – 42,15 V
Struja Imp (STC)	12,81 A – 17,33 A
Napon otvorenog kola (STC)	37,5 V – 49,9 V

Struja kratkog spoja (STC)	13,75 A – 18,41 A
Snaga modula (NOCT**)	400,9 Wp – 409 Wp
Napon Vmpp (NOCT)	29 V – 39,7 V
Struja Imp (NOCT)	10,25 A – 14,1 A
Napon otvorenog kola (NOCT)	35,14 V – 47,4 V
Struja kratkog spoja (NOCT)	10,86 A – 14,91 A
Maksimalni napon modula	1500 V DC
Efikasnost modula $\geq 20\%$	$\geq 20,65\%$
Tehnologija	Half-cell
Temperaturni koeficijent pri Pmax	$\geq -0.36 \%/K$
Efikasnost ćelija nakon 25 godina	$\geq 83.1\%$
Minimalna debljina stakla	3.2mm
Debljina anodiziranog aluminijumskog okvira	35mm
Težina modula	$\leq 29$ kg
Opterećenje od snijega	$\geq 5$ 400 Pa
Opterećenje od vjetra	$\geq 2$ 400 Pa
Radna temperatura	-40 do + 85°C
Dužina kablova	$\geq 1$ 000 mm
Minimalna IP zaštita razvodne kutije	IP 67
Minimalna garancija na proizvod	12 godina
Minimalna garancija na efikasnost ćelija	25 godina
Dodatne zaštite	Anti PID (potential induced degradation)
Standardi	IEC 61215-1-1:2021 ED2, IEC 61730-1:2019, IEC 61701:2020 ED3, IEC 62716:2013/COR1:2014 ED1, G59/3

\*STS (Standard test conditions) – standardni test uslovi: fotonaponski panel čist, bez prašine I drugih nečistoća koje su moguće u realnim uslovima, iradijacija 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura ćelije 25°C, koeficijent vazdušne mase 1.5, svi parametric u skladu sa standardom MEST EN 60904-3

\*\*NOCT (Normal operating cell temperature) – temperature ćelije pri sljedećim uslovima: iradijacija 800 W/m<sup>2</sup>, brzina vjetra 1m/s, ambijentalna temperatura 20°C

**Prije početka realizacije projekta, potrebno je razmotriti i kreirati mehanizam provjere efikasnosti fotonaponskih ćelija tokom eksploatacionog perioda i maksimalno zaštititi korisnike. Detaljne analize se mogu vršiti u sklopu profesionalne laboratorije za ispitivanje tehničkih karakteristika modula koja mora biti organizovana na nacionalnom nivou, u skladu sa evropskim preporukama i standardima koji uređuju ovu oblast.**

### 3.3 Invertor – zahtjevane tehničke karakteristike

Invertori koji vrše DC/AC transformaciju moraju biti trofazni, bez transformatora, sa efikasnošću  $\geq 98\%$ . Radi se o mrežno upravljanim uređajima koji ne mogu raditi u ostrvskom režimu tj. ne mogu funkcionisati u slučaju nestanka napajanja iz distributivne mreže i gubitka sinhronizma. Invertori moraju biti opremljeni sa minimalno dva MPPT uređaja kako bi se na isti invertor moglo izvršiti

paralelno priključenje modula postavljenih na dvije krovne površine, sa različitim nagibnim uglovima i u različitim orijentacijama. Na ovaj način se povećava fleksibilnost tehničkog rješenja.

Invertor snage 100 kW može biti opremljen samo sa jednim MPPT uređajem jer se upotreba ovog invertora planira za veće sisteme gdje postoje značajne krove površine sa istom orijentacijom i nagibom.

Invertori na izlazu moraju obezbjeđivati čistu sinusoidu sa minimalnim injektiranjem jednosmjerne komponente struje i struja viših harmonika u distributivnu mrežu. Invertori moraju posjedovati sertifikate kojim se garantuje ispunjenost tehničkih zahtjeva definisanih tehničkom preporukom G59/3, izdatom od strane Energy Networks Association (ENA). Takođe, veoma važno je da invertori budu u skladu sa standardima MEST EN 61000-3-2 i MEST EN 61000-3-12 kojima se propisuju granične vrijednosti za emisiju harmonijskih struja. Totalne harmonijske distorzije moraju biti <3%.

Invertor mora imati faktor snage 0.8-1 ind./cap. tj. mora imati mogućnost injektiranja ili apsorbovanja reaktivne snage ili limitiranja isporuke aktivne energije u cilju održavanja stabilnih naponskih prilika.

Pored navedenih karakteristika, invertor mora imati mogućnost limitacije snage koja se tiče nedozvoljene isporuke električne energije u distributivnu mrežu ukoliko se u budućnosti pojavi ovakav zahtjev od strane operatera distributivnog sistema.

Invertor mora posjedovati sljedeće integrisane zaštite:

- Zaštita od ostrvskog rada
- Mjerenje DC izolacije i zaštita u slučaju proboja izolacije
- RPP (reverse polarity protection) zaštita
- RCMU (Residual current monitoring unit) zaštita
- Integrisan DC odvodnik prenapona tip 1+2, za svaki MPPT pojedinačno
- Integrisani DC topljivi osigurači 10x38 nazivne struje 20 A

Tehničke karakteristike invertora koji se planiraju instalirati su:

Mrežno upravljani invertor	Invertor nominalne snage 10 kW	Invertor nominalne snage 20 kW	Invertor nominalne snage 50 kW	Invertor nominalne snage 100 kW
<b>Ulazni parametri:</b>				
Ulazna DC snaga invertora	≥ 11 kWp	≥ 24 kWp	≥ 52 kWp	≥ 110 kWp
Broj MPPT uređaja	2	2	1	1
Minimalan broj DC priključaja po MPPT uređaju	1	2	2	2
Minimalni opseg ulaznog napona	250 - 850 V DC	230 - 950 V DC	580 - 700 V DC	705 - 850 V DC
<b>Izlazni parametri:</b>				
Izlazna snaga invertora	10 kW	20 kW	50 kW	100 kW
Napon mreže	3-NPE 400/230V			
Frekvencija	50/60 Hz			
Faktor snage	0 - 1 ind./cap.	0 - 1 ind./cap.	0 - 1 ind./cap.	0 - 1 ind./cap.
<b>Generalne karakteristike:</b>				
IP zaštita	IP 65			
Opseg radne temperature	-20 do +60°C			

