

# Proračun doprinosa FN elektrane ukupnoj energetskej učinkovitosti Sveučilišnog centra Varaždin

---

Jedvaj, Brankica

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:410062>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-01**

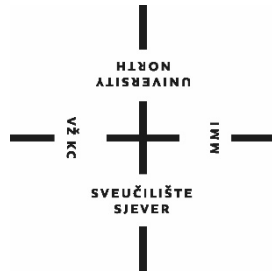


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER  
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



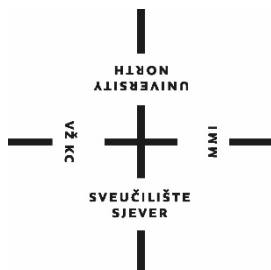
DIPLOMSKI RAD br. 101/GRD/2024

**Proračun doprinosa FN elektrane ukupnoj  
energetskoj učinkovitosti Sveučilišnog centra  
Varaždin**

Brankica Jedvaj

Varaždin, srpanj 2024.

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Graditeljstvo**



DIPLOMSKI RAD br. 101/GRD/2024

**Proračun doprinosa FN elektrane ukupnoj  
energetskoj učinkovitosti Sveučilišnog centra  
Varaždin**

Student:  
Brankica Jedvaj, 1212/336D

Mentor:  
doc., dr. sc. Tomislav Veliki

Varaždin, srpanj 2024.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Brankica Jedvaj

JMBAG 0336010962

DATUM 14.09.2023.

KOLEGIJ Fizika zgrade i energetska učinkovitost

NASLOV RADA Proračun doprinosa FN elektrane ukupnoj energetskej učinkovitosti  
Sveučilišnog centra Varaždin

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Calculation of the contribution of the FN power plant  
to the overall energy efficiency of the Varaždin University Center

MENTOR dr.sc. Tomislav Veliki

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Doc. dr. sc. Željko Kos, predsjednik povjerenstva
2. Doc. dr. sc. Tomislav Veliki, mentor, član
3. Doc. dr. sc. Anđelko Crnoja, član
4. Prof. dr. sc. Božo Soldo, zamjenski član
- 5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 101/GRD/2024

OPIS

U diplomskom radu je potrebno obraditi slijedeća područja:

Opisati namjenu i izračunati potrošnju zgrada Z1, Z2, Z3 iz ISGE-a prema računima za energente. Analizirati do sada provedene mjere energetske učinkovitosti na zgradama s aspekta fizike zgrade. Analizirati potrošnju električne energije zgrade prema u satnom, dnevnom godišnjem razdoblju

U ekperimentalnom dijelu je potrebno:

Proračunati FN elektranu uz pretpostavljeni isti režim korištenja da se pokrije 90% vlastite potrošnje:

- proračunati snagu sunčevih kolektora
- proračunati snagu i broj invertora

Odrediti omjer ušteda provedenih kroz fiziku zgrade s uštedama kroz FN elektranu.

ZADATAK URUČEN

11.07.2024.





## IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički 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, BRANKICA JEDNAJ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom POSREDOVANJE U PROMETU NEKRETNIM DVAJEDNOSTI (UPISATI NASLOV) TE DA U NAVEDENOM RADU NISU NA NEDOZVOLJENI NAČIN (BEZ PRAVILNOG CITIRANJA) KORIŠTENI DIJELOVI TUĐIH RADOVA.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Brankica Jednaj  
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

# **Predgovor**

*Zahvaljujem se svojim roditeljima na podršci i razumijevanju tijekom studiranja.*

*Brankica Jedvaj*

## **Sažetak**

U ovom diplomskom radu upoznat ćemo se sunčevom energijom te pretvorbom u električnu energiju obradit ćemo sve komponente solarnog sustava i načine na koji rade. Prvi dio rada istražuje ulogu Sunčeve energije za život na Zemlji. Detaljno se analizira kako fotonaponske ćelije pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju, uz prikaz razvoja, principa rada, izrade, fotonaponskih modula te opsežan pregled sustava i njegovih dijelova. Prikazujemo fotonaponsku elektranu na zgradama 1, 2 i 3 te njezine karakteristike.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, Sunčeva energija, fotonaponske ćelije, fotonaponski moduli, fotonaponski sustavi, fotonaponska elektrana

## **Abstract**

In this thesis, we will explore solar energy and its conversion into electrical energy, covering all components of the solar system and their functionalities. The first part of the study examines the role of solar energy for life on Earth. It provides a detailed analysis of how photovoltaic cells convert sunlight into electrical energy, including their development, operating principles, manufacturing, photovoltaic modules, and an extensive overview of system components. We showcase a photovoltaic power plant on buildings 1, 2, and 3, along with its characteristics.

