

Osiguranje kvalitete prilikom projektiranja sunčane elektrane za obiteljske kuće po modelu samoopskrbe

Polančec, Igor

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:527686>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 533/EL/2023

**Osiguranje kvalitete prilikom projektiranja sunčane
elektrane za obiteljske kuće po modelu samoopskrbe**

Igor Polančec, 0336042706

Varaždin, veljača 2024. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za elektrotehniku

Završni rad br. 533/EL/2023

Osiguranje kvalitete prilikom projektiranja sunčane elektrane za obiteljske kuće po modelu samoopskrbe

Student

Igor Polančec, 0336042706

Mentor

dr. sc. Josip Nađ, dipl. ing. el.

Varaždin, veljača 2024. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

| | | | |
|-----------------------------|--|--------------|----------------------|
| ODJEL | Odjel za elektrotehniku | | |
| STUDIJ | preddiplomski stručni studij Elektrotehnika | | |
| PRISTUPNIK | Igor Polančec | MATIČNI BROJ | 0336042706 |
| DATUM | 5.12.2023. | KOLEGIJ | Osiguranje kvalitete |
| NASLOV RADA | Osiguranje kvalitete prilikom projektiranja sunčane elektrane za obiteljske kuće po modelu samoopskrbe | | |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Quality assurance when designing a solar power plant for family homes based on the self-supply model | | |
| MENTOR | dr. sc. Josip Nađ | ZVANJE | Predavač |
| ČLANOVI POVJERENSTVA | 1. izv. prof. dr. sc. Srđan Skok 2. doc. dr. sc. Dunja Srpak 3. dr. sc. Josip Nađ, predavač 4. mr. sc. Ivan Šumiga, viši predavač 5. | | |

Zadatak završnog rada

BROJ 533/EL/2023

OPIS

U završnom radu je potrebno prikazati i analizirati proces projektiranja sunčanih elektrana za obiteljske kuće, sa stanovišta osiguranja kvalitete:

- navesti zakone, pravilnike i norme koji definiraju proces projektiranja sunčanih elektrana
- navesti ključne elemente sunčanih elektrana i objasniti principe njihovog projektiranja
- navesti svu dokumentaciju potrebnu za projektiranje, izradu i montažu sunčanih elektrana
- ukazati na kritične točke procesa
- prikazati konkretan primjer s troškovnikom i procjenom isplativosti

ZADATAK URUČEN

6.12.2023.



POTPIS MENTORA

J. Nađ

Predgovor

Zahvaljujem mentoru dr. sc. Josipu Nađu, dipl. ing. el. na savjetima, stručnoj pomoći te uloženom vremenu tijekom izrade završnog rada. Također, zahvaljujem poslovnim kolegama na pomoći oko stručne literature te prenesenom znanju.

Zahvaljujem svim profesorima Sveučilišta Sjever na prenesenom znanju i vještinama.

Veliko hvala obitelji, prijateljima i kolegama na svojoj pomoći i podršci tijekom studiranja.

Sažetak

U današnje suvremeno doba, u kojem se sve više ističe potreba za ekološki prihvatljivim izvorima energije, solarna energija postaje ključan faktor u transformaciji energetske sustava kućanstava. Integracija solarnih panela na krovove domova omogućuje proizvodnju energije, pružajući kućanstvima mogućnost da postanu neovisnija.

Ključno je istaknuti da osiguranje kvalitete tijekom projektiranja ovih sustava nije samo pitanje učinkovitosti, već i usklađenosti s nizom propisa, standarda i normi koje reguliraju njihovu primjenu. Utjecaj normi i propisa na proces projektiranja solarnih elektrana za kućanstva i njihovo poštivanje osigurava sigurnost, performanse i dugoročnu održivost tih sustava. Fokusirajući se na analizu relevantnih standarda u području projektiranja solarnih instalacija za kućanstva po modelu samoopskrbe, završni rad naglašava ključne aspekte usklađenosti i implementacije propisanih smjernica kao temelj za postizanje visoke kvalitete u solarnim elektranama na razini kućanstva.

Rad istražuje zakone, standarde i norme koji definiraju proces projektiranja sunčanih elektrana te njihovu primjenu kod ključnih elemenata. Na konkretnom primjeru prikazana je cijena investicije te procjena njezine isplativosti. Također, rad sadržava potrebnu dokumentaciju za projektiranje, izradu i montažu sunčanih elektrana na razini obiteljskih kuća. Sadržava i praktične primjene, izazove i potencijalne prepreke u procesu usvajanja solarnih tehnologija u kućanstvima. Opisan je postupak priključenja elektrane na mrežu te je opisana norma koja definira uvjete kod električnih instalacija fotonaponskih sustava.

Ključne riječi: solarna energija, energetski sustav, solarni paneli, projektiranje, norme, propisi, standardi, samoopskrba, isplativost, dokumentacija, mreža

Abstract

In the contemporary era, characterized by an increasing emphasis on the need for environmentally friendly energy sources, solar energy emerges as a pivotal factor in the transformation of household energy systems. The integration of solar panels onto residential rooftops facilitates energy production, providing households with the opportunity to achieve greater independence.

However, it is crucial to highlight that ensuring quality throughout the design of these systems is not merely a matter of efficiency but also compliance with a myriad of regulations, standards, and norms governing their application. The impact of standards and regulations on the process of designing solar power systems for households, and their adherence, ensures the safety, performance, and long-term sustainability of these systems. Focusing on the analysis of relevant standards in the field of designing solar installations for household self-consumption models, this thesis underscores key aspects of compliance and the implementation of prescribed guidelines as the foundation for achieving high quality in household-level solar power plants.

The paper explores the laws, standards, and norms defining the process of designing solar power plants and their application to key elements. Through a specific case study, the investment cost is presented, along with an assessment of its profitability. Additionally, the paper includes the necessary documentation for the design, fabrication, and installation of solar power plants at the family-home level. It encompasses practical applications, challenges, and potential obstacles in the adoption of solar technologies in households. The procedure for grid connection of the power plant is described, along with the norm-defining conditions for electrical installations of photovoltaic systems.

Keywords: solar energy, energy system, solar panels, design, standards, regulations, norms, self-consumption, profitability, documentation, grid

Popis korištenih kratica

| | |
|-------------------|--|
| DIN | <i>Deutsche Industrie-Norm</i> (njemačke industrijske norme) |
| HEP | Hrvatska elektroprivreda |
| HKIE | Hrvatska komora inženjera elektrotehnike |
| HRN | Hrvatska norma |
| HZN | Hrvatski zavod za norme |
| L1, L2, L3 | Fazni vodiči |
| MC | <i>Multi Contact</i> |
| N | <i>Neutral line</i> (neutralni vodič) |
| NN | Narodne novine |
| ODS | Operater distribucijskog sustava |
| OMM | Obračunsko mjerno mjesto |
| PE | <i>Protecting earthing</i> (zaštitni vodič) |
| P/F | Finožični instalacijski vodič s izolacijom od PVC smjese |
| PVC | Polivinil klorid |
| STC | <i>Standard Test Condition</i> (standardni testni uvjeti) |
| TN-S | <i>Terra – Neutral – Separate</i> (zemlja – neutralno – odvojeno) |
| VDE | <i>Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik</i> (Udruga elektrotehnike, elektronike i informacijskih tehnologija) |
| ZUDS | Zaštitni uređaj diferencijalne struje |

Sadržaj

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Uvod..... | 1 |
| 2. | Opći dio projekta sunčane elektrane | 5 |
| 2.1. | Naslovne stranice projekta | 5 |
| 2.2. | Projektni zadatak..... | 6 |
| 3. | Tehnički dio | 8 |
| 3.1. | Tehnički opis sunčane elektrane | 8 |
| 3.1.1. | <i>Fotonaponski paneli i potkonstrukcijski elementi.....</i> | 9 |
| 3.1.2. | <i>Izmjenjivači (izmjenjivači) i mikroizmjenjivači</i> | 11 |
| 3.1.3. | <i>Istosmjerni kablovi i konektori</i> | 13 |
| 3.1.4. | <i>Izmjenični kabeli.....</i> | 16 |
| 3.1.5. | <i>Razvodni ormar</i> | 19 |
| 3.1.6. | <i>Gromobranska i uzemljivačka instalacija</i> | 24 |
| 3.2. | Osiguranje kvalitete | 25 |
| 3.3. | Grafički prilozi..... | 26 |
| 4. | Procjena troškova izgradnje sunčane elektrane | 28 |
| 5. | Dokumentacija | 32 |
| 6. | Kritične točke procesa..... | 33 |
| 7. | Priključenje sunčane elektrane na mrežu | 34 |
| 8. | Norma HRN HD 60364-7-712..... | 35 |
| 9. | Dvosmjerna električna brojila..... | 36 |
| 10. | Zaključak..... | 37 |
| 11. | Literatura..... | 39 |

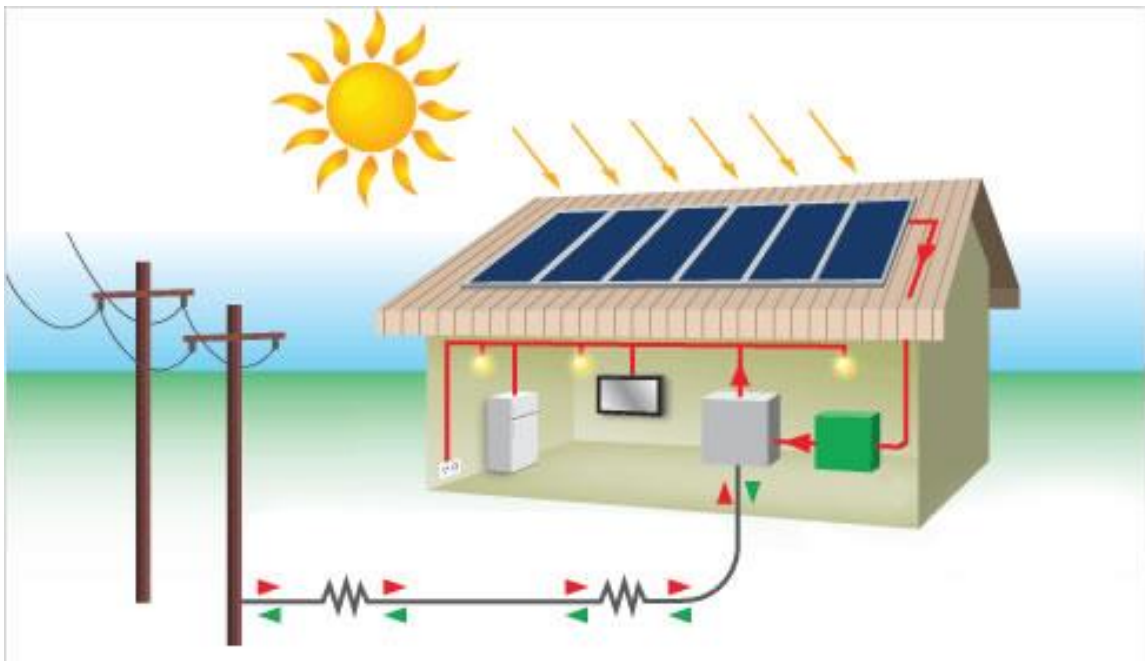
1. Uvod

Fotonaponski sustavi mogu se podijeliti u tri skupine, i to na [1]:

- fotonaponske sustave priključene na javnu elektroenergetsku mrežu (*on-grid* sustavi),
- samostalne fotonaponske sustave (*off-grid* sustavi) i
- hibridne fotonaponske sustave.

□ *ON-GRID* SUSTAVI

On-grid sustavi vrsta su fotonaponskih sustava (slika 1.) koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu, te proizvedenu električnu energiju mogu slati u istu. Sustavi koji jednosmjerno predaju energiju u mrežu spadaju u kategoriju proizvođača. Postoje i sustavi koji paralelno rade s elektroenergetskom mrežom. Takvi korisnici su kupci s vlastitom proizvodnjom [2].



Slika 1. On-grid sustav [3].

