

Projektiranje fotonaponske elektrane za maksimalnu učinkovitost i elektro energetske neovisnost potrošača

Lukavski, Leonardo

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:126729>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-02**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Sveučilište Sjever

Završni rad br. 005/MEH/2022

Projektiranje fotonaponske elektrane za maksimalnu učinkovitost i elektroenergetsku neovisnost potrošača od 50kW

Leonardo Lukavski, 0336036109 (3835/336)

Varaždin, srpanj 2022.



Sveučilište Sjever

Odjel za Mehatroniku

Završni rad br. 005/MEH/2022

Projektiranje fotonaponske elektrane za maksimalnu učinkovitost i elektroenergetsku neovisnost potrošača od 50kW

Student

Leonardo Lukavski, 0336036109 (3835/336)

Mentor

Prof.dr.sc., Ante Čikić

Varaždin, srpanj 2022.

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za mehatroniku

STUDIJ preddiplomski stručni studij Mehatronika

PRISTUPNIK Leonardo Lukavski

JMBAG 0336035109

DATUM 01.06.2022.

KOLEGIJ Obnovljivi izvori energije

NASLOV RADA Projektiranje fotonaponske elektrane za maksimalnu učinkovitost i elektro energetske neovisnost potrošača

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Design of a photovoltaic power plant for maximum efficiency and electrical energy independence of consumers

MENTOR prof.dr.sc. Ante Čikić

ZVANJE redoviti profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Zoran Busija, dipl.ing.stroj., pred. - predsjednik povjerenstva
2. prof.dr.sc. Ante Čikić
3. prof.dr.sc. Živko Kondić
4. Siniša Švoger, dipl.ing.stroj., pred. - rezervni član
- 5.

Zadatak završnog rada

BROJ 005/MEH/2022

OPIS

Električna energija izabranog potrošača instalirane snage 50 kW cjelogodišnje se diskontinuirano troši tijekom dana (24 sata) za proizvodne i ostale potrebe u režimu skuplje i jeftinije tarife iz javnog opskrbljivača električne energije. Potrebno je projektirati fotonaponsku elektranu kojom će se postići maksimalna iskoristivost insolacije, energetska učinkovitost i maksimalna elektro energetska neovisnost potrošača. Diskontinuitet potrošnje električne energije potrebno je numerički i grafički procijeniti u tri do četiri praktične varijante. Za projektiranje fotonaponske elektrane sa varijantnim prijedlozima treba locirati u minimalno osam regija Republike Hrvatske sa različitim mikroklimatskim uvjetima, dnevnom, mjesečnom i godišnjom insolacijom. Za svaku lokaciju posebno obuhvatiti sve utjecajne parametre (meteorološke, tehničke, ekonomske, učinkovitost, održivost, maksimalnu energetske neovisnost, tehničku kompenzaciju mogućih tehničkih ograničenja,...) i predložiti najpovoljnije projektno rješenje fotonaponske elektrane s maksimalnom elektro energetske neovisnosti potrošača i njegovoj održivosti u duljem vremenskom periodu. Analizirati sve slučajeve i predložiti mogući optimalni algoritam za preciznije i učinkovitije projektiranje sunčevih elektrana sa neposrednom povezanosti s kakvoćom potrošača i njegovoj maksimalno mogućoj elektro energetske neovisnosti. Uz analitičke i pisane sadržaje, sheme, crteže, slike, tablice, dijagrame,... prikazati jasno i prepoznatljivo stručni radovi. Dati odgovarajuću analizu, komentar, preporuku i zaključak. Ostalo

ZADATAK URUČEN

20.06.2022.

POTPIS MENTORA



Predgovor

Posebne zahvale na strpljenju i susretljivosti mojem mentoru prof.dr.sc. Ante Čikiću, koji je pomno pratio proces nastanka ovog završnog rada. Također, zahvaljujem se i svim ostalim profesorima koji su me pratili tijekom mog obrazovanja na Sveučilištu Sjever. Nadalje, velike zahvale mojim kolegama Bojanu Bregoviću ing.el. i Žarku Uršulinu bacc.ing.el. koji su mi svojim stručnim savjetima pomogli prilikom izrade ovog završnog rada. I na kraju, najviše se zahvaljujem mojoj djevojci i cijeloj obitelji koji su uvijek bili uz mene i bili mi najveća podrška tijekom studija.

Sažetak

Tema završnog rada je projektiranje fotonaponske elektrane kojom se želi ostvariti maksimalna moguća iskoristivost insolacije, energetska učinkovitost i elektro energetska neovisnost predmetnog potrošača tj. analiza isplativosti navedenog na poslovnoj hali. Diskontinuitet predmetnog potrošača električne energije analiziran je na temelju forme 15-minutnih krivulja. Spomenute 15-minutne krivulje su zapravo prosječne (srednje) vrijednosti opterećenja potrošača tj. njima se može prikazati ovisnost potrošnje električne energije u vremenskom periodu od 24 sata. Obzirom da su intervali od 15-tak minuta veoma kratki i daju veliku točnost potrošnje, u ovom radu je uzet primjer na vremenskom razdoblju od 60 minuta. Za potrebe projektiranja fotonaponske elektrane analizirano je 8 regija diljem Republike Hrvatske. Analiziranjem se došlo do zaključka da izloženost sunčevom zračenju najviše imaju dijelovi južne Hrvatske. Fokus rada usmjeren je na grad Hvar koji ima najviše sunčanih sati u godini. Analiziranjem izloženosti Hvara sunčevom zračenju može se vidjeti i isplativost predmetne sunčane elektrane detaljnije kroz ovaj rad. Rad je pisan na temelju proučavanja obnovljivih izvora, te je fokusiran na fotonaponske sustave i sve to uz pomna savjetovanja od strane stručnih osoba.

Ključne riječi: Fotonaponski sustavi, Sunce, hibridni sustavi, cijena električne energije danas, isplativost investicije i jedinstveni period povratka investicije

Summary

The topic of the bachelor thesis is a design of a photovoltaic power plant, which aims to achieve the maximum possible utilization of insolation, energy efficiency and electrical energy independence of the subject consumer i.e. analysis of the above on a business hall. The discontinuity of the electricity consumer in question was analyzed and based on the form of 15-minute curves. The mentioned 15-minute curves are actually average (mean) values of consumer load i.e. the dependence of electricity consumption in a 24-hour time period can be shown by this curve. Given that the 15 minutes intervals are very short and give high accuracy of consumption, in this thesis is taken interval of 60 minutes. For the purposes of designing a photovoltaic power plant, 8 regions throughout the Republic of Croatia were analyzed. The analysis led to the conclusion that the parts of southern Croatia have the highest exposure to solar radiation, thus the focus of the work was directed to the city of Hvar, which has the most hours of sun exposure within a year. By analyzing the exposure of Hvar to solar radiation, the profitability of the subject solar power plant can be seen in more detail through this thesis. The thesis is based on the study of renewable sources, the necessary focus on photovoltaic systems and was completed in consultation with experts.

Keywords: photovoltaic systems, the sun, hybrid systems, the price of electricity today, the profitability of the investment and the unique investment return period.

Popis korištenih kratica

PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
SAD	Sjedinjene Američke države
MW	Megavat
ha	Hektar
MWh/m²	Megavat sat po metru kvadratnom
W/m²	Vat po metru kvadratnom
HEP-ODS	Hrvatska Elektroprivreda - Operator distribucijskog sustava d.o.o
HEP	Hrvatska Elektroprivreda
kW	Kilovat
kWh	Kilovat po satu
GWh	Gigavat po satu
Wp	Vat pik
km/h	Kilometar po satu
CE	Oznaka europske sukladnosti
A	Amper
Hz	Herc
Kg	Kilogram
W	Vat
cosφ	Kosinus fi
AC	Izmjenična struja
DC	Istosmjerna struja
MPPT	Maximum Power Point Tracker Praćenje točke maksimalne snage
Ah	Ampersat
V	Volt
Min	Minuta
GRO	Glavni razvodni ormar
PV	Photovoltaik Fotonaponski
FN	Fotonaponski
SMA	Proizvođač i prodavač solarnih pretvarača

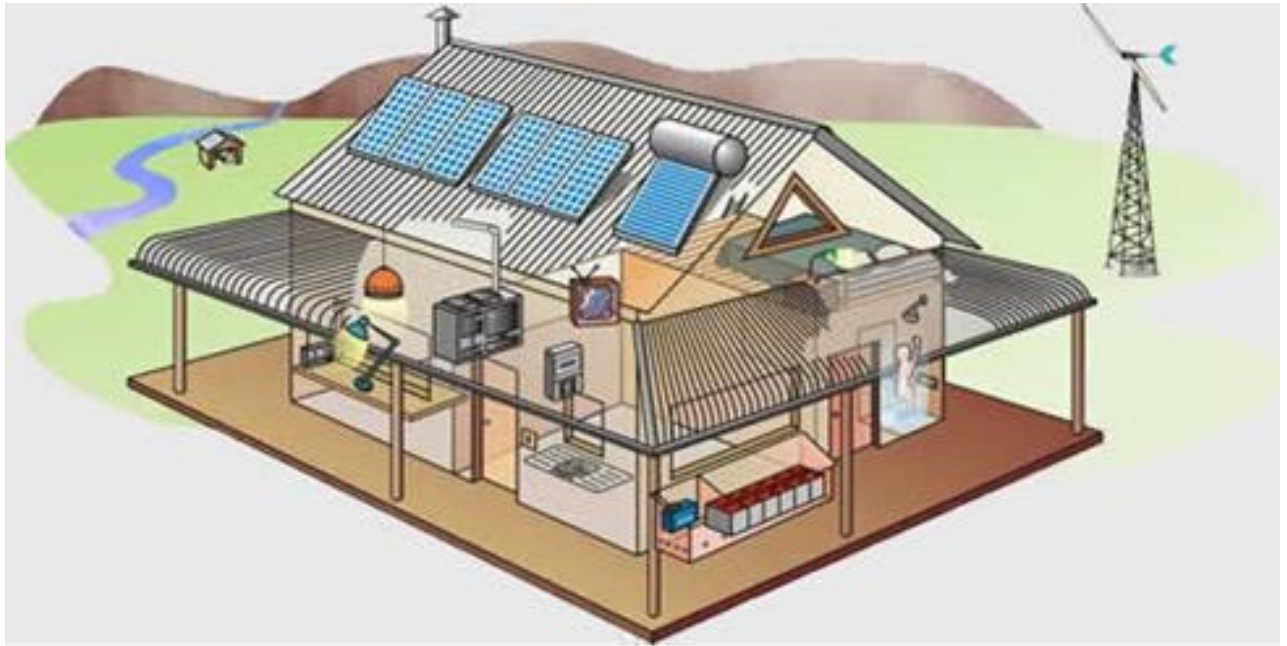
Sadržaj

1.	Uvod	1
1.1.	Zračenje sunca u atmosferi	3
1.2.	Kako mi koristimo Sunčevu (solarnu) energiju?	4
1.2.1.	Primjeri dobro iskorištene Sunčeve energije	4
1.3.	Kut upada Sunčevih zraka	6
1.4.	POTENCIJAL REPUBLIKE HRVATSKE U ISKORIŠTAVANJU SUNČEVE ENERGIJE..	8
1.5.	Analiza ozračenosti Splitsko-Dalmatinske županije	9
1.5.1.	TREKUTNO STAJE U HRVATSKOJ I PRETPOSTAVKE	11
2.	TIPOVI FOTONAPONSKIH SUSTAVA	14
2.1.	Mrežno povezani fotonaponski sustavi (on grid)	14
2.2.	Samostalni fotonaponski sustavi (off grid)	15
2.3.	Hibridni sustavi	15
3.	SUSTAVI PRETVORBE SUNČEVE ENERGIJE U ELEKTRIČNU ENERGIJU	16
3.1.	Fotonaponski moduli	17
3.2.	Hibridni Pretvarač	19
3.2.1.	Proračun uparivanja mrežnog izmjenjivača sa fotonaponskim modulima i proračun struja i odabir kabela	20
3.2.2.	Prednosti novog SMA hibridnog invertera	24
3.3.	Baterijska banka	25
3.3.1.	Litij-ionske baterije	25
3.3.2.	Proračun baterija	26
3.4.	Proračun proizvodnje	30
3.4.1.	Utjecaj vjetra	31
3.4.2.	Proizvodnja sunčane elektrane	32
3.4.3.	Proračun sustava zaštite od munje	36
3.5.	ISPLATIVOST INVESTICIJE	39
4.	SUNČANA ELEKTRANA 50KW NA 8 RAZLIČITIH LOKACIJA	40
4.1.	Montaža modula	44
4.2.	UVJETI GRADNJE I TEMELJNI ZAHTJEVI ZA GRAĐEVINU	45
4.2.1.	Životni vijek sunčane elektrane	47
4.3.	Ispitivanja, puštanje u pokusni rad i održavanje	47
4.3.1.	Priključenje elektrane na mrežu HEP-a	48
4.4.	Dinamična kontrola izlazne snage elektrane	49
5.	Zaključak	50
6.	Literatura	51

1. Uvod

U današnje vrijeme kada je razvoj tehnologije na vrhuncu te općeniti napredak na svim područjima znanosti, očekivano je, da je došlo i do povećanja potreba za korištenjem većih količina električne energije. Kad se razmatra sve veća potreba za korištenjem električne energije, to na žalost podrazumijeva i postupke koji nisu ekološki prihvatljivi kada je riječ o dobivanju električne energije. Fosilna goriva kao takva bi trebala biti prioritet - primarno sredstvo nastanka električne energije koja nam je potrebna za dostojanstven život i rad, jer dugoročno gledano, energija iz obnovljivih izvora energije je zapravo neiscrpna, a može biti iskoristiva na prihvatljiviji način i bez zagađenja okoliša. Primjerice, energija sunca je čista energija koja značajno smanjuje ugljični otisak. Njegovim korištenjem podosta smanjujemo stvaranje emisije stakleničkih plinova te se samim time i atmosfera se zagađuje manje tijekom njegova stvaranja ili uporabe. Gledano iz aspekta dostupnosti, ranije spomenuta energija je uz energiju vjetra najdostupnija, imamo je u izobilju i sama dolazi do nas. Sve ranije navedeno o obnovljivim izvorima, po mojem mišljenju su benefiti. Međutim, obnovljivi izvori energije imaju i nedostatke. Uzmimo za primjer obnovljivi izvor energije - sunce. Sunčeva energija je posljednjih desetljeća stekla ogromnu popularnost u Europi pa i širom svijeta. Jedan od najvećih nedostataka sunčeve energije je taj što ona ima relativno nisku učinkovitost prilikom pretvaranja sunčeve energije u električnu energiju. U vrijeme visokog razvoja novih tehnologija taj postotak pretvorbe iznosi otprilike 20-25% što je veoma malo, pa ukoliko se izračunava omjer uloženog i dobivenog, može se zaključiti da i nije baš ekonomično. Također, još jedan od nedostataka je taj što su fotonaponski moduli izloženi i lošim vremenskim utjecajima pa samim time, s vremenom gube na efikasnosti, te je potrebna zamjena istih. Kada govorimo o pretvorbi energije koju proizvodi sunce u energiju koju koriste ljudi, ona se može iskoristiti na način da smanjimo potrebu za korištenjem električne energije od javnog distributera čime se naravno smanjuju i troškovi koje trebamo platiti istome. Uz sve gore navedeno, valja spomenuti i hibridne sustave. Hibridni sustavi su sustavi za proizvodnju sunčeve energije u električnu energiju i druge izvore električne energije poput vjetroturbina ili hidro generatora. Najčešće se koristi električni generator poput agregata. Sustav kao takav pruža vrlo visok stupanj sigurnosti i iskoristivosti. Rad se zasniva na način da prilikom proizvodnje električne energije trošimo istu pomoću potrošača, a istodobno punimo baterije u kojima se pohranjuje električna energija za eventualno predavanje viška energije u javnu mrežu na koju smo spojeni. Priključena trošila izvlače struju preko izmjenjivača, a pri slabijoj ili nedovoljnoj struji iz foto panela, uključuje se generator kao dodatni pomoćni izvor, a ako je prikladno, nakratko se priključuje i mreža. Punjač koji sadrži spomenut način pretvorbe sunčeve energiju u električnu energiju služi za punjenje baterija preko agregata kada sunce ne može obavljati zadaću punjena (loši vremenski utjecaji). Izmjenjivač služi za pretvorbu istosmjerne struje koju proizvodi sunce u izmjeničnu koju koristimo mi, na potrošačima. Ako u sustav ugradimo i elemente vizualizacije i automatizacije, takav način pretvorbe energije je podosta skupa investicija, iako, za velike potrošače, poput velikih industrija to je veoma isplativa investicija. U ovom završnom radu će se projektirati pomoću mnogih alata, a posebice alatima poput online software PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) da se vizualizira stvarno stanje proizvodnje energije tijekom određenog perioda (najčešći period je 12 mjeseci). Cilj ovog projektnog zadatka je smanjiti postojeće korištenje električne

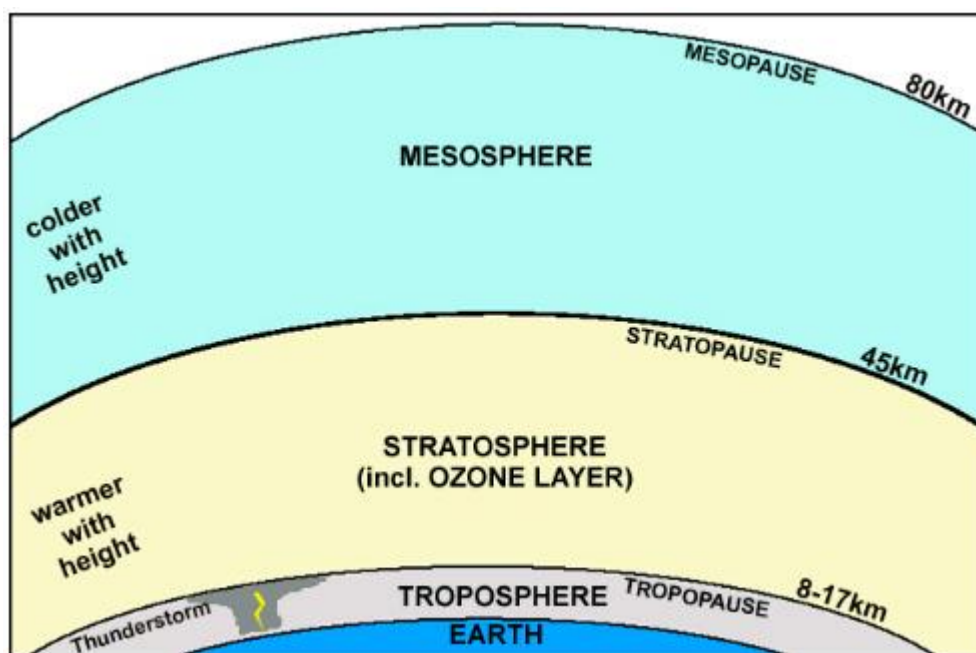
energije iz javnog opskrbljivača, te postizanje maksimalne iskoristivosti insolacije, te također povećati energetska učinkovitost i maksimalnu elektro energetska neovisnost potrošača. Kada se govori o fotonaponskim elektranama spojenim na elektroenergetska mrežu, moguće su dvije varijante. Prva je, da se kompletna proizvedena električna energija prodaje u mrežu, a druga da se proizvedena električna energija koristiti za pokrivanje vlastite potrošnje objekta, a višak proizvedene električne se predaje u mrežu.



Slika 1.1; Slikoviti prikaz postrojenja sunčane elektrane [4]

1.1. Zračenje sunca u atmosferi

Količina zračenja Sunca i njegov intenzitet mijenja se prolaskom od izvora nastanka Sunčeve svjetlosti, pa do nas kao krajnjih korisnika. Može se zaključiti da kada ta energija dopre do nas, ona oslabi. To slabljenje energije ovisi o putu kojim sunčeve zrake dođu do nas, a put ovisi o nadmorskoj visini i kutnoj visini Sunca. Refleksija, apsorpcija i difuzija procesi su koji mijenjanju konačan rezultat količine doznačenosti. Također, promjenom navedenih veličina mijenja se i spektralni sustav - ta veličina se mora utvrditi različitim mjerenjima. [5]



Slika 1.2; Slojevi atmosfere [6]

Tijekom nuklearne fuzije, visoki tlak i visoka temperatura uzrokuju da se jezgre odvoje od svojih elektrona. Jezgre vodika se spajaju i nastaje jedan atom helija. Svaki dan sunce zrači (šalje) ogromnu količinu energije. Svaki dan zrači više energije nego što svijet potroši u jednoj godini. Solarni energija je obnovljivi izvor energije. Može proći 150 000 godina da energija u jezgri Sunca stvori svoje put do sunčeve površine, a zatim samo nešto više od osam minuta za putovanje 93 milijuna milja do Zemlje. Energija zračenja putuje do Zemlje brzinom od 186.000 milja u sekundi. Samo mali dio energije koju sunce zrači u svemir udara u Zemlju, jedan dio u dvije milijarde. Ipak, ova količina energije je ogromna. Sunce daje više energije u sat vremena nego što Sjedinjene Države mogu potrošiti u godini! Što je vrlo zanimljiv podatak. [7]

1.2. Kako mi koristimo Sunčevu (solarnu) energiju?

Ljudi su stoljećima koristili sunčevu energiju. Već u sedmom stoljeća prije Krista, ljudi su koristili povećala za fokusiranje svjetlost od sunca da dođe do efekta zapaljivanja vatre. Prije više od jednog stoljeća, znanstvenik u Francuskoj koristio je solarni kolektor za proizvodnju pare za pogon motora. Solarni grijači vode ili popularni naziv „kolektori“ su stekli svoju popularnost početkom 1900-ih u jugozapadnom dijelu Amerike. Danas ljudi koriste solarnu energiju za grijanje objekata, vode i za proizvodnju električne energije. U 2015. godini solarna energija iznosila je nešto više od 0,4% proizvodnje električne energije od svih izvora koji proizvode električnu energiju u SAD-u. [8]

1.2.1. Primjeri dobro iskorištene Sunčeve energije

1. **Heliostatski toranj solarne energije** – sastoji se od velikog polja ogledala za praćenje sunca nazvani heliostati, koji usmjeravaju sunčevu energiju na prijemnik na vrhu tornja. Ogromna količina energije koja se dolazi od sunca, te zrake sunca usmjerene u jednoj točki na tornju mogu proizvesti temperature preko 500 stupnjeva Celzija. Toplinska energija se koristi za grijanje vode ili rastaljene soli koja štedi energiju za kasniju upotrebu. Najveći sustav solarnih tornjeva u svijetu nalazi se u Kaliforniji. Sustav solarne električne energije, koristi tri tornja s preko 170.000 heliostata i ima proizvodni kapacitet od preko 390 MW što je jako velika brojka. [9] Sol zagrijava vodu i dolazi do stvaranja pare koja se koristi za rotiranje turbinskog generatora.



Slika 1.3; Heliostatski toranj solarne energije [10]

2. **Linearni Fresnel kolektori** - koriste nekoliko ravnih zrcala u skupinama, cilj im je koncentrirati sunce na cijevni prijemnik iznad njih. Ovaj raspored omogućuje zrcalima da bolje prate položaj sunca za maksimalnu refleksiju. Prvi linearni reflektorski sustav u SAD-u proizvodi 5 MW električne energije i nalazi se u Kaliforniji. Dok su parabolični sustavi korita najčešći u Američkim državama, postoje prednosti i nedostaci oba sustava. Parabolični sustavi korita su dokazani i imaju izvrsne performanse. Međutim, parabolična zrcala su skupa za proizvodnju i elektrane zahtijevaju velike količine zemljišta. Linearni reflektor sustavi koriste ogledala koja su lakša i jeftinija za proizvodnju. [11]



Slika 1.4; Linearni Fresnel kolektori [11]

3. **Parabolički kolektori** - koriste duga zakrivljena zrcala u obliku korita koji usmjeravaju sunčevu svjetlost na cijev koja se nalazi na žarišnoj liniji. Tekućina koja kruži unutar cijevi prikuplja energiju i prenosi je na a izmjenjivač topline, koji proizvodi paru za pogon konvencionalne turbine. Najveći parabolični sustav korita na svijetu nalazi se u pustinji u Kaliforniji. Objekt se sastoji od nekoliko mjesta koja zajedno imaju ukupni proizvodni kapacitet od 354 MW. Za proizvodnju jednog MW potrebno je deset jutara paraboličnih korita, što proizlazi da treba 4 ha površine za 1 MW. U Arizoni se nalazi još jedan od najvećih na svijetu objekata ovog tipa tvornica u blizini Phoenixa i ona može generirati 280 MW. [12]



Slika 1.5; Parabolički sustavi korita [12]

1.3. Kut upada Sunčevih zraka

Plankov zakon zračenja - kako bi se razumjela svojstva doseganja sunčevog zračenja na Zemlju, korisno je pregledati neke koncepte elektromagnetskog zračenja i svojstva crnih tijela. Elektromagnetsko zračenje može se promatrati kao val, karakteriziran svojom valnom duljinom λ . Elektromagnetsko zračenje putuje brzinom svjetlosti c ($2,998 \times 10^8$ m/s) u vakuumu (ili c/n u materijalu s indeksom loma n) i ima frekvenciju ν takvu da $c = \lambda\nu$. Po kvantnoj mehanici elektromagnetsko zračenje smatra se brzinom protjecanja fotona, gdje sadržaj energije u svakom fotonu ovisi o frekvenciji. U elektromagnetskom zračenju s određenim valne duljine λ foton ima energiju. [15]

$$E = h\nu = \frac{hxc}{\lambda} \quad (1.3.1.)$$

Gdje je:

- h - Plankova konstanta 6.626×10^{-34} Js.

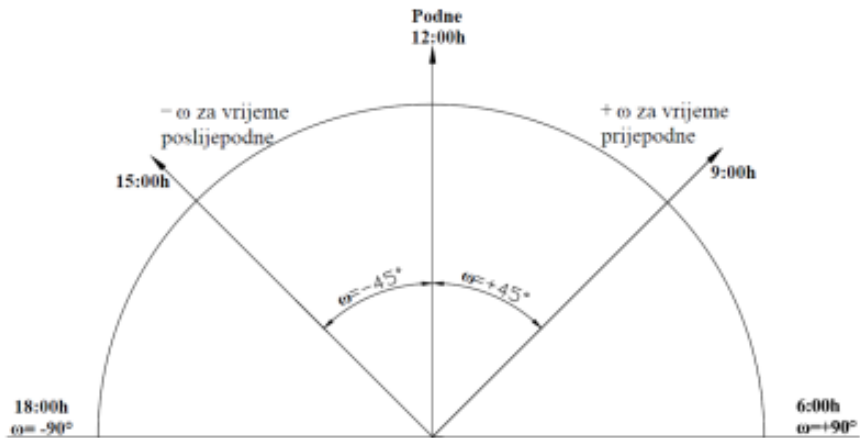
Zračenje koje emitira vrući objekt poput Sunca ili bilo kojeg drugog objekta što se toga tiče, distribuira se u rasponu valnih duljina i shodno tome, zapravo sastoji se od toka fotona s različitim energetske sadržajem. Raspodjela zračene energije po valnim duljinama, kao i ukupni tok energije, ovisi o temperaturi objekta.