Maksimalna efikasnost	≥ 97.2%	≥ 98.1%	≥ 98.1%	≥ 98.4%
<b>Zaštite:</b>				
Zaštita od ostrvskog rada	Integrisana			
Zaštita od obrnutog polariteta (Reverse polarity protection)	Integrisana			
DC rastavljač	Integrisan			
DC topljivi osigurači 20A (4 kom)	Integrisan			
RCMU (residual current monitoring unit) zaštita	Integrisana			
<b>Potrebno je obezbijediti sertifikat kojim se potvrđuje kompatibilnost sa diferencijalnom sklopkom tip A</b>				
DC odvodnik prenapona Tip 1+2, za svaki MPPT uređaj, u skladu sa standardom IEC 61643-31	Integrisan			
<b>Komunikacija:</b>				
Ethernet i WLAN interfejs	DA			
Dataloger za prikupljanje i akviziciju podataka	Integrisan			
RS485 komunikacija sa smart meter brojilom	Integrisan			
Energy management u realnom vremenu, smartphone i PC aplikacija	Integrisan			
IO modul (min 4 digitalna ulaza i 4 digitalna izlaza)	Integrisan			
Standardi IEC 62109-3:2020 ED1; IEC 62116:2014 ED2; IEC 61727:2004 ED2, MEST EN 61000-3-2:2016, MEST EN 50438:2013; MEST EN 50549-1:2021; MEST EN 60255				

Invertori se izvode u IP65 zaštiti što omogućava njihovu montažu na fasadi objekta ili u unutrašnjosti, tehničkoj ili nekoj drugoj prostoriji. Ukoliko se smješta van objekta, inverter je potrebno zaštititi od direktnog sunčevog zračenja koje može negativno uticati na radni vijek energetske elektronike.

Komunikacija invertora sa smart meter brojilom se uspostavlja polaganjem komunikacionog kabla SFTP CAT 6 pri čemu ovi uređaji vrše razmjenu podataka o tehničkim parametrima u realnom vremenu. Prikupljanje i akvizicija podataka se vrši u dataloggeru koji je smješten unutar invertorskog uređaja. Da bi svi ovi podaci bili dostupni korisniku, potrebno je inverter priključiti na internet mrežu i povezati ga sa webserverom. Povezivanje bi trebalo biti izvršeno žičano, preko Ethernet kabla ili bežično, preko WiFi komunikacije. Prilikom obilaska objekta, potrebno je utvrditi mogućnost povezivanja sistema na internet mrežu – samo u specijalnim situacijama kada nije moguće žičano uspostaviti komunikaciju, koristiti WiFi mogućnost razmjene podataka. Za ovakve slučajeve, odgovorni inženjer je dužan pripremiti izvještaj zašto nije moguće uspostaviti žičanu komunikaciju sa lokalnom mrežom. Sistem za monitoring tehničkih i ekonomskih parametara će biti opisan u posebnom poglavlju.

Standardna garancija invertora iznosi 5 godina s tim da proizvođači invertora nude mogućnost kupovine paketa garancija do 20 godina. **Predlaže se proširenje paketa garancije na 8 ili 10 godina (što će biti definisano tenderskom dokumentacijom) sve do isteka ugovora EPCG sa korisnicima.**

U skladu sa važećim tehničkim preporukama ODS-a, invertori moraju zadovoljiti sljedeće standarde:

- MEST EN 50549-1:2021
- MEST EN 62109
- MEST EN 60255
- MEST EN 61000
- MEST EN 62116
- MEST EN 60255-6

Iako distribuirani izvori nisu dužni za regulaciju tehničkih parametara, s obzirom na velike snage sistema, invertori bi trebali posjedovati integrisanu V/W I V/VAr regulaciju koja po potrebi može biti aktivirana. Na ovaj način je predviđena mogućnost budućeg sistemskog djelovanja na kvalitet električne energije u niskonaponskoj distributivnoj mreži i povećati pouzdanost funkcionisanja sistema.

U sljedećim tabelama, prikazane su vrijednosti napona pri kojima inverter automatski reguliše izlaznu snagu:

	Napon	Stepen aktivne snage (% nazivne snage)
U1	207 V	100 %
U2	220 V	100 %
U3	250 V	100 %
U4	258 V	20 %

	Napon	Stepen reaktivne snage (% nazivne snage)
U1	207 V	30% induktivno
U2	220 V	0 %
U3	250 V	0 %
U4	258 V	30 % kapacitivno

Vrijednosti su definisane u skladu sa standardom MEST EN 50549-1. Sva podešenja vrše sertifikovana lica obučena za rad sa uređajima energetske elektronike. Strogo je zabranjeno mjenjati podešene parametre.

Ovim tehničkim rješenjem nije predviđena analiza uticaja priključenja fotonaponskih sistema ukupne snage 70 MW na distributivnu mrežu već je potrebno izraditi posebnu studiju sa akcentom na ovaj tehnički izazov.

### 3.4 OČEKIVANI REZULTATI PROJEKTA SOLAR 5000+

Ukoliko se uvažavaju svi navedeni parametri i procjene, proračunom se dobijaju sljedeći rezultati:

- Ukupna instalirana snaga distribuiranih fotonaponskih sistema **70 MW (81 MWp)**
- Očekivana godišnja proizvodnja električne energije **109,35 GWh**
- Prosječna vrijednost specifičnog godišnjeg prinosa električne energije **1 350 kWh/kWp**

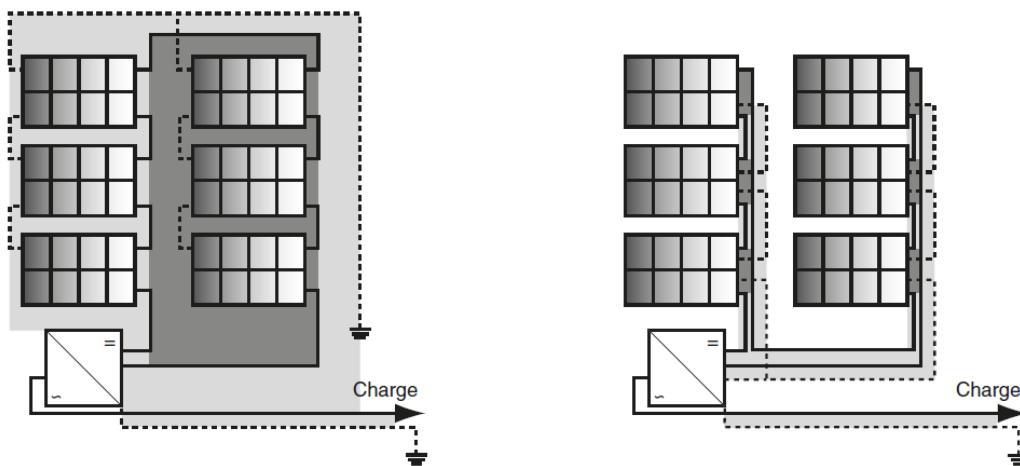
### 3.5 Preporuke za konfiguraciju fotonaponskog sistema

Konfiguraciju fotonaponskog sistema je potrebno izvršiti poštujući određena pravila koja obezbjeđuju optimalno i efikasno funkcionisanje sistema uz maksimalan prinos električne energije. Dobra projektantska praksa preporučuje tzv. "overpaneling" - DC snaga sistema se predimenzioniše do 20% u odnosu na AC snagu kako bi se povećala efikasnost ugrađene opreme. Nazivna snaga fotonaponskog modula 540 Wp je definisana pri STC uslovima koje u realnosti nije moguće postići te maksimalna snaga sistema koju je moguće obezbjediti na izlazu iz invertora (AC) iznosi oko 85% od ukupne nominalne DC snage sistema.