□ **OFF-GRID SUSTAVI**

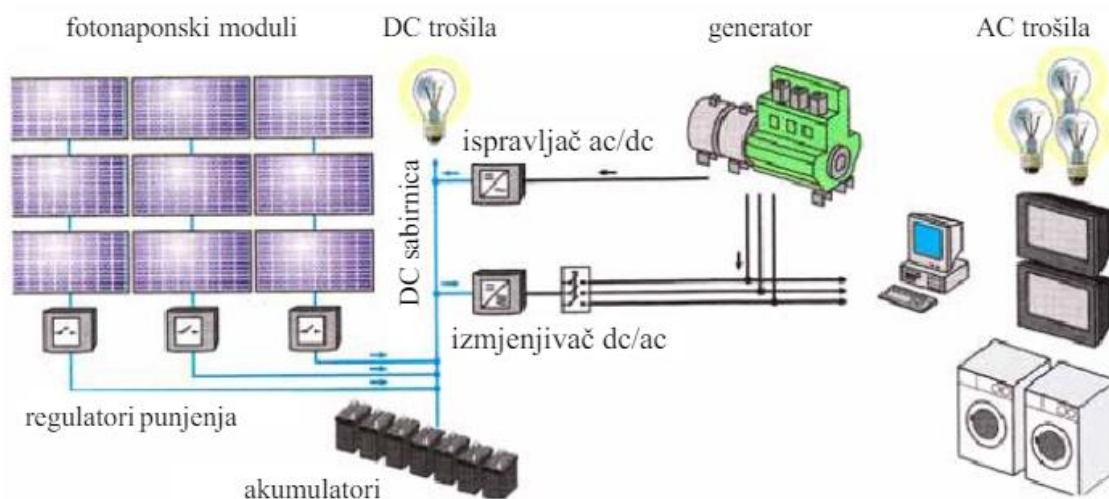
Off-grid sustavi vrsta su fotonaponskih sustava (slika 2.) koji proizvedenu električnu energiju akumuliraju u baterije ili akumulatore. Takvi sustavi omogućuju iskorištavanje proizvedene energije prema potrebi. Pogodni su za korištenje na objektima koji nemaju pristup elektroenergetskoj mreži, kao što su vikendice, planinarski domovi ili izolirane kuće [3].



Slika 2. Off-grid sustav [3].

□ HIBRIDNI SUSTAVI

Hibridni sustav kombiniran je od *off-grid* i *on-grid* sustava (slika 3.). Sustav je spojen na elektroenergetsku mrežu, ali može imati i rezervno napajanje u slučaju nestanka električne energije. Baterijski sustav omogućuje pohranjivanje proizvedene energije [4].



Slika 3. Hibridni sustav [5].

□ MODEL SAMOOPSKRBE

U Republici Hrvatskoj jedan od najaktualnijih modela fotonaponskih elektrana u kategoriji kućanstva (obiteljskih kuća) jest model samoopskrbe. Korisnik koji na objektu ima smještenu fotonaponsku elektranu je kupac s vlastitom proizvodnjom. Drugim riječima, radi se o takvom modelu u kojem potrošač priključen na mrežu (*on-grid* sustav) proizvodi električnu energiju koju iskorištava prema potrebama. Višak proizvedene električne energije može slati u elektroenergetsku mrežu, te ju može iskoristiti u kasnijem razdoblju.

U razdobljima u kojima je potrošnja električne energije veća od proizvodnje, korisnik iz električne mreže preuzima energiju kako bi zadovoljio potrebe. Ako je predaja električne energije u mrežu veća od preuzete količine energije iz mreže na kraju naplatnog razdoblja, korisnik dobiva isplaćenu naknadu po cijeni koja je dogovorena ugovorom [6].

Norme i propisi u Republici Hrvatskoj obuhvaćaju širok spektar pravila koja reguliraju različite aspekte društva. Ovi propisi uključuju zakone, standarde, pravilnike i smjernice te se bave područjima kao što su sigurnost proizvoda, zaštita potrošača, okolišna regulativa te ostali sektori društva.

U Republici Hrvatskoj, regulativa elektrotehničkih propisa i normi uglavnom dolazi kroz aktivnosti nekoliko tijela zaduženih za usklađivanje s međunarodnim standardima.

Glavne institucije koje se bave izdavanjem propisa i normi u području elektrotehnike su Hrvatski zavod za norme (HZN) i Hrvatska komora inženjera elektrotehnike (HKIE). Cilj tih institucija je osigurati sigurnost, kvalitetu proizvoda i usluga te zaštitu potrošača i okoliša, promovirajući gospodarski razvoj i javni interes.

Temeljni pravilnik kojim se definiraju pojedinosti vezane uz izradu glavnog projekta sunčane elektrane je Pravilnik o obaveznom sadržaju i opremanju projekta građevina (NN 64/2014). Svojim člancima određuje obavezni sadržaj i elemente svakog projekta.

Prema Pravilniku (NN 64/2014), svaki projekt, pa tako i glavni elektrotehnički projekt sunčane elektrane, mora sadržavati opći i tehnički dio [7].

2. Opći dio projekta sunčane elektrane

U opći dio projekta ulazi naslovna stranica, popis suradnika, popis svih mapa i projektanata te sadržaj mape. U skladu s odredbama članka 7. Pravilnika NN 64/2014, naslovna stranica mora sadržavati osnovne podatke o projektantskom uredu, ime i adresu investitora, naziv i lokaciju sunčane elektrane, zajedničku oznaku projekta, namjenu projekta, redni broj mape, zatim ime, otisak pečata i potpis ovlaštenog projektanta, mjesto i datum izrade projekta, prostor namijenjen ovjeri projekta [7].

Opći dio projekta sunčane elektrane sastoji se od: [7]

- naslovne stranice,
- popisa suradnika,
- popisa mapa i projektanata odgovornih za pojedine mape te
- sadržaja mape.

U opći dio ulazi i projektni zadatak, izjave o usklađenosti glavnog projekt sunčane elektrane s posebnim propisima, normama i pravilima te izvadak iz sudskog registra, kao i rješenje glavnog projektanta o upisu u Imenik ovlaštenih inženjera elektrotehnike Hrvatske komore inženjera elektrotehnike [7].

2.1. Naslovne stranice projekta

Dakle, svaki projekt sunčane elektrane započinje naslovnom stranicom u kojoj se navode podaci o projektantskom uredu koji je projektirao projekt sunčane elektrane, investitoru, fazi, vrsti projekta te mjestu i vremenu izrade.

Također, potrebno je navesti ime i prezime glavnog projektanta koji kasnije u projektu mora priložiti Rješenje o upisu u Imenik ovlaštenih inženjera elektrotehnike Hrvatske komore inženjera elektrotehnike.

Navedeno Rješenje dokazuje da je projektant upisan u imenik te da stječe strukovni naziv ovlaštenu inženjer elektrotehnike što znači da samostalno može obavljati poslove projektiranja i stručnog nadzora radova građenja. Upisom dobiva vlastitu inženjersku iskaznicu i pečat.

Svojim potpisom i pečatom, glavni projektant preuzima svu odgovornost nad elektrotehničkim projektom te potvrđuje da je izrađeni projekt pisan prema svim zakonskim standardima i zahtjevima.

Dokumentacija koja se nakon toga prilaže jest izvadak iz sudskog registra koji prikazuje sve podatke o projektantskom uredu, dokazuje da je ured po svim propisima i zakonima pravilno upisan u registar te da uistinu postoji.

Ako na projektu radi više projektanata, prema odredbama Pravilnika, navode se imena projektanta i njihova stručna zvanja [7].

Nadalje, ako se projekt sastoji od više mapa, u svakoj mapi potrebno je navesti naziv mape te ime i pečat projektanta koji je odgovoran za mapu [7]. Projekt sunčane elektrane obično sadrži dvije mape. Prva mapa tiče se glavnog elektrotehničkog projekta sunčane elektrane, a druga građevinskog projekta u kojoj se statičkim izračunima provjerava ispravnost konstrukcije krovne plohe na koju se postavljaju fotonaponski paneli.

2.2. Projektni zadatak

Cilj projektnog zadatka sunčane elektrane je da detaljno opiše ključne zadatke i navede kriterije za izradu projekta. Projekt treba pružiti jasne smjernice projektantima i ostalim izvršiteljima tijekom svih faza projekta, definirajući zadatke koji se moraju obaviti i one prema kojima teže.

Projektni zadatak je izrada glavnog elektrotehničkog projekta sunčane elektrane na obiteljskoj kući u svrhu potrošnje proizvedene električne energije po modelu samoopskrbe.

Detaljno se opisuje da će se raditi o sunčanoj elektrani za vlastite potrebe s točno navedenim priključnim snagama elektrane u smjeru preuzimanja (potrošnje) i smjeru predaje (proizvodnje) na postojećem obračunskom mjernom mjestu (OMM). Priključna snaga u smjeru preuzimanja predstavlja zakupljenu priključnu snagu na OMM. Priključna snaga u smjeru proizvodnje predstavlja planiranu izlaznu snagu elektrane. Nakon toga se detaljnije navodi regulativni okvir prema kojemu se projekt izrađuje. Taj projekt treba biti rađen prema: [8]

- Pravilniku o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN 112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20); članak 5. stavak 11. – „na postojećoj građevini priključenoj na elektroenergetsku mrežu kojim se postavlja sustav fotonaponskih modula u svrhu proizvodnje električne energije s pripadajućim razdjelnim ormarom i sustavom priključenja na javnu mrežu za predaju energije u mrežu“ [9],
- važećim normama za fotonaponske sustave,
- Zakonu o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19),
- Zakonu o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19) te
- tehničkim propisima za niskonaponske električne instalacije.

Na temelju Zakona o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19) i Pravilnika o sadržaju izjave projektanta o usklađenosti glavnog, odnosno idejnog projekta, a u skladu s odredbama posebnih zakona i drugih propisa (NN 98/99) izdaju se sljedeće izjave: [10]

- izjava o usklađenosti s navedenim propisima, pravilnicima i normama kojom glavni projektant potvrđuje da je projekt rađen po navedenim zakonima te da je cijeli projekt projektiran u skladu s njima [8] i
- izjava kojom glavni projektant izjavljuje da je elektrana koja se gradi prema glavnom projektu jednostavna građevina te da se, sukladno članku 5. stavka 11. Pravilnika o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN 112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20) te članku 128. Zakona o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19), građenju može pristupiti bez prethodno ishodađenih građevinskih dozvola [8].

Prema Zakonu o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19), projektant ima odgovornost osigurati da njegov izrađeni projekt udovoljava svim zakonskim standardima i zahtjevima. Navedeno uključuje provjeru odgovara li građevina koju je projektirao odobrenoj lokacijskoj dozvoli ili uvjetima propisanim prostornim planom.

3. Tehnički dio

Tehnički dio glavnog projekta sastoji se od tekstualnog dijela te grafičkih prikaza i priloga. U tekstualnom dijelu daje se detaljan opis svih rješenja i proračuna, tehničkih podataka kojima je cilj prikazati usklađenost s temeljnim zahtjevima i uvjetima koje projektirana sunčana elektrana mora ispunjavati [7].

Grafičkim prikazima grafički se prikazuje situacija (položaj) projektirane elektrane na krovnoj plohi te njezina povezanost s drugim dijelovima građevine. Važno je da se shematski prikažu novo projektirani dijelovi elektrane [7].

Tekstualnim dijelom detaljnije opisujemo pojedine dijelove od kojih se će se elektrana sastojati. Taj dio sadrži sve tehničke specifikacije pojedinih elemenata elektrane, kao i proračune i rješenja koja daju odgovore na sve zadatke koji se definiraju u projektom zadatku [7].

Svi ti izračuni, tehnički podaci i planovi u tehničkom dijelu se dodatno razdvajaju u specifične projekte za različite struke, prilagođene zadacima tih struka. To obuhvaća: [7]

- tehnički opis elektrane,
- potvrdu usklađenosti sa zahtjevima, proračunima i fizičkim svojstvima kojima se dokazuje da je sunčana elektrana projektirana u skladu s propisima Zakona o gradnji,
- plan za kontrolu i osiguranje kvalitete te
- procjenu troškova izgradnje sunčane elektrane.

3.1. Tehnički opis sunčane elektrane

Tehnički opis elektrane ili njezinog segmenta obuhvaća sve relevantne tehničke detalje o planiranoj građevini ili njezinom dijelu, specifikacije i zahtjeve koji se moraju zadovoljiti tijekom izvođenja radova. Navedeno uključuje način izvođenja radova, upotrebu građevinskih materijala i opreme te strukturu, prilagođenu vrsti elektrane [7].

Dijelovi projektirane sunčane elektrane su:

- fotonaponski paneli i potkonstrukcijski elementi,
- mrežni izmjenjivači ili mikroizmjenjivači,
- istosmjerni kabeli,
- izmjenični kabeli,
- razvodni ormar elektrane te
- gromobrankska i uzemljivačka instalacija.

3.1.1. Fotonaponski paneli i potkonstrukcijski elementi

Fotonaponski panel je temeljna montažna jedinica, formirana nizom električki povezanih ćelija. Spajanjem fotonaponskih panela u seriju formira se niz panela koji čini temeljni dio elektrane. Elektrana može biti sastavljena od jednog ili više nizova.

Svaki panel prije postavljanja na krovnu plohu, prema zakonima, mora biti ispitan te zadovoljiti norme i certifikate kojima se osigurava kvaliteta, dugoročnost i otpornost panela na klimatske uvjete u kojima radi [8].

Pravilnici po kojima paneli moraju biti ispitani i izrađeni su: [8]

- HRN EN 61215:2021 – Zemaljski fotonaponski (PV) moduli – Ocjena projekta i odobrenje tipa – Dio 1-1: Posebni zahtjevi za ispitivanje fotonaponskih (PV) modula od kristalnog silicija,
- HRN EN 61730-1:2018 – Kvalifikacija sigurnosti fotonaponskog (PV) modula – 1. dio: Zahtjevi za konstrukciju te
- HRN EN 61730-2:2018 – Svojstvo sigurnosti fotonaponskog modula – 2. dio: Zahtjevi za ispitivanje.