Da bi se izvršile pretvorbe između horizontalnih i nagnutih ravnina, jest potrebno poznavati geometrijske odnose između ravnina i između Sunca u bilo kojem trenutku. Prvo, imamo konstantne kutove koji definiraju orijentaciju i mjesto nagnute ravnine: β , nagib ravnine u odnosu na horizontalu, $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.

- γ , kut azimuta nagnute ravnine, nula prema jugu, zapad je pozitivan, $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$
- φ , zemljopisna širina lokacije, sjever pozitivna, $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$

Drugo, imamo dva vremenski promjenjiva kuta koja definiraju položaj Sunce u odnosu na nebesku sferu i Zemlju:

- δ , deklinacija Sunca, "vertikalni" položaj Sunca na nebeska sfera, mjerena u stupnjevima iznad ili ispod nebeske ekvator, sjever pozitivna $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$
- ω , satni kut, kutni pomak Sunca u odnosu na lokalni meridijan, nula u podne, poslijepodne pozitivno, $-180^\circ \leq \omega \leq 180^\circ$. Deklinacija čini potpuni ciklus u jednoj godini i stoga može biti modelirano s razumnom točnošću u funkciji dana u godini d : $\delta = 23,45 \sin (360284 + d 365)$.



Slika 1.6;Kut upada sunčevih zraka [16]

Budući da je Sunce pomaknuto 15° prema zapadu svakog sata zbog rotacije Zemlje oko svoje osi, pa se satni kut određuje prema formuli 1.3.2.

$$\omega = 15 (t_s \times 60 - 12), \quad (1.3.2.)$$

gdje je t_s solarno vrijeme dana u minutama.

Iz ovih kutova možemo pronaći:

- θ , upadni kut, kut između normale i nagnute ravnina i zračenje snopa na toj površini, $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.

Upadni kut povezan je sa svim ostalim kutovima prema sljedeća jednadžba:

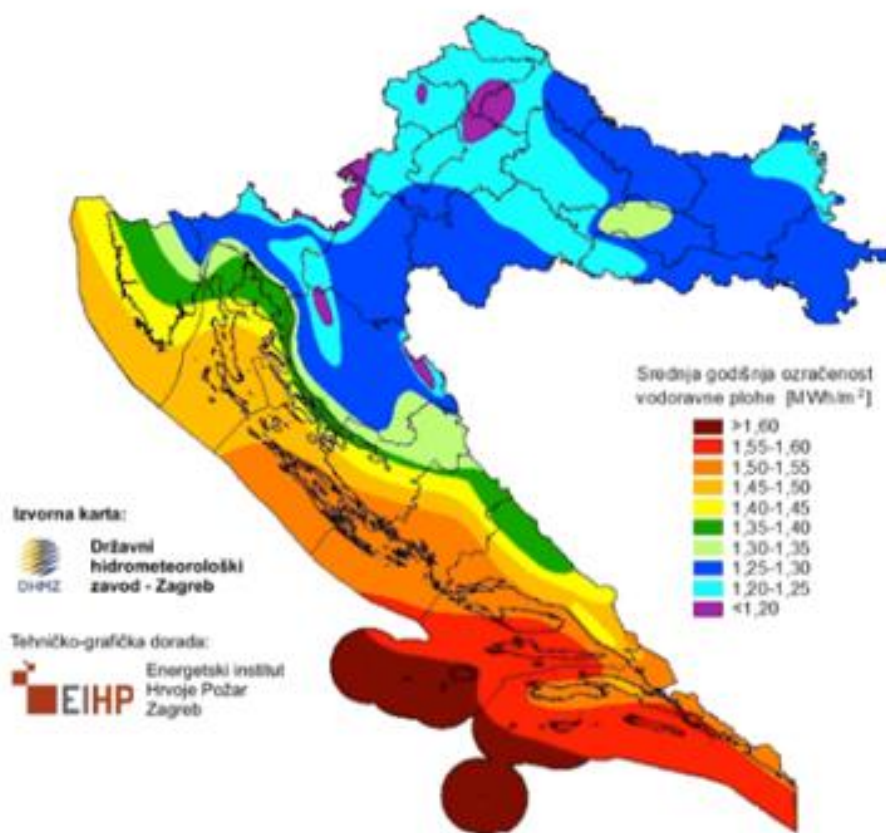
$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega. \quad (1.3.3.)$$

Za horizontalnu ravninu, nagib ravnine $\beta = 0$, i gornji odnos je u skladu s tim pojednostavljen. Rezultirajući upadni kut θ_z , zenit kut.[17]

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta. \quad (1.3.4.)$$

1.4. POTENCIJAL REPUBLIKE HRVATSKE U ISKORIŠTAVANJU SUNČEVE ENERGIJE

Republika Hrvatska ima vrlo značajan potencijal što se tiče iskorištavanja obnovljivih izvora energije, no ti obnovljivi izvori nisu u velikoj mjeri iskorišteni što bi se u budućim vremenima trebalo promijeniti. Taj potencijal je puno veći na obalnim područjima i otocima što su pokazala brojna istraživanja pogotovo sada kad je zagrijavane Zemlje puno veće nego u prošlim vremenima. Na slici 1.7. ispod se dobro može vidjeti srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe izražena u MWh/m², te da u toj ozračenosti imaju vodstvo područja na krajnjem jugu Republike Hrvatske, te bi isplativost ugradnje sunčane elektrane bila od velike isplativosti na području hrvatskog juga.



Slika 1.7; Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe [18]

1.5. Analiza ozračenosti Splitsko-Dalmatinske županije

Srednja godišnja ozračenost osnovni je ulazni podatak kojim se može izraditi procjena prirodnog potencijala energije Sunca na nekom području. Važnu ulogu imaju pojam ozračenje u ozračenost:

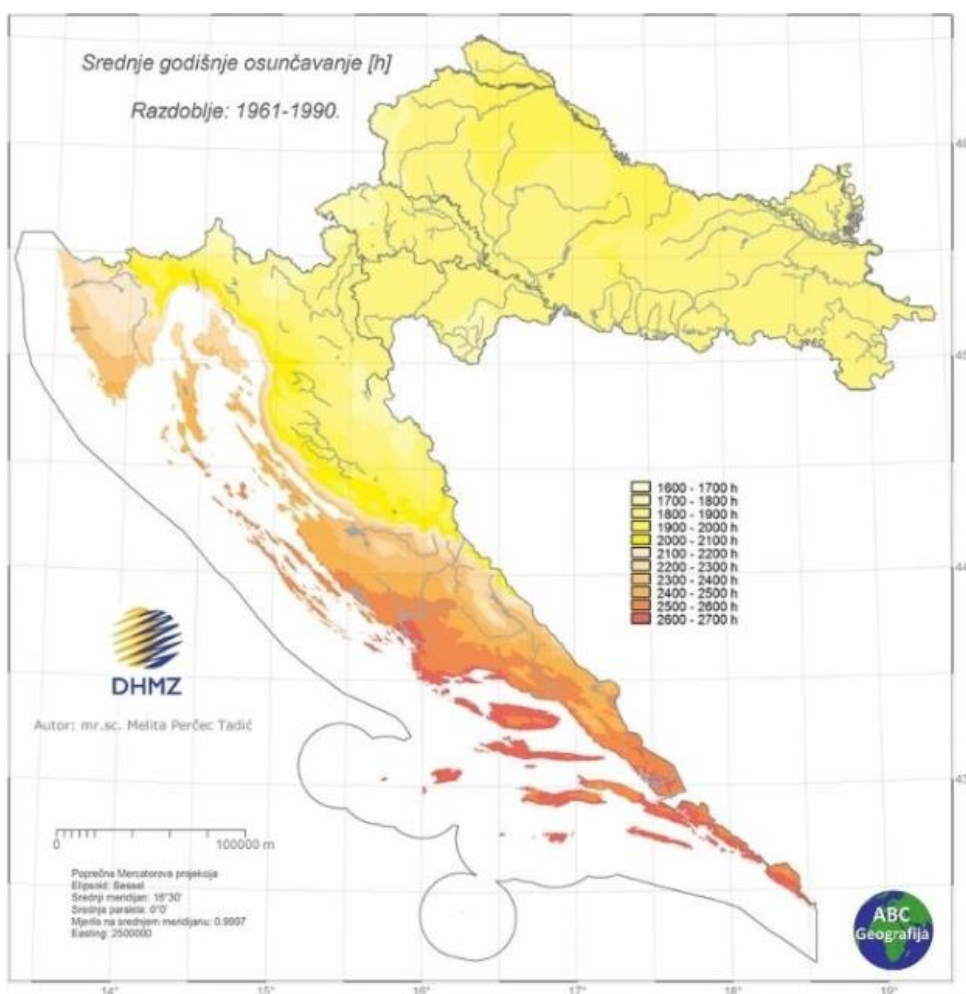
- **Ozračenje** – pokazuje srednju gustoću doznačene Sunčeve snage, koja pokazuje omjer snage sunčeva zračenja i površine plohe koja je komita na smjer zračenja (W/m^2)
- **Ozračenost** – predstavlja količinu Sunčeva zračenja na površinu u određenim vremenskim intervalima. Ona se dobiva integriranjem ozračenja po vremenu (Wh/m^2).

Ozračenost promatrane plohe na nekom području konkretno Splitsko-Dalmatinske županije je distribuirana ovisno o geografskoj dužini i stanju promatranog terena, no veliku ulogu imaju klimatološki parametri. Splitsko-Dalmatinska županija ima veliki prostorni raspon, te je raspodjela Sunčevog zračenja najviša oko obalnog područja. Stoga srednja godišnja ozračenost se kreće u rasponu od oko $1,60 MWh/m^2$ za otoke koji su malo udaljeniji primjerice otok Vis, $1,55 MWh/m^2$ za otoke Hvar i Brač, te za dijelove koji su bliže obali oko $1,45 MWh/m^2$ za sjevernije to iznosi oko $1,35 MWh/m^2$ za planinski dio oko Kamešnice i Peručkog jezera. U tablici 1. ispod je prikazana ozračenost vodoravne plohe po mjesecima za područje Splita, Hvara i Sinja. Analizom iz tablice se može vidjeti da Hvar ima najveću ozračenost. [19]

Tablica 1; Primjer ozračenosti tri različita grada

LOKACIJA	SPLIT			HVAR			SINJ		
	UKUPNO	RASPRŠENO	IZRAVNO	UKUPNO	RASPRŠENO	IZRAVNO	UKUPNO	RASPRŠENO	IZRAVNO
Siječanj	1,71	0,82	0,89	1,72	0,84	0,88	1,41	0,83	0,58
Veljača	2,65	1,12	1,53	2,68	1,13	1,55	2,4	1,16	1,24
Ožujak	3,8	1,67	2,13	3,93	1,66	2,27	3,52	1,71	1,81
Travanj	4,93	2,16	2,77	5,2	2,11	3,09	4,74	2,19	2,55
Svibanj	6,07	2,53	3,54	6,27	2,48	3,79	5,67	2,61	3,06
Lipanj	6,94	2,53	4,41	7,24	2,42	4,82	6,37	2,69	3,68
Srpanj	6,96	2,36	4,6	7,23	2,26	4,97	6,25	2,59	3,66
Kolovoz	5,96	2,17	3,79	6,19	2,1	4,09	5,63	2,27	3,36
Rujan	4,64	1,7	2,94	4,73	1,69	3,04	4,14	1,8	2,34
Listopad	3,31	1,27	2,04	3,42	1,27	2,15	2,84	1,34	1,5
Studeni	1,92	0,91	1,01	1,94	0,93	1,01	1,63	0,92	0,71
Prosinac	1,44	0,73	0,71	1,45	0,75	0,7	1,2	0,73	0,47
Srednja vrijednost	1,53	0,61	0,92	1,58	0,6	0,99	1,4	0,63	0,76

Analizirana područja imaju i najveći broj sunčanih sati u Hrvatskoj jačanje insolacije je prema jugu, broj sunčanih sati se kreće oko 2600 sati godišnje radi usporedbe primjerice grad Zagreb ima oko 1800 sati godišnje. Iznos insolacije ovisi o mnogim faktorima poput duljini trajanja dana ako je dan duži na nekom području, tada je dozračenost sunca veća jer dan traje duže. Zatim važan faktor je naoblaka, ako je nebo prekriveno oblacima naravno insolacija je kraća. Promatrajući Europu sunčanije vrijeme od Republike Hrvatske ima Španjolska, Portugal, Malta ,te neke zemlje Balkana. Grad Hvar je otprilike godišnje osunčan oko 60% vremena tjedno, a grad Zagreb je na postotku od 40%, na temelju samo tih podataka se može utvrdit da se isplativost izgradnje sunčane elektrane ispati. Samo ovom analizom možemo vidjeti isplativost izgradnje sunčane elektrane na područjima južne Hrvatske, a nalazimo se na samom dnu Europe po instaliranim fotonaponskim sustavima. No taj negativni trend polako slabi zbog velikih poticaja Europske unije na korištenje obnovljivih izvora, pa je svjetlija budućnost za Hrvatsku. [20]



Slika 1.8; Srednja godišnje osunčanje Republike Hrvatske [20]

1.5.1. TRENUTNO STANJE U HRVATSKOJ I PRETPOSTAVKE

U Republici Hrvatskoj postoji nekoliko klasifikacija korisnika električne energije od strane opskrbljivača HEP-a. Korisnici kategorije kućanstvo u većini slučajeva djeluje po modelu samoopskrbe, anuliranja vlastite potrošnje električne energije od strane sunčane elektrane. U modelu samoopskrbe korisnik ne smije proizvoditi puno više od potrošnje jer automatski prelazi u model povlaštenog proizvođača gdje ga se tretira kao malog poduzetnika. Kupac s vlastitom proizvodnjom ustvari je novi ili postojeći korisnik koji u svoju instalaciju ima priključenu sunčanu elektranu koju koristi u svrhu vlastite potrebe, a eventualni višak predaje u mrežu. Preuzimanje električne energije iz strane javnog opskrbljivača u noćnim satima ili po lošijem vremenu se uređuje po ugovoru o opskrbi krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom. Spomenuti viškovi električne energije kada elektrana proizvodi više od potreba trebaju biti sljedeću uvjeti da bi opskrbljivač otkupio taj višak:

- **imaju status povlaštenog proizvođača električne energije,**
- **ostvarili su pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu,**
- **ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ne prelazi 500 kW,**
- **priključna snaga krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom kao proizvođača ne prelazi priključnu snagu kao kupca. [21]**

Druga kategorija je poduzetništvo koje je osmišljeno za poduzetnike cijena kategorije poduzetništva je mnogo veća od kućanstva. Omjer cijena kućanstva i poduzetništva može se vidjeti na priloženim tablicama 2 i 3. Usporedbom niskog napona za bijeli tarifni model možemo vidjeti da je cijena za poduzetništvo veća za 3,5 puta za naknadu za obračunsko mjerno mjesto za 1 kWh.



Slika 1.9; Solarne elektrane na HEP-ovim zgradama [66]

Tablica 2; Prikaz cijena električne energije za kategoriju poduzetništvo

Kategorija kupca		Tarifni model	Radna energija			Obračunska vršna radna snaga	Prekomjerna jalova energija	Naknada za obračunsko mjerno mjesto
			JT	VT	NT			
			[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kW]	[kn/kvarh]	[kn/mj]
Tarifne stavke								
			1	2	3	4	5	6
Poduzetništvo	Visoki i vrlo visoki napon	Bijeli	-	-	-	-	-	-
	Srednji napon	Bijeli	-	0,10	0,05	12,00	0,16	66,00
	Niski napon	Plavi	0,22	-	-	-	0,16	41,30
		Bijeli	-	0,26	0,12	-	0,16	41,30
		Crveni	-	0,17	0,08	24,50	0,16	41,30
		Žuti (javna rasvjeta)	0,18	-	-	-	-	15,45

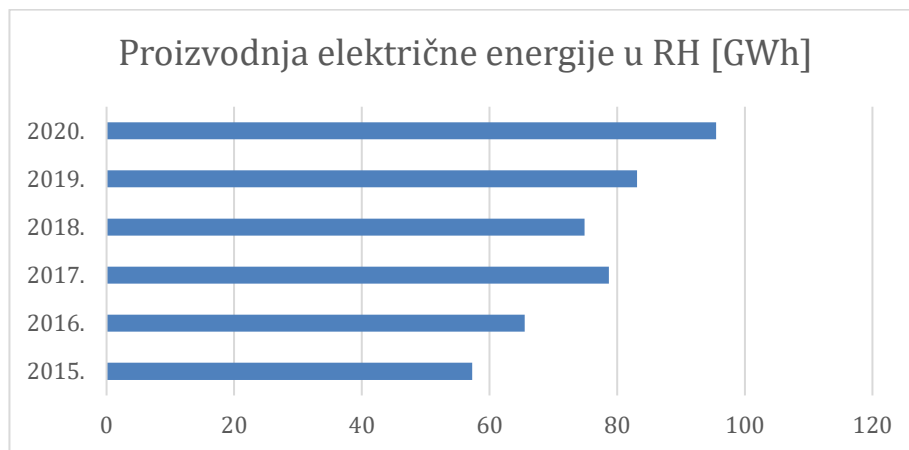
Tablica 3; Prikaz cijena električne energije za kategoriju kućanstvo

Kategorija kupca		Tarifni model	Radna energija			Obračunska vršna radna snaga	Prekomjerna jalova energija	Naknada za obračunsko mjerno mjesto
			JT	VT	NT			
			[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kW]	[kn/kvarh]	[kn/mj]
Tarifne stavke								
			1	2	3	4	5	6
Kućanstvo	Niski napon	Plavi	0,22	-	-	-	-	11,60
		Bijeli	-	0,26	0,12	-	-	11,60
		Crveni	-	0,17	0,08	24,50	-	41,30
		Crni	0,14	-	-	-	-	6,10

Sunčane elektrane su u 2015. godini proizvele 57,3GWh, čiji se trend s godinama povećavao i tako možemo u prikazanoj tablici 4. vidjeti eksponencijalni rast ugradnje fotonaponskih sustava. U 2020. godini je proizvodnja iznosila 95,5 GWh što iznosi 166% više u odnosu na 2015. godinu. Što se odnosi na fotonaponske elektrane instalirane na kućanstvu i poduzetništvu, tj. integrirane sunčane elektrane. Podaci se odnose na elektrane koje nemaju status povlaštenog proizvođača, te snaga autonomnih fotonaponskih elektrana koje se koriste za opskrbu objekata električnom energijom, a nisu spojeni na javnu mrežu u 2020. godini je iznosila oko 8,5 MW. [22]

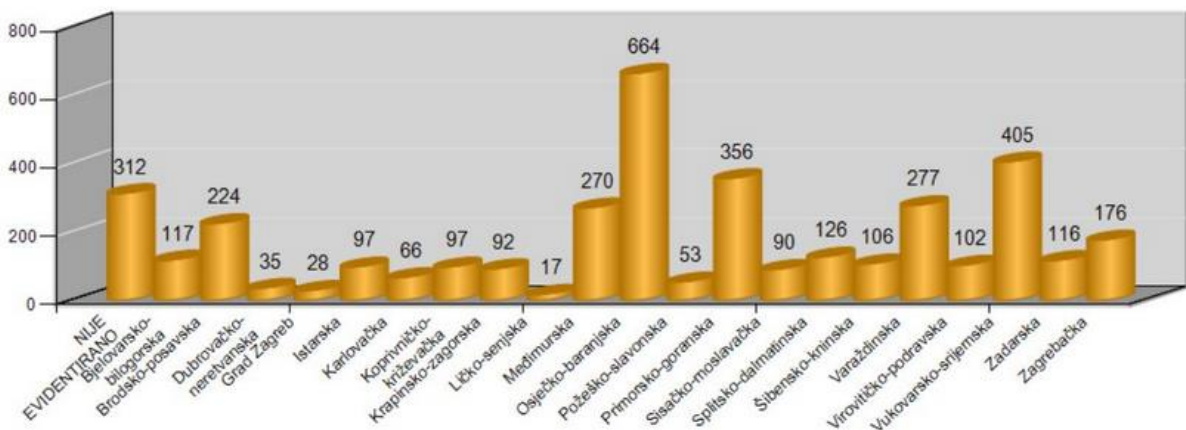
Tablica 4; Prikaz proizvodnje električne energije u periodu od 6 godina

Godina	Proizvodnja električne energije [GWh]
2015.	57,3
2016.	65,5
2017.	78,7
2018.	74,9
2019.	83,1
2020.	95,5



Slika 1.10; Grafički prikaz proizvodnje električne energije u periodu od 6 godina

Prema gore navedenim podacima tablica 4. i slika 1.9 vidi se veliki porast broja instaliranih elektrana, može se zaključiti da će trend instaliranja istih biti vremenom sve veći i veći. Prema podacima HEP-a i Ministarstva gospodarstva broj sunčanih elektrana raste velikom brzinom. Ukupno gledano u 5 županija koje imaju najveći broj instaliranih elektrana iznosi 837, od njih 837 gotovo pola se nalazi na području Međimurske 270 i Varaždinske županije 277 što se može odlično vidjeti na prikazanom grafikonu. [22]



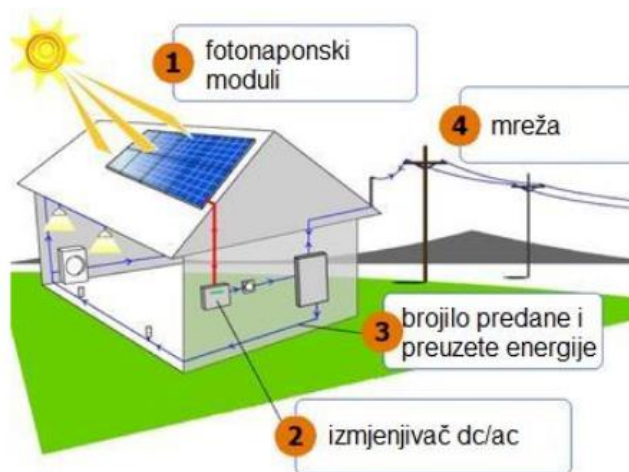
Slika 1.11; Stanje fotonaponskih elektrana u Republici Hrvatskoj [22]

2. TIPOVI FOTONAPONSKIH SUSTAVA

Fotonaponski energetske sustavi općenito se klasificiraju prema njihovoj funkciji, konfiguraciji njihovih komponenata i način na koji je oprema povezana na druge izvore energije i električna opterećenja. Dvije glavne klasifikacije fotonaponskih sustava su mrežno povezani na javnog opskrbljivača električnom energijom i samostalni sustavi. Fotonaponski sustavi mogu biti dizajnirani za pružanje usluge istosmjernog i/ili izmjeničnog napajanja. Sustav može raditi međusobno povezan s ili neovisno o javnoj mreži, a može se povezati s drugim energentima i sustavom za pohranu električne energije (baterije).

2.1. Mrežno povezani fotonaponski sustavi (on grid)

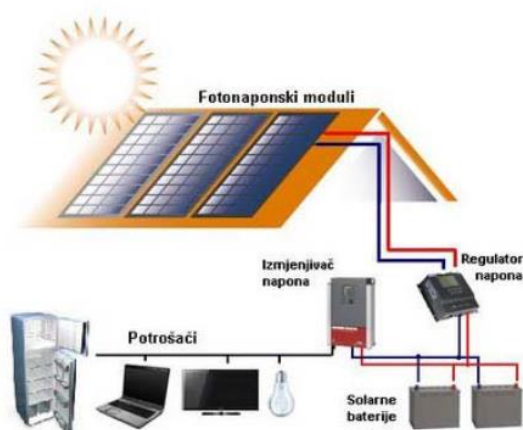
Dizajnirani su za rad na način da su povezani s električnom mrežom. Primarna komponenta u mreži su povezani fotonaponski moduli na pretvarač. Pretvarač pretvara DC snagu koju proizvodi fotonaponski niz u izmjeničnu snagu u skladu s naponom i snagom, te zahtjevima kvalitete javne mreže i automatski prestaje opskrbljivati mrežu električnom energijom kada javna mreža nije pod naponom. Između fotonaponskih sustava napravljeno je dvosmjerno sučelje, dvosmjerno brojilo i izlazni krugovi izmjenične struje i električna javna mreža, obično na obračunskom mjernom mjestu. To omogućuje da se izmjenična energija koju proizvodi fotonaponski sustav napaja na licu mjesta, ili za povratno napajanje mreže kada je izlazna snaga fotonaponskog sustava veća od one na licu mjesta.



Slika 2.1; On grid sustav [23]

2.2. Samostalni fotonaponski sustavi (off grid)

Dizajnirani su za rad neovisno o električnoj mreži, a općenito su dizajnirani i dimenzionirani za opskrbu određenim DC i/ili AC potrošačima. Ove vrste sustava mogu se napajati samo fotonaponskim nizom. Najjednostavniji tip samostalnog fotonaponskog sustava je izravno spojeni sustav, gdje je istosmjerni izlaz od fotonaponskih modula izravno spojen na istosmjerno trošilo. U mnogim samostalnim fotonaponskim sustavima baterije se koriste za pohranu energije.



Slika 2.2; Off grid sustav [24]

2.3. Hibridni sustavi

Ako će fotonaponski sustavi općenito imati neka sredstva za pohranu energije prilagoditi unaprijed definirano razdoblje nedovoljno sunca, još uvijek može biti izuzetnih razdoblja lošeg vremena kada je potreban alternativni izvor za jamčenje proizvodnje energije. Fotonaponski hibridni sustavi kombiniraju fotonaponski generator s drugim izvorima energije - obično dizel generator, ali povremeno i drugi obnovljivi izvor energije kao što je vjetroturbina ili kao što je korišteno u ovom radu spoj na javnu mrežu. Fotonaponski generator bi obično bio dimenzioniran da zadovolji zahtjeve osnovne potrošnje.