String je niz od nekoliko redno vezanih fotonaponskih modula koji se direktno priključuje na inverter. Ukupan napon stringa koji se dobija sabiranjem napona svih pojedinačnih modula koji se nalaze u nizu mora upasti u dozvoljeni opseg ulaznih DC napona invertora. Maksimalan napon stringa se očekuje pri niskim temperaturama pa je potrebno izvršiti tehničku provjeru da li zadovoljeni svi zahtjevani tehnički parametri. Paralelno se na isti MPPT mogu povezati stringovi sa istim brojem fotonaponskih modula koji su isto orjentisani i položeni pod istim nagibnim uglom.

Zasjenčenje dijela jednog modula u stringu izaziva značajno smanjenje snage stringa. Zbog ove pojave, potrebno je voditi računa o vertikalnom i horizontalnom povezivanju modula kako bi se zasjenčeni string izolovao i smanjio uticaj zasjenčenja na ukupnu proizvodnju električne energije.

Prilikom formiranja stringova, potrebno je + i - DC kablove voditi neposredno jedan uz drugi kako bi se smanjilo elektromagnetsko polje između polova i redukovala mogućnost direktnih atmosferskih pražnjenja. Zaštita od atmosferskog pražnjenja se vrši postavljanjem odvodnika prenapona na AC i DC strani fotonaponskog sistema. Kablove je potrebno uredno voditi, na sistemu nosača kablova (regalu).



**Slika 2:** Redukcija elektromagnetskog polja između pozitivnog i negativnog pola DC sistema  
(izvor: *Electrical installation Guide 2018 – Schneider Electric*)



### 3.6 Sistem za monitoring tehničkih i ekonomskih parametara

Svaki fotonaponski sistem mora posjedovati sistem za monitoring tehničkih i ekonomskih parametara.

Dvije su osnovne i najbitnije funkcije ovog sistema:

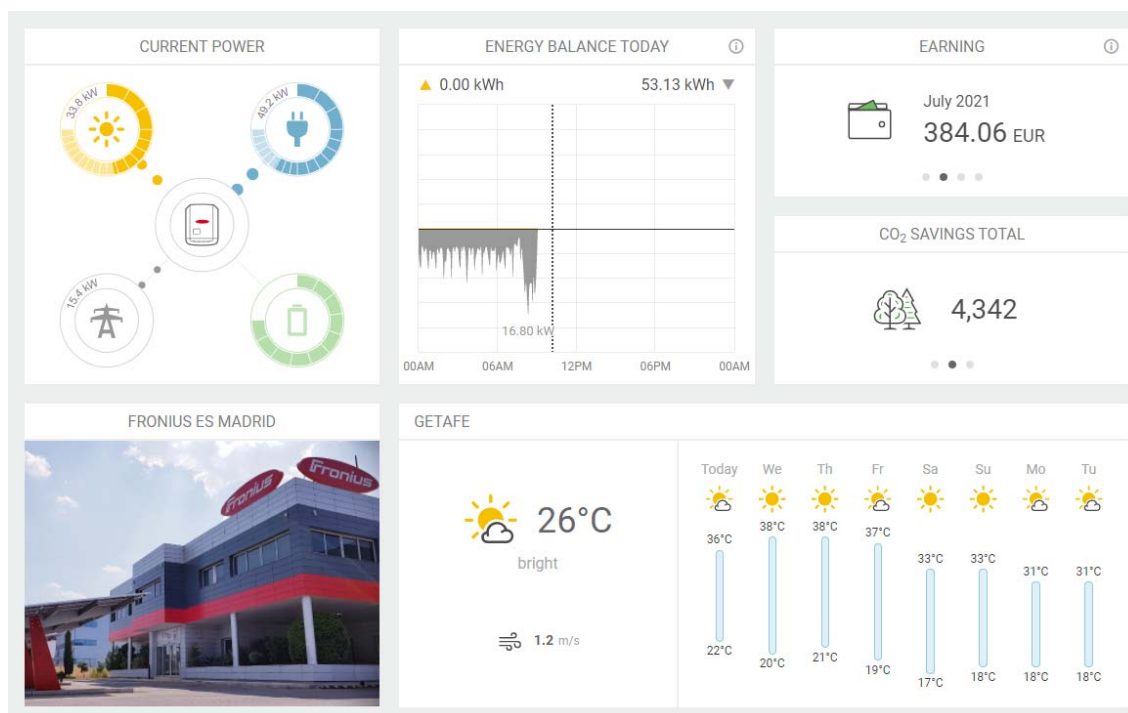
1. Nadzor nad radom elektrane u realnom vremenu, analiza istorijskih podataka potrošnje objekta i proizvodnje fotonaponskog sistema, analiza ekonomskog povraćaja investicije, redukcije CO2
2. Alarmiranje korisnika i službe za održavanje u slučaju pojave kvara na sistemu

Sistem za monitoring se jednostavno uspostavlja povezivanjem invertora i smart meter brojila (brojilo mora biti kompatibilno sa invertorskim uređajem) sa web platformom proizvođača. Platforma mora biti jednostavna za korišćenje i besplatna, bez ikakvih mjesečnih naknada koje dodatno opterećuju investiciju.

Tehnički parametri koje je potrebno analizirati su:

- Predata i preuzeta električna energija
- AC i DC naponi za svaku fazu u tački priključenja i na invertoru
- AC i DC struje na invertoru
- Aktivna i reaktivna snaga
- Faktor snage

Pored tehničkih parametara koje je potrebno analizirati u realnom vremenu, sistem za monitoring mora proračunavati i prikazivati finansijske uštede na osnovu predefinisanih ulaznih podataka kao i uštede u emisiji CO2 koje nastaju proizvodnjom električne energije iz zelenog izvora.



Slika 3: Prikaz platforme za monitoring tehničkih i ekonomskih parametara sistema

Nakon instalacije sistema, potrebno je izvršiti obuku korisnika i upoznati ih sa mogućnostima analize podataka o radu sistema.