Panel, sukladno Pravilniku, treba biti testiran pri standardnim testnim uvjetima (STC). Svaki proizvođač panela u tehničkom listu panela mora navesti vrijednosti izmjerene prilikom testiranja (slika 4.). Izlazne vrijednosti su nužne za daljnje projektiranje.

| Vrijednosti parametara pri standardnim testnim uvjetima (STC) | | | | | | |
|---|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| MODEL | | SV144-435 E HC9B | SV144-440 E HC9B | SV144-445 E HC9B | SV144-450 E HC9B | SV144-455 E HC9B |
| Vršna snaga P_{MPP} | [W] | 435 | 440 | 445 | 450 | 455 |
| Dozvoljeno odstupanje | [W] | -0/+5 | | | | |
| Struja kratkog spoja I_{SC} | [A] | 11,24 | 11,24 | 11,24 | 11,27 | 11,29 |
| Napon praznog hoda U_{OC} | [V] | 48,81 | 49,08 | 49,53 | 49,70 | 49,94 |
| Nazivna struja I_{MPP} | [A] | 10,55 | 10,57 | 10,60 | 10,63 | 10,66 |
| Nazivni napon U_{MPP} | [V] | 41,36 | 41,69 | 42,12 | 42,34 | 42,69 |
| Dozvoljeno odstupanje napona i struje | [%] | ± 3 | | | | |
| Učinkovitost modula | [%] | 20,01% | 20,24% | 20,47% | 20,70% | 20,93% |

Slika 4. Izlazne vrijednosti panela pri standardnim testnim uvjetima (STC) [11].

Također, panel mora biti opremljen premosnom (*bypass*) diodom. Premosna dioda sprečava pregrijavanje i uništenje panela uslijed zasjenjenja dijela panela [12].

Paneli se uz pomoć potkonstrukcijskih dijelova pričvršćuju na krovnu plohu. S obzirom na vrstu pokrova i položaj u koji se postavljaju paneli, projektant odabire vrstu potkonstrukcije. Učvršćivanje elemenata potkonstrukcije za krov prekriven crijepom (slika 6.) ili limom (slika 5.) odvija se specijaliziranim šarafima, ovisno o vrsti pokrova, koji se pričvršćuju u drvenu konstrukciju krova te ni na koji način ne oslabljuju statiku krova.



Slika 5. Konstrukcijski elementi za postavljanje panela na lim [13].



Slika 6. Konstrukcijski elementi za postavljanje panela na krov prekriven crijepom [14].

Elementi su izrađeni od aluminija kako bi imali što manju težinu. Kod ravnih krovova (slika 7.) koristi se „balastirana“ konstrukcija na koju se postavljaju paneli. Radi se o vrsti konstrukcije koja se za krov ne pričvršćuje šarafima, već „balast“ blokovima koji služe kao utezi i drže konstrukciju na mjestu.



Slika 7. Konstrukcijski elementi za postavljanje panela na ravan krov [15].

Proračune vezane uz statiku krovne konstrukcije, proračun elemenata potkonstrukcije i razmak između panela izrađuje ovlaštenu građevinski projektant u građevinskom projektu.

Prilikom postavljanja modula na krovnu plohu potrebno je pažnju obratiti na poziciju protupožarnih zidova. Panel se postavlja najmanje 1 m od požarnog zida te požarni zid mora biti minimalno 30 cm viši od gornjeg dijela panela [8].

3.1.2. Izmjenjivači i mikroizmjenjivači

Izmjenjivači (slika 8.) i mikroizmjenjivači su elektronički uređaji koji istosmjernu struju proizvedenu u panelu pretvaraju u izmjeničnu koja se zatim predaje u glavni razvod objekta.

Sukladno pravilima HEP ODS-a, izmjenjivači se ugrađuju na mjesta koja su zaštićena od atmosferskih utjecaja [8]. Izmjenjivač mora biti opremljen nizom zaštita na izmjeničnoj strani, uključujući zaštitu od otočnog rada, nadfrekventnu, podfrekventnu, nadnaponsku, podnaponsku i impendantu zaštitu. Izmjenjivač mora i sadržavati prekidač koji ga uslijed nedozvoljenog pogona automatski isključuje iz mreže ili ga, ako su ispunjeni uvjeti sinkronizacije, priključuje na mrežu [8]. Dodatno, izmjenjivač mora sadržavati i sustav koji sprečava injektiranje istosmjerne struje u mrežu.

Zaštita od indirektnog dodira na istosmjernoj strani i izmjeničnoj strani s pomoću posebnog releja jedan je od najvažnijih elemenata koje izmjenjivač mora sadržavati.



Slika 8. Huawei izmjenjivač [16].

Korišteni izmjenjivači moraju biti kompatibilni s međunarodnim normama elektromagnetske kompatibilnosti: EN 61000-6-2, EN 61000-6-3/A1 [17]. Zaštita od indirektnog dodira na istosmjernoj i izmjeničnoj strani izmjenjivača mora odgovarati normi HRN HD 60364-4-41:2017. Prilikom odabira izmjenjivača, važno je detaljno proučiti ulazne parametre izmjenjivača (slika 9.).

| | Input (PV) | | | | | |
|--|------------|----------|----------|---------------|-----------|-----------|
| | 4,500 Wp | 6,000 Wp | 7,500 Wp | 9,000 Wp | 12,000 Wp | 15,000 Wp |
| Recommended max. PV power ¹ | | | | | | |
| Max. input voltage ² | | | | 1,100 V | | |
| Operating voltage range ³ | | | | 140 V ~ 980 V | | |
| Start-up voltage | | | | 200 V | | |
| Rated input voltage | | | | 600 V | | |
| Max. input current per MPPT | | | | 11 A | | |
| Max. short-circuit current | | | | 15 A | | |
| Number of MPP trackers | | | | 2 | | |
| Max. input number per MPP tracker | | | | 1 | | |

Slika 9. Ulazni parametri izmjenjivača [18].

Prilikom definiranja broja modula koji ulaze u jedan niz, važno je da napon niza ne prelazi maksimalnu ulaznu vrijednost napona. Također, bitno je da napon niza nije manji od napona pokretanja izmjenjivača jer u tim slučajevima izmjenjivač neće raditi. Isto tako, važno je da struja modula ne prelazi maksimalnu vrijednost ulazne struje u izmjenjivač.

3.1.3. Istosmjerni kabeli i konektori

Za distribuciju vodiča duž fotonaponskih panela, koriste se pripremljene spojne kutije postavljene na svakom panelu koje sadrže gotove izvode i standardne MC4 konektore. Vodiči koji se spajaju između panela moraju biti vidljivi. Na krajevima svake grupe panela, vodiči se postavljaju duž utora nosivih profila, pričvršćuju vezicama i djelomično smještaju u metalne kabelske kanale duž staze duž krova i zida. Za to se koriste vodiči tipa H1Z2Z2-K (PV1-F), pojedinačni fleksibilni kabeli prilagođeni za fotonaponske panele s izolacijom od umreženih polimera i bezhalogenog plašta (slika 10.) [19]. Ovi kabeli mogu se koristiti za povezivanje različitih dijelova fotonaponskih sustava, kako za vanjske, tako i za unutarnje postavke, uključujući nezaštićene cijevi, te ih se može polagati izravno ili neizravno ispod površine zemlje [19].

Istosmjerni kabeli moraju zadovoljavati sljedeće propise: [10]

- otpornost na atmosferske utjecaje prema EN 50396,
- otpornost na UV zračenje prema HD 605/A1,
- otpornost na toplinu prema DIN EN 60332-1-2, IEC 60332-1 te
- samogasivost: IEC 60332-1.



Slika 10. Prikaz PV1-F solarnog kabela [20].

Dimenzioniranje takvih vodova vrši se prema [10]:

- naponskoj klasi kabela,
- trajno podnosivoj struji kabela te
- minimiziranju gubitaka u kabelima.

Kabel PV1-F pogodan je za upotrebu do 1000 V izmjenične struje te do 1500/1800 V istosmjerne struje, što je ujedno naponska klasa kabela. Vrlo je važno da napon jednog niza panela ne prelazi spomenute vrijednosti [10].

Veličina presjeka kabela dimenzionira se u odnosu na maksimalnu struju koja može teći kroz pojedini presjek (slika 11.).

| Dimenzije - broj žila x presjek vodiča | Konstrukcija pojedinog vodiča | Vanjski promjer | Debljina izolacije | Debljina plašta | Otpor vodiča pri 20 °C | Strujno opterećenje | Težina Cu | Težina kabela |
|--|-------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|------------------------|---------------------|-----------|---------------|
| nazivno | nazivno | približno | nazivno | nazivno | maks. | nazivno | | približno |
| N x mm ² | n x mm | mm | mm | mm | mm | Ω/km | kg/km | kg/km |
| 1 x 1,5 | 30 x 0,25 | 5,1 | 1,6 | 0,7 | 13,3 | 30 | 14,4 | 38,4 |
| 1 x 2,5 | 50 x 0,25 | 5,4 | 2,0 | 0,7 | 7,98 | 41 | 24 | 45,4 |
| 1 x 4 | 56 x 0,30 | 6,2 | 2,5 | 0,7 | 4,95 | 55 | 38,4 | 60,1 |
| 1 x 6 | 84 x 0,30 | 6,9 | 3,1 | 0,7 | 3,30 | 70 | 57,6 | 90,7 |
| 1 x 10 | 80 x 0,40 | 8,2 | 4,1 | 0,7 | 1,91 | 98 | 96 | 131,1 |
| 1 x 16 | 128 x 0,40 | 9,3 | 5,2 | 0,7 | 1,21 | 132 | 153,6 | 187,1 |
| 1 x 25 | 200 x 0,40 | 10,8 | 6,5 | 0,9 | 0,78 | 176 | 240 | 276,1 |
| 1 x 35 | 280 x 0,40 | 12,1 | 7,5 | 0,9 | 0,554 | 218 | 336 | 368,8 |
| 1 x 50 | 400 x 0,40 | 14,8 | 9,0 | 1,0 | 0,386 | 276 | 480 | 557 |
| 1 x 70 | 356 x 0,50 | 16,9 | 11,0 | 1,1 | 0,272 | 347 | 672 | 767 |
| 1 x 95 | 485 x 0,50 | 18,7 | 12,7 | 1,1 | 0,206 | 416 | 912 | 989,6 |
| 1 x 120 | 614 x 0,50 | 20,7 | 13,7 | 1,2 | 0,161 | 488 | 1152 | 1232,8 |

Slika 11. Specifikacije istosmjernih fotonaponskih kabela [21].

Za trajno podnosivu struju kabela moraju biti zadovoljene vrijednosti prema normi IEC 60512 – dio 3. Kabel se najčešće dimenzionira na struju I_{max} koja je jednaka razlici struje kratkog spoja panela i struje kratkog spoja niza [10];

$$I_{max} = I_{ksfp} - I_{niza}$$

gdje je:

I_{max} (A) – maksimalna struja kroz kabel,

I_{ksfp} (A) – struja kratkog spoja fotonaponskog panela,

I_{niza} (A) – struja kratkog spoja jednog niza.

Kabli moraju biti zaštićeni od preopterećenja i kratkog spoja [8]. Ako se kabel dimenzionira za struju I_{max} , on je automatski zaštićen od preopterećenja.

Ako se za zaštitu kabela od preopterećenja koriste zaštitni uređaji, oni moraju biti odabrani tako da njihove dozvoljene maksimalne struje budu veće od struje I_{\max} [10].

Sukladno normi IEC 60364-7-712 – Niskonaponske električne instalacije – Dio 7-712: Zahtjevi za posebne instalacije ili prostore – Fotonaponski sustavi (PV), kable moraju biti dimenzionirani da podnose struju koja je 1,25 puta veća od struje kratkog spoja fotonaponskog panela te ih je potrebno pravilno položiti kako bi bili osigurani od kratkog spoja i zemljospoja [10].

Istosmjerni kabel potrebno je zaštititi određenim tipom zaštita kako prilikom proboja izolacije kabela ne bi došlo do toka struje kroz dijelove potkonstrukcije ili neke druge metalne dijelove koji se nalaze u blizini [8].

Propisom je određeno da dimenzionirani presjek kabela uzima u obzir što manje gubitke u kableu. Propis koji definira taj parametar je DIN VDE 0100-712 – Niskonaponske instalacije (*Low-voltage installations*). Tim propisom se ograničava gubitak energije kroz istosmjerne kabele na najviše 1% kod standardnih uvjeta testiranja (STC) [10].

Nakon dimenzioniranja istosmjernih kabela potrebno je odabrati spojnu opremu kojom se kablovi spajaju.

Konektori koje je potrebno koristiti su specijalno namijenjeni za povezivanje opreme za fotonaponske sustave, te mogu izdržati napon do 1000 V [8]. Osim toga, bitno je da su otporni na vlagu, prašinu i vanjske utjecaje (s odgovarajućom IP zaštitom). S obzirom na to da većina fotonaponskih panela na spojnim kutijama ima već ugrađene konektore, preporučuje se korištenje istih takvih konektora. Radi se o konektorima MC4 tipa (slika 12.).