Slika 2.3; Hibridni sustav [24]

3. SUSTAVI PRETVORBE SUNČEVE ENERGIJE U ELEKTRIČNU ENERGIJU

Sunce kao što ga mi svi vidimo izgleda kao vrlo sićušna kružnica na nebu, no ono je vrlo važan i vrlo moćan čimbenik u našim životima. Ono je jedan ako ne i najmoćniji izvor energije koju čovjek može iskoristiti za proizvodnju električne energije, zagrijavanje sanitarne vode, u raznim procesima proizvodnje. Po mišljenjima i zaključcima mnogih znanstvenika Sunce je izvor energije koji neće nikad izumrijeti i kao neiscrpni izvor toplinske i svjetlosne energije, ali to moramo smatrat kao činjenicu. Spomenuta energija nastaje vrlo kompleksnim postupcima za koje se priroda pobrinula da rezultati tih postupaka budu toliko korisni za čovječanstvo. Prema mnogim iznesenim mišljenjima znanstvenika solarna energija koja godišnje dopre do Zemlje je veća od energija koje možemo dobiti od ukupnih zaliha nafte, ugljena. Zanimljiv podatak je također da Sunce svakog sata na Zemlju „pošalje“ toliko energije da se pokrije cijela svjetska potrošnja u godinu dana, prema toj činjenici imamo mnogo „servirane“ energije koju treba pametno iskoristiti.

Općenito, hibridni sustav predstavlja kombinaciju bilo koja dva ulazna izvora, solarni PV sustav može se integrirati s dizelskim generatorima, vjetroturbinama ili bilo kojim drugim neobnovljivim ili obnovljivim izvorima energije. Obično hibridni fotonaponski sustavi koriste bateriju za pohranu energije/snage iz PV polja kako bi se prilagodili unaprijed definiranom razdoblju neadekvatne sunčeve svjetlosti (loši vremenski uvjeti) kada je potreban alternativni izvor za proizvodnju izlazne snage.

Za iskorištavanje sunčeve energije da bismo dobili na korištenje električnu energiju najpotrebnije su najmanje 4 komponente sustava (hibridni sustav):

1. **Fotonaponski moduli** – sastoji se od fotonaponskih ćelija i one stvaraju mali napon pod utjecajem sunčeve energije
2. **Hibridni izmjenjivač** – pretvorba istosmjerne struje i napona u izmjeničnu
3. **Baterija** – spremnik električne energije
4. **Kabeli** – služe za spajanje komponenata sustava

3.1. Fotonaponski moduli

Fotonaponsko polje modula je zapravo jedan ili više mogućih fotonaponskih modula koji svjetlosnu energiju sunca pomoću fotonaponskog efekta pretvaraju u istosmjernu električnu energiju. Rad fotonaponskih modula zasniva se na pojavi napona na kontaktima ćelija uslijed izlaganja svjetlosnom zračenju sunca. Fotonaponski moduli se dopremaju sa ugrađenim konektorima (muško - ženskim), te kabelom s vodootpornim konektorom za sigurno spajanje u seriju. Okvir FN modula izrađuje se od eloksiranog aluminijskog ili drugog nehrđajućeg materijala koji je kompatibilan s kontaktnim materijalom na montažnoj konstrukciji. Moduli se unutar fotonaponske (sunčane) elektrane najčešće spajaju serijski u nizove za dobivanje željenog napona. Spajanjem više nizova paralelno dobiva se željena snaga DC strane elektrane, to je *broj modula x vršna snaga pojedinog modula*. Vršna instalirana snaga DC strane elektrane na krovu se izražava u vatima po piku (Wp). Fotonaponski moduli su glavni građevni blokovi oni se mogu rasporediti u nizove kako bi povećali proizvodnju električne energije.

Vrste fotonaponski modula:

- **Monokristalni moduli:** kao što i sam naziv govori, to su ćelije koje su izrađene iz jednog kristala. Metode proizvodnje su teške i skupe. Oni su obično učinkovitiji i skuplji. Većinom su izvedeni u crnoj ili tamnoplavoj boji. [26]
- **Polikristalni moduli:** oni većinom imaju površinu na koju padaju sunčeve zrake izvedenu u plavoj boji. Također njihova kristalna struktura je djelomično pravilna, pa stoga stvaraju manji napon i nemaju toliku učinkovitost. Prednost im je ta što su ekonomski prihvatljiviji od monokristalnih. [26]
- **Tanko slojni moduli:** površina na koju padaju sunčeve zrake su izvedene u tamno crvenoj boji. Izrađeni su od tankog sloja silicija. Najviše se koriste u projektnim zadacima gdje je potrebno iskoristiti velike površine. Imaju nisku učinkovitost kod velikog sunčevog zračenja, ali imaju prednost kod slabijeg dopiranja sunčevih zraka kao i kod viših temperatura. [26]

Projektirano je 144 komada fotonaponskih modula po 400Wp da bi se zadovoljila forma over panelling-a, koji se kreće u rasponu 20%-40%. Over panelling sunčanih elektrana služi za povećanje kapaciteta invertera i u potpunosti iskoristiti njihov kapacitet. Trenutno su fotonaponske elektrane diljem svijeta već predimenzionirane u prosjeku između 120% i 140%. Jedan od glavnih razloga predimenzioniranja DC generatora je da teoretska vršna snaga modula često se ne postiže u stvarnosti. Dakle, a nužan je određeni minimum predimenzioniranja za nadoknadu gubitaka. Za određivanje predimenzioniranja koristi se izraz 3.1.1.:

$$(120\% - 140\%) = \frac{P_{DC}}{P_{AC}}; (3.1.1.)$$

Gdje je:

P_{DC} - instalirana snaga na krovu, tj. ukupna vršna snaga fotonaponskih modula.

P_{AC} - instalirana snaga izmjenjivača tj. invertera

Kada govorimo o fotonaponskim modulima, u ovom slučaju su korišteni polikristalni moduli proizvođača Viesmann kod kojih je bitno spomenuti važne parametre, a to su:

- Struja kratkog spoja I_S - struja kod kratko spojenih stezaljka, napon je tada približno 0V, a struja kratkog spoja jednaka je fotostruji $I_S = I_{FS}$
- Napon praznog hoda U_S - napon na otvorenim stezaljkama
- Učinkovitost modula η - izražava se kao omjer snage fotonaponskih ćelija i snage sunčeva zračenja po njenoj površini [27]

$$U_S = \frac{P_{MPP}}{G \times A} \times 100 = F \times \frac{U_S \times I_S}{G} \times 100; (3.1.2.)$$

Gdje je:

- G - snaga sunčevog zračenja [W/m^2]
- A - površina FN ćelije [m^2]
- JS - gustoća struje kratkog spoja [A/m^2]

Faktor ispunjenosti F - određuje kvalitetu fotonaponske ćelije. Izračunava se kao omjer maksimalne snage, te umnožak struje kratkog spoja i napon praznog hoda. [27]

$$F = \frac{P_{MPP}}{U_{pxI_S}} (3.1.3.)$$

U projektiranoj sunčanoj elektrani predviđeno je korištenje 144 fotonaponskih modula VITOVOLT 300 proizvođača "VIESSMANN". Fotonaponski moduli su raspoređeni u 15 nizova od kojih 14 sadrži 9 modula, a jedan niz sadrži 18 modula. Ukupna instalirana snaga modula iznosi 57.600,00 Wp. Osnovne tehničke karakteristike modula su:

Fotonaponski moduli - VITOVOLT 300	400W		
[28]			
- maksimalna snaga	P_{MPP}	400	[W]
- maksimalno odstupanje izlazne snage		0/+5	[W]
- struja kratkog spoja	I_{SC}	10,97	[A]
- napon praznog hoda	U_{OC}	46,40	[V]
- napon kod maksimalnog opterećenja	U_{MPP}	38,60	[V]
- struja kod maksimalnog opterećenja	I_{MPP}	10,36	[A]
- maksimalni napon sistema		1500	[V]
- temperaturni koeficijent struje	α	0,00451 5	[A/C]
- temperaturni koeficijent napona	β	-0,034	[V/°C]
- temperaturni koeficijent snage	γ	-0,027	[W/°C]
- dimenzije VxŠxD		1719x1140x35	[mm]
- masa		22	[kg]
- certifikat		CE	

Fotonaponski moduli u skladu su sa sljedećim propisima i normama:

- IEC 61215:2005; 61730-1:2013

3.2. Hibridni Pretvarač

Hibridni pretvarač je elektronički sklop koji ima dvije uloge. Prva uloga je ta da istosmjernu električnu energiju iz fotonaponskih modula pretvara „invertira“ u izmjeničnu električnu energiju. Druga važna uloga je da ima integriranu funkciju rezervnog napajanja, te osigurava napajanje kućanstva čak i u slučaju kvara na mreži ili korištenja energije iz baterija tijekom lošeg vremena ili po noći kada nema sunca. Također ima i mogućnost spajanja nekog alternativnog rješenja poput vjetrenjače ili još dodatnih drugih pretvarača koji nisu hibridni. Zbog relativno visoke cijene fotonaponskog sustava, potrebno je zato sustav koristiti maksimalno moguće radi opravdanosti investicije. Danas se većinom koriste pretvarači vrlo visoke efikasnosti od oko 90%. Uređaj za sinkronizaciju na mrežu je izmjenjivač. Uvjeti sinkronizacije su sljedeći:

- sinkronizacija mora biti automatska
- razlika napona manja od $\pm 10\%$ nazivnog napona
- razlika frekvencije manja od $\pm 0,5$ Hz
- razlika faznog kuta manja od ± 10 stupnjeva

Elementi za osiguranje primjerenog paralelnog pogona postrojenja elektrane s mrežom su:

a) Izmjenjivač (pretvarač) koji mora biti opremljen sa:

- prekidačem – uređajem za isključenje s mreže i uključanje na mrežu (isključenje s mreže u slučaju nedozvoljenog pogona i uključanje na mrežu nakon ispunjenja uvjeta paralelnog rada)

- sustavom za praćenje mrežnog napona
- uređajem za automatsku sinkronizaciju elektrane i mreže
- odgovarajućim zaštitama (pod/nadnaponska, pod/nadfrekventna, ograničenje istosmjerne komponente struje isporučene u mrežu)

- mogućnošću podešenja intervala „promatranja“ mreže prije uklopa izmjenjivača

b) Glavni prekidač koji mora biti četveropolni i opremljen zaštitama:

- nadstrujna zaštita (preopterećenje, kratki spoj)

Uvjete paralelnog pogona osiguravaju međusobno usklađene zaštite elektrane i distribucijske mreže. U slučaju odstupanja od propisanih uvjeta za paralelni pogon, zaštita mora odvojiti elektranu iz paralelnog pogona. Za paralelni pogon elektrane s mrežom, elektrana mora biti opremljena sa:

- Zaštitom koja osigurava uvjete paralelnog pogona: pod(nad)naponska; pod(nad)frekventna. Zaštita mora biti tako podešena da kod nestanka napona u mreži dođe do odvajanja elektrane od mreže

- Zaštitom od smetnji i kvarova u mreži: zaštita od preopterećenja, kratkog spoja (u mreži i u elektrani)

- Zaštitom od smetnji i kvarova u elektrani

- Mogućnošću memoriranja događaja koji su uzrokovali proradu zaštite

U slučaju da sam pretvarač nije opremljen prema zahtjevima iz prethodne elektroenergetske suglasnosti, funkcije koje nedostaju moraju se nadomjestiti sa dodatnim zasebnim relejima koji posjeduju tražene funkcije.

Ulaz (DC):

- maksimalna ulazna snaga	15.000 W
- maksimalni ulazni (DC) napon	1000 V
- napon kod maksimalnog opterećenja	180 – 800 V
- maksimalna ulazna struja (ulaz A / ulaz B)	12,5 A / 25 A
- broj neovisnih ulaznih stezaljki na ulazu	ulaz A: 1 / ulaz B: 2

Izlaz (AC):

- izlazna snaga (230V, 50 Hz)	10.000 W
- nominalni napon	3 / N / PE / 400 / 230 V
- područje podešavanja nominalnog napona	
- područje podešavanja frekvencije	
- namještena frekvencija	50 / 60 Hz
- maksimalna izlazna struja	15,2 A
- broj faznih vodiča	3

Efikasnost:

- maksimalna efikasnost	98,1 %
- euro faktor iskorištenja	97,5 %

Opći podaci:

- dimenzije v x š x d	500x598x173 mm
- težina	30kg
- radna temperatura	-25 do +60 °C
- samopotrošnja u noćnom radu	44 W
- stupanj zaštite	IP 65

3.2.1. Proračun uparivanja mrežnog izmjenjivača sa fotonaponskim modulima i proračun struja i odabir kabela

Tablica 5; Parametri izmjenjivača

SNAGA IZMJENJIVAČA	BROJ IZMJENJIVAČA	BROJ NIZOVA x BROJ MODULAU NIZU	UKUPNI BROJ MODULA	SNAGA MODULA	INSTALIRANA SNAGA MODULA NAIZMJENJIVAČU
10 kW	5 kom	(14x9) + (1x18)	144	400 W	57.600,00 Wp

Iz gornje tablice 5. proizlaze sljedeće vrijednosti:

INSTALIRANA SNAGA IZMJENJIVAČA (SNAGA ELEKTRANE): 50 kW
BROJ MODULA: 144 kom (57.600 Wp)

Izlazna struja mrežnog izmjenjivača računa se prema izrazu:

$$I_{\max(AC)} = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos \varphi} \quad (3.2.1.1.)$$

U obzir je uzeto da je $\cos \varphi = 0.95$, pa je za maksimalnu izlaznu struju izmjenjivača uzeta struja koju navodi proizvođač u tehničkim podacima kao maksimalnu izlaznu struju.

Tablica 6; Podaci od potrebnom kabele

Snaga elektrane [kW]	Struja izmjenjivača [A]	Tip kabela	Trajno dop. struja kabela [A]
50,0	75,97	5x35 mm ²	105 A

Ako pogledamo sunčana elektrana od 50kW izlazne snage ima iznos struje od 75,97A, prema tome možemo odabrati potreban poprečni presjek kabela za elektranu. Uzet je kabel presjeka od 35mm² iz razloga što je njegova trajno dopuštena struja iznosa 105A (dobiveno usporedbom iz tablice 7. ispod) što nam osigurava dosta veliku rezervu u slučaju povećanja struje elektrane, moguće je korištenje kabela 25 mm² no njegova trajno dopuštena struja iznosi 85A što je dosta blizu struji od 75,97A. Svi proračuni su uzeti za aluminijski kabel iz razloga uštede troškova, bakar je bolji vodič od aluminijski, te samim time može podnijeti veću struju.

Tablica 7; Prikaz određenih parametara prema strujama opterećenja

Opteretivost kabela				
Presjek mm²	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

Proračun zaštite AC kabela od preopterećenja

Zaštita vodova i kabela od pregrijavanja se vrši nadstrujnim zaštitnim uređajima. Radna karakteristika nadstrujnog zaštitnog uređaja koja štiti od preopterećenja mora ispuniti sljedeće uvjete:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z$$

Pri čemu su:

I_B – pogonska struja (proračunata struja kroz kabel)

I_N – nazivna struja zaštitnog uređaja

I_Z – trajno podnosiva struja voda (kabela)

NAPOMENA: Za podesive zaštitne naprave nazivna struja je podešena struja zaštitne naprave.

I_2 – struja koja osigurava proradu zaštitnog uređaja

$$I_2 = k \times I_n \text{ (3.2.1.2.)}$$

Gdje je koeficijent k definiran tablicom 8.

Tablica 8; koeficijent k

I_n [A]	< 4	4 < ... < 10	10 < ... < 25	> 25
k	2,1	1,9	1,75	1,6

Iz gore navedenih podataka dolazimo do sljedeće tablice 9. za konkretni završni rad:

Tablica 9; Prikaz rezultata analize

Naziv strujnog kruga	P[kW]	I_b [A]	I_n [A]	I_z [A]	k	I_2 [A]	$1,45 \times I_z$	$I_b < I_n < I_z$	$I_2 < 1,45 \times I_z$
INVERTER	50	75,95	80	105	1,6	128	152,25	DA	DA

ZADOVOLJAVA

NAPOMENE:

S obzirom da se koriste 3 paralelna kabela istog tipa, presjeka i duljine, navedeni su rezultati proračuna samo za jedan kabel.

3.2.2. Prednosti novog SMA hibridnog invertera

SMA Energy System Home je savršena kombinacija visokokvalitetne opreme, pruža menadžment i iznimnu uslugu. Njegov modularni dizajn olakšava početak i omogućuje sustavu biti nadograđen tako da odgovara proračunu i zahtjevima bilo kada i bez muke. Ugradnja bez potrebe za otvaranjem poklopca [29]:

- Intuitivno puštanje u rad putem pametnog mobitela
- 2-u-1 rješenje: štedi prostor i vrijeme
- Bez ventilatora: tiho i malo održavanja

Pružna maksimalnu fleksibilnost:

- 2 MPPT ulaza
- 150% predimenzioniranja na DC strani
- Kompatibilan s DC spojenim visokim naponom baterije vodećih proizvođača
- Korištenje energije iz fotonaponskih pretvarača instaliranih u paralelno kombinirano punjenje baterije iz DC i AC strane

Fleksibilna opskrba energijom koji izvlači maksimum iz bilo kojih vremenskih uvjeta. Sunny Tripower Smart Energy obogaćen je velikom brzinom mogućnosti punjenja baterija. [29, 30]



Slika 3.1; Novi hibridni inverter [30]

3.3. Baterijska banka

Kapacitet baterije je vrlo važna stavka projektiranog solarnog sustava, jer je kapacitetom baterija određena željena autonomija, odnosno neovisnost o dostupnoj energiji iz mreže. Kapacitet baterije određen je prema prosječnoj potrošnji objekta noću, odnosno skupine objekata priključenih na isti priključak objekta. Važno je napomenuti da korišteni inverter podržava samo litij-ionske baterije. Korisnik mreže tj. potrošač u večernjim satima odnosno u periodima oblačnog vremena, kada proizvodnje iz modula nema ili je ona nedostatna, koristi energiju pohranjenu u spremnicima električne energije, u baterijama. Time si potrošač osigurava dodatne uštede u periodima bez sunca i smanjuje ovisnost o elektroenergetskoj mreži HEP-a, čime se u stvari mreža rasterećuje. Baterijska banka dimenzionirana je prema prosječnoj potrošnji na način da bude dostatna da je u stanju opskrbiti instalaciju električnom energijom kroz čitavu noć. Proračunati je kapacitet baterije od **1.764,00Ah** (detaljan proračun je prikazan ispod u tablici 15.). Također preporučeni naponski nivo baterija za proračunati kapacitet je **192 V**.

Odabrane baterije su LG Chem RESU 10 - 48V lithium-ion storage battery, nazivnog napona 48 V i kapaciteta 252 Ah.

Da bi postigli željeni naponski nivo potrebno je baterije spajati serijski. U konkretnom slučaju to znači da je potrebno spojiti 4 baterije u seriju po 48V da bi se dobio naponski nivo od 192 V. Za povećanje ukupnog kapaciteta baterije, potrebno je baterije spajati paralelno. Konkretna baterijska banka podijeljena je u 7 sloga (segmenta) sa 4 baterije. Što ukupno iznosi 28 komada baterija u baterijskoj banci.

3.3.1. Litij-ionske baterije

Litij-ionska ćelija je uređaj sposoban elektrokemijski pohranjivati energiju. Općenito, glavne komponente su pozitivna elektroda, separator, elektrolit i negativna elektroda. Tijekom punjenja/pražnjenja baterije u procesu, litijevi ioni se prenose s jedne elektrode na drugu kroz separator natopljen elektrolitom i, posljedično, elektronima cirkuliraju kroz vanjski krug. Tijekom procesa punjenja, litiji-ioni se prenose s pozitivne elektrode (elektrokemijski djelujući kao anoda) na negativnu elektrodu (elektrokemijski djeluje kao katoda). Dok bi proces pražnjenja uključivao transport litijevi ioni iz negativne elektrode (sada elektrokemijski na anodi) na pozitivnu elektrodu (sada elektrokemijski katoda). Različite vrste materijala mogu se koristiti kao pozitivne i negativne elektrode. Glavna prednost litij-ionskih baterija naspram olovnih je ta što se litij-ionske baterije mogu prazniti čak i do kraja, a dok se olovne baterije smije prazniti samo do polovice svojeg kapaciteta. Radi usporedbe uzete su dvije baterije jednakog kapaciteta i napunjenosti. Baterija od olova ima parametre primjerice 200Ah 24V C30, parametar 200Ah predstavlja kapacitet baterije, 24 V predstavlja nazivni napon. Važan parametar je C30 što označava sate pražnjena znači može se baterija prazniti 30 sati strujom od 6,67A ($30 \text{ h} \times 6,67 \text{ A} = 200\text{Ah}$). Struja pražnjenja se izražava kao omjer kapaciteta i sati pražnjenja ($200 \text{ Ah} / 30 \text{ h} = 6,67\text{A}$). Litij-ionska baterija istog kapaciteta 200 Ah imat će stvarni kapacitet nešto veći cca. 202 Ah, a struju od 200A će osigurati oko 1,01h. Kod olovne baterije gore navedenih parametara (30 Ah [stvarni kapacitet] / $200\text{A} = 0,15 \text{ h} = 7,80 \text{ min}$). Kratak rezime ovih izračuna dakle, prvobitno

napunjena Litij-ionska baterija daje 200A tijekom 1,01h, a jednaka napunjenost olovne baterije davat će 200 A svega 7,80min. Vijek trajanja baterija iznosi oko 5-15 godina u radu u normalnim uvjetima. [13]



Slika 3.2; Odgovarajuća baterija za odabrani inverter [31,33]

3.3.2. Proračun baterija

Važan čimbenik za proračun baterija jest potrošnja objekta i to u noćnim satima, pa je stoga predviđena procjena potrošnje odabranog potrošača 66.154,70 kWh više tarife tj. potrošnja po danu i 37.803,60 kWh niže tarife potrošnja potrošača po noći. Sve zajedno sumirano proizlazi 103.958,3 kWh godišnje zbrojeno viša tarifa i niža tarifa. Za proračun baterija je uzeta količina od 37.803,60 kWh i dodatna energija više dnevne tarife kada potrošač troši više električne energije nego elektrana može proizvesti to je slučaj za zimske mjesece, što označava noćnu potrošnju, a nama je bitna ta količina kWh iz razloga jer baš u tim noćnim satima potrošač želi biti neovisan o javnoj mreži. U Tablici 10. prikazana je potrošnja po mjesecima u godini u diskontinuitetu potrošnje.

Tablica 10; Potrošnja električne energije u godini dana

SVEUKUPNA POTROŠNJA - VIŠA TARIFA (iz računa)	SVEUKUPNA POTROŠNJA - NIŽA TARIFA (iz računa)
(kWh)	(kWh)
7.382,10	4.189,08
6.309,31	3.669,68
6.680,50	3.896,24
5.721,97	3.293,34
5.034,65	2.842,70
5.312,71	2.938,31
6.940,76	3.660,87
4.301,74	2.559,60
5.533,40	3.323,63
4.293,48	2.565,09
4.816,41	2.667,06
3.827,66	2.198,00
66.154,70	37.803,60

Ulazni podaci za proračun jesu:

Tablica 11; Ulazni podaci potrebni za izračun potreba baterija

NAPON BATERIJA US:		192,0	(V)
KOEF. DUBINE PRAŽNJE AKUMULATORA tz:		0,8	
STUPANJ KORISNOG DJELOVANJA PUNJENJA η_{AH}:		0,9	
TRAJANJE AUTONOMIJE nA:		1,0	(dana) [niža tarifa]
POTPUNI OPORAVAK SUSTAVA nE:		3,0	(dana)
KOEF. KORIŠTENJA SUSTAVA hB:		1,0	

VAŽNA NAPOMENA: trajanje autonomije i potpuni oporavak sustava su isključivo želja korisnika tj. investitora. U ovom slučaju želimo maksimalnu autonomiju sustava, pa stoga baterije koristimo noću i kada nema dostupne električne energije iz sustava javnog opskrbljivača električnom energijom.

Izračun potrebnog kapaciteta baterije:

Tablica 12; Proračun baterija od siječnja do travnja

	siječanj	veljača	ožujak	travanj
PROJEKTIRANA DNEVNA POTROŠNJA [NT] ED (Wh):	232.609	149.846	139.991	121.930,2
PROJEKTIRANA DNEVNA POTROŠNJA QD (Ah):	1.212	780,4	729,12	635,1
KAPACITET IDEALNOG AKUMULATORA KN (Ah):	1.212	780,4	729,1	635,1
ENERGIJA IDEALNOG AKUMULATORA KN (Wh):	232.608,5	149.846,1	139.991,0	121.930,2
POTREBNI KAPACITET REALNOG AKUMULATORA K (Ah):	1.731	1.114,9	1.041,6	907,2
POTREBNA ENERGIJA REALNOG AKUMULATORA K (Wh):	332.298	214.065,8	199.987,1	174.186,0
POTREBNO DNEVNO PUNJENJE QL (Ah):	1.795	1.156,2	1.080,2	940,8
POTREBNA ENERGIJA ZA DNEVNO PUNJENJE QL (Wh):	44.660.835	28.770.448,5	26.878.263,5	23.410.598,4
DNEVNA PROIZVODNJA ELEKTRANE Pe (Ah)	2.930	3.969	5.805	6.492

Tablica 13; Proračun baterija od svibnja do kolovoza

	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz
PROJEKTIRANA DNEVNA POTROŠNJA [NT] ED (Wh):	103.101,7	106.238,2	130.729,1	90.116,0
PROJEKTIRANA DNEVNA POTROŠNJA QD (Ah):	537,0	553,3	680,9	469,4
KAPACITET IDEALNOG AKUMULATORA KN (Ah):	537,0	553,3	680,9	469,4
ENERGIJA IDEALNOG AKUMULATORA KN (Wh):	103.101,7	106.238,2	130.729,1	90.116,0
POTREBNI KAPACITET REALNOG AKUMULATORA K (Ah):	767,1	790,5	972,7	670,5
POTREBNA ENERGIJA REALNOG AKUMULATORA K (Wh):	147.288,2	151.768,9	186.755,8	128.737,1
POTREBNO DNEVNO PUNJENJE QL (Ah):	795,5	819,7	1.008,7	695,3
POTREBNA ENERGIJA ZA DNEVNO PUNJENJE QL (Wh):	19.795.530,2	20.397.739,7	25.099.980,8	17.302.270,7
DNEVNA PROIZVODNJA ELEKTRANE Pe (Ah)	6.956	7.348	7.525	7.103

Tablica 14; Proračun baterija od rujna do prosinca

	rujan	listopad	studeni	prosinač
PROJEKTIRANA DNEVNA POTROŠNJA [NT] ED (Wh):	123.216,4	91.781,2	99.112,8	78.872,5
PROJEKTIRANA DNEVNA POTROŠNJA QD (Ah):	641,8	478,0	516,2	410,8
KAPACITET IDEALNOG AKUMULATORA KN (Ah):	641,8	478,0	516,2	410,8
ENERGIJA IDEALNOG AKUMULATORA KN (Wh):	123.216,4	91.781,2	99.112,8	78.872,5
POTREBNI KAPACITET REALNOG AKUMULATORA K (Ah):	916,8	682,9	737,4	586,8
POTREBNA ENERGIJA REALNOG AKUMULATORA K (Wh):	176.023,4	131.116,0	141.589,7	112.674,9
POTREBNO DNEVNO PUNJENJE QL (Ah):	950,7	708,2	764,8	608,6
POTREBNA ENERGIJA ZA DNEVNO PUNJENJE QL (Wh):	23.657.548,8	17.621.992,5	19.029.656,1	15.143.512,1
DNEVNA PROIZVODNJA ELEKTRANE Pe (Ah)	5.908	4.579	2.984	2.686

KOMENTAR: možemo zamijetiti da je DNEVNA PROIZVODNJA ELEKTRANE veća od POTREBNOG DNEVNOG PUNJENJA, što osigurava korištenje proizvedene električne energije i istodobno ostvarujemo punjenje baterije.