**Isporučilac invertora je u obavezi obezbijediti mogućnost daljinskog nadzora i upravljanja invertorom preko internet mreže i dodijeliti EPCG status admina pri čemu bi svaki korisnik imao mogućnost monitoringa parametara sopstvenog sistema.**

### 3.7 Energetska oprema za priključenje fotonaponskog sistema

S obzirom na veliki opseg snaga fotonaponskih sistema kao I na uslove u kojima se planira realizacija ovog projekta, nije moguće uniformisati tehničko rješenje kako bi se formirala detaljna tehnička specifikacija opreme za priključenje fotonaponskih sistema – razvodnih ormara sa zaštitnom energetsom opremom i kablovske infrastrukture. Zbog toga, predlaže se kreiranje modela saradnje sa kompanijama dobavljačima ove opreme gdje bi se u kratkom vremenu, odmah nakon završetka Glavnog projekta I formiranja detaljne tehničke specifikacije, izvršila nabavka I isporuka opreme. Radi optimizacije procesa, moguće je definisati određene tipove prekidača, rastavljača, kablova, razvodnih ormara I ostalih elemenata kako bi dobavljači izvršili pripremu I obezbjedili skladištenje opreme.

### 3.8 Potkonstrukcija

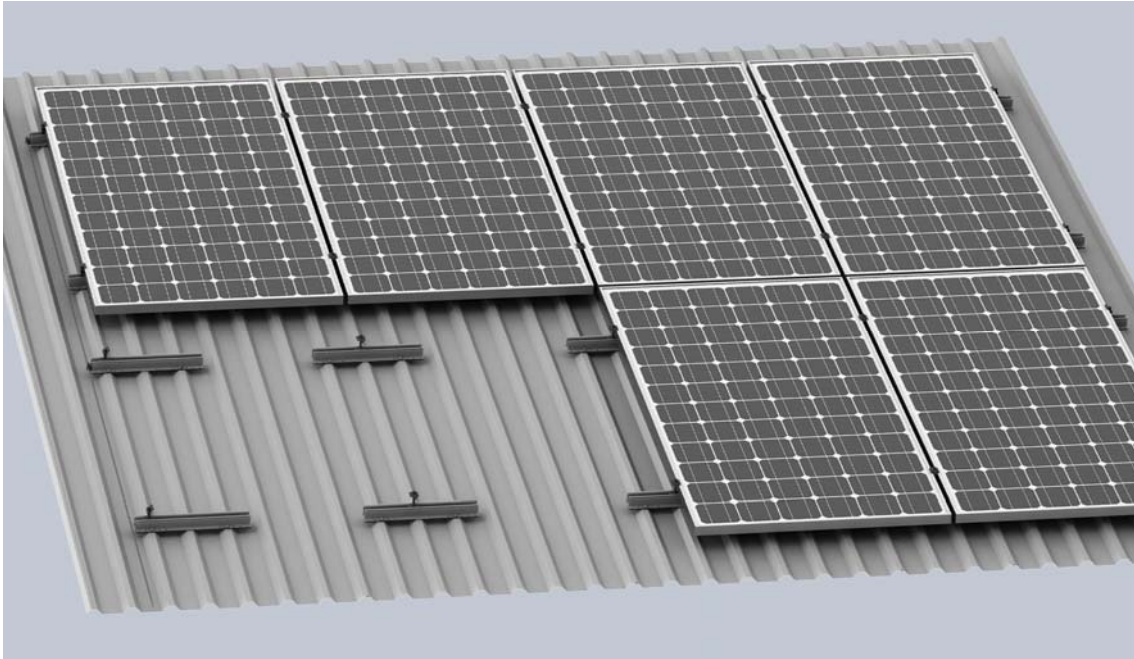
Projektnim rješenjem je definisana upotreba prefabrikovanih aluminijumskih elemenata za montažu fotonaponskih modula na krovnu površinu. Aluminijumska legura može biti 6005T6, AW-6063 T66 ili Al6061-T6. Prefabrikovani elementi moraju imati sertifikat ISO 9001 I biti u skladu sa standardom Eurocode 9. Projektnim rješenjem su obuhvaćena dva sistema potkonstrukcije – prvi sistem je namjenjen za fiksiranje modula na krov izrađen od trapezoidnog lima – sendvič panela (70%), a drugi za montažu modula na ravni betonski krov (30%), bez bušenja postojeće betonske konstrukcije, sa upotrebom betonskih balasta kao tegova koji pričvršćuju aluminijumsku konstrukciju. Nosači i šine potkonstrukcije se izrađuju od aluminijuma (aluminijumske legure EN AW-6063 ili EN AW-6005) dok se spojni i pričvrtni elementi izrađuju od nerđajućeg čelika (1.4301 ili 1.4307). Spojni elementi sistema moraju odgovarati debljini okvira modula od 35mm. Izjednačavanje potencijala između okvira modula i aluminijumske potkonstrukcije se vrši upotrebom prefabrikovanih elemenata. Dodatno, u zavisnosti od toga da li je zadovoljeno rastojanje s između metalnih masa I prihvatnog sistema gromobranske instalacije, potrebno je uspostaviti čvrstu galvansku vezu između potkonstrukcije i prihvatnog sistema.

Kada je riječ o krovu izrađenom od trapezoidnog lima, nosač se direktno šarafi na rebra lima, na način definisan u tehničkim instrukcijama za montažu koje obezbjeđuje proizvođač potkonstruktivnog sistema. Ovaj tip nosača se uglavnom izvodi u obliku kratkih šina. Proizvođač potkonstruktivnih elemenata je dužan garantovati da se prilikom bušenja lima neće ugroziti hidroizolacija krova. Na nosač se direktno postavlja fotonaponski modul a pričvršćenje modula se vrši upotrebom odgovarajućih krajnjih ili središnjih stezaljki.

Dio elementa potkonstrukcije za trapezoidni lim (10% od ukupne količine potkonstrukcije za trapezoidni lim) mora obuhvatiti aluminijumske šine dužine 6m kako bi se mogli premostiti svjetlarnici ili neki drugi slični djelovi krovne površine.

Dodatno, tehničkom specifikacijom je potrebno predvidjeti sistemsko rješenje koje obezbjeđuje podizanje modula za 10° u slučajevima kada nagib postojeće krovne površine ne zadovoljava tehničke kriterijume (10% od ukupne količine potkonstrukcije za trapezoidni lim).

Detalji montaže fotonaponskog modula na trapezoidnom limenom krovu (sendvič panelu) moraju biti definisani glavnim projektom fotonaponskog sistema, za svaki objekat nezavisno.



*Slika 4: Detalj postavljanja nosača na krov izrađen od trapezoidnog lima*

Fotonaponske module na krovovima izrađenim od trapezoidnog lima treba postavljati u “portrait” položaju kako bi se optimalno koristio sistem potkonstrukcije.