Slika 12. MC4 konektori [22].

3.1.4. Izmjenični kabeli

Izmjenični tip kabela u fotonaponskim elektranama ključan je jer proizvedenu električnu energiju, koja se u izmjenjivaču iz istosmjernog oblika pretvara u izmjenični oblik, prenosi do instalacije objekta gdje se upotrebljava prema potrebi. Zbog toga je iznimno važno izabrati pravilan presjek kabela. Kod fotonaponskih sustava s manjim izlaznim snagama, kao što su sustavi koji se ugrađuju na obiteljske kuće, preporučuje se korištenje izmjeničnog energetskog kabela tipa NYY-J prema normama HRN N.C5 220 – Kabeli s izolacijom od termoplastičnih masa na bazi polivinilklorida s plaštom od polivinilklorida ili termoplastičnog polietilena za napone do 10kV te HRN N.C3.200 – Elektroenergetika – Instalacijski vodiči s izolacijom od PVC mase, tip P, nazivnog napona 450/700 V. Takav tip kabela namijenjen je korištenju na otvorenom, u vodi, zemlji, kabelskim kanalima i betonu te mjestima u kojima se ne očekuju neka značajnija mehanička opterećenja istih. Radi se o punom bakrenom vodiču prve klase koji je omotan izolacijom i plaštem od PVC-a (slika 13.) [24].



Slika 13. Energetski kabel tipa NYY-J (PP00) [25].

Prilikom dimenzioniranja provodi se kontrola kabela na maksimalno dozvoljeno strujno opterećenje sukladno normi HRN.N.B2.743 – Električne instalacije u zgradama – Zahtjevi za sigurnost – Nadstrujna zaštita. Prema normi presjek voda mora zadovoljavati sljedeći uvjet:

$$I_T \leq I_n \leq I_Z ,$$

gdje je:

I_T (A) – struja tereta za koji se kabel predviđa,

I_n (A) – nazivna struja zaštitnog uređaja,

I_Z (A) – dozvoljena struja kabela.

Struja tereta ovisi o instaliranoj snazi elektrana te se računa prema:

a) jednofaznom opterećenju:

$$I_T = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi}$$

b) trofaznom opterećenju:

$$I_T = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$$

gdje je:

I_T (A) – struja tereta,

P (W) – snaga fotonaponske elektrane,

U (V) – fazni napon (kod jednofaznog opterećenje 230 V, kod trofaznog 400 V),

$\cos\varphi$ – faktor snage (u granicama od 0 do 1).

Nakon proračunavanja struje tereta I_T promatra se dozvoljena struja kabela I_Z (slika 14.), te se izabire presjek kabela tako da je zadovoljen uvjet. Trajno dozvoljene struje kabela definirane su normom HRN N.B2.752 – Trajno dozvoljene struje.

| Opteretivost kabela | | | | |
|----------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Presjek mm ² | Struja Cu (A) | Osigurač Cu (A) | Struja Al (A) | Osigurač Al (A) |
| 0,75 | 12 | 6 | | |
| 1 | 15 | 10 | | |
| 1,5 | 18 | 10 | | |
| 2,5 | 26 | 20 | 20 | 16 |
| 4 | 34 | 25 | 27 | 20 |
| 6 | 44 | 35 | 35 | 25 |
| 10 | 61 | 50 | 48 | 35 |
| 16 | 82 | 63 | 64 | 50 |
| 25 | 108 | 80 | 85 | 63 |
| 35 | 135 | 100 | 105 | 80 |
| 50 | 168 | 125 | 132 | 100 |
| 70 | 207 | 160 | 163 | 125 |
| 95 | 250 | 200 | 197 | 160 |
| 120 | 292 | 250 | 230 | 200 |
| 150 | 335 | 250 | 263 | 200 |
| 185 | 382 | 315 | 301 | 250 |
| 240 | 453 | 400 | 357 | 315 |
| 300 | 504 | 400 | 409 | 315 |

Slika 14. Tablica opteretivosti kabela [26].

Nakon odabira presjeka kabela, proračunava se kritična duljina kabela. Kritična duljina kabela podrazumijeva maksimalnu duljina kabela s obzirom na pad napona [5].

Dopuštena odstupanja od nazivnog napona (pad napona), prema Pravilniku o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona (NN 53/88), iznose 3 % za strujne krugove rasvjete i 5 % za ostale strujne krugove.

Pad napona na vodiču računa se prema:

$$u = \frac{100 \cdot P_{max} \cdot L}{\chi \cdot S \cdot U^2}$$

gdje je:

- u (%) – pad napona na vodiču,
- P_{max} (W) – maksimalna snaga elektrane,
- L (m) – kritična duljina kabela,
- χ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$) – specifična vodljivost materijala,
- S (mm^2) – presjek izmjeničnog kabela,
- U (V) – linijski napon.

Provjera presjeka vodiča na djelovanje kratkog spoja sukladno normi HRN N.B2.743 vrši se prema formuli:

$$\sqrt{t} = \frac{k \cdot S}{I}$$

gdje je:

- t (s) – vrijeme trajanja kratkog spoja,
- S (mm^2) – izabrani presjek kabela,
- I (A) – efektivna vrijednost struje kratkog spoja,
- k – faktor ovisan o materijalu izolacije i vodiča.

Faktor k definiran je sljedećom tablicom [27]:

| Tip vodiča | Bakreni vodič s PVC izolacijom | Bakreni vodič s izolacijom od gume | Aluminijski vodič s PVC izolacijom | Aluminijski vodič izoliran gumom |
|------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| k | 115 | 135 | 74 | 87 |

Vrijeme trajanja kratkog spoja mora biti u skladu s normom HRN N.B2. – Električne instalacije u zgradama – Zahtjevi za sigurnosti – Zaštita od električnog udara, prema sljedećoj tablici:

| | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-------|
| U (V) | 120 | 230 | 400 | > 400 |
| t (s) | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |

3.1.5. Razvodni ormar

Razvodni ormar elektrane je mjesto u koje se smještaju elektrotehnički sklopni aparati i oprema tako da budu poštivani svi tehnički zahtjevi za pravilno rukovanje.

Vodiči kojima se povezuju sklopni aparati i oprema označavaju se u skladu s normom HRN HD 308 S2 – Prepoznavanje žila u kabelima i priključnim gipkim vodovima, i to tako da se crnom, smeđom i sivom bojom označavaju fazni vodiči (L1, L2, L3), plavom bojom nulti vodič (N) te žuto-zelenom zaštitni vodič (PE).

Sabirnice nultog i zaštitnog vodiča u ormaru postavljaju se odvojeno. Ormar na sebi mora sadržavati jednopolnu shemu te s vanjske strane vidljive oznake upozorenja, kao i gljivasto tipkalo za isključenje sustava u slučaju nužde [10].

□ AUTOMATSKI OSIGURAČI

Sklopni aparati koji se koriste za zaštitu vodova od kratkog spoja i preopterećenja su automatski osigurači, sukladno Mrežnim pravilima distribucijskog sustava (NN 74/2018) članku 146. Kod fotonaponskih elektrana koriste se automatski osigurači tipa B (slika 15.).

Prema normi IEC 60898 – Električni pribor – Instalacijski prekidači za nadstrujnu zaštitu za kućanstvo i slične instalacije – 1. dio: Instalacijski prekidači za rad s izmjeničnom strujom, radi se o osiguračima čija je karakteristika okidanja kod $(3-5) \cdot I_n$.

Parametri osigurača koji se prilikom odabira provjeravaju su nazivna struja, prekidna moć te broj polova osigurača.

- Nazivna struja osigurača odabire se prema presjeku kabela (slika 14.).
- Prekidna moć pokazuje koliko struje automatski osigurač može podnijeti prije nego dođe do lomljenja istog [28].

- Ako osigurač radi na faznom naponu od 220 (230) V izmjenične struje, onda ima 2 pola, a ako radi na naponu od 380 (400) V, onda je 4-polni.

Zadatak osigurača je da prilikom kvara isključi dio instalacije koji je u kvaru, ali da pritom ostatak instalacije ostane pod naponom.

Selektivnost zaštite rješava se spajanjem osigurača u seriju, ali tako da se prilikom kvara prekine samo osigurač koji je najbliži mjestu kvara [10].



Slika 15. Automatski osigurač [29].

□ ZAŠTITNI UREĐAJ DIFERENCIJALNE STRUJE

Zaštita od indirektnog dodira postiže se uporabom ZUDS-a (slika 16.). ZUDS (diferencijalna sklopka) uz pomoć mjernih transformatora mjeri diferencijalnu struju. Potencijal između nultog i faznog vodiča uvijek mora biti isti. Ako dođe do promjene potencijala uslijed gubitka struje u mreži, ZUDS detektira razliku u struji te automatski isključi napon u mreži. Parametri koji su važni prilikom odabira ZUDS-a su nazivna struja, nazivna diferencijalna struje i broj polova.

Kod sunčanih elektrana predviđa se korištenje ZUDS-a tipa A [8]. Tip A, osim što reagira na pojavu neželjene struje, reagira i na pojavu istosmjernih komponenti, pa tako sprječava injektiranje istosmjerne komponente struje u mrežu. Nazivna struja ZUDS-a mora biti veća od nazivne struje automatskog osigurača kako prilikom kvara ne bi isključio ZUDS, već automatski osigurač koji se nalazi najbliže mjestu kvara. Broj polova ZUDS-a ovisi o vrsti električnih instalaciju u koje su ugrađuje.



Slika 16. Zaštitni uređaj diferencijalne struje [30].

TN-S sustav najviše se koristi kod sunčanih elektrana jer je riječ sustavu koji ima poseban nulti vodič te poseban zaštitni vodič. Takav sustav omogućuje korištenje ZUDS-a.

Kod TN-C sustava se, sukladno normi HRN HD 60364-4-41, kao zaštitni elementi koriste osigurači, odnosno zaštitni prekostrujni elementi.

Zaštita od napona dodira jest automatsko isklapanje napajanja u TN-S sustavu.

Uvjet za automatsko isklapanje kod TN-S je [8]:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

gdje je:

Z_s (Ω) – impedancija petlje kvara,

I_a (A) – struja greške,

U_0 (V) – nazivni fazni napon (230 V).

□ GLAVNI PREKIDAČ SUNČANE ELEKTRANE

Glavni prekidač (slika 17.) sunčane elektrane, koji se ugrađuje u razvodni ormar, mora biti opremljen pomoćnim kontaktom na koji se spaja gljivasto tipkalo, te se tako daljinskim isklupom isključuje postrojenje u slučaju nužde. Radi se o četveropolnom kompaktnom prekidaču snage.

U razvodni ormar se spaja na odlazu prema glavnom razvodnom ormaru instalacije objekta te mora sadržavati sve vrste zaštita sukladno zahtjevima HEP-a [8].



Slika 17. Kompaktni prekidač snage [31].

□ ODVODNIK PRENAPONA

Sukladno članku 148. propisa NN 74/2018, odvodnici prenapona (slika 18.) štite mjerne i komunikacijske uređaje od pogonskih i atmosferskih prenapona. To su uređaji koji ograničavaju prenapon tako da se ponašaju kao nelinearni otpori koji uvijek zadržavaju konstantan napon na sebi.

U razvodni ormar sunčane elektrane ugrađuju se katodni odvodnici prenapona. Odabiru se odvodnici tipa T1 + T2. Radi se o odvodnicima struje munje (T1) i prenapona (T2) za TN-S sustave [8].

Po pravilu se u strujni krug spaja na izlazu prema mreži. Zahtjevi za zaštitu od prenapona definirani su u normi IEC 60364-5-53 – Niskonaponske električne instalacije – Dio 5-53: Odabir i ugradnja električne opreme – Sklopni i upravljački uređaji te IEC 60364-4-44-443 – Niskonaponske električne instalacije – Dio 4-44: Sigurnosna zaštita – Zaštita od naponskih i elektromagnetskih smetnji – 443. odjeljak: Zaštita od prolaznih atmosferskih ili sklopnih prenapona.

Važni parametri odvodnika su najviši radni napon i impulsna struja. Impulsna struja je tjemena vrijednost struje munje koju odvodnik može podnijeti. Najviši radni napon je maksimalna vrijednost napona koja smije trajno biti prisutna na odvodniku. [32]



Slika 18. Odvodnik prenapona [33].

3.1.6. Gromobranska i uzemljivačka instalacija

Gromobranska instalacija (slika 19.) projektira se sukladno Tehničkom propisu za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama (NN 87/08, 33/10) [34]. Sukladno pravilniku, ta instalacija mora sadržavati: hvataljke, sustav odvoda, uzemljivač, mjerne spojeve, zemljovod i dopunski pribor te se taj sustav izvodi u obliku Faradayevog kaveza.

Hvataljke imaju zadatak prihvatiti atmosfersko pražnjenje, te ga sustavom odvoda odvesti u zemlju. Trebaju biti postavljene tako da strše najmanje 20 cm iznad krova.

Uzemljivači, odnosno metalni dijelovi koji su propisno ugrađeni u temelj objekta, mogu se koristiti i kao sustav zaštite za sunčanu elektranu [34].