ED (Wh): računa se prema formuli; $ED = hB \times EV$; gdje je EV potrebna energija (3.3.2.1)

QD (Ah): računa se prema formuli; $QD = \frac{ED}{Us}$ (3.3.2.2)

KN (Ah): računa se prema formuli; $KN = \eta Ax \frac{EV}{Us}$ (3.3.2.3)

K (Ah): računa se prema formuli; $K = \frac{KN}{tz}$ (3.3.2.4)

QL(Ah): računa se prema formuli; $QL = \left(\frac{1}{\eta_{AH}}\right) \times (QD + \frac{KN}{\eta_E})$ (3.3.2.5)

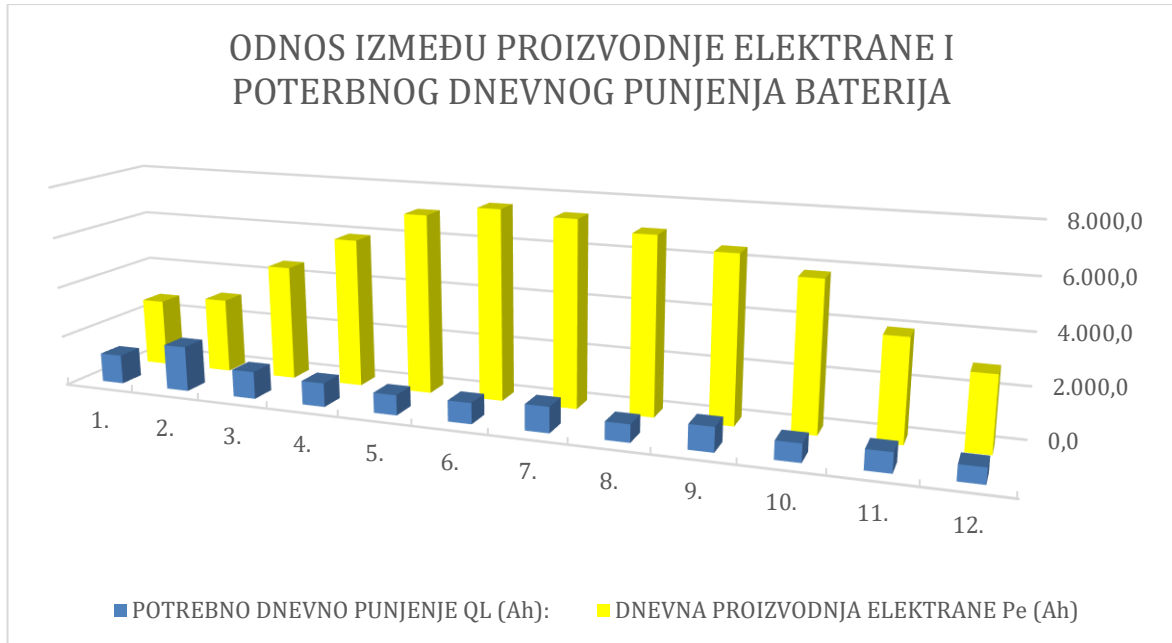
Tablica 15; Rezultat izračuna kapaciteta baterija

POTPUNI KAPACITET POJEDINAČNE BATERIJE Ka (Ah):	252		
NAPON POJEDINAČNE BATERIJE Ua (V):	48		
BROJ SERIJSKI POVEZANIH AKUMULATORA nas:	4		
IZRAČUN PARALELNO POVEZANIH AKUMULATORA nap':	6,87		
STVARNI BROJ PARALELNO POVEZANIH AKUMULATORA nap:	7		
UKUPNI BROJ AKUMULATORA na:	28		
ENERGIJA SPREMLJENA U POJEDINAČNOJ BATERIJI (Wh):	12.096,00	12,1	
UKUPNI INSTALIRANI KAPACITET BATERIJA (Wh):	338.688,00	338,69kWh	1.764,00Ah

PROVJERA: računa se: energija spremljena u pojedinačnoj bateriji x ukupni broj akumulatora. provjera u odnosu na "MINIMALNI KAPACITET REALNOG AKUMULATORA K (Ah)". Maksimalna vrijednost kapaciteta realnog akumulatora mora biti manja od ukupnoga instaliranog kapaciteta baterija. Ukupna instalirani kapacitet je nešto veći od potrebnog dnevnog kapaciteta zbog roka trajanja baterija.

ZAKLJUČAK: maksimalna potrebna energija je 332.298Wh, a računski se dobiva kapacitet akumulatora od 338.688,00Wh. Time se može zaključiti da će nam 28 akumulatora pojedinačnog kapaciteta 252Ah i 48V nazivnog napona omogućiti autonomiju tj. u noćnim

satima možemo koristiti energiju iz baterijske banke i kada dođe do lošeg vremena. Ranije spomenuto da životni vijek baterija iznosi 5-15 godina uzmimo slučaj da sustav radi 20 godina i da se baterije mijenjaju svakih 10 godina, dakle potrebno je 2 puta zamijeniti baterije u 20 godina. Time ostvarujemo elektroenergetsku neovisnost potrošača.



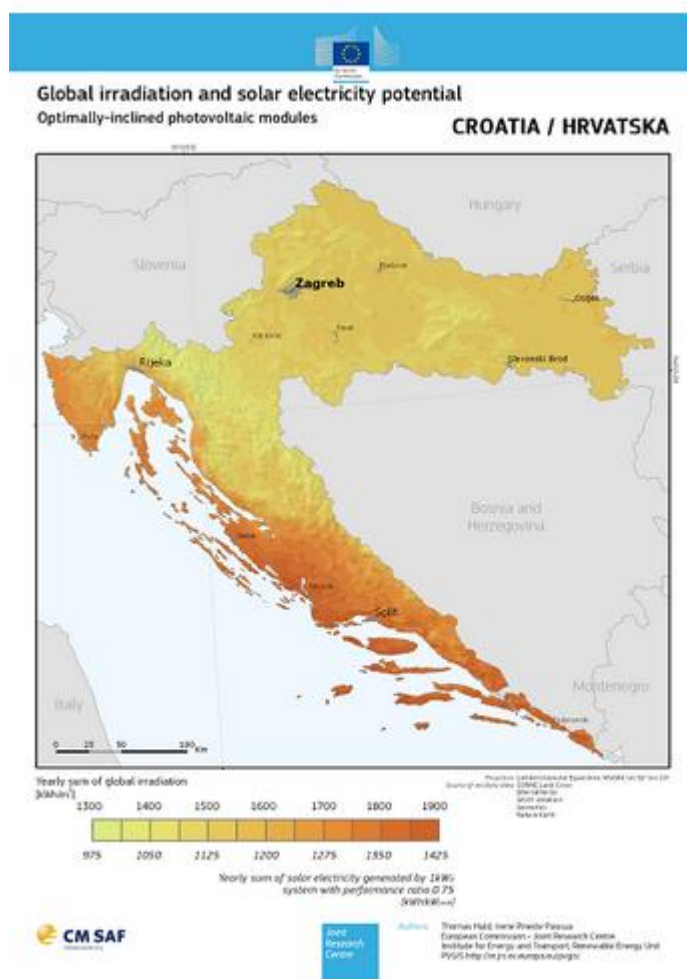
Slika 3.3; Grafički prikaz odnosa potreba za električnom energijom i proizvodnje elektrane



Slika 3.4; Slikoviti prikaz baterijske banke [32]

3.4. Proračun proizvodnje

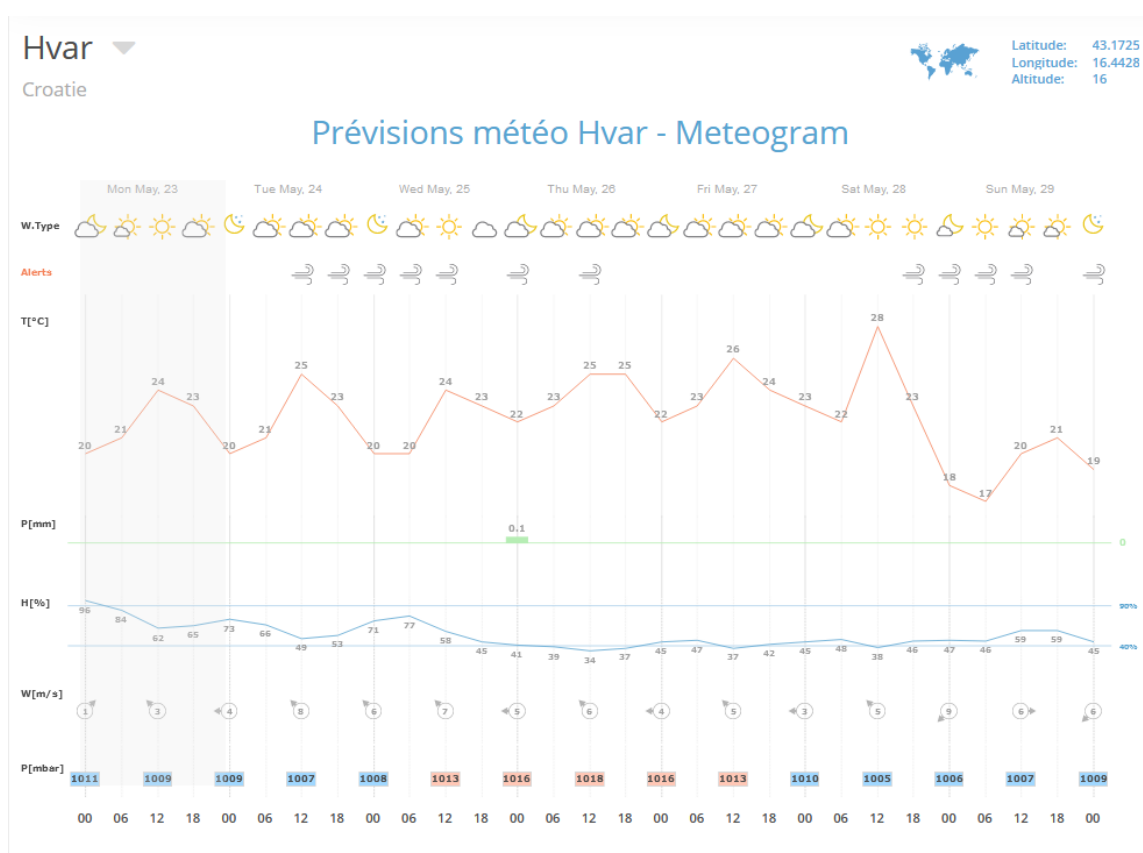
Proizvodnja sunčane elektrane ovisi o mnogo čimbenika. Čimbenici o kojima ovi proizvodnja sunčane elektrane jesu: zasjenjene fotonaponskih modula, razni vremenski utjecaji, te doznačenost sunčeve energije na pojedina područja Hrvatske. Na karti ispod možemo zamijetiti da područja žarkih boja imaju veću doznačenost od područja obojanih svjetlijim bojama, odmah možemo vidjeti da povrat investicije sunčane elektrane i uopće isplativost izgradnje bude na području južne Hrvatske. No to ne znači da na dijelovima sjevernije Hrvatske isplativost sunčane elektrane stvara neki problem, proizvodnja elektrane bude nešto manja nego u Dalmaciji. Prilikom projektiranja sunčanih elektrana treba obratiti pozornost da fotonaponski moduli vole svjetlost, ali ne vole vrućine, i bitna činjenica jest da prilikom projektiranja se mora vodit briga o statici krova na koji se montiraju moduli.



Slika 3.5; Proizvodnja električne energije putem sunca u Republici Hrvatskoj[34]

3.4.1. Utjecaj vjetra

Mikroklimatski utjecaji su bitna činjenica kod projektiranja sunčanih elektrana, naglasak se treba staviti na područja Dalmacije, kada je zadatak projektirati sunčanu elektranu na ravnom krovu treba jako obratiti pozornost na brzinu i količinu vjetra, pa je bitno točno odrediti koliko je potrebno balasta za učvršćivanje podkonstrukcije. Bitno je obratiti pozornost na statiku krova koja može biti narušena dodavanjem dodatne mase na isti. Pa prije same izvedbe treba statičar dati svoj sud dali dozvoljava gradnju ili ne!. Pošto je predmetna lokacija grad Hvar iz razloga najveće proizvodnje električne energije za 1kWp instalirane snage na krovu od svih promatranih gradova. Na slici 3.6. prikazan je grafikon brzine i smjer vjetrova kroz 7 dana za grad Hvar, pa može se vidjeti da je maksimalna brzina vjetra od 9 m/s istovjetno 32.4 km/h što je vrlo velika brzina u odnosu na neki prosjek od nekoliko km/h.



Slika 3.6; Diskontinuitet utjecaja vjetra na grad Hvar [35]

3.4.2. Proizvodnja sunčane elektrane

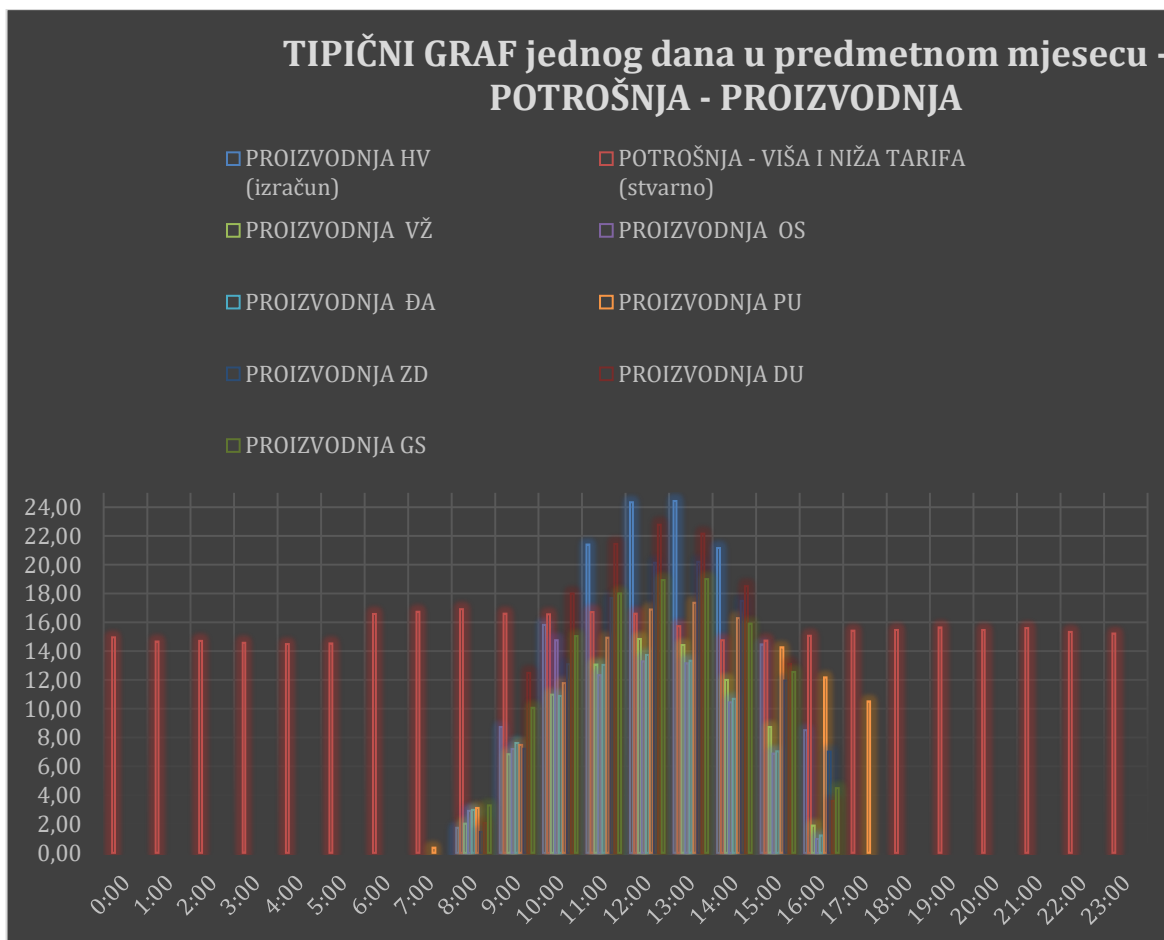
U dolje navedenim tablica 16., tablica 17., može se zorno vidjeti diskontinuitet potrošnje potrošača kroz vremenski interval od 24 sata, na primjeru od 3 mjeseca. U tablici 17. možemo vidjeti diskontinuitet kroz cijelu godinu i proizvodnju sunčane elektrane na temelju insolacije koja je uzeta za različita mjesta u Republici Hrvatskoj. Na temelju proizvodnje izračunavamo uopće isplativost elektrane i povrat investicije kroz vremenski period. Na slici 3.7. može se vidjeti odnos između potrošnje i proizvodnje kroz mjesec i kroz vremenski period u danu. Insolacija je izračunata u online alatu PVGIS-u, dobiveni podaci za dnevnu, tjednu i mjesečnu količinu insolacije. Vrijeme kada Sunce ozračava neko područje zemlje, konkretno u ovom slučaju za sve gradove Zadar, Varaždin, Osijek, Đakovo, Pula, Hvar, Dubrovnik, Gospić. Svi izračuni proizvodnje elektrane se odnose konkretno na grad Hvar.

Tablica 16; Diskontinuitet potrošnje potrošača

	PROIZVODNJA ELEKTRANE	POTROŠNJA VIŠA TARIFA	POTROŠNJA NIŽA TARIFA
1. MJESEC			
(kWh):	4.360,32	7.382,10	4.189,08
DAN (KWh):	140,66	150,736	

	<u>GS</u>	<u>DU</u>	<u>HV</u>	<u>PU</u>	<u>ĐA</u>	<u>OS</u>	<u>VŽ</u>	<u>ZD</u>	PROIZVOD NJA HV (izračun)	%	POTROŠNJA A - VIŠA I NIŽA TARIFA
	INSOL ACIJA	INSOL ACIJA	INSOL ACIJA	INSOL ACIJA	INSOL ACIJA	INSOL ACIJA	INSOL ACIJA	INSOL ACIJA	(KWh)		(KWh)
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	14,97
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	14,68
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	14,72
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	14,58
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	14,49
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	14,54
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	16,59
7:00	0	0	0	16	0	0	0	0	0,00	0,00%	16,75
8:00	49	37	32	135	62	64	42	22	1,75	1,24%	16,92
9:00	150	222	207	325	159	158	141	110	8,75	6,22%	16,60
10:00	224	320	313	511	227	323	226	199	15,83	11,26%	16,57
11:00	268	381	389	648	272	270	269	269	21,40	15,21%	16,72
12:00	282	405	429	733	286	291	306	306	24,34	17,31%	16,60
13:00	283	394	421	753	278	288	297	307	24,42	17,36%	15,74
14:00	237	329	355	707	223	229	247	266	21,16	15,05%	14,77
15:00	187	233	262	619	147	151	180	182	14,48	10,29%	14,75
16:00	67	64	99	529	25	21	39	107	8,51	6,05%	15,07
17:00	0	0	0	456	0	0	0	0	0,00	0,00%	15,43
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	15,48
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	15,66
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	15,49
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	15,61
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	15,34
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00%	15,22
	1747	2385	2507	5432	1679	1795	1747	1768			

Na slici 3.7. TIPIČNI GRAF jednog dana u predmetnom mjesecu – POTROŠNJA – PROIZVODNJA može se vidjeti ovisnost potrošnje električne energije više i niže tarife o proizvodnji sunčane elektrane. Detaljnom analizom insolacije sunca za predmetni izračun uzet je grad Hvar iz razloga najveće doznačenosti sunčeve energije od svih ostalih promatranih gradova što možemo vidjeti i na grafikonu.



Slika 3.7; TIPIČNI GRAF jednog dana u predmetnom mjesecu - POTROŠNJA – PROIZVODNJA

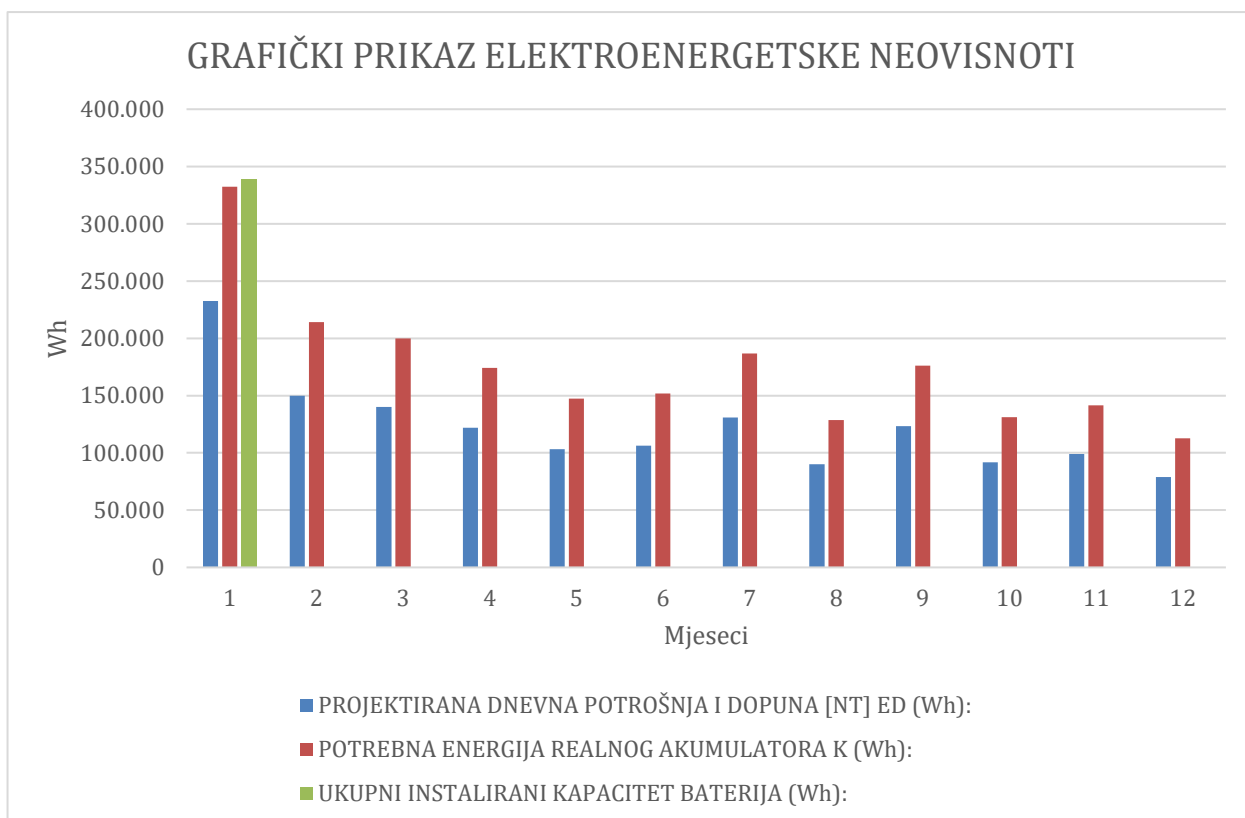
U sljedećoj tablici 17. prikazani su odnosi potrošnje na licu mjesta, te mogućnosti prodaje viška energije u mrežu ili uzimanje iz mreže u slučaju ispada baterija iz sustava tj. ako baterije nebi bile u mogućnosti obavljati svoju funkciju opskrbljivanja potrošača električnom energijom. Možemo vidjeti da se koeficijent istodobnosti kreće u rasponu 0,32-0,80 što nam pokazuje omjer između potrošnje dnevne više tarife i dnevne proizvodnje što nam je potrebno za daljnje proračune u vezi ušteda. Stoga možemo dobiti ukupnu energiju potrošenu na licu mjesta od 5.590,83 kWh godišnje. Ušteda vlastite potrošnje nam je pokazatelj koliko od same proizvodnje elektrane mi možemo uštedjeti u godinu dana, taj podatak dobijemo tak da SVEUKUPNU PROIZVODNJU ELEKTRANE pomnožimo sa pripadajućom cijenom potrošnje više tarife električne energije iz razloga jer elektrana proizvodi samo danju. Cijena električne energije za višu tarifu je dosta višlja u odnosu na prethodne godine, pa iznosi 2,71100 kn/kWh (preuzeto od HEP-ovih online stranica). Konkretno potrošač troši u siječnju 7.328,10 kWh x 2,7110kn/kWh, pa dobijemo cijenu od

20.012,88 kn za dnevnu potrošnju više tarife predmetnog potrošača. Sunčana elektrana proizvodi u siječnju 4.360,32 kWh x 2,71100kn/kWh što iznosi 11.820,83kn, pa je logično da potrošač VIŠE troši nego PROIZVEDE. Tu razliku od 8.192,05 kn (upisuje se u stupac TROŠAK KUPLJENA ENERGIJA u kn) bi trebali preuzeti iz javnog opskrbljivača, mi smo tu razliku uzeli u obzir prilikom proračuna potrebnog kapaciteta baterija stoga imamo veće baterije da ne trebamo preuzimat taj dio iz javnog opskrbljivača. Ovaj proračun je rađen iz razloga da se ne dogodi ispad baterija iz svoje funkcije!. Nakon ovih izračuna možemo upisat vrijednost UŠTEDA VLASTITA POTROŠNJA uzmemo sumu cijene više tarife i potrošnje više tarife, tako i za nižu tarifu, pa dobijemo 20.012,88kn za višu tarifu i 6.431,50kn za nižu tarifu što zajedno iznosi 26.444,38 kn potrošene električne energije u siječnju. Ostaje nam TROŠAK KUPLJENE ENERGIJE u kunama pa možemo lako tih 8.192,05kn oduzet od 20.012,88kn i dobit 18.252,32kn UŠTEDE VLASTITE POTROŠNJE. Nakon provedenih izračuna tijekom cijele godine dobivamo iznos od 225.140,26kn UŠTEDE VLASTITE POTROŠNJE, a iznos računa iznosi sveukupno viša tarifa i niža tarifa 237.385,260kn. Pa se lako može zaključit da će se ukupno anuliranje tj. potrošnja smanjit na godišnjoj razini za 12.245,00kn prema aktualnim cijenama električne energije. Taj podatak nije fiksne naravi radi dinamičnih uvjeta u svijetu i „divljanja“ cijena, pa se s toga cijene prikazuju samo radi informativnog pojašnjenja. Cijena niže tarife električne energije za 1Wh iznosi 1,5353 kn.