Montaža modula na ravni betonski krov se izvodi postavljanjem odgovarajuće aluminijske potkonstrukcije pri čemu se ovom potkonstrukcijom definiše nagib modula. Preporučuje se da minimalni nagibni ugao montaže modula bude  $10^\circ$ . Ravna betonska ploča se ne buši već se pričvršćivanje potkonstruktivnih elemenata izrađenih od aluminijuma ili aluminijske legure vrši upotrebom betonskih balasta. Prilikom pripreme Elaborata o uticaju fotonaponskog sistema na statiku objekta (ovaj elaborat je sastavni dio projektne dokumentacije) potrebno je proračunati opterećenja u zavisnosti od lokacije i pripremiti plan montaže betonskih balasta.

Glavnim projektom je potrebno definisati tehničko rješenje koje se u najvećem broju slučajeva dijeli na dva koncepta:

- Južna orijentacija modula pri čemu se između dva reda (prednjeg I zadnjeg) predviđa prostor koji obezbjeđuje izbjegavanje zasjenčenja pozadinskog reda modula. Ovo rješenje karakteriše najveća efikasnost I maksimalan prinos električne energije po ugrađenom modulu.
- East-west konfiguracija gdje se dio modula orijentiše istočno a dio modula zapadno. Ovakvo rješenje je manje efikasno u odnosu na južnu orijentaciju modula ali obezbjeđuje određene tehničke benefite kao što su bolje iskorišćenje raspoložive krovne površine kao I veću otpornost od pomjeranja sistema usljed jakih udara vjetrova što direktno smanjuje potrebnu količinu betonskih balasta koje je potrebno obezbjediti radi očuvanja statičkih karakteristika sistema.



**Slika 5:** *Detalj postavljanja betonskih balasta na aluminijumsku potkonstrukciju – južna orijentacije fotonaponskih modula*

Fotonaponske module na ravnim betonskim krovovima treba postavljati u “landscape” orijentaciji kako bi se optimalno koristio raspoloživi prostor.

### 3.9 Gromobranska instalacija

Projektom SOLAR 5000+ planira se opremanje objekata koji su u vlasništvu fizičkih i pravnih lica pri čemu se pretpostavlja da veći dio objekata posjeduje gromobransku instalaciju. U zavisnosti od tipa krovne površine (krov izrađen od trapezoidnog lima ili ravni betonski krov), potrebno je predvidjeti dodatne mjere zaštite elemenata fotonaponskog sistema uzemljenjem metalnih masa.

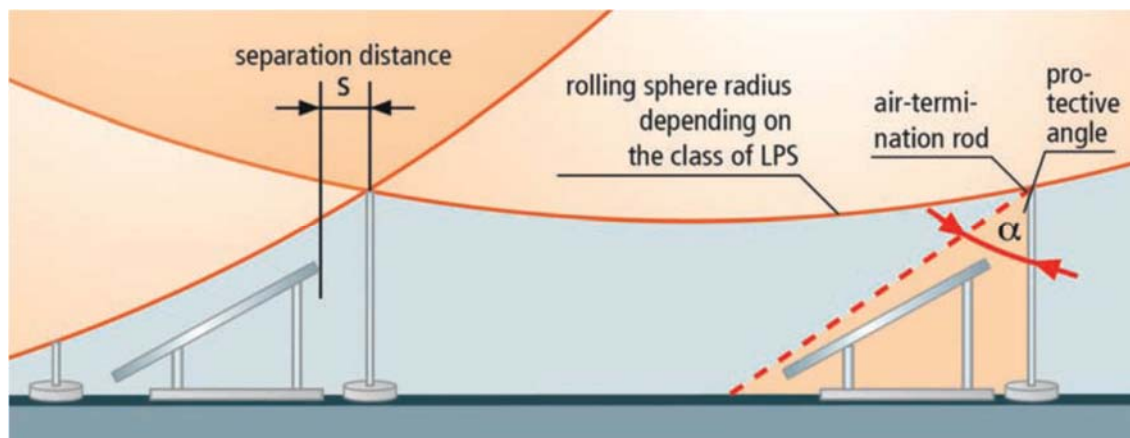
U skladu sa tehničkim preporukama, analizirana su tri slučaja koja se mogu sresti u praksi.

#### **SLUČAJ 1: OBJEKAT NE POSJEDUJE GROMOBRANSKU INSTALACIJU**

Ukoliko objekat ne posjeduje gromobransku instalaciju, nije potrebno graditi novu jer nije dokazano da se instalacijom fotonaponskih modula povećava mogućnost pojave direktnog atmosferskog pražnjenja. U ovom slučaju, kao zaštitu je potrebno koristiti odvodnik prenapona Tip 2 sa DC I AC strane a metalne mase fotonaponskog sistema je potrebno galvanski povezati na sistem uzemljenja objekta postavljajući bakarni zaštitni provodnik P/F minimalnog presjeka 6mm<sup>2</sup>.

#### **SLUČAJ 2: OBJEKAT POSJEDUJE GROMOBRANSKU INSTALACIJU I MOGUĆE JE OBEZBJEDITI RASTOJANJE S (rastojanje razdvajanja - separation distance)**

U ovom slučaju, veoma važno je utvrditi stanje postojeće gromobranske instalacije i da li je moguće instalirati fotonaponski sistem na način da se na svim pozicijama zadovolji rastojanje razdvajanja  $S$ . Ovo je rastojanje između djelova prihvatnog sistema gromobranske instalacije i metalnih masa fotonaponske opreme a bitno ga je zadovoljiti kako se na metalnim masama fotonaponskog sistema ne bi indukovali opasni prenaponi koji mogu oštetiti opremu i ugroziti bezbjednost. Određivanje zaštitne zone postojeće gromobranske instalacije može biti utvrđeno metodom "kotrljajuće kugle".