Svi metalni dijelovi potkonstrukcije međusobno se galvanski povezuju te se spajaju na temeljni uzemljivač kako bi se osiguralo izjednačenje potencijala, sukladno normama HRN HD 60364-1 – Niskonaponske električne instalacije – 1. dio: Osnovna načela, određivanje općih značajka, definicije i HRN HD 60364-5-54 – Niskonaponske električne instalacije – Dio 5-54: Odabir i ugradnja električne opreme – Uzemljenja i zaštitni vodiči.

Ako se prilikom postavljanja koriste perforirani metalni kabelski kanali, potrebno ih je dodatnim spojevima spojiti na uzemljivačku instalaciju.



Slika 19. Gromobranska instalacija građevine [5].

PE sabirnice razvodnog ormara P/F (H07V-K) vodičem se spajaju s postojećim temeljnim uzemljivačem objekta minimalnim presjekom 10 mm^2 [17].

Sukladno pravilu, vodič mora biti žuto-zelene boje. Svaki horizontalni profil potkonstrukcije se P/F vodičem također spaja na hvataljku.

Module je potrebno međusobno povezati tako da prilikom odspajanja jednog modula u nizu ne dođe do odspajanja svim modula u nizu u smislu galvanskog odvajanja [8].

3.2. Osiguranje kvalitete

Sukladno Zakonu o gradnji, svaki projekt sunčane elektrane mora sadržavati program osiguranja kvalitete. Program kvalitete sadrži uvjete koje investitor i izvođač sunčane elektrane mora poštivati te raditi u skladu s njima. Ti uvjeti podrazumijevaju pregled i ispitivanje električnih sklopnih aparata u skladu s mjerama zaštite za sigurnost. Kvaliteta ugrađenih elemenata glede zaštite od požara temelji se na atestima proizvođača. Program kontrole i osiguranja kvalitete još mora sadržavati sve vrste ispitivanja i mjerenja koje je potrebno izvršiti nakon izgradnje elektrane u svrhu provjere kvalitete izvedene elektrane [8].

Dijelovi sunčane elektrane, u koje spadaju izmjenjivači i fotonaponski paneli, moraju biti izrađeni i ispitani u skladu s propisima koji su im namijenjeni.

Kako bi se osiguralo da je korišten elektro-materijal u skladu s propisanim normama, nadzorni inženjer prije upotrebe provjerava materijal i njegovo stanje zapisuje u građevinski dnevnik. Građevinski dnevnik se vodi tijekom izvođenja radova i sadrži sve podatke, zahtjeve, priopćenja i odstupanja [35].

Nadzorni inženjer, kao i izvođač radova, prilikom obavljanja radova moraju voditi brigu da izvršeni radovi budu izvedeni kvalitetno, sukladno zakonima [35].

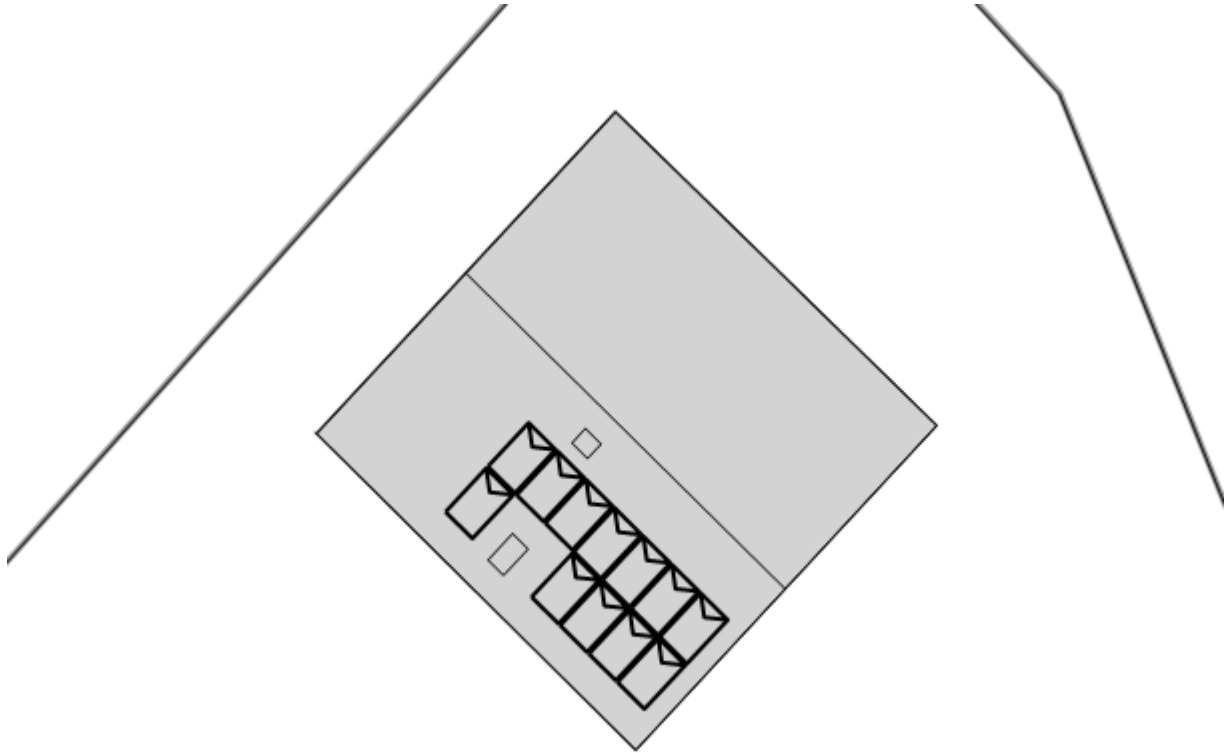
Kod postavljanja električnih vodova najviše pažnje potrebno je posvetiti njihovom polaganju i grananju. Grananje vodova obavlja se u razvodnim kutijama, dok se vodovi polažu vertikalno i horizontalno u specijalizirane perforirane kabelaške kanale određenih dimenzija. Vodiči trebaju biti po bojama sukladno pravilima. Izmjenične i istosmjerne vodove se nikako ne smije polagati u isti kabelaški kanal [35].

U protupožarnim dijelovima trebaju se koristiti specijalizirani protupožarni kabelaški kanali [35].

3.3. Grafički prilozi

Grafičkim priložima prikazuju se izgled sunčane elektrane ili samo njezinog dijela, električne sheme, nacrti projektirane elektrane te položaj u prostoru [7].

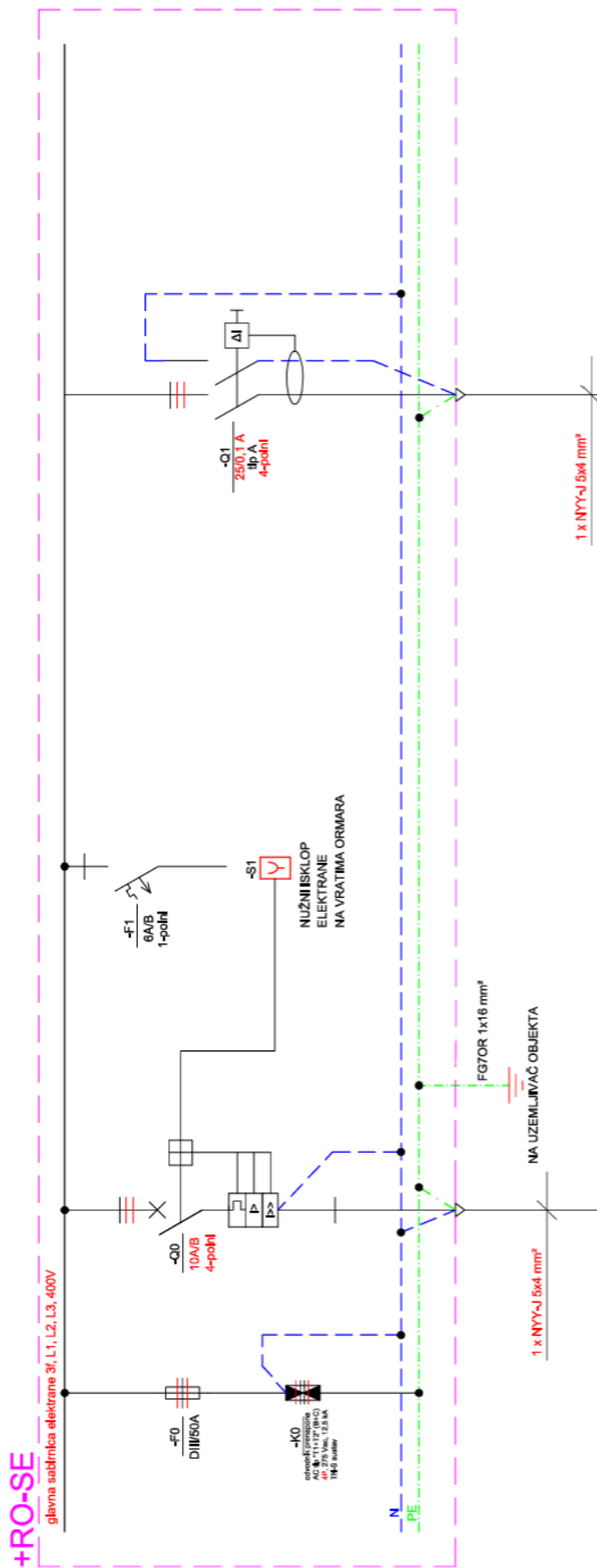
Situacijom (slika 20.) se grafički prikazuje položaj i izgled projektirane elektrane te njezin smještaj na krovnoj plohi, kao i povezanost s drugim dijelovima građevine [7].



Slika 20. Situacijski prikaz sunčane elektrane (tlocrtni prikaz).

Električnom shemom (slika 21.) prikazuje se detaljan način spajanja sklopnih aparata i uređaja u razvodnom ormaru. Elementi se, sukladno normama, prikazuju grafičkim simbolima. Međunarodnim normama za simbole u elektrotehnici (IEC) definirani su električni simboli kojima se pojednostavljeno predočuju električni elementi [23].

Shematski crteži električnih instalacija mogu biti jednopolni (električni vodiči dviju ili više faza crtaju se jednom crtom) i višepolni (tropolni) (svaki električni vodič nacrtan je jednom crtom) [23].



Slika 21. Jednopolna shema razvodnog ormara sunčane elektrane [8].

4. Procjena troškova izgradnje sunčane elektrane

Sukladno članku 24. stavki 1. Pravilnika o obaveznom sadržaju i opremanju projekta građevina (NN 118/19), svaki projekt mora sadržavati procjenu troškova građenja sunčane elektrane [7].

Prilikom procjene troškova, u obzir se uzima sav elektro-materijal, uređaji i aparati koji se ugrađuju u sunčanu elektranu. Također, uzeti su u obzir poslovi ispitivanja sunčane elektrane u pokusnom radu, puštanje u pogon, beznaponsko ispitivanje te dostava i montaža opreme.

Kao primjer, uzima se izgradnja sunčane elektrane trofaznog priključka s izlaznom snagom izmjenjivača od 5kW te snagom na fotonaponskim panelima od 5,4 kWp.

Godišnja potrošnja objekta po mjesecima je sljedeća:

| MJESEC | POTROŠNJA [kWh] |
|----------|-----------------|
| Siječanj | 491,20 |
| Veljača | 473,46 |
| Ožujak | 480,50 |
| Travanj | 462,29 |
| Svibanj | 473,55 |
| Lipanj | 500,51 |
| Srpanj | 470,43 |
| Kolovoz | 457,89 |
| Rujan | 450,10 |
| Listopad | 470,13 |
| Studeni | 480,39 |
| Prosinac | 502,56 |

Ukupna godišnja potrošnja objekta iznosi: 5.713,02 kWh.

Ukupni godišnji trošak potrošnje električne energije iznosi: 844,45 €.

REKAPITULACIJA TROŠKOVA GRAĐENJA:

UKUPNO: 6.150,00 €

PDV: 0%

PROCJENA POVRATA INVESTICIJE

Iz navedenog se može zaključiti da će povrat investicije za projekt sunčane elektrane biti u periodu od 7,28 godina ako projekt nije prijavljen ni na kakav javni natječaj za sufinanciranje troškova izgradnje sunčane elektrane.

Projekt je moguće prijaviti za javni poticaj za ugradnju fotonaponskih elektrana na obiteljske kuće. Taj poticaj namijenjen je sufinanciranju ugradnje fotonaponskih panela za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju. Sredstva pokrivaju trošak u visini od 600 € po kW nazivne snage ugrađene elektrane [36].

REKAPITULACIJA TROŠKOVA GRAĐENJA UZ DRŽAVNI POTICAJ

UKUPNO: $6.150,00 - (600 * 5) = 3.150,00 \text{ €}$

PROCJENA POVRATA INVESTICIJE

Iz navedenog se može zaključiti da bi povrat investicije za sunčanu elektranu bio u periodu od 3,74 godine ako bi projekt bio prijavljen na javni natječaj za sufinanciranje troškova.