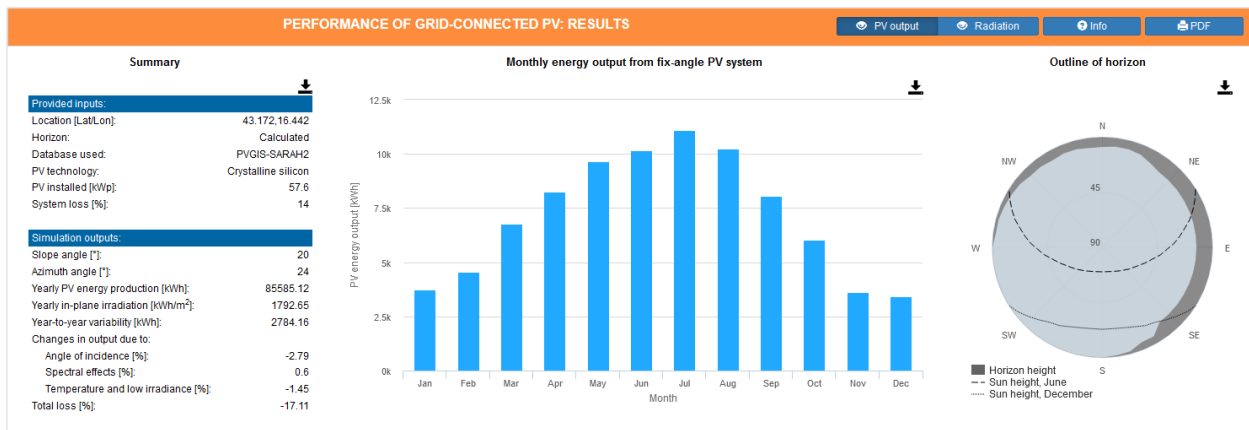
Tablica 17; Prikaz troškova

PROIZVODNJA 1kWh	SVEUKUPNA PROIZVODNJA ELEKTRANE (izračunato)	SVEUKUPNA POTROŠNJA - VIŠA TARIFA (iz računa)	SVEUKUPNA POTROŠNJA - NIŽA TARIFA (iz računa)	KOEFICIJENT ISTODOBNOSTI PROIZVODNJE I POTROŠNJE - VIŠA TARIFA	KOEFICIJENT ISTODOBNOSTI PROIZVODNJE I POTROŠNJE - NIŽA TARIFA	ENERGIJA POTROŠENA NA LICU MJESTA DIREKTNO	POTRIBNA BATERIJA ZA NOĆNU POTROŠNJU I NADOKNADU DNEVNE POTROŠNJE (IZRAČUNATO)	UŠTEDA VLASTITA POTROŠNJA	TROŠAK KUPLJENA ENERGIJA	TROŠAK KUPLJENA ENERGIJA
(kWh)/mj	(kWh)/mj	(kWh)/mj	(kWh)/mj			(kWh)	(kWh)	(kn)	(kWh)	(kn)
75,70	4.360,32	7.382,10	4.189,08	0,80	0,00	3.507,91	7.210,86	18.252,3	3.021	8.192,0
92,60	5.333,76	6.309,31	3.669,68	0,64	0,00	3.414,73	4.645,23	20.093,8	975,55	2.644,7
140,60	8.098,56	6.680,50	3.896,24	0,53	0,00	4.317,19	3.896,24	24.092,7	0,00	0,00
162,30	9.348,48	5.721,97	3.293,34	0,44	0,01	4.206,69	3.293,34	20.568,5	0,00	0,00
179,70	10.350,72	5.034,65	2.842,70	0,38	0,02	4.071,89	2.842,70	18.013,3	0,00	0,00
183,70	10.581,12	5.312,71	2.938,31	0,41	0,02	4.549,07	2.938,31	18.913,9	0,00	0,00
194,40	11.197,44	6.940,76	3.660,87	0,48	0,01	5.590,83	3.660,87	24.436,9	0,00	0,00
183,50	10.569,60	4.301,74	2.559,60	0,32	0,03	3.737,67	2.559,60	15.591,7	0,00	0,00
147,70	8.507,52	5.533,40	3.323,63	0,48	0,00	4.142,59	3.323,63	20.103,8	0,00	0,00
118,30	6.814,08	4.293,48	2.565,09	0,40	0,00	2.714,47	2.565,09	15.577,8	0,00	0,00
74,60	4.296,96	4.816,41	2.667,06	0,64	0,00	2.730,32	2.667,06	15.743,8	519,45	1.408,2
69,40	3.997,44	3.827,66	2.198,00	0,49	0,00	1.942,71	2.198,00	13.751,3	0,00	0,00
1.622,5	93.456	66.154	37.803			5.590		225.14	4.51	12.245

Na slici 3.8. GRAFIČKI PRIKAZ ELEKTROENERGETSKE NEOVISNOSTI možemo vidjeti potrebu „uzimanja“ električne energije u zimskim mjesecima kada elektrana ne proizvodi dovoljno električne energije u odnosu na potrošnju, pa smo uzeli u obzir u stupcu POTRBENA BATERIJA ZA NOĆNU POTROŠNJU I NADOKNADU DNEVNE POTROŠNJE (IZRAČUNATO) da baterijska banka bude malo većeg kapaciteta baš da se ostvari elektroenergetska neovisnost. Stoga sustav radi na način da potrebu „uzimanja“ električne energije iz javnog opskrbljivača zamjeni „uzimanjem“ električne energije pohranjene u baterijskoj banci. Baš taj diskontinuitet potrošnje se prikazuje na grafikonu i možemo vidjeti da je kapacitet baterijske banke veći od potrebe dnevne potrošnje.



Slika 3.8; GRAFIČKI PRIKAZ ELEKTROENERGETSKE NEOVISNOSTI



Slika 3.9; Prikaz proizvodnje sunčane elektrane pomoću alata PVGIS [44]

3.4.3. Proračun sustava zaštite od munje

Združeno uzemljenje

Kako bi se zadovoljili uvjeti, treba izvesti združeno uzemljenje, odnosno postojeći temeljni uzemljivač proizvodne hale treba ispitati i utvrditi ispravnost.

Proračun otpora uzemljivača izvodi se uz pretpostavljeni specifični otpor tla $\rho = 250 \Omega\text{m}$.

Za prstenaste uzemljivače otpor rasprostiranja uzemljivača iznosi:

$$R_E = \frac{\rho}{\pi^2 x D} x \ln \frac{2x\pi x D}{d} \quad (3.4.3.1.)$$

gdje je:

- D – promjer prstenastog uzemljivača, računa se kao $D = L / \pi$
- ρ - specifični otpor tla = $250 \Omega\text{m}$
- L - duljina trake = 506 m (procijenjena duljina)
- d – promjer užeta ili širina trake = $0,04 \text{ m}$

Ako u gornji izraz 3.4.3.1 uvrstimo formulu $D = L / \pi$, dobivamo sljedeću formulu:

$$R_r = \frac{\rho}{\pi x L} x \frac{2xL}{d} \quad (3.4.3.2.)$$

$$\rho = \rho_z + c_x \rho_B \quad (3.4.3.3.)$$

gdje je:

ρ_z - specifični otpor tla

ρ_B - specifični otpor betona (u slučaju temeljnog uzemljivača = 1000 Ω)
c – udaljenost trake od oplate; c=0,1 m (polaganje trake u betonu)

$$\rho = 250 + 0,1 \cdot 1000 = 350 \Omega m$$

Otpor rasprostiranja uzemljivača:

$$R_r = 2,23 \Omega$$

ZADOVOLJAVA

VAŽNO:

Prije puštanja elektrane u pogon **obavezno** provesti mjerenje otpora uzemljivača i impedancije petlje kvara, te utvrditi projektom proračunate vrijednosti, odnosno da projektirani zaštitni uređaji rade ispravno.

Gromobransko uzemljenje

U svrhu određivanja sistema zaštite udara od munje, napravljen je proračun rizika od udara munje, koji uključuje:

- izvještaj o procjeni rizika za građevinu na osnovu kojeg se određuje razina zaštite
- vrijednosti opasnih događaja za predmetnu građevinu, uključujući i vodove
- proračun rizika za predmetnu građevinu, uključujući i vodove
- proračun ukupnog rizika za građevinu, što uključuje:
 - rizik za ljudski život
 - rizik za gubitak opskrbe ili usluge
 - rizik za gubitak kulturne baštine
 - rizik za gubitak ekonomskih vrijednosti

Prema proračunu, svi navedeni rizici su prihvatljivi, a rezultati su navedeni u donjoj tablici 18.

Tablica 18; Rezultati proračuna rizika [37]

	PRIHVATLJIV RIZIK [Rt]	PRORAČUNATI RIZIK [R]
Rizik za ljudski život:	1,00E-05	3,72E-06
Rizik za gubitak opskrbe ili usluge:	1,00E-03	3,72E-06
Rizik za gubitak kulturne baštine:	1,00E-03	3,72E-06
Rizik za gubitak ekonomskih vrijednosti:	1,00E-03	3,72E-06

Detaljan proračun sa svim rezultatima nalazi se u nastavku u tablicama 19., 20.

Tablica 19; Proračun rizika

Proračun rizika [37,38,40]

		Sastavnice rizika (sve x 10 ⁻⁵)		
			Iznos	%
GRAĐEVINA	$R_B = N_D \times P_B \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$ (3.4.3.4.)	$R_B =$	3,61E-06	96,81
E.E. vod	$R_U = (N_{L(P)} + N_{Da}) \times P_{LD} \times P_{SD} \times r_u \times L_t$ (3.4.3.5.)	$R_U =$	6,81E-11	0
TK vod	$R_U = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_{LD} \times P_{SD} \times r_a \times L_t$ (3.4.3.6.)	$R_U =$	6,81E-11	0
E.E. vod	$R_V = (N_{L(P)} + N_{Da}) \times P_{LD} \times P_{SD} \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$ (3.4.3.7.)	$R_V =$	5,93E-08	1,59
TK vod	$R_V = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_{LD} \times P_{SD} \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$ (3.4.3.8.)	$R_V =$	5,93E-08	1,59
		$R_1 =$	3,72E-06	100

Gdje je:

- N – srednji broj opasnih događaja za građevinu b godišnje [1/km²/god]
- P – LPS [sustav zaštite od munje]
- h – posebna opasnost
- r - zaštita od požara
- L - gubici zbog materijalnih šteta

Tablica 20; Ukupan rizik za građevinu

UKUPAN RIZIK ZA GRAĐEVINU [37,38,40]:

Rizik za ljudski život:				PRIHVATLJIVI RIZIK	
$R_1 = R_B + R_U + R_V =$	3,72E-06	<	$RT_1 =$	1,00E-05	RIZIK JE PRIHVATLJIV
Rizik za gubitak opskrbe ili usluge:					
$R_2 = R_B + R_V =$	3,72E-06	<	$RT_2 =$	1,00E-03	RIZIK JE PRIHVATLJIV
Rizik za gubitak kulturne baštine					
$R_3 = R_B + R_V =$	3,72E-06	<	$RT_3 =$	1,00E-03	RIZIK JE PRIHVATLJIV
Rizik za gubitak ekonomskih vrijednosti					
$R_4 = R_B + R_V =$	3,72E-06	<	$RT_3 =$	1,00E-03	RIZIK JE PRIHVATLJIV

ZAKLJUČAK:

Iz provedenog proračuna razvidno je da sustav zaštite od djelovanja munje zadovoljava jer je ispunjen uvjet :

$$R_{1,2,3,4} < RT_{1,2,3,4}$$

3.5. ISPLATIVOST INVESTICIJE

Kalkulaciju troškova, te povrat investicije prikazan je u dolje navedenim tablicama 21., 22. Cijene su informativnog karaktera i za oko 30-tak% veće nego na internetskim stranicama. Ako uzimamo slučaj sa proračunatim potrebnim i instaliranim kapacitetom baterijske banke, potrošač je ostvario elektroenergetsku neovisnost i nije ovisan o javnom opskrbljivaču. Pa s toga ranijim izračunom dobijemo iznos računa za platiti u iznosu od 237.385,26kn, a okvirna cijena cijele investicije iznosi 1.542.673,33kn. Ako ukupnu cijenu investicije podijelimo na godišnji trošak za platiti električne energije koji bi ugradnjom elektrane iznosio 0kn, pa dobijemo jednostavno rješenje 1.542.673,33kn / 237.385,26kn i dobijemo povrat investicije od cca. 6,5 godina.

Tablica 21; Informativni troškovnik

		76,0A		115,20%	
PROCJENA TROŠKOVA		50,0	3F	57600	
Osnovna oprema					
R.b.	Naziv	Količina	Jedinica mjere	Jedinična cijena	Cijena
1	Fotonaponski modul - vršna snaga: min. 400W - napon praznog hoda: max. 46,40V - struja kratkog spoja: max. 10,97A - učinkovitost modula: 20,40% - dimenzije cca 1719 x 1140 x 35	144	kom	1.450,00	208.800,00
2	Fotonaponski izmjenjivač -SMA SUNNY TRIPOWER STP 10.0 SMART ENERGY HYBRID INVERTER	5	kom	16.675,22	83.376,10
3	Baterije LG RESU 13 , te sav potreban materijal poput; kabela, vezica, tipla, itd.	28	kom	33.441,52	936.362,56
UKUPNO (HRK)				1.234.138,66 kn	
PDV (25%)				308.534,67 kn	
SVEUKUPNO (HRK)				1.542.673,33 kn	
		30.853,47 kn	AC	kn/kW	
		26.782,52 kn	DC	kn/kW	

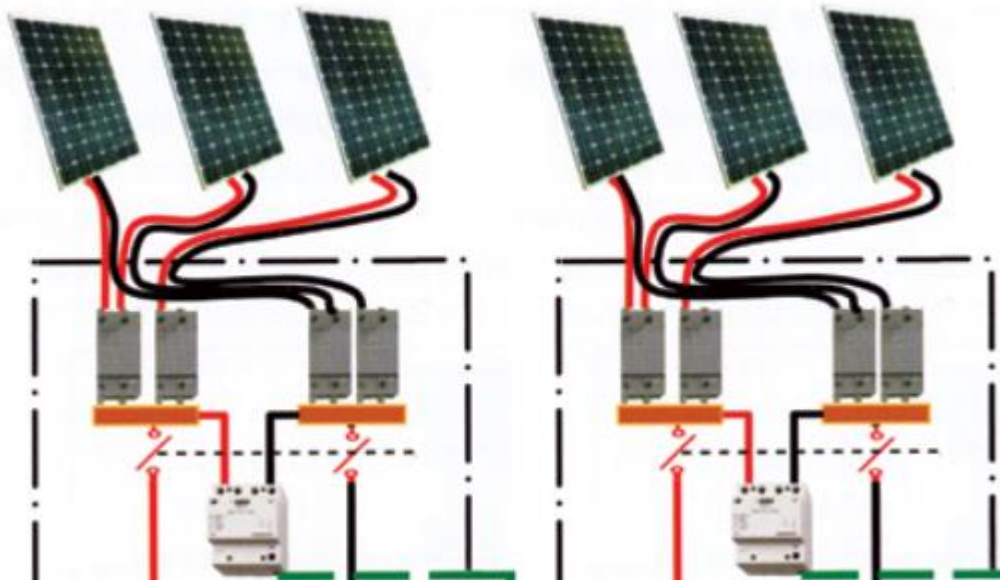
Tablica 22; IZRAČUN JEDNOSTAVNOG PERIODA POVRATA INVESTICIJE

IZRAČUN JEDNOSTAVNOG PERIODA POVRATA INVESTICIJE

IZNOS INVESTICIJE:	1.542.673,33	kn
OSTVARENE UŠTEDE:	237.385,26	kn
JEDNOSTAVNI PERIOD POVRATA BEZ SUBVENCije:	6,5	god

4. SUNČANA ELEKTRANA 50KW NA 8 RAZLIČITIH LOKACIJA

Sunčana elektrana se analizira na 8 različitih lokacija u Republici Hrvatskoj. U Zadru, Varaždinu, Osijeku, Đakovu, Puli, Hvaru, Dubrovniku, Gospić na krovu poslovne zgrade. Projektirana sunčana elektrana ima izlaznu snagu od **50,0kW** (izlazna snaga pretvarača). Osnovni elementi sunčane elektrane jesu fotonaponski moduli raspoređeni u 15 nizova od kojih 14 sadrži 9 modula, a jedan niz sadrži 18 modula. Vršna snaga modula jest 400Wp. Raspored stringova (nizova) je vidljiv na slici 4.1. ispod. Oznaka 1.A.1 prvi broj prikazuje broj invertera, druga oznaka označava ulaz A ili B i treća oznaka označava broj niza, to možemo vidjeti na nacrtu priloge broj 2.



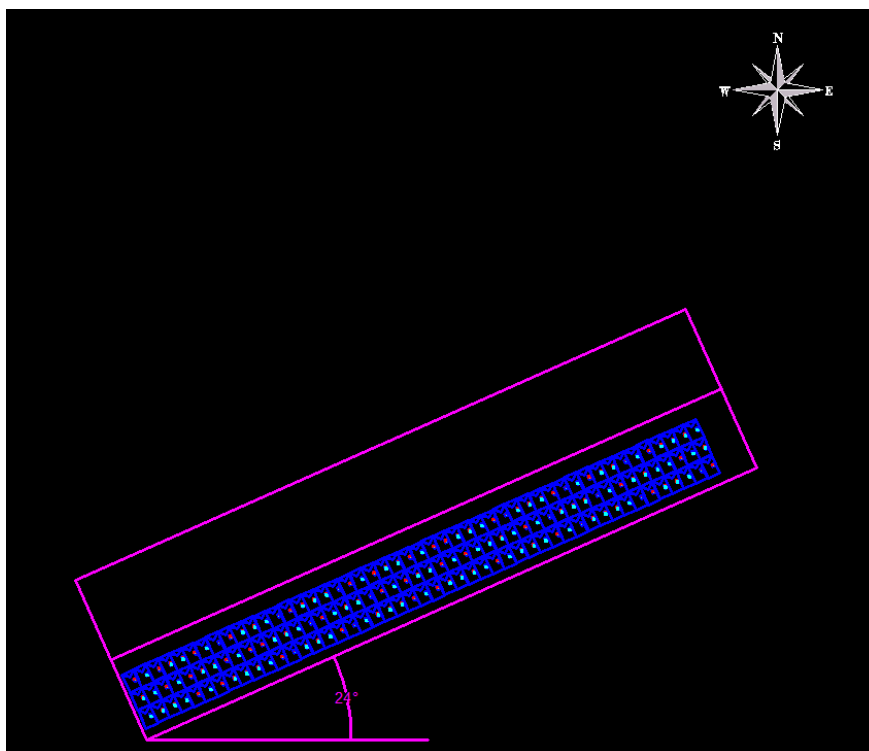
Slika 4.1; Raspodjela nizova na inverteru [45]

NAPOMENA: na isti MPPT ulaz ne smije biti spojen različiti broj modula!

Elektrana je smještena na jednu građevinsku plohu na koju se montiraju moduli, a kako slijedi u tablici 23.:

Tablica 23; PLOHA 1 – jugoistočna krovna ploha

Orijentacija plohe:	24°
Nagib plohe:	20,0°
Površina plohe (iskoristiva):	4420,29 m ²
Broj instaliranih modula:	144
Snaga pojedinog modula:	400 Wp
Instalirana snaga modula:	57600 Wp

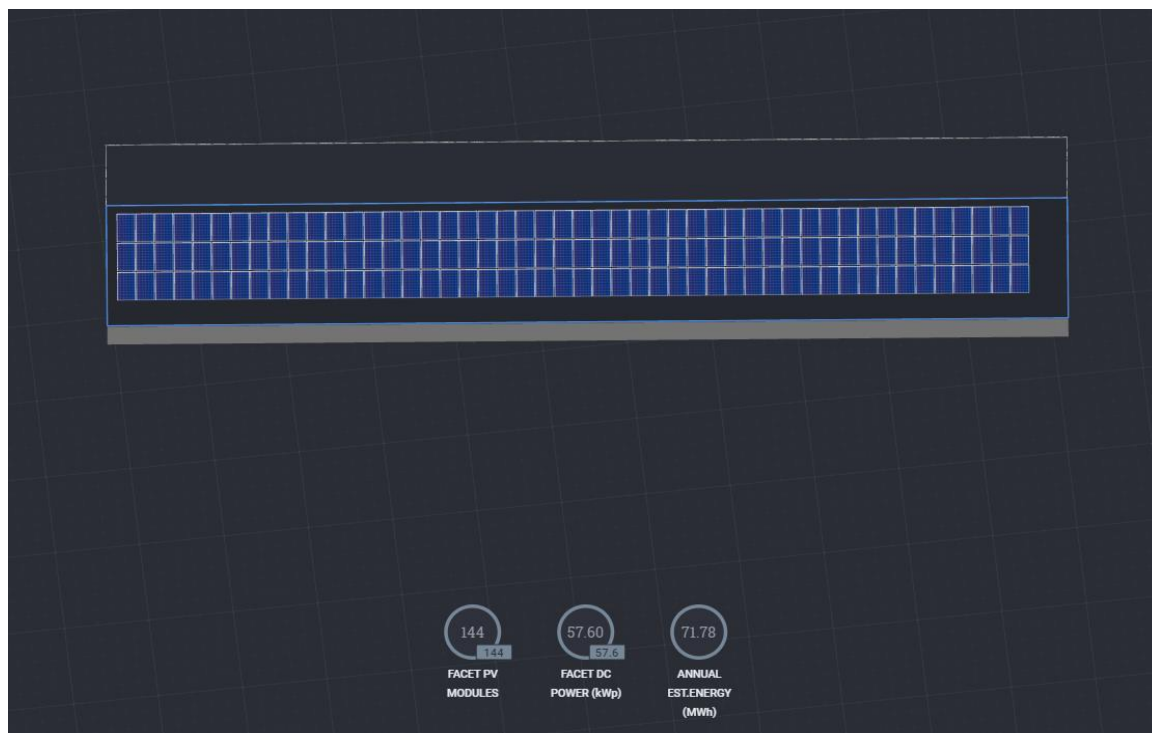


Slika 4.2; Otklon građevine od juga

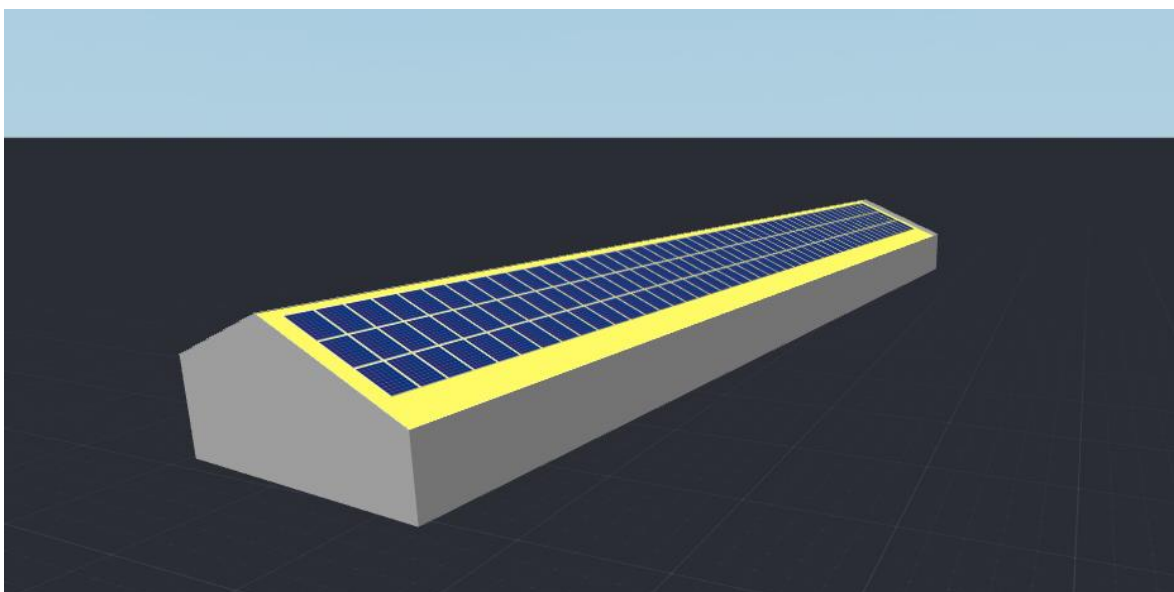
Ukupna učinkovitost sustava računa se u STC radnoj točki sustava (ozračenost 100 W/m², temperatura modula 25⁰C, izmjenjivači na nazivnoj snazi) i gleda se na mjestu predaje energije korisniku), a definira se kao omjer dozračene i isporučene snage.

$$\eta_{Sun\check{c}aneElektrane} = \eta_{FNmodul} * \eta_{izmjenjiva\check{c}} * \eta_{DCrazvod} * \eta_{ACrazvod}$$

$$= 20,70\% * 97,0\% * 99,56\% * 97,72\% = 19,53\%$$



Slika 4.3; Prikaz fotonaponskih modula u programskom paketu SolarEdge Designer



Slika 4.4; 3D vizualizacija u programskom paketu SolarEdge Designer

Projektirana sunčana elektrana je takozvana hibridna sunčana elektrana, odnosno priključena je na elektroenergetsku mrežu, ali ima instalirane baterije za pohranu električne energije koja se troši po lošem vremenu i po noći. Iz tog razloga očekuje se vrlo mala predaja viška električne energije u mrežu. Fotonaponski moduli (144 kom na plohi 1) spojeni su na mrežni pretvarač, koji je preko glavnog razvodnog ormara spojen direktno na instalaciju korisnika i direktno napaja sva trošila priključena na instalaciju. Ovim rješenjem predviđen je pretvarač istosmjernog u izmjenični napon izlazne snage 10,0 kW. Pretvarač, ali 5 x po 10 kW invertera da dobijemo **50kW**. Model pretvarača je SMA 10.0 SMART ENERGY, **izlazne snage 10.0 kW**. Pretvarač ima 2 MPP ulaza (ulaz A i ulaz B). Na ulaz A se može spojiti maksimalno po 1 niz i ulaz B se može spojiti maksimalno po 2 niza. Maksimalna dozvoljena ulazna DC snaga za predmetni pretvarač je 15.000 W. Na pretvarač su raspoređeni moduli čija je snaga unutar granica dozvoljenih u pogledu snage i ulaznog napona. Pretvarač će se montirati na unutarnji zid gdje nema dostupnosti vlage i nagrizajućih tvari. Nizovi se spajaju na inverter koji ima integrirani tzv. MPPT punjač. Punjači imaju u sebi ugrađen regulator punjenja baterija koji kontrolira napunjenost te prekida dovod energije u slučaju da su baterije pune, a isto tako i pokreće ponovno punjenje u slučaju da se baterije isprazne. Spomenuti MPPT punjači zaduženi su za punjenje baterijske banke koja se sa sastoji od 20 kom baterija kapaciteta 252 Ah svaka. Baterijska banka radi na naponu od 48 Vdc (što je i napon MPPT punjača). Za pretvorbu istosmjerne energije iz baterija u izmjeničnu energiju koristit će se bidirekcijski pretvarači koji je također integriran u inverter. Bidirekcijski pretvarači imaju mogućnost dvostruke pretvorbe energije – izmjenična u istosmjernu (za punjenje baterija) i istosmjerna u izmjeničnu (za korištenje energije iz baterija). Izlaz iz bidirekcijskih pretvarača spojeni su na instalaciju korisnika i na taj način omogućavaju opskrbu svih trošila spojenih na instalaciju sa energijom iz baterija.