Keywords: renewable energy sources, solar energy, photovoltaic cells, photovoltaic modules, photovoltaic systems, photovoltaic power plant.



## Popis korištenih kratica

<b>W/m<sup>2</sup></b>	vat po metru kvadratnom
<b>Wh/m<sup>2</sup></b>	vat sat po metru kvadratnom
<b>SO<sub>2</sub></b>	sumporov dioksid
<b>CO<sub>2</sub></b>	ugljkov dioksid
<b>FN</b>	fotonaponski modul
<b>DC</b>	istosmjerna struja
<b>AC</b>	izmjenična struja

# Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Sunčeva energija.....	2
2.1.	Važnost sunčeve energije.....	5
3.	Fizikalne osnove .....	6
3.1.	Kristali.....	6
3.2.	Poluvodiči .....	6
3.3.	Fotonaponski efekt.....	8
4.	Solarne ćelije .....	9
4.1.	Povijest solarnih ćelija .....	9
4.2.	Princip rada solarne ćelije.....	10
4.3.	Izrada solarnih ćelija .....	16
4.4.	Fotonaponski moduli .....	19
5.	Fotonaponski sustav .....	21
5.1.	Samostalni ili otočni fotonaponski sustavi .....	22
5.2.	Hibridni fotonaponski sustavi.....	24
5.3.	Mrežni sustavi.....	25
5.3.1.	Mrežni sustavi priključeni izravno na mrežu .....	26
5.3.2.	Mrežni sustavi priključeni na javnu mrežu preko kućne instalacije .....	27
5.3.3.	Mrežno spojene sunčeve elektrane.....	28
6.	Fotonaponska elektrana .....	29
6.1.	Sunčane elektrane na zgradama Sveučilišta Sjever .....	30
6.2.	Osnovni podaci o fotonaponskim panelima.....	30
6.3.	Inverter.....	32
6.4.	Montaža fotonaponskih modula na krov.....	36
6.5.	Vizualna procjena nosivosti krovne konstrukcije za fotonaponske sustave .....	37
6.5.1.	Detaljan pregled krovne konstrukcije.....	38
6.5.2.	Izračun opterećenja krova od fotonaponskog modula.....	41
6.5.3.	Primjeri mogućih dodatnih jačanja konstrukcije.....	42
7.	Proračuni.....	44
	.....	46
7.1.	Proračun efikasnosti zaštite od indirektnog dodira.....	48
7.2.	Računanje rizika udara od munje.....	50
8.	Proračun parametara elektrane i analiza profitabilnosti .....	57
	.....	60
8.1.	Procjena troškova gradnje.....	61
9.	Sadašnje stanje obnovljivih izvora .....	63

9.1. Obnovljivi izvori u Europskoj uniji i svijetu .....	63
9.2. Obnovljivi izvori u Republici Hrvatskoj.....	64
10. Zaključak .....	67
11. Literatura .....	68
Popis slika.....	71
Prilozi.....	73

# 1. Uvod

U današnjem svijetu, pitanja okoliša i energetske održivosti postaju sve važnija i aktualnija. Očuvanje planeta Zemlje za buduće generacije zahtijeva promjene u načinu na koji proizvodimo i koristimo energiju. Izvori energije se tradicionalno dijele na dvije glavne kategorije: obnovljive i neobnovljive.

Neobnovljivi izvori energije obuhvaćaju fosilna goriva poput ugljena, nafte, i prirodnog plina, kao i nuklearna goriva. Geotermalna energija također spada među te izvore, budući da potječe iz unutarnje topline Zemlje. Ovi izvori, iako su dugo služili kao glavni izvor energije, imaju značajne negativne utjecaje na okoliš i dugoročno nisu održivi.