ZBRINJAVANJE FOTONAPONSKIH PANELA

Većina proizvođača fotonaponskih panela predviđa vijek trajanja od 25 do 30 godina [37]. Ako se prema navedenom investicija povratu u roku od 7,5 godina, ostalih 13 ili više godina električna energija proizvodi se bez dodatnih troškova. Međutim, tijekom godina, paneli gube svoju efikasnost. Većina proizvođača predviđa gubitak efikasnosti od 20 % u razdoblju od 20 godina [37].

Često se zbog takvih tvrdnji postavlja pitanje zbrinjavanja panela nakon isteka roka trajanja. Recikliranje je jedan od najkorištenijih načina za zbrinjavanje panela. Riječ je procesu koji smanjuje onečišćenje okoliša. Materijali koji su korišteni kod izrade fotonaponskih panela mogu se nakon recikliranja koristiti kod izrade novih panela ili kod drugih novih proizvoda [38].

Prilikom recikliranja proračunava se masa poluvodičkih materijala u solarnom panelu koja se određuje prilikom proizvodnje u odnosu na masu koja se dobije prilikom recikliranja. Također, analizira se količina stakla te iznos troškova koji nastaju prilikom same reciklaže. Dobit, odnosno gubitak, nakon recikliranja ovisi o tim trima čimbenicima [38].

Masa poluvodičkih materijala koja nastaje u procesu recikliranja iznosi [38]:

$$m_p = A \cdot t_p \cdot \rho_p \cdot z_p$$

gdje je:

m_p (g) – masa obnovljenog poluvodičkog materijala,

A (cm²) – površina fotonaponskog panela,

t_p (cm) – debljina poluvodičkog materijala,

ρ_p (g/cm³) – gustoća poluvodičkog materijala,

z_p (%) – postotak poluvodičkog materijala koji se može ponovi iskoristiti.

Masa stakla koje se dobiva prilikom recikliranja [38]:

$$m_s = A \cdot t_s \cdot \rho_s \cdot z_s$$

gdje je:

m_s (g) – masa stakla,

A (cm²) – površina fotonaponskog panela,

t_s (cm) – debljina poluvodičkog sloja,

ρ_s (g/cm³) – gustoća poluvodičkog materijala,

z_s (%) – postotak koji pokazuje koliko posto stakla je moguće reciklirati.

Konačni troškovi prilikom odlaganja panela iznose [38]:

$$C = \frac{A \cdot P \cdot m}{P_n} \cdot C_{max}$$

gdje je:

C (€) – konačan trošak odlaganja,

A (m²) – površina fotonaponskog panela,

P (W/m²) – snaga fotonaponskog panela po jedinici površine,

m (kg) – masa fotonaponskog panela,

P_n (W) – nazivna snaga panela,

C_{max} (€/kg) – najveći trošak.

Dobit tijekom recikliranja iznosi [38]:

$$C_d = (m_p \cdot C_p + m_s \cdot C_s) + C - C_r$$

gdje je:

C_d (€) – ukupna dobit,

m_p (g) – masa obnovljenog poluvodičkog materijala,

C_p (€/kg) – cijena poluvodičkog materijala,

m_s (g) – masa recikliranog stakla,

C_s (€/kg) – cijena recikliranog stakla,

C (€) – konačni troškovi prilikom odlaganja,

C_r (€/panelu) – trošak recikliranja.

5. Dokumentacija

Prije izrade projekta sunčane elektrane, projektnom uredu nužno je dostaviti dokumentaciju za izradu projekta, i to:

- račun za struju za proteklih 12 mjeseci i podatak o budućoj potrošnji ako se planira povećati potrošnja,
- važeći dokaz legalnosti (uporabna ili građevinska dozvola),
- zemljišnoknjižni izvadak,
- katastarski plan,
- podatke o obračunskom mjernom mjestu (vrsta priključka, zakupljena snaga, broj OMM-a),
- podatke o investitoru te
- tlocrt ili skicu krovnih ploha s navedenim dimenzijama.

Na temelju dostavljene dokumentacije pristupa se izradi projekta. Nakon izrađenog projekta, popunjava se zahtjev za provjeru mogućnosti priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom. Kada se prikupe svi potrebni dokumenti, odnosno kopija projekta i zahtjev, katastarski plan, kopija osobne iskaznice investitora te zemljišnoknjižni izvadak, dokumentacija se šalje HEP ODS-u, te se čeka obavijest o priključenju.

Ako je elektrana u skladu s pravilima, HEP kroz određeni period dostavlja obavijest o mogućnosti priključenja, ugovor o korištenju mreže te ponudu o opremanju obračunskog mjernog mjesta. Time se dozvoljava izgradnja sunčane elektrane.

Investitor nakon toga HEP ODS-u predaje zahtjev za promjenu statusa kod kućanstva s vlastitom proizvodnjom te plaća troškove za opremanje obračunskog mjernog mjesta. Nakon uplate, HEP ODS vrši zamjenu brojila te šalje dozvolu za trajni pogon.

6. Kritične točke procesa

Proces izrade projekta sunčane elektrane je složen proces koji sadrži niz izazova, prepreka i kritičnih točaka koje je potrebno riješiti kako bi projekt bio izrađen po standardima.

Definiranje izlazne snage elektrane je u nekim slučajevima jedna od najvećih prepreka. Maksimalna izlazna snaga sunčane elektrane ovisi o zakupljenoj snazi na obračunskom mjernom mjestu. Navedeno često predstavlja problem jer brojni investitori planiraju povećati potrošnju tako da bi snaga elektrane koja bi pokrila njihovu potrošnju trebala biti puno veće izlazne snage od njihove zakupljene snage.

Najveća prepreka je kod potrošača s jednofaznim priključcima. Kod jednofaznih priključaka, sukladno članku 15. Mrežnih pravila distribucijskih sustava, izlazna snaga elektrane s jednofaznim priključkom ne smije prijeći 3,68 kW bez obzira na zakupljenu snagu. Kod takvih slučajeva, korisnici su primorani promijeniti faznost priključka što donosi dodatne troškove.

Također, prepreka kod određivanja snage elektrane je površina krovne plohe na koju se smještaju fotonaponski paneli. Često je ploha premale površine za broj panela kojima bi se postigla željena snaga.

Orijentacija krovnih ploha, kao i njihov pokrov, predstavljaju prepreku prilikom projektiranja.

Važno je da se na plohi na koju se namjeravaju postaviti paneli ne nalazi velik broj dimnjaka, prozora i antena jer svi ti dijelovi stvaraju sijenu na panelima te time smanjuju proizvodnju električne energije.

7. Priključenje sunčane elektrane na mrežu

Nakon postavljanja sunčane elektrane i ishođenja sve potrebne dokumentacije, elektranu je potrebno priključiti na elektroenergetsku mrežu. Priključenje na mrežu provodi se u skladu s odredbama HEP ODS-a [10].

Priključno mjesto elektrane mora osigurati sigurno rastavljanje elektrane od distribucijske mreže u svim režimima rada. Sunčana elektrana je projektirana i opremljena za paralelni pogon s distribucijskom mrežom u svim uvjetima, i to tako da ne djeluje negativno na mrežu i ostale korisnike. Navedeno znači da elektrana mora sadržavati zaštitu od otočnog rada te zaštitu od smetnji i kvarova u distribucijskoj mreži i sunčanoj elektrani [10].

Izmjenjivač je uređaj koji omogućava sinkronizaciju na mrežu i mora biti opremljen elementima koji mu omogućavaju paralelan rad s elektroenergetskom mrežom. Sadrži uređaj za automatsku sinkronizaciju sunčane elektrane i mreže, sustave za praćenje valnog oblika napona mreže, zaštite od prevelikog i premalog napona i frekvencije, zaštite od injektiranja istosmjerne komponente u mrežu, uređaj za nadzor kapacitivne struje te uređaj za isključenje i uključanje u mrežu [10].

Uređaji koje sadrže izmjenjivač omogućuju automatsko odvajanje elektrane od mreže uslijed ispada napona [10].

Sunčana elektrana i mreža moraju raditi sinkronizirano. Uvjeti sinkronizacije sunčane elektrane na mrežu definirani su pravilnicima HEP ODS-a, a to su: razlika napona manja od $\pm 10\%$ nazivnog napona, razlika frekvencije manja od $\pm 0,5$ Hz, razlika faznog kuta manja od $\pm 10^\circ$ te sinkronizacija mora biti automatska [10].

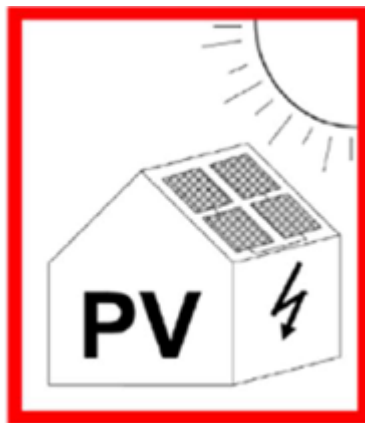
8. Norma HRN HD 60364-7-712

Riječ je o normi kojom su definirani zahtjevi za posebne instalacije ili prostore – fotonaponske sustave, a nastala je prihvaćanjem međunarodne norme. Primjenjuje se na električne instalacije fotonaponskih sustava koji su namijenjeni za opskrbu cijele ili dijela instalacije.

Norma detaljnije obrađuje električnu opremu koja se koristi u fotonaponskim sustavima. U početku objašnjava temeljni element solarne elektrane, a to je fotonaponski modul. Potom navodi termine i definicije koje se tiču fotonaponskih sustava.

Poznavanje tih termina ključno je za rad sa solarnim sustavima. Norma sadrži vrste zaštita koje se koriste kod fotonaponskih sustava, uključujući sigurnosne zaštite, zaštitu protiv termalnih efekata, nadstrujne zaštite, zaštitu od preopterećenja, zaštitu od kratkog spoja i zaštitu od prijelaznog prenapona.

Također, sadrži oznaku koju bi svaka građevina koja na sebi ima instaliranu fotonaponsku elektranu morala sadržavati. Ta oznaka ukazuje na to da je na građevini smještena fotonaponska elektrana, da postoji opasnost od električnog udara te da zbog prisutnosti istosmjernog napona i nakon isključenja napajanja neki dijelovi mogu ostati pod naponom.



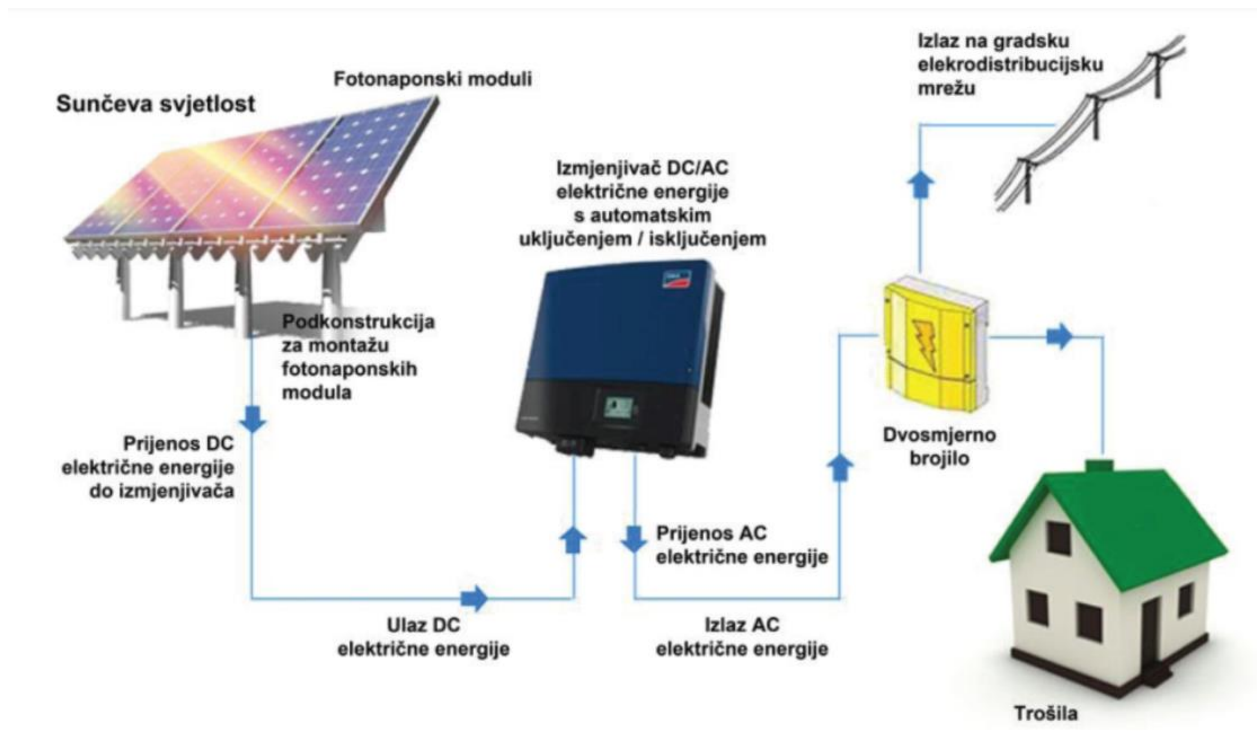
Slika 22. Solarna elektrana na građevini [39].