4.1. Montaža modula

Moduli se na krovu montiraju na aluminijsku tipsku potkonstrukciju (tipski i tvornički predgotovljeni konstrukcijski elementi od aluminijskog materijala i čelika) za kose krovove pokrivena crijepom i limom na drvenoj konstrukciji na način da se postavljaju pod kutom krova 20° ploha 1 orijentiraju prema jugoistoku. Projektirana tipska potkonstrukcija predviđena je za montažu na krovove pokrivena limom i crijepom na drvenoj konstrukciji bušenjem u samu drvenu konstrukciju (rog). Proračun statike i detaljnu razradu montažne konstrukcije definirati će ovlaštenu inženjer građevine u građevinskom projektu. Građevinski projekt dužan je ishoditi izvođač radova prije samog izvođenja!



Slika 4.5; Pričvršćivanje modula na krov [46,47]

4.2. UVJETI GRADNJE I TEMELJNI ZAHTJEVI ZA GRAĐEVINU

Prije izvođenja bilo kakvih radova investitor je **OBAVEZAN** ishoditi potrebne slijedeće:

1. Izjava ovlaštenog projektanta da je građevina obuhvaćena projektom „jednostavna građevina“ sukladno sa Pravilnikom o jednostavnim i drugim građevinama i radovima, [48]
2. Suglasnost HEP-ODS d.o.o. za provedbu projekta s pozivom na projektnu dokumentaciju, [48]
3. Izjava nadležnog tijela za prostorno uređenje i gradnju s pozivom na predmetnu projektnu dokumentaciju da za provedbu projekta nije potrebno ishođenje odgovarajućeg akta o građenju. [48]

Prijava početka radova

Izvođenju pripremnih radova i građenju građevine može se pristupiti na temelju glavnog projekta. Investitor je dužan tijelu graditeljstva najkasnije u roku od osam dana prije početka građenja pisano prijaviti početak građenja. U prijavi početka građenja investitor je dužan navesti, naslovnu stranicu glavnog projekta, Izjava ovlaštenog projektanta da je građevina obuhvaćena ovim projektom „jednostavna građevina“, Rješenja o imenovanju izvođača radova i Rješenja o imenovanju nadzornog inženjera. Danom prijave početka građenja smatra se da je investitor pristupio građenju. [49]

Uređenje gradilišta

Gradilište mora biti uređeno u skladu sa Zakonom o gradnji, a oprema gradilišta mora biti stabilna te odgovarati propisanim uvjetima zaštite od požara i eksplozije, zaštite na radu i svim drugim mjerama zaštite zdravlja ljudi i okoliša.

Na gradilištu je potrebno provoditi mjere zaštite na radu i ostale mjere za zaštitu života i zdravlja ljudi kojima se onečišćenje zraka, tla i podzemnih voda te buka svodi na najmanju mjeru. [50]

Dokumentacija na gradilištu [51]

Obzirom na vrstu građevine izvođač na gradilištu mora imati:

- glavni projekt;
- akt o imenovanju inženjera gradilišta, odnosno voditelja radova;
- građevinski dnevnik.

Pokusni rad [52]

Nakon gradnje projektirane građevine ista se može pustiti u pokusni rad. Prije pokusnog rada dovršenu građevinu treba ispitati i o ispitivanjima sačiniti odgovarajuće protokole.

Građevina se može pustiti u pokusni rad samo ukoliko rezultati ispitivanja zadovoljavaju. Vrijeme trajanja pokusnog rada predviđa se do izdavanja uporabne dozvole, a ne može biti duže od godine dana.

Tehnički pregled [52]

Tehnički pregled nije predviđen za „jednostavne građevine“ već je investitor u obavezi izvršiti primopredaju radova po okončanju istih.

Za potrebe primopredaje radova izvođač treba pripremiti dokumentaciju propisanu Zakonom o gradnji (NN br. 153/13, 20/17) kao da će se pristupiti tehničkom pregledu.

Nadzorni inženjer kroz svoje „Završno izvješće nadzornog inženjera za elektroradove o izvedbi građevine,“ utvrđuje konačno stanje izgrađene građevine i daje ocjenu o ispravnosti izgrađene građevine. Pozitivno izvješće nadzornog inženjera je preduvjet za primopredaju radova između izvođača i investitora.

Uporabna dozvola [52,53]

Uporabna dozvola nije predviđena za „jednostavne građevine“ jer ovi radovi ne predviđaju takvu vrstu izmjena na postojećoj građevini.

Temeljni zahtjevi za građevinu [52]

Sigurnost u slučaju požara [54]

Građevina je projektirana tako da se spriječi pojava i širenje vatre na susjedne objekte. Kako uzrokom nastanka požara može biti prekomjerno zagrijavanje elemenata električne instalacije projektom je predviđeno da se svi elementi odaberu tako da do prekomjernog zagrijavanja ne dođe u uvjetima nominalnog opterećenja, kao ni kod kratkih spojeva.

Higijena, zdravlje i okoliš [55]

Građevina je projektirana tako da tijekom svog vijeka trajanja ne predstavlja prijetnju za higijenu ili zdravlje i sigurnost radnika, korisnika ili susjeda i nema utjecaj na kvalitetu okoliša.

4.2.1. Životni vijek sunčane elektrane

Vijek uporabe

Projektom su predviđeni svi utjecaji na električno postrojenje koji proizlaze iz načina i redoslijeda građenja, predvidivih uvjeta uporabe građevine, te predvidivih utjecaja okoliša. Slijedom navedenog građevina će tijekom izvođenja i projektiranog uporabnog vijeka ispunjavati bitne zahtjeve zaštite od požara, sigurnosti u korištenju, zaštite od buke i uštede energije. Vijekom trajanja smatra se vremenski interval od prvog postavljanja do krajnje istrošenosti. Glede zahtjeva sigurnosti na radu važan je pojam vijek uporabe, pod kojim se podrazumijeva vremenski interval od prvog postavljanja i početka uporabe do trenutka kada instalacija prestaje zadovoljavati svojoj namjeni. Projektirana građevina je predviđena za korištenje u neograničenom vremenu, a najmanji vijek uporabe iznosi 20 godina. [56]

4.3. Ispitivanja, puštanje u pokusni rad i održavanje

Postupak ispitivanja obuhvaća slijedeće radnje:

- ispitivanje i kontrola prilikom preuzimanja svakog elementa sustava u pogledu karakteristika prema projektu i u pogledu karakteristika prema priloženoj dokumentaciji [57,58]

- ispitivanja u svakoj fazi montaže i spajanja
- ispitivanje i kontrola prije puštanja u probni rad
- ispitivanje tehničkih parametara prema protokolu HEP-a
- ispitivanje sustava zaštite i iskapčanja
- mjerenje kvalitete električne energije

Po izvršenom spajanju i ispitivanju predviđa se probni rad sunčeve elektrane. Trajanje probnog rada ugovaraju investitor i HEP prema odredbama ugovora o priključenju, a u osnovi on obuhvaća: [57,58]

- mjerenje kvalitete električne energije (7 dana)
- mjerenje MTU signala
- sinkronizacija elektrane na elektroenergetsku mrežu
- prepoznavanje kvara na mreži
- simetričnost napajanja mreže
- vizualni pregled elektrane i mjernog mjesta

Fotonaponski sustav može se pustiti u pogon nakon uspješno obavljenog pokusnog rada. Oprema predviđena za ugradnju u projektiranu sunčevu elektranu je vrhunske kvalitete i tehnologije te zbog toga zahtjeva minimalno održavanje. Održavanje treba izvoditi prema uputama i preporukama proizvođača opreme i zahtjevima tehničkih propisa i normi u pogledu zaštite na radu. Proizvođač opreme u svojim uputama propisuje periodičnost i opseg pregleda, servisiranja, ispitivanja i kontrolnih mjerenja. [57,58]

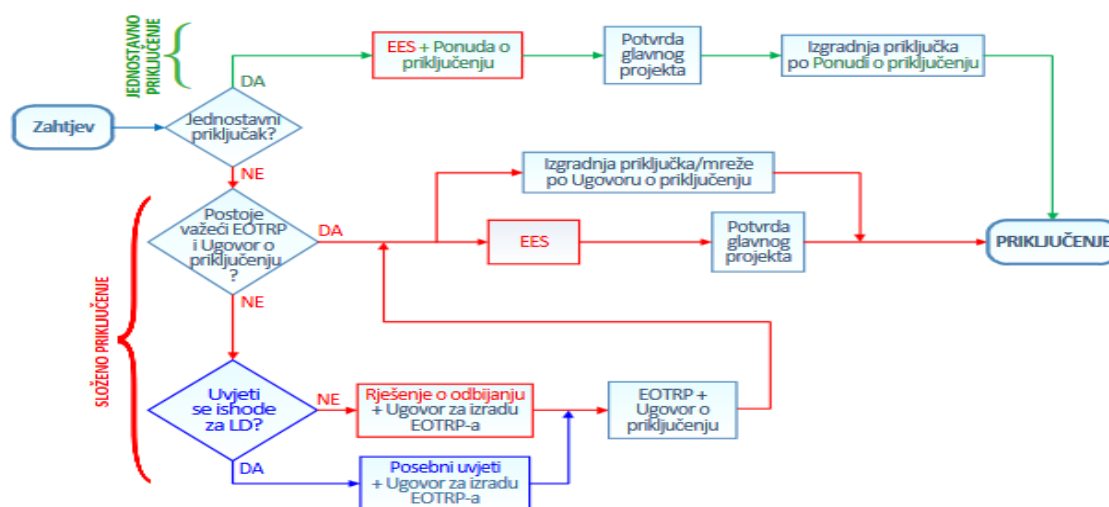
Osnovne radnje održavanja su:

- vizualni pregled modula
- čišćenje filtera na ventilatorima pretvarača i ormara
- povremeno čišćenje fotonaponskih modula
- pritezanje spojeva
- pregled i obnavljanje oznaka

4.3.1. Priklučenje elektrane na mrežu HEP-a

Projektirana sunčana elektrana priključuje se na elektroenergetsku mrežu na niskom naponu u vlasništvu HEP-a. Elektrana je namijenjena proizvodnji električne energije s ciljem smanjenja ili anuliranja vlastite potrošnje električne energije na predmetnom objektu, te mogućnost potpune elektroenergetske neovisnosti. [59] Kod sunčane elektrane koja se na postojećoj građevini gradi u svrhu smanjenja (anuliranja) vlastite potrošnje postojeće građevine, mogu se javiti sljedeće situacije:

- **ELEKTRANA PREDAJE VIŠAK PROIZVEDENE ENERGIJE U MREŽU** – predaja električne energije u elektroenergetsku mrežu može se dogoditi u slučaju da sunčana elektrana proizvodi više električne energije nego je potrebno da se pokrije vlastita potrošnja građevine
- **PREUZIMANJE ENERGIJE IZ MREŽE** – preuzimanje električne energije iz mreže može se dogoditi u slučaju kada električna energija iz sunčane elektrane nije dovoljna da se pokrije vlastita potrošnja građevine te je potrebna dodatna energija iz mreže



Slika 4.6; Postupak priključenja elektrane na mrežu

4.4. Dinamična kontrola izlazne snage elektrane

Sukladno Mrežnim pravilima distribucijskog sustava sunčane elektrane moraju posjedovati mogućnost regulacije izlazne snage ovisno o frekvenciji. Regulacija izlazne snage treba biti interno podešena u samim proizvodnim jedinicama (pretvaračima) i dodatno mora biti omogućeno daljinsko upravljanje (ovisno o tipu proizvodnog modula) gdje Operator distribucijskog sustava upravlja regulacijom izlazne snage elektrane. [61,62,64] Proizvodni moduli koji se priključuju na distribucijsku mrežu klasificiraju se nacionalnim pragovima maksimalne snage za proizvodne module tipa A, B, C i D i utvrđeni su Odlukom o utvrđivanju nacionalnih pragova maksimalne snage za proizvodne module tipa A, B, C i D i zahtjeva za opću primjenu svih tipova proizvodnih modula. U nastavku se daje prikaz klasifikacije proizvodnih modula iz navedene Odluke. [61,62,64]

Proizvodni modul	Tip A	Tip B	Tip C	Tip D
Naponski nivo	< 110 kV	< 110 kV	< 110 kV	≥110 kV ili
Priključna snaga	0,8 kW ≤ tip A < 500 kW	500 kW ≤ tip B < 5 MW	5 MW ≤ tip C < 10 MW	< 110 kV i 10 MW ≤ tip D

Slika 4.7, Nacionalni pragovi maksimalne snage za proizvodne module tipa A, B, C i D

Sukladno tablici, predmetna sunčana elektrana spada u proizvodne module **Tip A**. Razlog je taj što je elektrana **manje od 500kW**.

5. Zaključak

Investiranjem u ovakav način opskrbe električnom energije, modelom za anuliranje vlastite potrošnje i potpune elektroenergetske neovisnosti nam omogućava velike uštede ukoliko se baziramo na smanjenje troškova električne energije i mogućnost zarade prodajom viška iste u javnu mrežu. Elektrifikacija pomoću hibridnih elektroenergetskih sustava u cijelom je svijetu vrlo obećavajuća unazad 10-tak godina, brzim i velikim napretkom tehnologije, pa samim time i potreba za električnom energijom raste. Sunčeva energija i energija vjetra smatraju se obnovljivim izvorima energije te su veoma pouzdane i sigurne, a također imaju i nultu emisiju zagađenosti. Kao rezultat toga, sustavi mogu biti isplativi i imati razumno vremensko razdoblje povrata investicije kao što je prikazano u tablici 22. Prednost hibridnog modela opskrbe električnom energijom leži u njegovoj isplativosti, dugoročno gledano, te je prikladan za dugoročna ulaganja, osobito uz pomoć potpora Republike Hrvatske i Europske unije. Kada se izvori sunca i baterija raspodijele u odgovarajućim omjerima, osigurava se da oni nisu previše predimenzionirani i omogućavaju elektroenergetsku neovisnost o javnoj mreži. Dizajnirani elektroenergetski sustav s hibridnim izvorima obnovljivih izvora energije ne samo da nudi usklađivanje potražnje, već osigurava i optimalno korištenje resursa. Rezultati dobiveni kroz proračune u 8 slučajeva na različitim lokacijama dokazuju učinkovitost predložene strategije, te da je isplativost vremenski puno brža ako se ovakav model fotonaponskog sustava ugradi na područjima juga Republike Hrvatske.

6. Literatura

- [1] Schrack Technik: Ormari, razdjelnici, IT-ormari, 2012, str. 2-240.
- [2] OBO Bettermann: Sustavi za zaštitu od požara, katalog 2013/2014, str. 15-40.
- [3] OBO Bettermann: Fire protection systems, 2008, str.141-156.
- [4] <http://free-vz.t-com.hr/klokan/New-Page.html> [01.05.2022.]
- [5] <http://www.oikon.hr/> [01.05.2022.]
- [6] <https://www.crometeo.hr/atmosfera/> [05.05.2022.]
- [7] <https://hr.myubi.tv/10826-how-is-light-energy-produced> [05.05.2022.]
- [8] <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66591.pdf> [05.05.2022.]
- [9] <https://energyandmines.com/2017/07/solarreserve-receives-environmental-approval-for-390-megawatt-solar-thermal-facility-with-storage-in-chile/> [05.05.2022.]
- [10] <https://oie.hr/koncentrirajuce-solarne-elektrane-inovacije/> [05.05.2022.]
- [11] <https://gestoenergy.com/project/santiago-5-mw-solar-pv-development-cape-verde/> [05.05.2022.]
- [12] Ž. Novinc: Kakvoća električne energije, Zagreb, 2006.
- [13] J. Zdenković: Fotonaponski otočni sustavi - praktični priručnik, Schrack Technik, Zagreb, 2020.
- [14] M. Molnar: Simulacija pogona visoko-temperaturnog spremnika latentne topline, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2019.
- [15] https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/48089/course/section/16461/qsp_chapter10-plank.pdf [8.05.2022.]
- [16] <https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A1324/datastream/PDF/view> [8.05.2022.]
- [17] <https://studylib.net/doc/18165694/solar-radiation-calculation> [8.05.2022.]
- [18] <https://www.varga-elektronik.hr/solarni-sustavi/> [8.05.2022.]
- [19] https://door.hr/wp-content/uploads/2016/01/REPAM_studija_17_splitska.pdf [8.05.2022.]
- [20] <https://www.hrote.hr/izvjestaji> [8.05.2022.]
- [21] <https://www.hep.hr> [9.05.2022.]
- [22] <https://www.hrote.hr> [9.05.2022.]
- [23] <https://repozitorij.gfv.unizg.hr/islandora/object/gfv:240/datastream/PDF/download> [9.05.2022.]
- [24] <http://solarserdar.blogspot.com/2011/06/fotonaponski-solarni-sustavi-hcoie.html> [9.05.2022.]
- [25] <https://hr.dsnsolar.com/info/introduction-to-hybrid-solar-system-36639521.html> [9.05.2022.]
- [26] <https://enerco-solar.hr/fotonaponski-moduli/> [9.05.2022.]
- [27] D. Kornet: Opis rada laboratorija za obnovljive izvore energije (OIE) na Sveučilištu Sjever, Završni rad, UNIN, Varaždin, 2017.
- [28] <https://www.photovoltai4all.de/en/viessmann-vitovolt-400-shingled-perc> [9.05.2022.]
- [29] <https://www.europe-solarstore.com/sma-sunny-tripower-stp-10-0-smart-energy-hybrid-inverter.html> [9.05.2022.]

- [30] <https://blog.ibc-solar.com/2022/02/we-introduce-the-new-sma-hybrid-inverter/> [10.05.2022.]
- [31] <https://www.schrack.hr> [10.05.2022.]
- [32] [https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/pdf_dokumenti/Schrack Majstor 9-10-2013.pdf](https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/pdf_dokumenti/Schrack_Majstor_9-10-2013.pdf) [10.05.2022.]
- [33] <https://www.europe-solarstore.com/lg-chem-resu-13-48v-lithium-ion-storage-battery.html> [10.05.2022.]
- [34] <https://www.solarne-elektrane.hr/solarni-potencijal-hrvatske-medu-najvecim-u-europi/> [15.05.2022.]
- [35] <https://www.neverin.hr/postaja/hvar/> [15.05.2022.]
- [36] Schrack Technik: Distribucija energije & upravljanje, 2009, str. 25-45.
- [37] Schneider Electric: Oprema za zaštitu i nadzor NN instalacija, katalog 2010/2011, 2011, 48-94.
- [38] OBO Bettermann: TBS, Sustavi za zaštitu od prenapona i udara munje, 2018, str. 102-115.
- [39] V. Srb: Električne instalacije i niskonaponske mreže, Zagreb, 1991.
- [40] M. Padelin: Zaštita od groma, Zagreb, 1987.
- [41] V. Jurjević, Ž. Bobinac, B. Hohnjec, D. Hosinger: Končar Tehnički priručnik, Zagreb, 1991.
- [42] G. Brechmann: Westermannov Elektrotehnički priručnik, Zagreb, 1991.
- [43] A. Čikić, T. Veliki: Predavanja i vježbe kolegija Obnovljivi izvori energije, UNIN, Varaždin, 2021.
- [44] https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en [19.05.2022.]
- [45] [https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/pdf_dokumenti/Schrack Majstor 07-08-2013.pdf](https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/pdf_dokumenti/Schrack_Majstor_07-08-2013.pdf) [19.05.2022.]
- [46] <https://www.nika-konstrukcije.hr/katalozi/Konstrukcije-za-montazu-suncanih-fotonaponskih-elektrana.pdf> [20.05.2022.]
- [47] <http://hr.brsolarstructure.com/solar-mount-accessories/pv-solar-mount-accessories/solar-panel-mounting-accessories.html> [20.05.2022.]
- [48] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_12_153_3221.html [20.05.2022.]
- [49] <https://gov.hr/hr/obveze-prije-pocetka-radova/1256> [21.05.2022.]
- [50] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_05_48_917.html [22.05.2022.]
- [51] <https://www.projektniured.com/pitanja-i-odgovori/koju-dokumentaciju-je-potrebno-imati-na-gradilistu/> [23.05.2022.]
- [52] <https://www.zakon.hr/z/690/Zakon-o-gradnji> [24.05.2022.]
- [53] <https://mpgi.gov.hr/print.aspx?id=8150&url=print&page=1> [24.05.2022.]
- [54] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_03_29_505.html [24.05.2022.]
- [55] [https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/OPUO 2022/31_03_2022_Elaborat SE Runjik.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/OPUO_2022/31_03_2022_Elaborat_SE_Runjik.pdf) [25.05.2022.]
- [56] <https://www.energianaturalis.hr/zelim-znati/koliki-je-vijek-trajanja-solarne-elektrane> [26.05.2022.]
- [57] <http://www.ho-cired.hr/4savjetovanje/SO4/a/SO4-3.pdf> [28.05.2022.]

- [58] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_08_74_1539.html [28.05.2022.]
- [59] <https://www.hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/28> [30.05.2022.]
- [60] https://strukturnifondovi.hr/wp-content/uploads/2019/03/07_Prilog7_Glavni_projekt.pdf [30.05.2022.]
- [61] https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Javne_rasprave/2018-02/prijedlog_pravila_o_prikljucenju.pdf [1.06.2022.]
- [62] https://mingor.gov.hr/UserDocsImages//UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/OPUO_2022//25_05_2022_Elaborat_SE_Topusko.pdf [1.06.2022.]
- [63] https://www.hops.hr/page-file/pt1o7izVzX8fyHLkW2C1IP/connection-network-codes/Pragovi_odobreno.pdf [1.06.2022.]
- [64] <https://www.hops.hr/obavijesti/objava-o-odobrenju-nacionalnih-pragova-maksimalne-snage-za-proizvodne-module-tipa-a-b-c-i-d-i-zahjeva-za-opcu-primjenu-svih-tipova-proizvodnih-modula> [1.06.2022.]
- [65] Lj. Majdandžić: Solarni sustavi, Graphis d.o.o., Zagreb, 2010.
- [66] <https://dnevnik.hr/galerija/vijesti/hrvatska/hep-krece-graditi-sunceve-elektrane-povecat-ce-se-domaca-proizvodnja-ali-i-smanjiti-uvoz---556296.html/61667859/556296> [7.6.2022.]