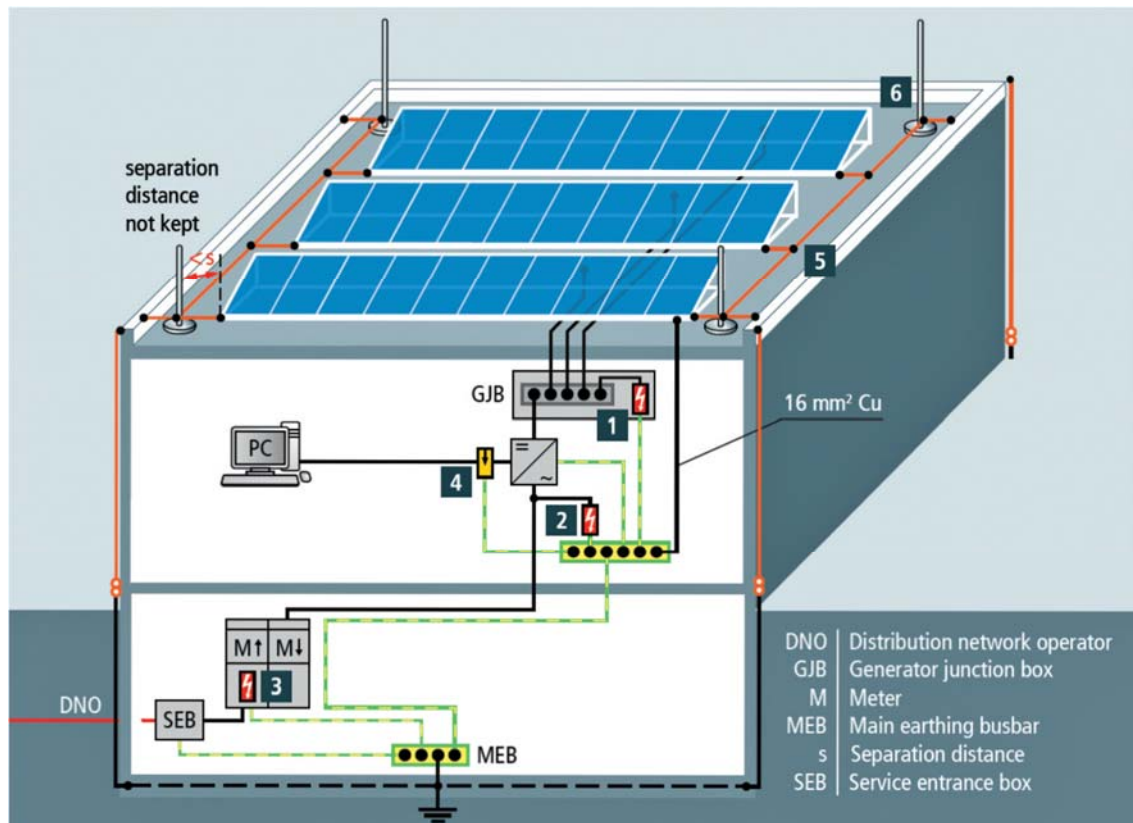


**Slika 6:** *Određivanje zaštitne zone gromobranske instalacije metodom "kotrljajuće kugle" (izvor: Earthing and lightning overvoltage protection for PV plant)*

U ovom slučaju, kao mjeru zaštite, sa AC strane je neophodno primijeniti odvodnik prenapona Tip 1 dok je sa DC strane dovoljno koristiti odvodnike prenapona Tip 2. Ukoliko je rastojanje između invertora i tačke priključenja na distributivnu mrežu veće od 10m, potrebno je na AC strani dodatno postaviti odvodnik prenapona Tip 2, što bliže invertorskom uređaju. Kao i u prethodnom, i u ovom slučaju je potrebno metalne mase povezati sa sistemom uzemljenja upotrebom bakarnog provodnika P/F minimalnog presjeka  $6\text{mm}^2$ .

### SLUČAJ 3: OBJEKAT POSJEDUJE GROMOBRANSKU INSTALACIJU I NIJE MOGUĆE OBEZBJEDITI RASTOJANJE $S$

Ukoliko objekat posjeduje gromobransku instalaciju a zbog male krovne površine nije moguće ostvariti rastojanje razdvajanja  $S$ , tada se metalne mase fotonaponskog sistema galvanski povezuju sa prihvatnim sistemom gromobranske instalacije vodeći računa o primjeni dodatnih mjera zaštite od prenapona. Presjek provodnika sa kojim se vrši uzemljenje metalnih masa i povezivanje sa gromobranskom instalacijom ne smije biti manji od  $16\text{mm}^2$ . Svaki MPPT invertora mora biti opremljen odvodnikom prenapona Tip 1+2 a sa AC strane je takodje preporučena upotreba odvodnika prenapona Tip 1+2. Ukoliko je tačka priključenja udaljena preko 10m od pozicije invertora, tada je i na poziciji priključenja elektrane na distributivnu mrežu neophodno ugraditi odvodnik prenapona Tip 1.



**Slika 7:** Prikaz objekta sa gromobraskom instalacijom na kome nije moguće obezbediti rastojanje razdvajanja  $s$  (izvor: *Earthing and lightning overvoltage protection for PV plant*)

Metalne mase fotoanponskog sistema je potrebno povezati sa bakarnim P/F provodnikom presjeka  $16\text{mm}^2$  sa zaštitnim sabirnicama u ormaru koji se planira postaviti u neposrednoj blizini invertora.

Odgovorni inženjer:

Lazar Komar, mast.inž.el.

## 4. PREDMJER I PREDRAČUN



**PREDMJER I PREDRAČUN  
PROJEKAT SOLAR 70 MW**

**Objekat: Fotonaponski sistemi (PROJEKAT SOLAR 70 MW)**

**Investitor: EPCG A.D.**

**Lokacija: Crna Gora**

**Projektant: Greener d.o.o.**

**Vrsta tehničke dokumentacije: Idejno tehničko rješenje**

**Dio tehničke dokumentacije: Elektrotehnički projekat - fotonaponski sistem**

**Datum: Novembar 2022.god**

r.br.	opis pozicije	jed. mjere	količina	jed. cijena	ukupno:
-------	---------------	---------------	----------	-------------	---------

## 1 FOTONAPONSKI MODULI

- 1.1. Nabavka, transport, isporuka i montaža monokristalnih fotonaponskih panela sledećih karakteristika:

Snaga modula (STC) 540 Wp

Struja Impp (STC) 12,81 A – 17,33 A

Napon Vmpp (STC) 31,2 V – 42,15 V

Napon otvorenog kola (STC) 37,5 V – 49,9 V

Struja kratkog spoja (STC) 13,75 A – 18,41 A

Snaga modula (NOCT) ≥400,9W

Napon Vmpp (NOCT) 29 V – 39,7 V

Struja Impp (NOCT) 10,25 A – 14,1 A

Napon otvorenog kola (NOCT) 35,14 V – 47,4 V

Struja kratkog spoja (NOCT) 10,86 A – 14,91 A

Maksimalni napon modula 1500V DC

Efikasnost modula ≥ 20,65%

Tehnologija Half-cell

Temperaturni koeficijent pri Pmax ≥ -0.36 %/K

Efikasnost ćelija nakon 25 godina ≥ 84.8%

Minimalna debljina stakla 3.2mm

Debljina anodiziranog aluminijumskog okvira 35mm

Težina modula ≤ 29 kg

Opterećenje od snijega ≥ 5 400 Pa

Opterećenje od vjetra ≥ 2 400 Pa

Radna temperatura -40 do + 85°C

Minimalna IP zaštita razvodne kutije (Junction Box) IP 67

Minimalna garancija na proizvod 12 godina

Minimalna garancija na efikasnost ćelija 25 godina

Dodatne zaštite Anti PID (potential induced degradation)

Standardi IEC 61215-1-1:2021 ED2, IEC 61730-1:2019

IEC 61701:2020 ED3, IEC 62716:2013/COR1:2014 ED1, G59/3

kom 150000 178,0 26.700.000,00 €

**Ukupno fotonaponski moduli**

**26.700.000,00 €**

## 2 INVERTORI

- 2.1. Mrežno upravljani inverter nominalne snage 10 kW sljedećih tehničkih karakteristika:

**Ulazni parametri:**

Ulazna DC snaga invertora  $\geq 12$  kWp

Broj MPPT uređaja 2

Minimalan broj DC priključaja po MPPT uređaju 1

Minimalni opseg ulaznog napona 200 - 850 V DC

**Izlazni parametri:**

Izlazna snaga invertora 10 kW

Napon mreže 3-NPE 400/230V

Frekvencija 50 Hz

Faktor snage 0.8 - 1 ind./cap.