Također, norma sadrži opis i vrste spajanja, kao i uređaje za zaštitu, kontrolu i monitoring. Zahtjevi norme odnose se na fotonaponske sustave koji rade paralelno s distribucijskim sustavom, fotonaponske sustave koji nisu povezani s distribucijskim sustavom (*off-grid* sustavi), fotonaponske sustave koji predstavljaju alternativu distribucijskom sustavu te kombinacije navedenih sustava.

Norma se ne odnosi na posebne zahtjeve za instalaciju baterijskih sustava skladištenja.

9. Dvosmjerna električna brojila

Električna brojila su električni instrumenti koji se koriste za mjerenje i praćenje potrošnje električne energije. Kod solarnih sustava u modelu samoopskrbe mjeri se i prati količina isporučene električne energije iz mreže (količina električne energije preuzete iz mreže) te količina predane električne energiju u mrežu [40]. U takvim se slučajevima ugrađuju dvosmjerna električna brojila (slika 23.).



Slika 23. Model samoopskrbe s dvosmjernim brojiлом [41].

Kućanstva uglavnom imaju jednosmjerna brojila, ali u slučaju postojanja mogućnosti priključenja proizvodnog postrojenja (fotonaponske elektrane), HEP ODS u Ponudi za opremanja obračunskog mjernog mjesta definira zahtjev u kojem navodi da se obračunsko mjesto mora opremiti i dvosmjernim brojiлом [42].

10. Zaključak

U završnom radu je jasno istaknuto da kvaliteta svih dijelova sunčane elektrane za obiteljske kuće ima ogroman utjecaj na njezinu učinkovitost i dugoročnu pouzdanost. Poštivanje propisa, normi i zakona prilikom izrade projekta usklađuje projekt s međunarodnim standardima.

Postoji nekoliko vrsta fotonaponskih sustava, a jedan od trenutno najkorištenijih modela takvih sustava na razini kućanstva je model samoopskrbe koji nudi mogućnost isporučivanja viška proizvedene električne energije u distribucijsku mrežu.

Iz rada se može zaključiti da projektiranje fotonaponskih sustava na razini kućanstva mora biti sukladno Pravilniku o jednostavnim i drugim građevinama i radovima, Zakonu o gradnji te Zakonu o prostornom uređenju. Također, projektiranje električnih instalacija mora biti sukladno važećim normama za fotonaponske sustave, kao i tehničkim propisima o niskonaponskim električnim instalacijama. To potvrđuju izjave koje projektant potpisuje te prilaže u glavni projekt. Sve te izjave, pravilnici, propisi i norme prilažu se u sklopu projektnog zadatka koji definira ključne zadatke i kriterije za izradu projekta.

Odabir kvalitetnih dijelova te pravilna električna instalacija imaju ključnu ulogu u tome kako će solarna elektrana funkcionirati. Među najvažnije dijelove sunčane elektrane ubrajamo fotonaponske panele koji sunčevu energiju pretvaraju u električnu. Paneli koji se koriste u projektima moraju biti izrađeni, ispitani i certificirani tako da rade u klimatskim uvjetima u kojima su postavljeni. Izmjenjivači moraju također biti ispitani i certificirani sukladno normama te moraju sadržavati određene vrste zaštita koje štite uređaj, ali i ostatak električnih instalacija. Izmjenični i istosmjerni vodovi dimenzioniraju se tako da pad napona na njima bude sukladan normama. Njihov presjek mora biti dimenzioniran da zbog struje koja njima teče ne dođe do njihovog pregrijavanja.

Razvodni ormar u sebi mora sadržavati automatske osigurače, ZUDS, odvodnike prenapona, glavni prekidač te gljivasto tipkalo za isključenje postrojenja u slučaju nužde. Na sebi mora imati određene znakove upozorenja, kao i električnu shemu koja prikazuje način na koji su spojeni ugrađeni sklopni aparati. Sklopni aparati moraju biti odabrani sukladno važećim normama i propisima. Gromobranska i uzemljivačka instalacija mora biti izvedena u obliku Faradayevog kaveza sukladno propisu za zaštitu od djelovanja munje na građevine. Grafičkim nacrtima i shemama prikazuju se izgled i smještaj panela na krovnoj plohi, kao i detaljan prikaz spajanja sklopnih aparata.

Prema prikazanome, razdoblje u kojem se očekuje povrat investicije za sunčane elektrane na obiteljskim kućama kreće se od 6 do 9 godina.

Danas postoji veliki broj javnih natječaja kojima se sufinanciraju troškovi izgrade do 50 % što uvelike smanjuje razdoblje za povrat investicije.

Za izradu glavnog projekta elektrane, investitor projektantu mora dostaviti određenu dokumentaciju koja je nužda za izradu projekta. Nakon izrade projekta, a prije samog izvođenja elektrane, investitor HEP ODS-u mora dostaviti određenu dokumentaciju, sukladno HEP-ovim propisima.

Proces projektiranja i postavljanja sunčane elektrane je složen te zahtjeva niz provjera prije i tijekom same izrade. Nakon ishođenja svih potrebnih dokumenata i nakon postavljanja elektrane, elektranu je potrebno priključiti na mrežu.

S obzirom na to da elektrane u modelu samoopskrbe rade paralelno s distribucijskom mrežom, elektranu je potrebno priključiti na mrežu prema važećim HEP-ovim propisima, navedenima u tekstu prethodnih poglavlja.

11. Literatura

- [1] Vrste fotonaponskih sustava
<https://www.iflowpower.com/hr/thethreemaintypesofsolarpowersystems-on-grid-off-gridandhybrid>,
pristupljeno: 14. 1. 2024.
- [2] On-grid sustavi
<https://sagittasolers.com/on-grid-solarni-sustavi/>, pristupljeno: 14. 1. 2024.
- [3] Fotonaponski sustavi
<https://solarprojekt.hr/usluge/fotonaponski-sustavi/>, pristupljeno: 14. 1. 2024.
- [4] Hibridni sustavi
<https://www.montazasolarnih-panela.com/usluge/hibridni-fotonaponski-sustavi/>, pristupljeno: 14. 1. 2024.
- [5] Fotonaponski sustavi
<https://dokumen.tips/documents/fotonaponski-sustavi-ljubomir-majdandzic.html>, pristupljeno: 14. 1. 2024.
- [6] Kupac s vlastitom proizvodnjom
<https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom-kategorija-kucanstvo/1545>,
pristupljeno: 28. 12. 2023.
- [7] Pravilnik o obveznom sadržaju i opremanju projekata građevina (NN 64/2014)
- [8] Projekt integrirane sunčane elektrana – Sunčana elektrana „Općinska zgrada Sveti Ilija“ ,
Tesla d.o.o.
https://opcina-sveti-ilija.hr/wp-content/uploads/2018/10/GP-EL-MAPA-1-Sun%C4%8Dana-elektrana-Op%C4%87inska-zgrada-Sveti-Ilija_ePotpisGR.pdf, pristupljeno: 15. 12. 2023.
- [9] Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN 112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20)
- [10] Glavni elektrotehnički projekt: Sunčana elektrana Kudumija, Media verba d.o.o.,
<https://kudumija.hr/wp-content/uploads/2022/09/Glavni-projekt-suncane-elektrane-Kudumija.pdf>,
pristupljeno: 17. 12. 2023.
- [11] Fotonaponski panel
https://solvis.hr/wp-content/uploads/2022/03/LQSOLVIS-DS-HR-SV144_E_HC9B-2094x1038x35-435-455-20210222.pdf , pristupljeno: 18. 12. 2023.
- [12] Schrack Technik: Fotonaponski moduli – Od diode do fotonapona
https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/pdf_dokumenti/Schrack_PV-paneli_M11-12-2014.pdf,
pristupljeno: 26. 12. 2023.
- [13] Konstrukcija za lim
<http://hr.pv-mounting.com/roof-mounting-system/trapezoidal-tin-roof-mounting-system.html>, pristupljeno:
26. 12. 2023.
- [14] Konstrukcija za crijep
<https://www.montazasolarnih-panela.com/usluge/montaza-solarnih-panela/>, pristupljeno: 26. 12. 2023.
- [15] Konstrukcija za ravni krov
<https://www.solarpanelsplus.com/products/PV-flat-roof-ground/>, pristupljeno: 26. 12. 2023.
- [16] Izmjenjivač
<https://iselektronickiproizvodi.hr/proizvodi/elektronika-rasvjeta-i-alati/elektronika/solarne-elektrane/huawei-izmjenjivač-sun2000-6ktl-m1/>, pristupljeno: 26. 12. 2023.
- [17] Glavni projekt sunčane elektrane za vlastite potrebe – Sunčana elektrana Centrometal 2,
MBT inženjering d.o.o., Macinec
https://strukturnifondovi.hr/wp-content/uploads/2019/03/07_Prilog7_Glavni_projekt.pdf,
pristupljeno: 26. 12. 2023.

- [18] Huawei izmjenjivač datasheet
<https://solar.huawei.com/en-GB/download?p=%2F-%2Fmedia%2FSolar%2Fattachment%2Fpdf%2F%2Fdatasheet%2FSUN2000-3-10KTL-M1.pdf>, pristupljeno: 26. 12. 2023.
- [19] Istosmjerni kabeli
<https://www.tim-kabel.hr/content/view/442/445/lang,hrvatski/>, pristupljeno: 26. 12. 2023.
- [20] PV1- F kabel
<https://www.hiseacable.com/tuv-uv-resistant-pv1-f-solar-cable/>, pristupljeno: 26. 12. 2023.
- [21] Podaci istosmjernog kabela
<https://www.tim-kabel.hr/content/view/442/445/lang,hrvatski/>, pristupljeno: 27. 12. 2023.
- [22] MC4 konektori
<https://shop.kerman.hr/Katalog/Detalj/103235?MC4-konektor-zenski#slikaBox-252>, pristupljeno: 27. 12. 2023.
- [23] Dokumentacija, simboli i sheme električni i elektroničkih sklopova
<https://naklada-lucic.hr/wp-content/uploads/2018/06/Elektrotehnika.pdf>, pristupljeno: 26.12. 2023.
- [24] Energetski kabeli
<https://www.cotra.hr/Item/11515/KABEL-NYYJ-PP00Y---3-x---150-mm2>, pristupljeno: 27. 12. 2023.
- [25] Energetski kabeli
<https://www.cotra.hr/Item/11515/KABEL-NYYJ-PP00Y---3-x---150-mm2>, pristupljeno: 27. 12. 2023.
- [26] Otpornost kabela
<https://e-elektro.blogspot.com/2010/06/proracun-vodova-na-termicko-opterecenje.html>, pristupljeno: 27. 12. 2023.
- [27] Projekt elektroinstalacija, Elektro projekti i sustavi d.o.o.
<https://www.plovput.hr/Portals/5/docs/JavnaNabava/N-16-M-111831-290310/Elektro%20-%20Tekstualni%20dio%20i%20Tro%C5%A1kovnik.pdf>, pristupljeno: 27. 12. 2023.
- [28] Automatski osigurači
<https://hr.elmarkstore.eu/mini-automatski-osigura%C4%8Di-category70Dgd>, pristupljeno: 27. 12. 2023.
- [29] Schrack – osigurači
<https://www.schrack.hr/trgovina/oprema-za-ugradnju-u-ormare-kucista/zastitni-uredaji-i-pribor/mini-jaturni-zastitni-prekidaci/mini-jaturni-zastitni-prekidaci-serije-bms0-10ka.html>, pristupljeno: 29. 12. 2023
- [30] ZUDS sklopka – Schrack
<https://www.schrack.hr/trgovina/oprema-za-ugradnju-u-ormare-kucista/zastitni-uredaji-i-pribor/rcd-ZUDS-sklopka.html?catId=5260796>, pristupljeno: 29. 12. 2023.
- [31] Kompaktni prekidač – Schrack
<https://www.schrack.hr/trgovina/kompaktni-prekidac-snage-tip-ae-3p-50ka-400a-mc340232.html>, pristupljeno: 29. 12. 2023.
- [32] Odvodnici prenapona
https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/Produkte_Shop/stranice/Info-dani/2012/Infodani_Schrack_Technik_2011_12_prenaponska_zastita.pdf, pristupljeno: 29. 12. 2023.
- [33] Odvodnik prenapona – Schrack
<https://www.schrack.hr/trgovina/ormari-kucista/modul-2000tt-modularni-razvodni-i-upravljacki-ormari/modul-2000tt-polja-za-kompaktne-prekidace-snage/prenaponska-zastita/odvodnici-prenapona/odvodnik-prenapona-combteckl-b-c-tns-275-12-5ka-is211240-a.html?q=odvodnik%20pre>, pristupljeno: 29. 12. 2023.
- [34] Tehnički propis za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama (NN 87/08, 33/10)

- [35] Glavni projekt fotonaponske elektrane, Enerco Solar
<https://strukturnifondovi.hr/wp-content/uploads/2019/01/Dodatak-II.-Glavni-projekt.pdf>,
pristupljeno: 9. 1. 2024.
- [36] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost
<https://www.fzoeu.hr/hr/natjecaj/7539?nid=219>, pristupljeno: 30. 12. 2023.
- [37] Solarni paneli i njihovo zbrinjavanje
<https://hrcak.srce.hr/file/405711>, pristupljeno: 17. 1. 2024.
- [38] M. Kraljević: Recikliranje solarnih panela, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera – Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2015.
- [39] Norma HRN HD 60364-7-712 : Niskonaponske električne instalacije – Zahtjevi za posebne instalacije ili prostore – Fotonaponski sustavi
- [40] Električna brojila
<https://nasuncanojstrani.hr/oprema/brojilo-solarna-elektrana/>, pristupljeno: 28. 1. 2024.
- [41] Solarni sustavi
<https://www.ellabo.hr/solarne-elektrane-sustavi>, pristupljeno: 28. 1. 2024.
- [42] Proces projektiranja fotonaponske elektrane
<https://www.zgradonacelnik.hr/servisne-informacije/od-ideje-do-realizacije-kada-ce-solarna-elektrana-poceti-s-radom/658>, pristupljeno: 28. 1. 2024.