Popis slika

Slika 1.1; Slikoviti prikaz postrojenja sunčane elektrane [4].....	2
Slika 1.2; Slojevi atmosfere [6]	3
Slika 1.3; Heliostatski toranj solarne energije [10].....	4
Slika 1.4; Linearni Fresnel kolektori [11]	5
Slika 1.5; Parabolički sustavi korita [12]	5
Slika 1.6; Kut upada sunčevih zraka [16]	7
Slika 1.7; Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe [18]	8
Slika 1.8; Srednja godišnje osunčanje Republike Hrvatske [20].....	10
Slika 1.9; Solarne elektrane na HEP-ovim zgradama [66].....	11
Slika 1.10; Grafički prikaz proizvodnje električne energije u periodu od 6 godina.....	13
Slika 1.11; Stanje fotonaponskih elektrana u Republici Hrvatskoj [22]	13
Slika 2.1; On grid sustav [23]	14
Slika 2.1; Off grid sustav [24].....	15
Slika 2.2; Hibridni sustav [24]	15
Slika 3.1; Novi hibridni inverter [30]	24
Slika 3.2; Odgovarajuća baterija za odabrani inverter [31,33]	26
Slika 3.3; Grafički prikaz odnosa potreba za električnom energijom i proizvodnje elektrane	29
Slika 3.4; Slikoviti prikaz baterijske banke [32].....	29
Slika 3.5; Proizvodnja električne energije putem sunca u Republici Hrvatskoj[34].....	30
Slika 3.6; Diskontinuitet utjecaja vjetra na grad Hvar [35]	31
Slika 3.7; TIPIČNI GRAF jednog dana u predmetnom mjesecu - POTROŠNJA – PROIZVODNJA	33
Slika 3.8; GRAFIČKI PRIKAZ ELEKTROENERGETSKE NEOVISNOTI	35
Slika 3.9; Prikaz proizvodnje sunčane elektrane pomoću alata PVGIS [44]	36
Slika 4.1; Raspodjela nizova na inverteru [45].....	40
Slika 4.2; Otklon građevine od juga	41
Slika 4.3; Prikaz fotonaponskih modula u programskom paketu SolarEdge Designer	42
Slika 4.4; 3D vizualizacija u programskom paketu SolarEdge Designer	42
Slika 4.5; Pričvršćivanje modula na krov [46,47].....	44
Slika 4.6; Postupak priključenja elektrane na mrežu	48
Slika 4.7; Nacionalni pragovi maksimalne snage za proizvodne module tipa A, B, C i D.....	49

Popis tablica

Tablica 1; Primjer ozračenosti tri različita grada.....	9
Tablica 2; Prikaz cijena električne energije za kategoriju poduzetništvo.....	12
Tablica 3; Prikaz cijena električne energije za kategoriju kućanstvo	12
Tablica 4; Prikaz proizvodnje električne energije u periodu od 6 godina.....	13
Tablica 5; Parametri izmjenjivača.....	20
Tablica 6; Podaci od potrebnom kabelu	21
Tablica 7; Prikaz određenih parametara prema strujama opterećenja	22
Tablica 8; koeficijent k.....	23
Tablica 9; Prikaz rezultata analize	23
Tablica 10; Potrošnja električne energije u godini dana.....	26
Tablica 11; Ulazni podaci potrebni za izračun potreba baterija	27
Tablica 12; Proračun baterija od siječnja do travnja.....	27
Tablica 13; Proračun baterija od svibnja do kolovoza.....	27
Tablica 14; Proračun baterija od rujna do prosinca	28
Tablica 15; Rezultat izračuna kapaciteta baterija.....	28
Tablica 16; Diskontinuitet potrošnje potrošača.....	32
Tablica 17; Prikaz troškova	34
Tablica 18; Rezultati proračuna rizika.....	37
Tablica 19; Proračun rizika	38
Tablica 20; Ukupan rizik za građevinu.....	38
Tablica 21; Informativni troškovnik	39
Tablica 22; IZRAČUN JEDNOSTAVNOG PERIODA POVRATA INVESTICIJE.....	39
Tablica 23; PLOHA 1 – jugoistočna krovna ploha.....	41

Prilozi

Prilog 1; Situacijski prikaz

Prilog 2; Prikaz stringova

Prilog 3; Dolaz/odlaz prema GRO

Prilog 4; Pomoćni strujni krugovi

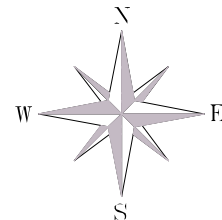
Prilog 5; Isklop glavnog prekidača elektrane

Prilog 6; Glavni prekidač elektrane

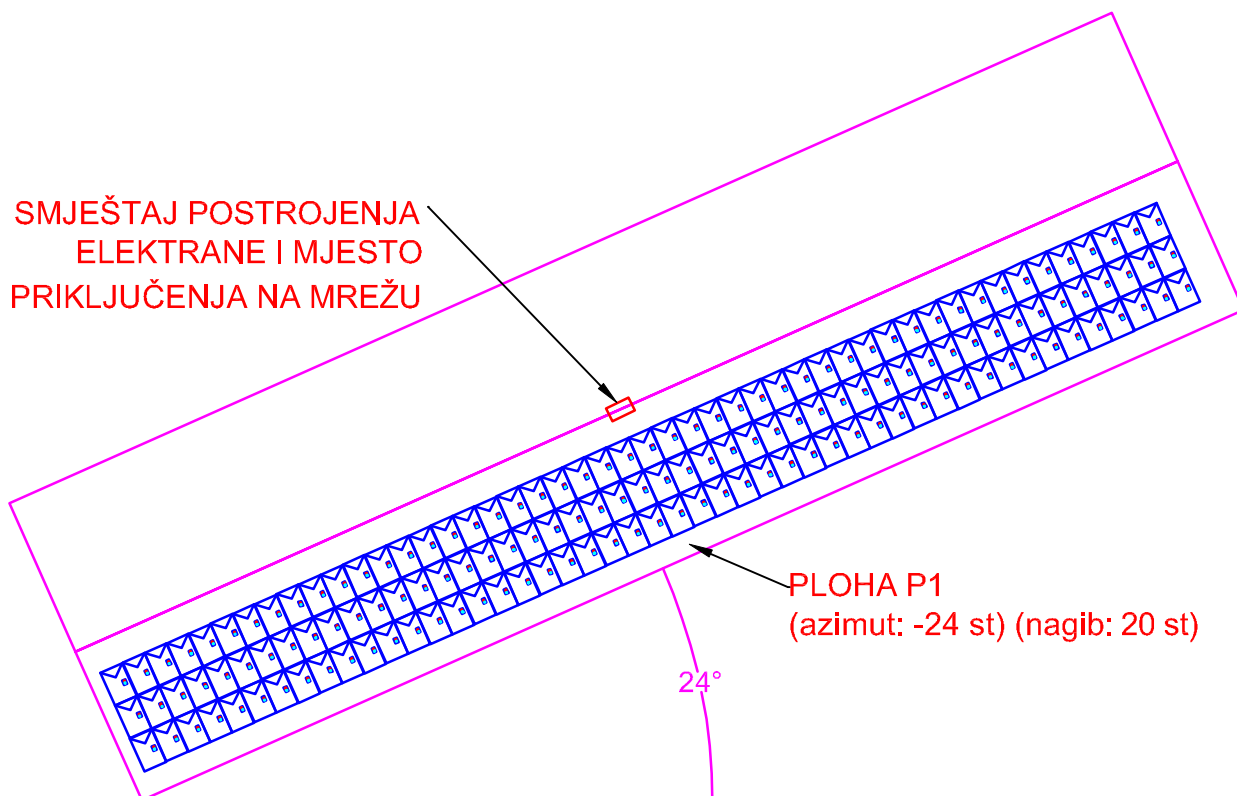
Prilog 7; Dolazi sa izmjenjivača

Prilog 8; tehnički list fotnaponskih modula

Prilog 9; tehnički list pretvarača



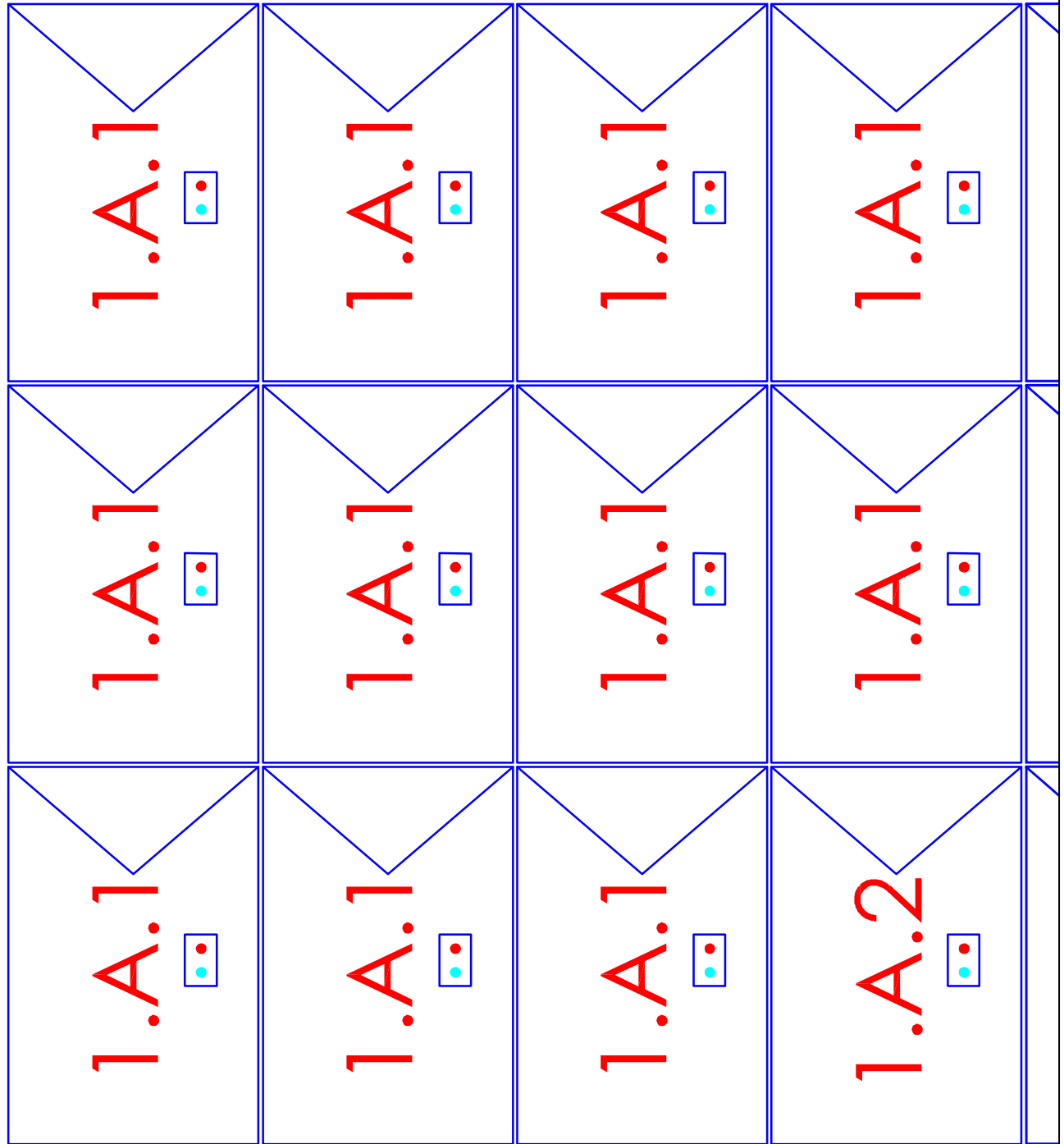
SMJEŠTAJ POSTROJENJA
ELEKTRANE I MJESTO
PRIKLJUČENJA NA MREŽU



UKUPNI BROJ FOTONAPONSKIH
MODULA IZNOSI:
144 kom
400W
57,60 kWp

NAPOMENA:
Kod izvođenja radova treba
paziti na odgovarajući
razmak između
fotonaonskih modula i
dijelova krova, te treba
osigurati prolaz u slučaju
požara!

Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJVER
			Projektirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonardo</i>	
			Konstruirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonardo</i>	
			Crtao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonardo</i>	
			Mentor		prof.dr.sc. Ante Čikić		
			Odobrio		prof.dr.sc. Ante Čikić		
Mjerilo: 1:200	Naziv: SITUACIJSKI PRIKAZ					Br. nacrta: 01/01	



niz (string) 1.A.1 - inverter 1, MPPT ulaz A, niz 1

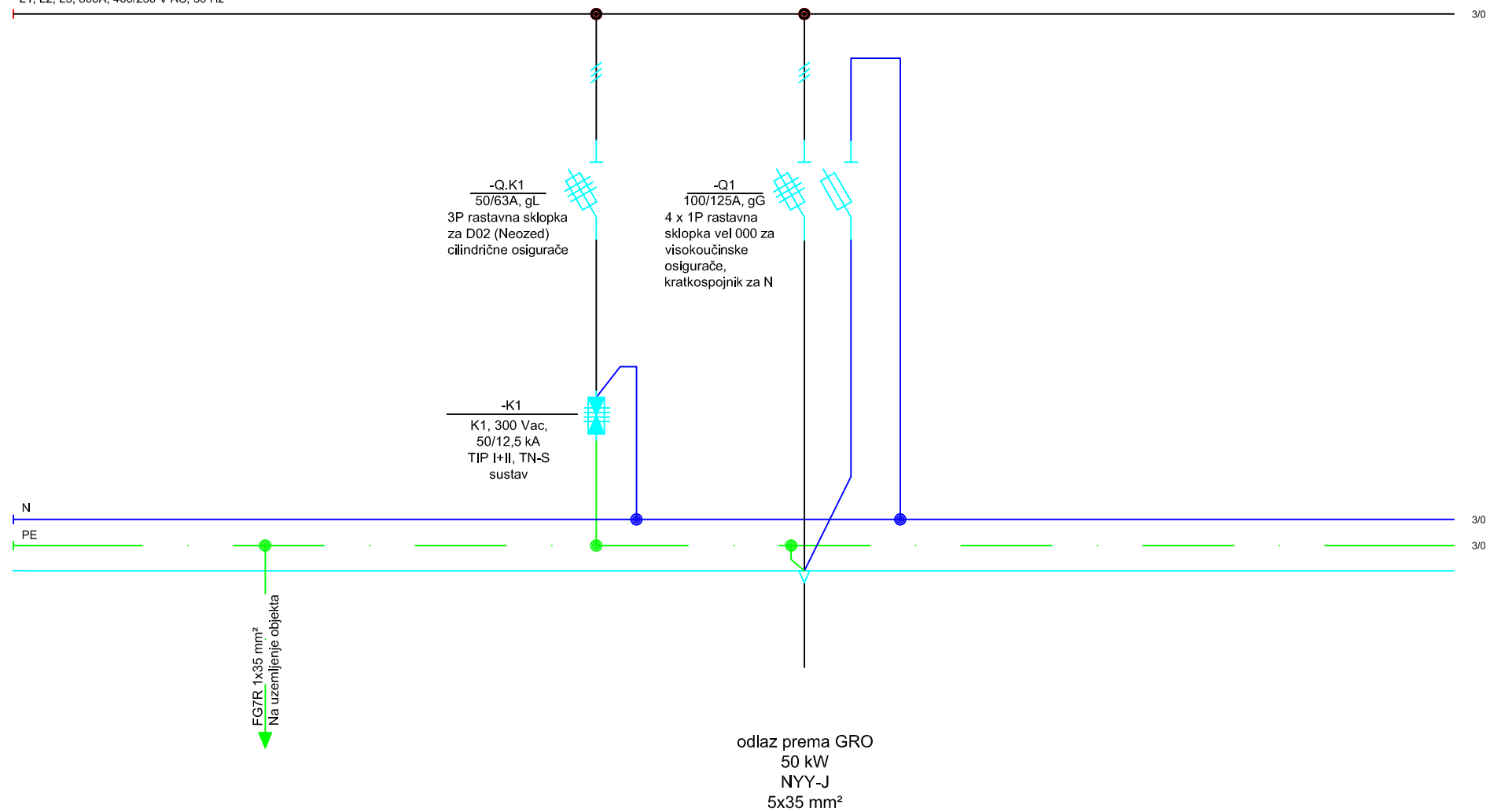
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJVER
			Projektirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>	
			Konstruirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>	
			Crtao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>	
			Mentor		prof.dr.sc. Ante Čikić		
			Odobrio		prof.dr.sc. Ante Čikić		
Mjerilo: 1:200	Naziv: PRIKAZ STRINGOVA					Br. nacrta: 02/02	



Izradio : Leonardo Lukavski
 Građevina : Sunčana elektrana
 Lokacija : Hvar

Sadržaj : Razvodni ormar sunčane elektrane RO.SE
 Datum izrade : 06.2022.
 Broj listova : 6

Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
			Projektirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>	
			Konstruirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>	
			Crtao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>	
			Mentor	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić		
			Pregledao	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić		
Mjerilo:	Naziv:						Br. nacрта:
-	NASLOVNI LIST						01

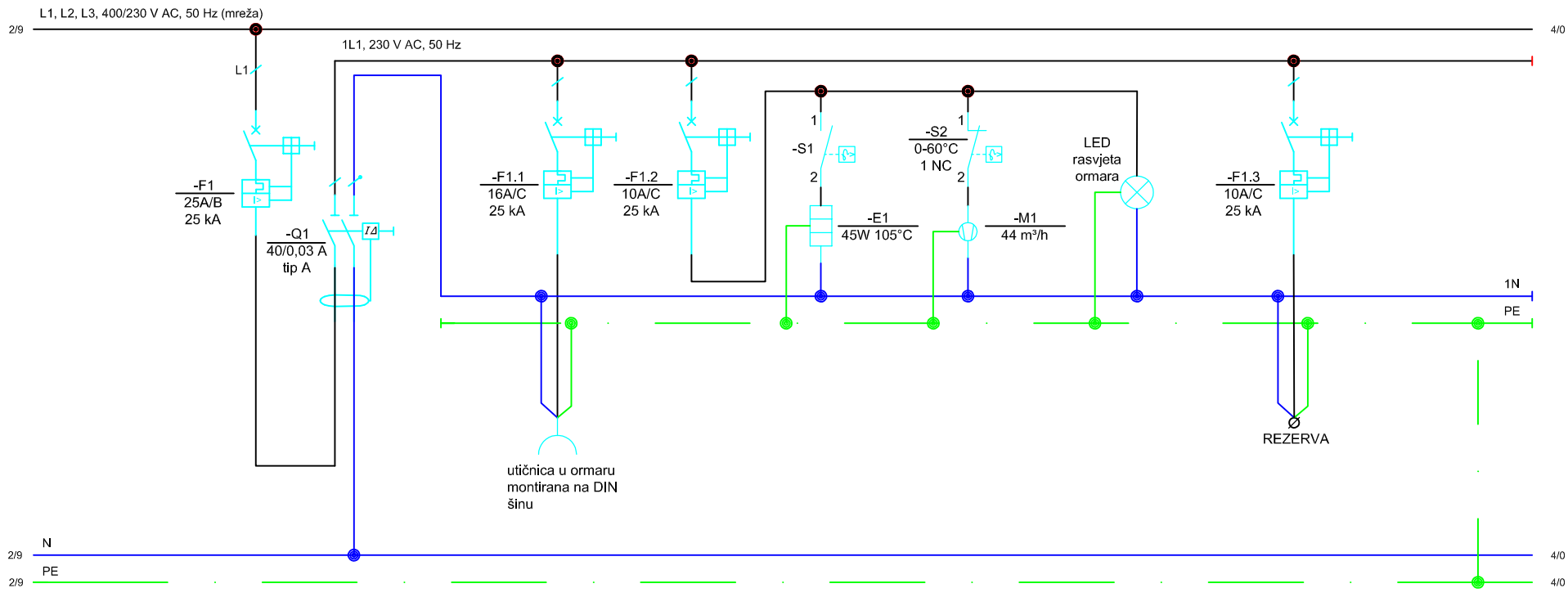


Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis
		Projektirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>
		Konstruirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>
		Crtao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>
		Mentor	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić	
		Pregledao	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić	
Mjerilo: -	Naziv: Dolaz/odlaz prema GRO				

SVEUČILIŠTE
SJEVER

Br. nacrtā:

02



pomoćni str. krugovi
0,3 kW
FG07R
3x4 mm²

utičnica u ormaru
0,2 kW
FG07R
3x2,5 mm²

grijač, ventilator, rasvjeta
0,2 kW
FG07R
3x1,5 mm²

REZERVA

FG07R
3x1,5 mm²

Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	
		Projektirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonardo</i>	
		Konstruirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonardo</i>	
		Crtao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonardo</i>	
		Mentor	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić		
		Pregledao	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić		
Mjerilo: -	Naziv: Pomoćni strujni krugovi					Br. nacrtā: 03

SVEUČILIŠTE
SJEVER

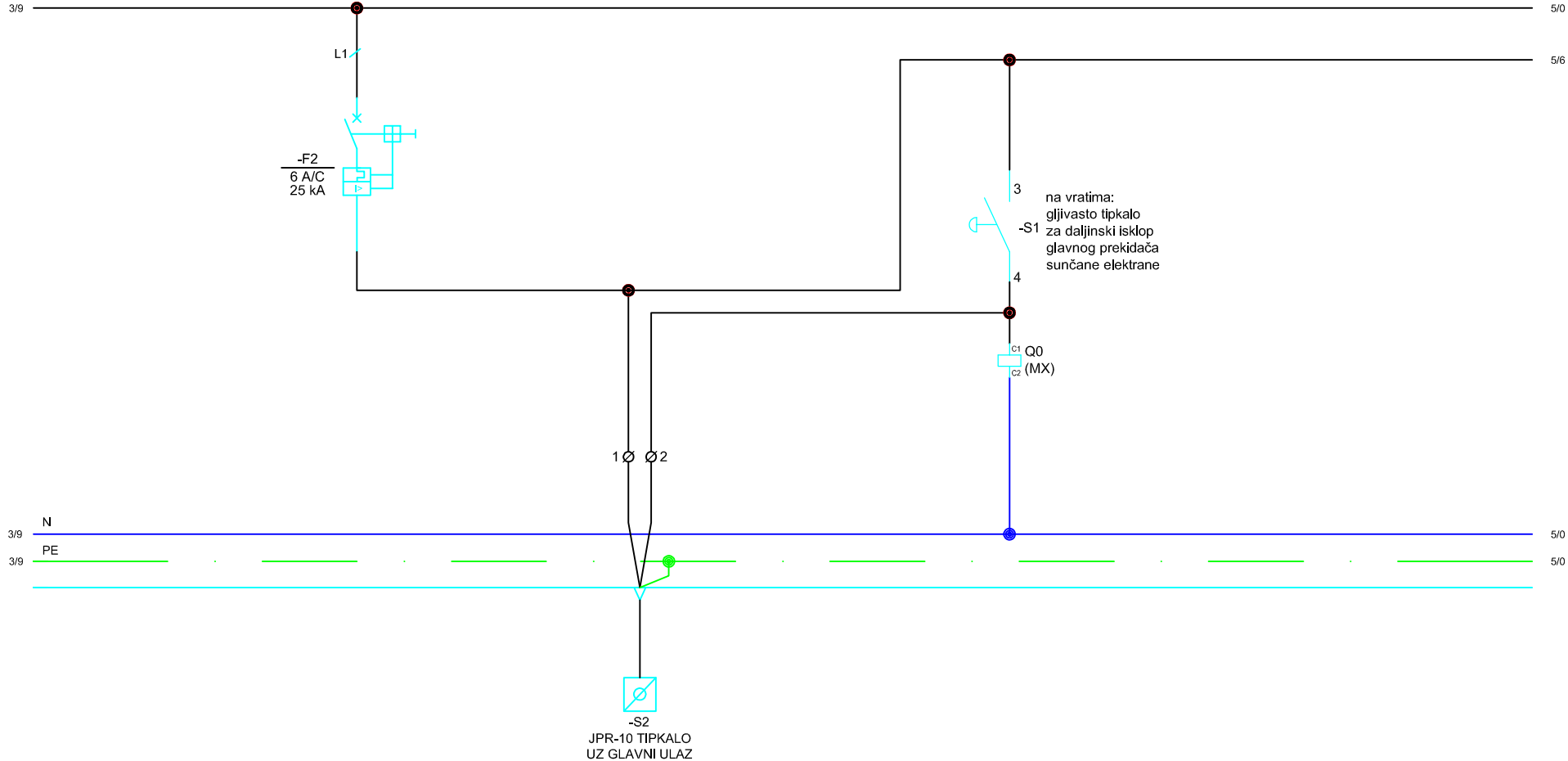
L1, L2, L3, 400/230 V AC, 50 Hz (mreža)

3/9

N

PE

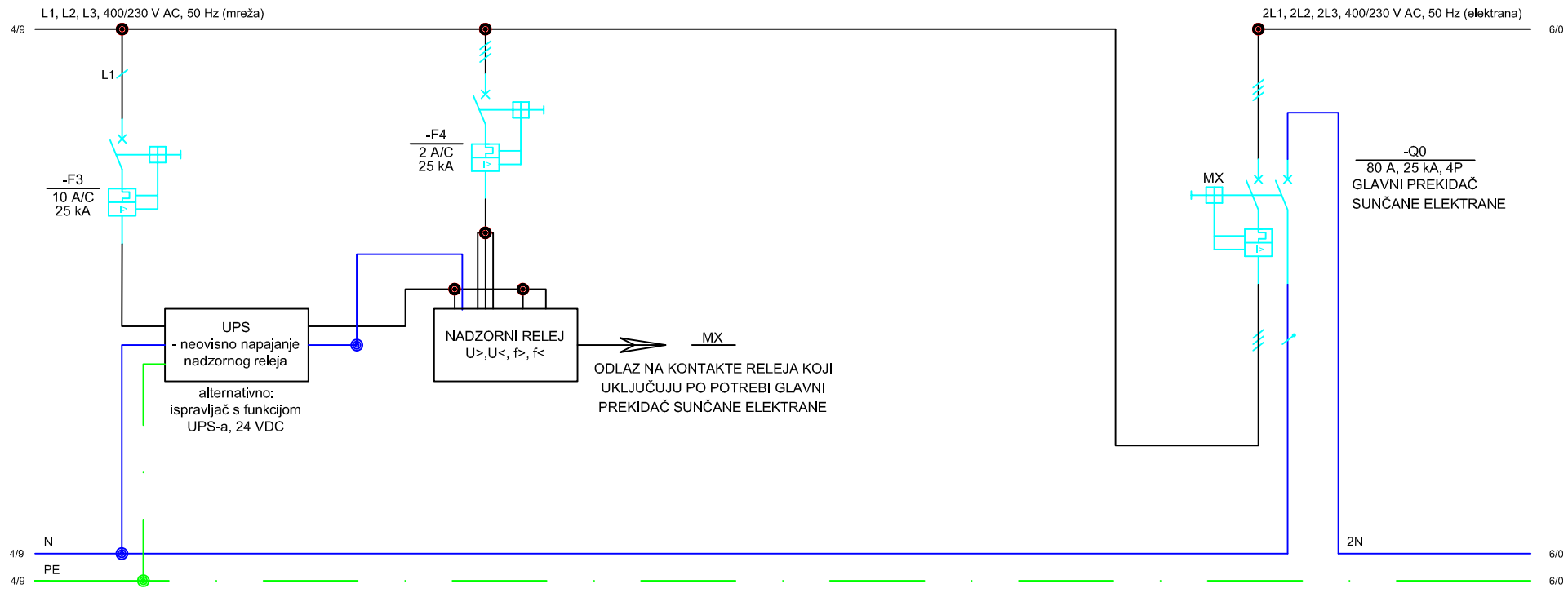
3/9



na vratima:
gljivasto tipkalo
za daljinski isklap
glavnog prekidača
sunčane elektrane