THD <3%

**Generalne karakteristike:**

Maksimalna težina 41 kg

Zaštita IP 65

Opseg radne temperature -25 do +60°C

Maksimalna efikasnost  $\geq 97\%$

**Zaštite:**

Integrirana zaštita od ostrvskog rada

Integrirana zaštita od obrnutog polariteta (Reverse polarity protection)

DC rastavljač

Integrirana RCMU (residual current monitoring unit) zaštita

**Potrebno je obezbijediti sertifikat kojim se potvrđuje kompatibilnost sa diferencijalnom sklopkom tip A**

Integriran DC odvodnik prenapona Tip 2, za svaki MPPT uređaj, u skladu sa standardom IEC 61643-31

Regulacija V/W i V/VAr (regulacija bi po default-u trebala biti isključena sa mogućnošću uključanja u slučaju potrebe)

**Komunikacija:**

Ethernet i WLAN interfejs

Integriran Dataloger za prikupljanje i akviziciju podataka

RS485 komunikacija sa smart meter brojiлом

Energy management u realnom vremenu, smartphone i PC aplikacija

Potrebno je predvidjeti mogućnost naknadnog predefinisanja tehničkih parametara integriranih zaštita invertora u skladu sa važećim propisima.

UKUPNO:	kom	500	1640	820.000,00 €
---------	-----	-----	------	--------------

2.2. Mrežno upravljani inverter nominalne snage 20 kW sljedećih tehničkih karakteristika:

**Ulazni parametri:**

Ulazna DC snaga invertora  $\geq 24$  kWp

Broj MPPT uređaja 2

Minimalan broj DC priključaja po MPPT uređaju 2

Minimalni opseg ulaznog napona 200 - 850 V DC

**Izlazni parametri:**

Izlazna snaga invertora 20 kW

Napon mreže 3-NPE 400/230V

Frekvencija 50 Hz

Faktor snage 0 - 1 ind./cap.

THD <3%

**Generalne karakteristike:**

Zaštita IP 65

Opseg radne temperature -25 do +60°C

Maksimalna efikasnost  $\geq 97\%$

**Zaštite:**

Integrirana zaštita od ostrvskog rada

Integrirana zaštita od obrnutog polariteta (Reverse polarity protection)

DC rastavljač

Integrirana RCMU (residual current monitoring unit) zaštita

**Potrebno je obezbijediti sertifikat kojim se potvrđuje kompatibilnost sa diferencijalnom sklopkom tip A**

Integrirani DC odvodnik prenapona Tip 2, za svaki MPPT uređaj, u skladu sa standardom IEC 61643-31

Integrirani DC topljivi osigurači 10x38 nazivne struje 20 A (4 kom)

Regulacija V/W i V/VAr (regulacija bi po default-u trebala biti isključena sa mogućnošću uključanja u slučaju potrebe)

**Komunikacija:**

Ethernet i WLAN interfejs

Integrirani Dataloger za prikupljanje i akviziciju podataka

RS485 komunikacija sa smart meter brojiлом

Energy management u realnom vremenu, smartphone i PC aplikacija

Potrebno je predvidjeti mogućnost naknadnog predefinisanja tehničkih parametara integriranih zaštita invertora u skladu sa važećim propisima.

UKUPNO:	kom	800	2045,0	1.636.000,00 €
---------	-----	-----	--------	----------------

2.3. Mrežno upravljani inverter nominalne snage 50 kW sljedećih tehničkih karakteristika:

**Ulazni parametri:**

Ulazna DC snaga invertora  $\geq 60$  kWp

Broj MPPT uređaja 2

Minimalan broj DC priključaja po MPPT uređaju 2

Minimalni opseg ulaznog napona 200 - 850 V DC

**Izlazni parametri:**

Izlazna snaga invertora 50 kW

Napon mreže 3-NPE 400/230V

Fekvencija 50 Hz

Faktor snage 0 - 1 ind./cap.

THD <3%

**Generalne karakteristike:**

Zaštita IP 65

Opseg radne temperature -25 do +60°C

Maksimalna efikasnost ≥ 97%

**Zaštite:**

Integrisana zaštita od ostrvskog rada

Integrisana zaštita od obrnutog polaritera (Reverse polarity protection)

DC rastavljač

Integrisana RCMU (residual current monitoring unit) zaštita

Integrisan DC odvodnik prenapona Tip 2, za svaki MPPT uređaj, u skladu sa standardom IEC 61643-31

Integrisani DC topljivi osigurači 10x38 nazivne struje 20 A

Regulacija V/W i V/VAr (regulacija bi po default-u trebala biti isključena sa mogućnošću uključanja u slučaju potrebe)

**Komunikacija:**

Ethernet i WLAN interfejs

Integrisan Dataloger za prikupljanje i akviziciju podataka

RS485 komunikacija sa smart meter brojilom

Energy management u realnom vremenu, smartphone i PC aplikacija

Potrebno je predvidjeti mogućnost naknadnog predefinisanja tehničkih parametara integrisanih zaštita invertora u skladu sa važećim propisima.

UKUPNO:

kom	280	3750,0	1.050.000,00 €
-----	-----	--------	----------------

2.4. Mrežno upravljani inverter nominalne snage 100 kW sljedećih tehničkih karakteristika:

**Ulazni parametri:**

Ulazna DC snaga invertora ≥ 120 kWp

Broj MPPT uređaja 1

Minimalan broj DC priključaja po MPPT uređaju 2

Minimalni opseg ulaznog napona 200 - 850 V DC

**Izlazni parametri:**

Izlazna snaga invertora 100 kW

Napon mreže 3-NPE 400/230V

Fekvencija 50 Hz

Faktor snage 0 - 1 ind./cap.