S druge strane, obnovljivi izvori energije su darovi prirode koji se mogu iznova obnavljati iz dana u dan. Najvažniji među njima je Sunce, čiji potencijal u iskorištavanju energije ima značajan utjecaj na očuvanje okoliša. S obzirom na sve manju dostupnost fosilnih goriva, njihove visoke cijene i negativne ekološke posljedice koje doprinose klimatskim promjenama, istraživanje i korištenje Sunčeve energije postaje sve ključnije u rješavanju energetske krize.

Ovaj tekst istražuje važnost ispitivanja Sunčeve energije i načina pretvorbe sunčevog zračenja u korisnu energiju. Jedan od glavnih alata u ovom procesu su fotonaponske ćelije koje omogućuju efikasnu apsorpciju Sunčeve energije. Za izradu ovih solarnih ćelija koristi se poluvodički materijal poput kristalnog silicija, koji je trenutno najrasprostranjeniji materijal u ovoj tehnologiji.

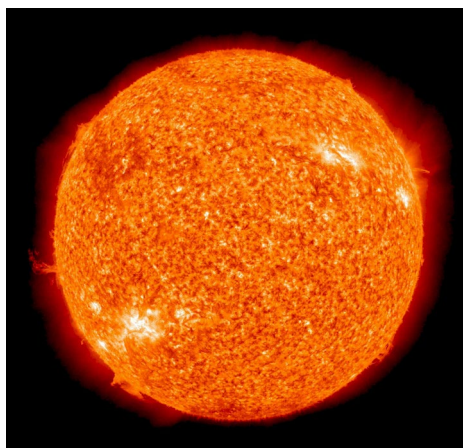
Fotonaponski sustavi, koji se temelje na korištenju Sunčeve energije, donose brojne prednosti, uključujući besplatnu sunčevu energiju, čistu konverziju energije, mogućnost opskrbe energijom u udaljenim područjima, dugotrajnost fotonaponskih modula te minimalne operativne troškove. Međutim, kako bi se maksimalno iskoristila Sunčeva energija, važno je razumjeti dinamiku Sunčevih zraka i njihov kut upada, s obzirom na to da Zemlja rotira oko svoje osi i oko Sunca. Ova rotacija rezultira promjenom kuta pod kojim sunčeve zrake padaju na površinu Zemlje i fotonaponske kolektore.

Hrvatska, s povoljnim geografskim položajem za korištenje Sunčeve energije, koristi ovu resurs za različite namjene. Sunčeva energija se koristi za grijanje vode, proizvodnju električne energije putem fotonaponskih sustava te za proizvodnju toplinske energije. U tekstovima koji slijede, detaljno ćemo istražiti različite aspekte korištenja Sunčeve energije i njene važnosti u postizanju energetske održivosti.

## 2. Sunčeva energija

Prije opuštanja u temu o Sunčevoj energiji potrebno se je upoznati sa Suncem. Najpoznatija definicija Sunca je zvijezda oko koje obilazi Zemlja, središte Sunčevog sustava. Sunce je neiscrpan izvor energije koji održava život, pokreće atmosferu, oblikuje gibanja, vrijeme i klimu.

Nastalo je prije 4,65 milijardi godina akumulacijom međuzvjezdanih tvari, što je rezultiralo rastom temperature. Zagrijavanjem, Sunce je počelo emitirati energiju.



Slika 1. Sunce [1]

Razumijevanje Sunčeve energije i njezine karakteristike važno je prije nego što se dublje zaroni u temu o njezinoj primjeni. Sunce je poznato kao zvijezda koja se nalazi u središtu našeg Sunčevog sustava, oko koje orbitira Zemlja. Ono je izvor energije koji održava život na Zemlji, oblikuje našu atmosferu i utječe na klimatske uvjete.

Sunčeva energija širi se kroz svemir u obliku različitih vrsta elektromagnetskog zračenja, uključujući radiovalove, infracrveno, vidljivo, ultraljubičasto i rendgensko zračenje. Na Zemlju dolazi samo mali dio ove energije, pri čemu se oko 35 % odbija natrag u svemir, oko 18 % apsorbira atmosfera, a oko 47 % apsorbira površina Zemlje.

Zanimljivo je da Sunce oslobađa toliko energije u jednoj sekundi da je veća od ukupne energije koju je čovječanstvo iskoristilo tijekom svoje povijesti.