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. On-grid sustav [3]..... | 1 |
| Slika 2. Off-grid sustav [3]. | 2 |
| Slika 3. Hibridni sustav [5]..... | 3 |
| Slika 4. Izlazne vrijednosti panela pri standardnim testnim uvjetima (STC) [11]. | 9 |
| Slika 5. Konstrukcijski elementi za postavljanje panela na lim [13]..... | 10 |
| Slika 6. Konstrukcijski elementi za postavljanje panela na krov prekriven crijepom [14]. | 10 |
| Slika 7. Konstrukcijski elementi za postavljanje panela na ravan krov [15]..... | 11 |
| Slika 8. Huawei izmjenjivač [16]. | 12 |
| Slika 9. Ulazni parametri izmjenjivača [18]. | 12 |
| Slika 10. Prikaz PV1-F solarnog kabela [20]. | 13 |
| Slika 11. Specifikacije istosmjernih fotonaponskih kabela [21]. | 14 |
| Slika 12. MC4 konektori [22]..... | 15 |
| Slika 13. Energetski kabel tipa NYY-J (PP00) [25]..... | 16 |
| Slika 14. Tablica opteretivosti kabela [26]. | 17 |
| Slika 15. Automatski osigurač [29]. | 20 |
| Slika 16. Zaštitni uređaj diferencijalne struje [30]. | 21 |
| Slika 17. Kompaktni prekidač snage [31]. | 22 |
| Slika 18. Odvodnik prenapona [33]..... | 23 |
| Slika 19. Gromobranska instalacija građevine [5]..... | 24 |
| Slika 20. Situacijski prikaz sunčane elektrane (tlocrtni prikaz). | 26 |
| Slika 21. Jednopolna shema razvodnog ormara sunčane elektrane [8]. | 27 |
| Slika 22. Solarna elektrana na građevini [39]..... | 35 |
| Slika 23. Model samoopskrbe s dvosmjernim brojilom [41]. | 36 |

Prilozi

Prilog 1: Datasheet fotonaponskih panela

MADE IN EUROPE

SOLVIS
FOTONAPONSKI MODULI

MODEL SV144 E HC9B

- Premium kvaliteta
- Raspon izlazne snage 435-455 Wp
- 100% EL testing
- Mehaničko opterećenje do 2400 Pa
- Mala težina
- Efikasnost modula do 20,93%
- Pozitivna tolerancija izlazne snage -0/+5 W
- IEC EN 61215
IEC EN 61730-1, -2

Jamstva:

- 10 godina, proizvođačko jamstvo
- 12 godina na 90% izlazne snage
- 25 godina na 80% izlazne snage

kiwa TÜV SÜD TÜV Rheinland TÜV Nord

v.20210222

| Vrijednosti parametara pri standardnim testnim uvjetima (STC) | | | | | | |
|---|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| MODEL | | SV144-435 E HC98 | SV144-440 E HC98 | SV144-445 E HC98 | SV144-450 E HC98 | SV144-455 E HC98 |
| Vršna snaga P_{max} | [W] | 435 | 440 | 445 | 450 | 455 |
| Dozvoljeno odstupanje | [W] | | | -0/+5 | | |
| Struja kratkog spoja I_{sc} | [A] | 11,24 | 11,24 | 11,24 | 11,27 | 11,29 |
| Napon praznog hoda U_{oc} | [V] | 48,81 | 49,08 | 49,53 | 49,70 | 49,94 |
| Nazivna struja I_{mp} | [A] | 10,55 | 10,57 | 10,60 | 10,63 | 10,66 |
| Nazivni napon U_{mp} | [V] | 41,36 | 41,69 | 42,12 | 42,34 | 42,69 |
| Dozvoljeno odstupanje napona i struje | [%] | | | ± 3 | | |
| Učinkovitost modula | [%] | 20,01% | 20,24% | 20,47% | 20,70% | 20,93% |

STC: 1000W/m² osvjetljenje, 25 °C temperatura čelja, AM1,5 g optička masa zrača prema normi EN 60904-1
Prosječni pad učinkovitosti od 3,5 % pri irradiaciji od 200 W/m² prema normi EN 60904-1

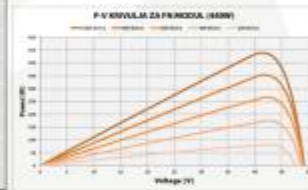
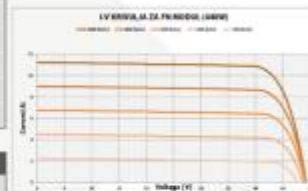
| Vrijednosti parametara u točki NMOT | | | | | | |
|-------------------------------------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| MODEL | | SV144-435 E HC98 | SV144-440 E HC98 | SV144-445 E HC98 | SV144-450 E HC98 | SV144-455 E HC98 |
| Vršna snaga P_{max} | [W] | 329,4 | 333,2 | 336,8 | 340,7 | 344,5 |
| Dozvoljeno odstupanje | [W] | | | -0/+5 | | |
| Struja kratkog spoja I_{sc} | [A] | 9,08 | 9,08 | 9,08 | 9,10 | 9,12 |
| Napon praznog hoda U_{oc} | [V] | 46,4 | 46,6 | 47,1 | 47,2 | 47,4 |
| Nazivna struja I_{mp} | [A] | 8,38 | 8,41 | 8,42 | 8,48 | 8,49 |
| Nazivni napon U_{mp} | [V] | 39,3 | 39,6 | 40,0 | 40,2 | 40,6 |

NMOT: 800 W/m² osvjetljenje, 30 °C ambijentna temperatura, 1 sva čelina spoja

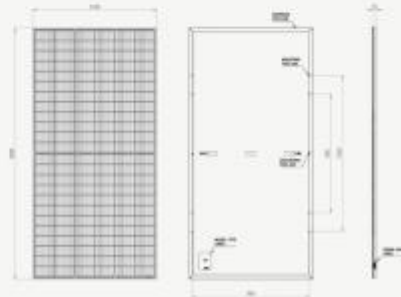
| MEHANIČKI PODACI | |
|-----------------------|---|
| Dimenzije (V x S x D) | (mm) 2594 x 1038 x 35 |
| Masa | (kg) 25,0 |
| Broj i vrsta čelija | 144 čelija, monokristalni Si, 166 x 83 mm +/- 1 mm |
| Enkapsulacija čelija | Etilen-vinil acetat(EVA) |
| Staklo | 3,2 mm kaljeno sunčano staklo |
| Podloga | Vieloslojna poliesterska folija |
| Očvir | Očvir od anodiranog aluminija s dvostrukom stjenkom i otvorima za drenažu |
| Priljučna kutija | IP67 s 3 Bypass diode |
| Priljučni kablovi | Kabel 4mm ² dužine >=1000 mm |

| RADNI UVJETI | |
|--|--|
| Temperaturno područje | [°C] -40 to +85 |
| Maksimalni napon sustava | [V] 1500 |
| Napona iznadobno prelijeva struje odspora u praznu fotonaponsku modulu | 20A |
| Najveća dopuštena reverzna struja | 15A |
| Maksimalno opterećenje | 2400 Pa |
| Otpornost na udar | Solo prema EN 61215 20 mJ/m ² Semi EN 61215 |

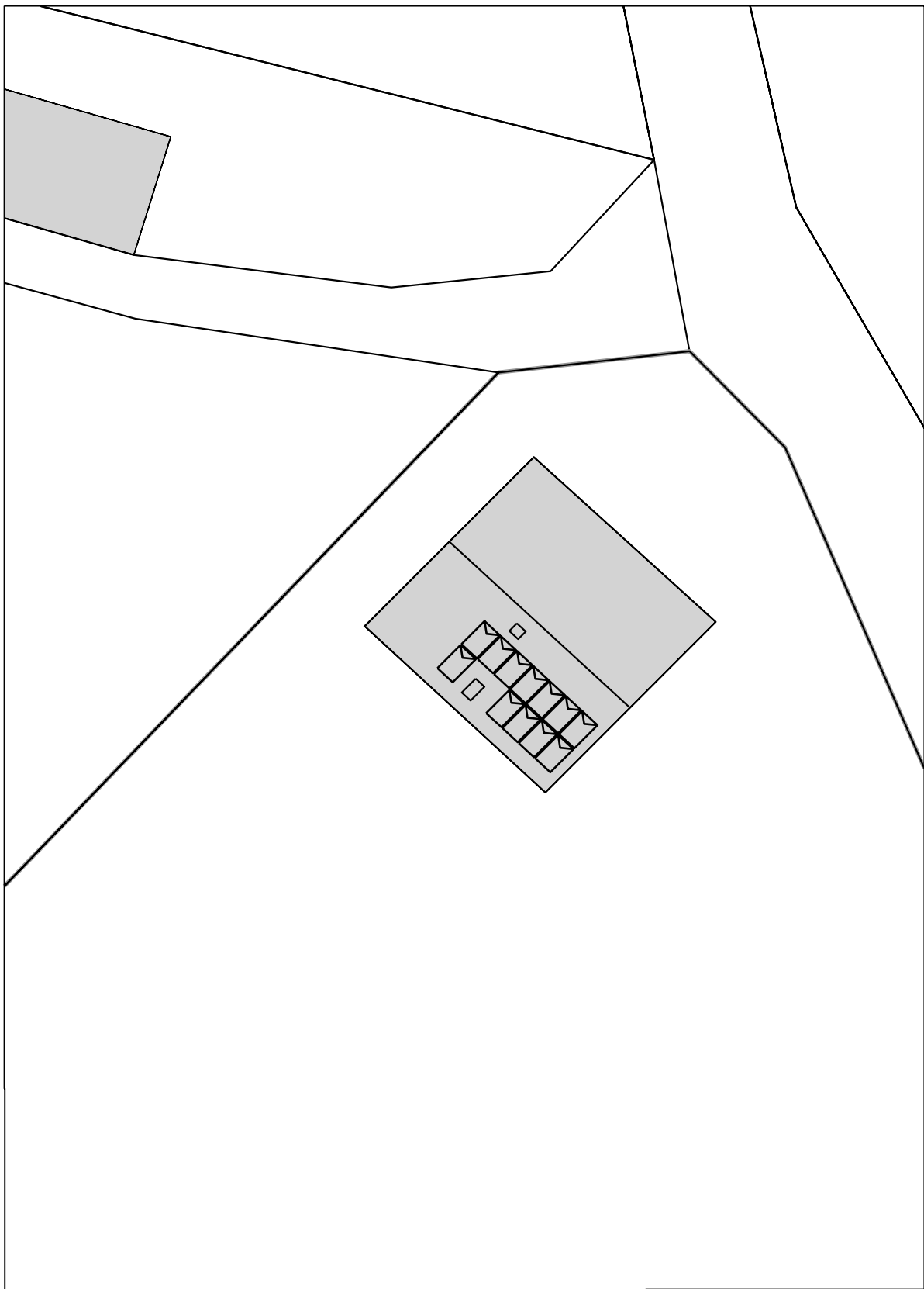
| TEMPERATURNI KOEFICIJENTI | |
|--|--------------|
| Temperaturni koeficijent snage P_{max} | [%/K] -0,338 |
| Temperaturni koeficijent struje I_{sc} | [%/K] 0,047 |
| Temperaturni koeficijent napona U_{oc} | [%/K] -0,288 |



NAPOVEDA: Za svaku modulu SV144 HC98 PTT napona i strujnog naponski nivo od odabiranih čelija PTT (PTT) - čelija, T čelija dok, E je vidljiv u okviru poliesterske folije, B je čelija u okviru poliesterske folije



Prilog 2: Situacijski nacrt fotonaponske elektrane



**IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, _____ Igor Polančec _____ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Osiguranje kvalitete prilikom projektiranja sunčane elektrane za obiteljske kuće po modelu samoopskrbe (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, _____ Igor Polančec _____ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/~~na~~ s javnom objavom završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Osiguranje kvalitete prilikom projektiranja sunčane elektrane za obiteljske kuće po modelu samoopskrbe (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

(vlastoručni potpis)