THD <3%

**Generalne karakteristike:**

Zaštita IP 65

Opseg radne temperature -25 do +60°C

Maksimalna efikasnost ≥ 97%

**Zaštite:**

Integrisana zaštita od ostrvskog rada

Integrisana zaštita od obrnutog polaritera (Reverse polarity protection)

DC rastavljač

Integrisana RCMU (residual current monitoring unit) zaštita

Integrisan DC odvodnik prenapona Tip 2, za svaki MPPT uređaj, u skladu sa standardom IEC 61643-31

Integrisani DC topljivi osigurači 10x38 nazivne struje 20 A

Regulacija V/W i V/VAr (regulacija bi po default-u trebala biti isključena sa mogućnošću uključanja u slučaju potrebe)

**Komunikacija:**

Ethernet i WLAN interfejs

Integrisan Dataloger za prikupljanje i akviziciju podataka

RS485 komunikacija sa smart meter brojiлом

Energy management u realnom vremenu, smartphone i PC aplikacija

Potrebno je predvidjeti mogućnost naknadnog predefinisavanja tehničkih parametara integrisanih zaštita invertora u skladu sa važećim propisima.

UKUPNO:	kom	350	4950,0	1.732.500,00 €
---------	-----	-----	--------	----------------

2.5 Nabavka, transport, isporuka i ugradnja smart meter uređaja za komunikaciju i praćenje razmjene električne energije. Mjerenje se vrši indirektno, preko strujnih transformatora X/5A, klase tačnosti 0.5. Nominalni naponi se kreću u opsegu 400-480V (L-L) / 230-277V (P-N), maksimalna struja sekundara 6A. Montaža brojila se vrši na DIN šinu.

kom	1250	220,0	275.000,00 €
-----	------	-------	--------------

---

<b>Ukupno invertori:</b>				<b>5.513.500,00 €</b>
--------------------------	--	--	--	-----------------------

**3 POTKONSTRUKCIJA**

**Krov izrađen od trapezoidnog lima (sendvič panela)**

3.1 Nabavka potkonstruktivnih aluminijumskih elemenata za pričvršćenje fotonaponskih modula na krovnu površinu izrađenu od trapezoidnog lima (sendvič panela). Sistem potkonstrukcije se sastoji od kratkih aluminijumskih šina (nosač modula), krajnjih i središnjih stezaljki, sličan tipu Minirail, proizvođača K2 System, Njemačka.

kompl.	1	1380000,0	1.380.000,00 €
--------	---	-----------	----------------

3.2	Nabavka potkonstruktivnih aluminijumskih elemenata za pričvršćenje fotonaponskih modula na krovnu površinu izrađenu od trapezoidnog lima (sendvič panela). Sistem potkonstrukcije se sastoji od aluminijumskih šina dužine 6m (nosač modula), krajnjih i središnjih stezaljki, sličan tipu Speedrail, proizvođača K2 System, Njemačka.	kompl.	1	360000,0	360.000,00 €
3.3	Nabavka potkonstruktivnih aluminijumskih elemenata za pričvršćenje fotonaponskih modula na krovnu površinu izrađenu od trapezoidnog lima (sendvič panela), sa povećanjem nagiba montaže modula za 10 stepeni. Sistem potkonstrukcije se sastoji od kratkih sina sličnih tipu Multirail proizvođača K2 System, prednjeg i zadnjeg nosača sa podizanjem modula za 10 stepeni, stezaljki za pričvršćenje modula. Sistem je sličan tipu S dome small, proizvođača K2 System, Njemačka.	kompl.	1	395000,0	395.000,00 €
<b>Ravni betonski krov</b>					
3.4	Nabavka potkonstruktivnih aluminijumskih elemenata za pričvršćenje fotonaponskih modula na ravnu betonsku krovnu površinu. Moduli se orjentišu južno i polažu pod nagibom 10 stepeni. Elementi sistema su gornji i donji nosač za fiksiranje modula pod uglom od 10 stepeni, sitan montažni materijal, vjetrobran, krajnje i središnje stezaljke, šine za montažu modula, pribor za balast, potporni element za zaštitu krovne membrane. <i>Napomena: Betonski balasti nijesu ukalkulisani u cijenu sistema.</i>	kompl.	1	1450000,0	1.450.000,00 €
3.5	Nabavka potkonstruktivnih aluminijumskih elemenata za pričvršćenje fotonaponskih modula na ravnu betonsku krovnu površinu u east-west konfiguraciji. Moduli se orjentišu istočno i zapadno i polažu pod nagibom 10 stepeni. Elementi sistema su gornji i donji nosač za fiksiranje modula pod uglom od 10 stepeni, sitan montažni materijal, krajnje i središnje stezaljke, šine za montažu modula, pribor za balast, potporni element za zaštitu krovne membrane. <i>Napomena: Betonski balasti nijesu ukalkulisani u cijenu sistema.</i>	kompl.	1	880000,0	880.000,00 €
<b>Ukupno za potkonstrukciju</b>					<b>4.465.000,00 €</b>
<b>4 ENERGETSKA PRIKLJUČNA OPREMA (12.5% investicije)</b>					
4.1.	Nabavka razvodnih omrara opremljenih energetskom zaštitnom opremom, DC i AC kablova odgovarajućeg presjeka, komunikacionih kablova, sistema nosača kablova, MC4 konektora, releja i ostale opreme neophodne za priključenje fotonaponskog sistema.	kompl.	1	8750000,0	8.750.000,00 €
<b>Ukupno za energetsku priključnu opremu</b>					<b>8.750.000,00 €</b>
<b>5 ELEKTROMONTAŽNI RADOVI (15% investicije)</b>					
5.1.	Elektromontažni radovi koji podrazumjevaju montažu fotonaponskih modula i potkonstrukcije, povezivanje stringova na invertore, postavljanje zaštitnih ormara, povezivanje napojnih kablova i priključenje sistema na distributivnu mrežu.	kompl.	1	10500000,0	10.500.000,00 €

<b>Ukupno za elektromontažne radove:</b>				<b>10.500.000,00 €</b>
<b>6 OSTALI ADMINISTRATIVNI TROŠKOVI (3% investicije)</b>				
6.1. Administrativni troškovi	kompl.	1	2100000,0	2.100.000,00 €
<b>Ukupno za ispitivanja:</b>				<b>2.100.000,00 €</b>
<b>REKAPITULACIJA</b>				
1 Fotonaponski moduli				26.700.000,00 €
2 Invertori				5.513.500,00 €
3 Potkonstrukcija				4.465.000,00 €
4 Energetska priključna oprema				8.750.000,00 €
5 Elektromontažni radovi				10.500.000,00 €
6 Ostali administrativni troškovi				2.100.000,00 €
<b>UKUPNO bez PDV-a</b>				<b>58.028.500,00 €</b>
<b>IZNOS PDV-a (21%)</b>				<b>12.185.985,00 €</b>
<b>UKUPNO SA PDV-om</b>				<b>70.214.485,00 €</b>

Odgovorni inženjer:

*Lazar Komar mast .inž.el.*