Ključni pojmovi vezani uz Sunčevo zračenje obuhvaćaju:

- **Ozračenje (iradijacija):** Gustoća energijskog toka Sunčevog zračenja je mjera koliko energije dolazi po jedinici površine okomite na smjer tog zračenja. Jedna od jedinica za

mjerenje je vata po kvadratnom metru ( $W/m^2$ ). Drugim riječima, to nam govori koliko energije dolazi na određenu površinu.

- **Ozračenost (iradijacija):** Ovo je gustoća energijskog toka Sunčevog zračenja koja dolazi na jediničnu površinu tijekom promatranog vremena. Može se nazvati satnom, dnevnom, mjesečnom ili godišnjom sumom zračenja, ovisno o tome koliko vremena promatramo. Jedna od jedinica za mjerenje je vata sat po kvadratnom metru ( $Wh/m^2$ ). To nam daje informaciju o ukupnoj energiji koja je stigla na određenu površinu tijekom određenog razdoblja.

Sunčevo svjetlo gubi snagu dok prolazi kroz atmosferu zbog toga što se dio svjetlosti apsorbira zbog interakcije s plinovima i vodenom parom, dok se drugi dio raspršuje na molekulama plinova i čestica prašine. Svjetlo koje konačno doseže površinu Zemlje može biti podijeljeno na dva tipa: ono što dolazi izravno s Sunca i ono što se preusmjerava ili raspršuje pri putu kroz atmosferu.

Ovisno o upadu zračenja na plohe Zemlje može biti:

- Direktno (izravno, neposredno) Sunčevo zračenje dolazi iz smjera izvora i nije bilo raspršeno ili apsorbirano. Karakterizira ga manja valna duljina, stoga se naziva kratkovalno zračenje.
- Raspršeno (difuzno) Sunčevo zračenje je ono koje se raspršilo u atmosferi na atmosferskim sastojcima te dolazi iz svih smjerova,
- Odbijeno (reflektirano) Sunčevo zračenje je zračenje koje dolazi na površinu nakon što je odbijeno od drugih okolnih površina poput vodenih površina ili tla.



Slika 2. Vrste Sunčevog zračenja [2]

Najveća komponenta sunčevog zračenja je izravna, zato se najveće ozračenje traži na plohi okomitoj na sunčeve zrake. Korištenjem optičke sprave koja se naziva heliostat prati se najveće ozračenje na plohu. Prati gibanje Sunca i Sunčevu svjetlost reflektira na određeno mjesto, najčešće se koristi za proizvodnju električne energije, a u astronomiji služi za promatranje Sunca.

Ekstraterestičko zračenje, koje predstavlja Sunčevo zračenje kad prvi put ulazi u Zemljinu atmosferu, može se opisati kao količina energije koja pada na površinu Zemlje okomito na smjer Sunčevih zraka. Važno je napomenuti da se Zemlja ne kreće u savršenom krugu oko Sunca, već u eliptičnoj putanji. To znači da se razdaljina između Zemlje i Sunca mijenja tijekom godine. Najmanja udaljenost iznosi oko  $1307 \text{ W/m}^2$ , dok je najveća udaljenost oko  $1399 \text{ W/m}^2$ .

Za srednju udaljenost Zemlje od Sunca, poznatu kao Sunčeva (solarna) konstanta, vrijednost iznosi otprilike  $1367 \text{ W/m}^2$ . To je važna referentna vrijednost za količinu Sunčeve energije koja dolazi do Zemljine površine kad je Zemlja na prosječnoj udaljenosti od Sunca.

Kako Sunčeva svjetlost prolazi kroz prazan svemir, njegova spektralna karakteristika, odnosno boje i vrste svjetla, ostaju nepromijenjene. Međutim, gustoća energijskog toka svjetlosti smanjuje se s kvadratom udaljenosti od izvora svjetlosti. Drugim riječima, što je Zemlja dalje od Sunca na svojoj eliptičnoj putanji, to će Sunčevo zračenje biti slabije kad dosegne našu planetu.

Ovaj fenomen naglašava kako razdaljina između Zemlje i Sunca, s Sunčevom konstantom, utječe na količinu Sunčeve energije koja dolazi do nas na Zemlji. Prolaskom kroz zrakoprazan prostor, spektralna karakteristika zračenja se ne mijenja, ali se gustoća snage zračenja smanjuje s kvadratom udaljenosti od izvora zračenja prema izrazu:

$$E_0 = E_S \left( \frac{R_S}{D} \right)^2$$

Gustoća snage na površini Sunca ( $E_S$ ) određena je Stefan-Boltzmannovim zakonom za zračenje crnog tijela, koji izražava da je gustoća snage proporcionalna četvrtoj potenciji temperature tijela.