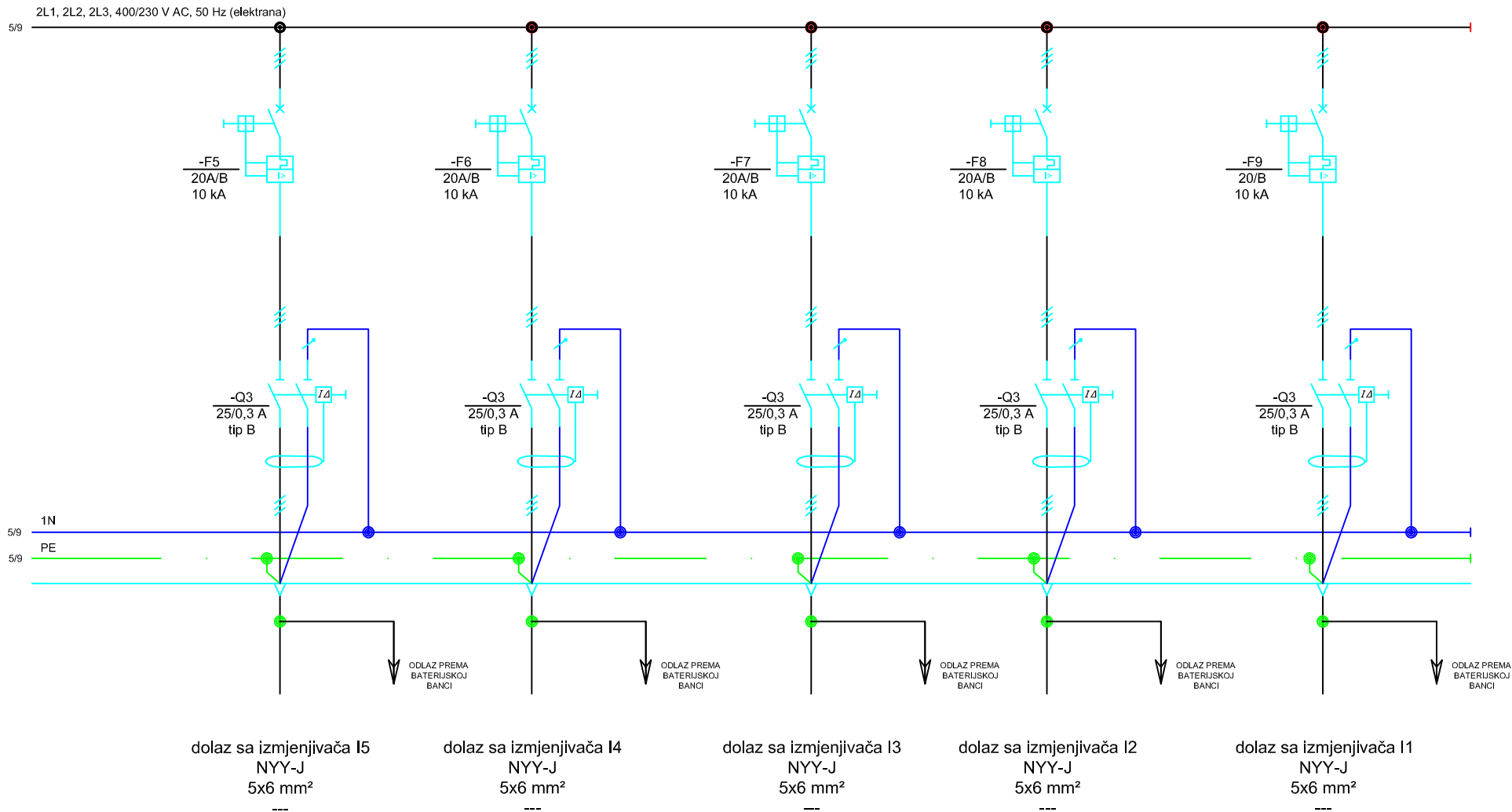
Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis
		Projektirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>
		Konstruirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>
		Crtao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>
		Mentor	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić	
		Pregledao	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić	
Mjerilo: -	Naziv: Isklap glavnog prekidača elektrane				Br. nacрта: 04

SVEUČILIŠTE
SJEVER



Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis
		Projektirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>
		Konstruirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>
		Crtao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonard</i>
		Mentor	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić	
		Pregledao	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić	
Mjerilo: -	Naziv: Glavni prekidač elektrane				
					Br. nacrtā: 05

SVEUČILIŠTE
SJEVER

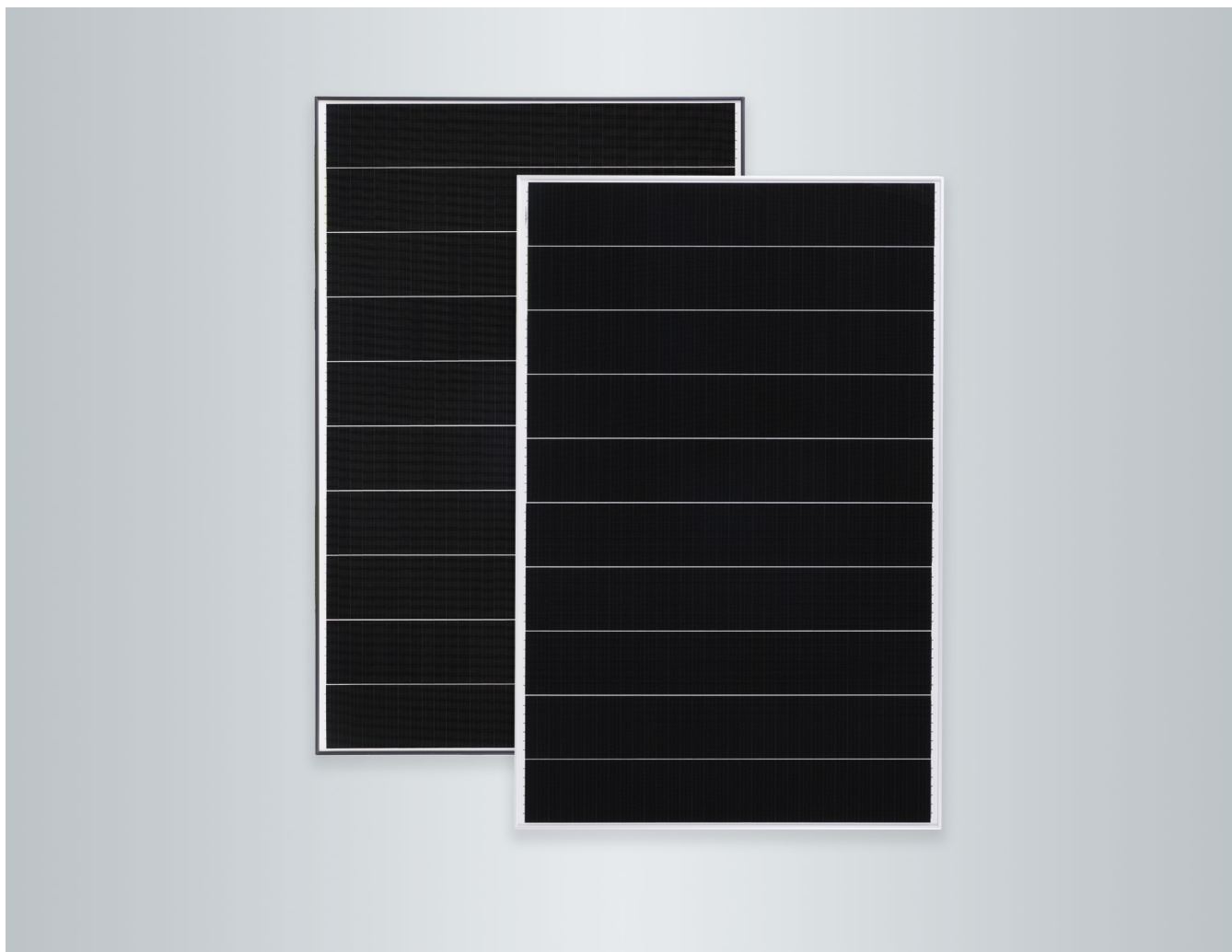


Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis
		Projektirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonardo</i>
		Konstruirao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonardo</i>
		Crtao	06.2022.	Leonardo Lukavski	<i>Leonardo</i>
		Mentor	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić	
		Pregledao	06.2022.	prof.dr.sc. Ante Čikić	

Mjerilo: -	Naziv: Dolazi sa izmjenjivača	Br. nacрта: 06
---------------	----------------------------------	-------------------

SVEUČILIŠTE
SJEVER

Informacijski list



VITOVOLT 300 Tip M400WE, M405WE

Monokristalni fotonaponski moduli u varijantama **standard** i **blackframe** s 400U/405 W_p nazivne snage za proizvodnju struje iz sunčeve energije

- Učinkovitost modula do 20,7 %
- Shingled PERC tehnologija ćelija
- Visoka mehanička opteretivost za visoka opterećenja uslijed snijega (5400 Pa) i vjetra/usisa (2400 Pa) zahvaljujući aluminijskom okviru otpornom na koroziju.
- Dodatni impuls snage do 5 W_p uslijed pozitivne tolerancije snage
- Antirefleksijsko staklo od 3,2 mm za visoki solarni prinos
- Visoka pogonska sigurnost: 2 mimovodna diodna mosta za pouzdani pogon.
- Ispitana otpornost na slanu maglu i amonijak. Stoga su prikladni za uporabu u priobalnim područjima i područjima s intenzivnom poljoprivredom.
- Certifikati prema IEC 61215, IEC 61730, IEC 61701 i IEC 62716 jamče međunarodne standarde kvalitete.

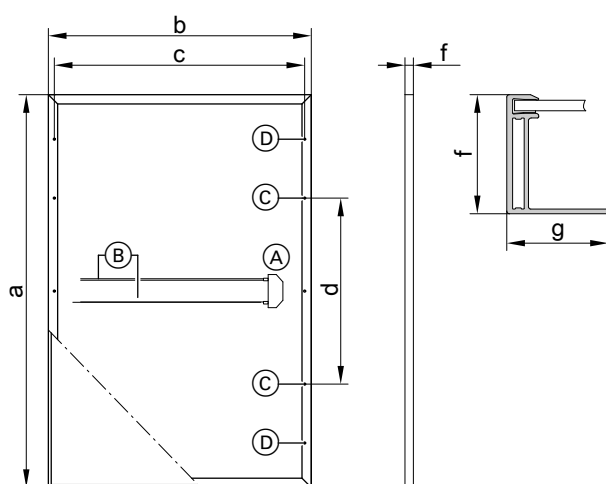
Tehnički podaci

Vitovolt 300	Tip	M400WE	M405WE
Podaci o učinku kod STC			
Nazivna snaga $P_{maks.}$	W_p	400	405
Tolerancija snage	W	0/+5	0/+5
MPP napon U_{mpp}	V	38,6	38,7
MPP struja I_{mpp}	A	10,36	10,47
Napon praznog hoda U_{oc}	V	46,4	46,5
Struja kratkog spoja I_{sc}	A	10,97	11,02
Učinkovitost modula	%	20,4	20,7
Temperaturni koeficijenti			
Učin	%/K	-0,34	-0,34
Napon praznog hoda	%/K	-0,27	-0,27
Struja kratkog spoja	%/K	0,04	0,04

Vitovolt 300	Tip	M400WE	M405WE
Temperatura ćelije kod NOCT-a	°C	42,3	42,3
Napon sustava, maks.	V	1500	1500
Otpornost na povratnu struju	A	20	20

- STC: sunčevo zračenje 1000 W/m², temperatura ćelije 25 °C, atmosferski maseni broj AM 1,5, mjerna tolerancija: ±3 % ($P_{maks.}$)
- MPP = Maximum Power Point (maksimalni učin kod STC-a).
- NOCT: sunčevo zračenje 800 W/m², temperatura okružja 20 °C, atmosferski maseni broj AM 1,5, brzina vjetra 1 m/s, mjerna tolerancija: ±5 % ($P_{maks.}$)

Priključne mjere



- (A) Priključna kutija
- (B) Priključni vodovi
- (C) 4 rupe za montažu 9 x 14 mm
- (D) 4 rupe za izjednačenje potencijala, \varnothing 6 mm

a	mm	1719
b	mm	1140
c	mm	1090
d	mm	1031
f	mm	35
g	mm	35

Tip ćelije	Monokristalna PERC silicijska ćelija
Broj ćelija	340 (shingled)
Uklapanje ćelija	Etilen-vinil-acetat (EVA)
Okvir	Eloksirana aluminijska legura, crna/srebrna
Prednje staklo	Jednostruko sigurnosno staklo od 3,2 mm s antirefleksijskim premazom
Težina	22 kg
Maks. opterećenje tlakom/usisom	5400 Pa/2400 Pa
Priključna kutija	IP67, 2 diode
Priključak	Vodovi 1,25 m, presjek voda 4 mm ² s konektorom Multi-Contact (MC4)
Klasa zaštite	II
Klasa primjene	A
Dostavna jedinica	31 komad po paleti

Jamstvo

Jamstvo za proizvod

5 godina: Viessmann jamstvo
12 godina: Viessmann jamstvo za proizvod

Jamstvo na učin

Min. 97 % nakon jedne godine
Min. 80 % linearno nakon 25 godine

Upute

Jamstvo za proizvod i učin u skladu s uvjetima jamstva tvrtke Viessmann Climate Solutions SE

Uvjeti jamstva: www.viessmann.de/Login.

Ispitana kvaliteta

Certificirano po: IEC 61215, IEC 61730, IEC 61701, IEC 62716. Proizvedeno u tvornicama s certifikatima ISO 9001 i 14001. CE oznaka u skladu s postojećim smjernicama EZ-a.

Pridržavamo pravo na tehničke izmjene!

Viessmann d.o.o. HRVATSKA
Dr. Luje Naletilića 23M
HR-10020 Zagreb
Telefon: 03 85-1-65 93-650
Telefax: 03 85-1-65 46-793
www.viessmann.com

6169245

SUNNY TRIPOWER 5.0 / 6.0 / 8.0 / 10.0 SMART ENERGY



STP5.0-3SE-40 / STP6.0-3SE-40 / STP8.0-3SE-40 / STP10.0-3SE-40



SMA ShadeFix
STRING LEVEL OPTIMIZATION

Premium monitoring service
SMA SMART CONNECTED



Store energy

- Three-phase / DC-coupled
- Integrated battery-backup function
- Fast charging
- Compatible with high-voltage batteries from leading manufacturers

Smart and effective

- Smart energy management with the Sunny Home Manager
- Maximum energy yield thanks to SMA ShadeFix

Connect to the grid easily

- Intuitive commissioning via app
- Quick and easy to install thanks to external terminals
- Compact design means minimum space requirements

Convenient all round

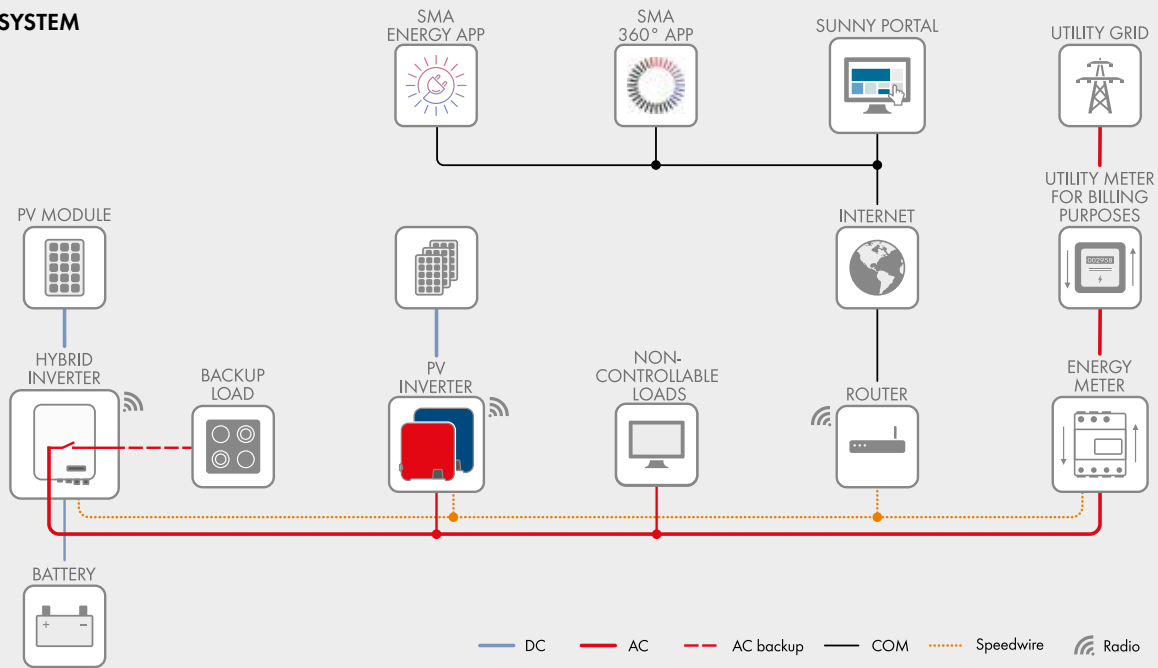
- Full-scale professional support for solar power professionals
- Automated service thanks to SMA Smart Connected
- Warranty extension from 5 to 10 years - free of charge

SUNNY TRIPOWER 5.0 / 6.0 / 8.0 / 10.0 SMART ENERGY

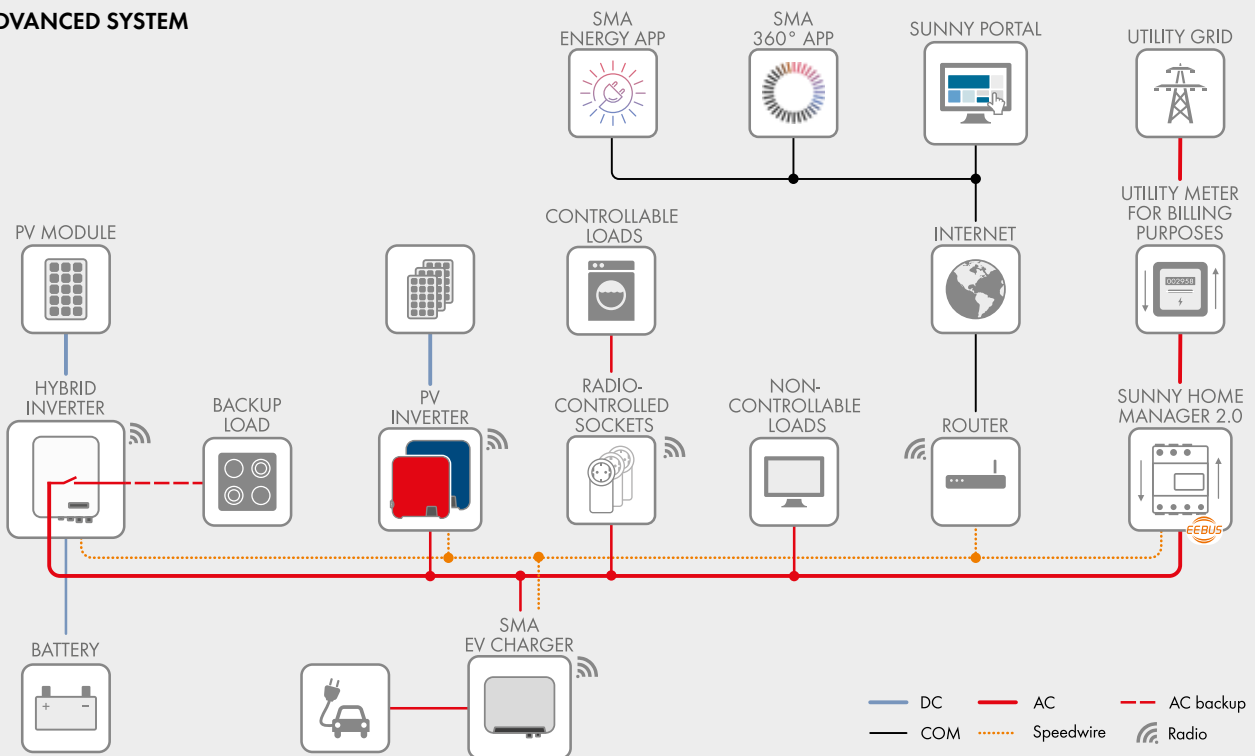
The beating heart of any home

The Sunny Tripower Smart Energy hybrid inverter is the two-in-one system for supplying solar power at home. With this, SMA has combined smart technology and integrated services to create a space-saving compact system, drawing on more than 30 years of experience in storage. With Sunny Tripower Smart Energy, users can easily and conveniently generate, use and store solar power. It is possible to make additions to the system at any time, incorporating e-mobility or heat pumps. The integrated battery-backup function safeguards the household electricity supply even in the event of a grid failure. That makes domestic PV systems comprehensive, smart energy systems with solar energy self-sufficiency of up to 100 percent.

BASIC SYSTEM



ADVANCED SYSTEM



Functions of the basic system with SMA Energy Meter

- Maximum system yield and reduced electricity procurement costs thanks to dynamic limits on grid feed-in of between 0% and 100%*
- Reliable supply for selected loads even in the event of grid failure thanks to integrated automatic backup power supply
- Flexible battery use via PV inverter installed in parallel thanks to DC and AC charging
- Easy commissioning via 360° APP and intuitive installation wizard

* Does not apply to multiple inverters in one system

Functions of the advanced system with Sunny Home Manager 2.0

- Basic system functions
- Increased energy self-sufficiency, ideally matched to your specific installation site and usage by means of artificial intelligence
- Smart combination with heat pumps
- Smart combination with electric vehicles
- Maximum energy use thanks to forecast-based charging
- Visualization of energy consumption
- Dynamic limits on grid feed-in of between 0% and 100% with multiple SMA inverters

Technical data	Sunny Tripower 5.0 Smart Energy	Sunny Tripower 6.0 Smart Energy	Sunny Tripower 8.0 Smart Energy	Sunny Tripower 10.0 Smart Energy
Input (PV DC)				
Max. PV array power	7500 Wp	9000 Wp	12000 Wp	15000 Wp
Max. input voltage	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
MPP voltage range	210 V to 800 V	250 V to 800 V	330 V to 800 V	280 V to 800 V
Rated input voltage	600 V			
Min. input voltage / initial input voltage	150 V / 180 V			
Max. input current input A / input B	12.5 A / 12.5 A			12.5 A / 25 A
Max. DC short-circuit current input A / input B	20 A / 20 A			20 A / 40 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2/A; 1; B: 1			2/A; 1; B: 2
Battery connection				
Battery type	Lithium-ion ¹⁾			
Voltage range	150 V to 600 V			
Max. charging current / max. discharging current	30 A ²⁾ / 30 A ²⁾			
Number of connectable batteries	1			
Max. charging power / max. discharging power ³⁾	7500 W / 6000 W	9000 W / 7200 W	10600 W / 10600 W	
AC connection				
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W	8000 W	10000 W
Max. apparent AC power	5000 VA	6000 VA	8000 VA	10000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V			
AC voltage range	156 V to 277 V			
AC power frequency/range	50 Hz / 45 Hz to 55 Hz			
Rated grid frequency / rated grid voltage	50 Hz/230 V			
Rated output current	3 x 7.3 A	3 x 8.7 A	3 x 11.6 A	3 x 14.5 A
Max. output current	3 x 7.6 A	3 x 9.1 A	3 x 12.1 A	3 x 15.2 A
Power factor at rated power / adjustable displacement power factor	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited			
Feed-in phases/connection phases	3/3			
Efficiency				
Max. efficiency / European Efficiency	98.2% / 97.3%	98.2% / 97.5%	98.2% / 97.8%	98.1% / 97.5%
Output (AC backup) during on-grid mode				
Max. connectable power for backup load	13800 W			
Max. output current for backup load	3 x 20 A			
Output (AC backup) during off-grid mode				
Rated power 1~ / 3~ (at 230 V, 50 Hz)	1660 W / 5000 W	2000 W / 6000 W	2660 W / 8000 W	3330 W / 10000 W
Max. apparent AC power	5000 VA	6000 VA	8000 VA	10000 VA
Output power / output apparent power < 5 min	6000 W / 6000 VA	7200 W / 7200 VA	12000 W / 12000 VA	
Output power / output apparent power < 10 s	10000 W / 10000 VA		12000 W / 12000 VA	
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 230 V / 400 V			
AC grid frequency	50 Hz			
Tariff switching to backup mode	30 ms to 10 s (adjustable)			
Protective devices				
Input-side disconnection point (PV DC)	●			
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●			
DC reverse polarity protection / AC short circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -			
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●			
Protection class (according to IEC 61140)	I			
Overvoltage category (according to IEC 60664-1) grid/battery/PV	III / II / II			
SPD	DC type II / AC type II			
General data				
Dimensions (W/H/D)	500 mm / 598 mm / 173 mm (19.7 inch / 23.5 inch / 6.8 inch)			
Weight	30 kg (66 lbs)			
Operating temperature range	-25°C to +60°C (-13°F to +140°F)			
Noise emission, typical	30 dB(A)			
Self-consumption (at night)	44 W			
Topology / cooling method	Transformerless/convection			
Degree of protection (according to IEC 60529) / climate category (according to IEC 60721-3-4)	IP65/4K26			
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%			
Equipment				
PV connection / BAT connection	SUNCLIX / MC4, incl. MC4 battery cable, 3 m			
AC terminals	AC CONNECTOR (5 x 1.5 to 10 mm ²)			
Display via smartphone, tablet, laptop	●			
Number of interfaces: Wi-Fi/Ethernet/BAT-CAN	1/2/1			
Number of digital inputs / outputs	5/1			
Communication protocols	Modbus (SMA, Sunspec), Speedwire/Webconnect			
Shade management: SMA ShadeFix (integrated)	●			
Warranty: 5/10 years	● / ● ⁴⁾			
Certificates and permits (more available upon request)	CE, IEC 62109-1/-2, TOR Generator type A, VDE0126-1-1, VDE AR-E-2510-2, C10/11, VDE-AR-N4105			
Country availability of SMA Smart Connected	AT, BE, CH, DE, NL			
Model type number	STP5.0-3SE-40	STP6.0-3SE-40	STP8.0-3SE-40	STP10.0-3SE-40

● Standard features ○ Optional features – Not available Information refers to nominal conditions Provisional data as of Dec. 2021 1) BYD Premium HVS 5.1-10.2, BYD Premium HVM 8.3-22.1; others being planned 2) $U_{PV} < 700\text{ V}$ and $U_{BAT} > 220\text{ V}$ 3) Depending on battery connected 4) When device is registered via the SMA product registration page (sma-service.com). The conditions of the SMA limited factory warranty apply. You can find additional information at SMA-Solar.com

SMA SMART CONNECTED

Integrated service for ease and comfort

SMA Smart Connected* allows you to monitor your inverter via the SMA Sunny Portal for free. If an inverter fails, SMA will proactively inform the PV system owner and the installer. This saves valuable working time and costs.

With SMA Smart Connected, the installer benefits from rapid diagnostics by SMA. This allows the installer to rectify the fault quickly and offer customers a range of additional and highly attractive services.



ACTIVATION OF SMA SMART CONNECTED

During registration of the system in the Sunny Portal, the installer activates SMA Smart Connected and benefits from automatic inverter monitoring by SMA.



AUTOMATIC INVERTER MONITORING

SMA takes on the job of inverter monitoring with SMA Smart Connected. SMA automatically checks the individual inverters for anomalies around the clock during operation. As a result, every customer benefits from SMA's many years of experience.



PROACTIVE COMMUNICATION IN THE EVENT OF FAULTS

After a fault has been diagnosed and analyzed, SMA informs the installer and end customer immediately by e-mail. This ensures that everyone involved is properly prepared for the troubleshooting process. This minimizes downtime and saves time and money. Regular power reports also provide valuable information about the overall system.



REPLACEMENT SERVICE

If a replacement device is necessary, SMA will automatically supply a new inverter within one to three days of the fault being diagnosed. The installer can contact the PV system operator of their own accord and replace the inverter.



PERFORMANCE SERVICE

The PV system operator can claim compensation from SMA if the replacement inverter is not delivered within three days.

* Details: see document "Description of Services - SMA SMART CONNECTED"

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, LEONARDO LUKAVSKI (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROJEKTIRANJE FN ELEKTRANE ZA MAKSIJEFINJENOST I ELEKTR (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

LEONARDO LUKAVSKI
(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, LEONARDO LUKAVSKI (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROJEKTIRANJE FN ELEKTRANE ZA MAKSIJEFINJENOST I ELEKTR (upisati naslov) čiji sam autor/ica. ENERG. NEZAVISNOST POTROŠAČA OD 60kW

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

LEONARDO LUKAVSKI
(vlastoručni potpis)