Za prosječnu mjesečnu ili godišnju energiju Sunčevog zračenja u nekom mjesecu koristi se aritmetička sredina dnevnih energija za sve dane u promatranom razdoblju. Prilikom prolaska kroz

atmosferu dolazi do gubitka energije izravnog Sunčevog zračenja, što ovisi o atmosferskim uvjetima, zagađenosti atmosfere i nadmorskoj visini.

Maksimalni dotok energije koji dopire do Zemljine površine iznosi u prosjeku  $920 \text{ W/m}^2$  dnevno na površinu okomitu na smjer zračenja. Međutim, zbog rotacije Zemlje i raspodjele energije po površini, samo oko  $230 \text{ W/m}^2$  dopire do same površine Zemlje. [3]

Osnovni principi iskorištavanja energije Sunca:

- solarni kolektori - priprema vruće vode i zagrijavanje prostora
- fotonaponske ćelije - direktna pretvorba sunčeve energije u električnu energiju
- solarne TE elektrane – fokusiranje energije zračenja ili optimiranje

## 2.1. Važnost sunčeve energije

Nafta, ugljen, plin i nuklearna goriva su ograničeni i temeljito istraženi izvori energije. Energetski sektor je odgovoran za većinu emisija stakleničkih plinova, kao što su sumporov dioksid ( $\text{SO}_2$ ) i ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ), koji doprinose globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama.

Stoga je nužno preusmjeriti se prema obnovljivim izvorima energije poput sunčeve energije, energije vjetra, geotermalne energije, biomase, energije plime i oseke, kako bismo smanjili štetne emisije. Solarna energija je ključni igrač među obnovljivim izvorima energije. Ona posluhuje kao pokretač za druge izvore energije, poput vjetra, valova, hidroenergije i biomase. Isto tako, geotermalna energija i energija plime i oseke ne ovise o sunčevom zračenju.

No, izazov je kako koristiti solarnu energiju kada nema sunca, kao što je noću ili tijekom oblačnih dana. Ovdje dolaze u igru sustavi za pohranu energije. Oni omogućuju prikupljanje viška energije kada je dostupna, a zatim je pohranjuju za kasniju upotrebu. Energiju možemo pohraniti na različite načine, uključujući pretvaranje u toplinsku energiju, upotrebu baterija, akumulatora ili s pomoću sustava pumpanja vode. Na primjer, voda se može podizati na višu razinu kada ima višak energije i puštati nizbrdo kako bi se generirala električna energija kada solarna energija nije dostupna.

Ovim se pristupima omogućuje kontinuirana dostupnost energije bez obzira na varijacije u solarnom zračenju i pridonosi održivom razvoju i zaštiti okoliša.



## 3. Fizikalne osnove

### 3.1. Kristali

Čvrsta tijela koja su sastavljena od atoma, iona ili molekula raspoređenih u kristalnu rešetku. Kod promjene strukture kristalne rešetke kristala utjecat će se na svojstva kristala, mehanička, toplinska, električna i magnetska. Materijali važni za izradu fotonaponskih solarnih ćelija dolaze u obliku monokristala, polikristala ili kao amorfne tvari. Monokristalna ćelija je kada se aktivni obujam sadrži od samo jednog kristala, a ako se sastoji od dva ili više kristala tada se naziva polikristalna ili multikristalni.

Za izradu solarnih ćelija koriste se poluvodljivi materijali poput kristalnog silicija, koji je najzastupljeniji materijal pri izradi solarnih ćelija. Poluvodiči, kao što je silicij, su materijali koji mogu provoditi električnu struju, ali ne toliko dobro kao čisti vodiči i bolje nego izolatori.

### 3.2. Poluvodiči

Postoje dvije osnovne kategorije poluvodiča: čisti poluvodiči i poluvodiči s dodatkom primjesa. Dodavanjem primjesa čistim poluvodičima, dobivamo p-tip i n-tip poluvodiče. Svršishodnost ovog dodavanja je različita za ova dva tipa: dodavanje primjesa n-tip poluvodiču ima za cilj stvaranje većeg broja slobodnih elektrona ili nositelja

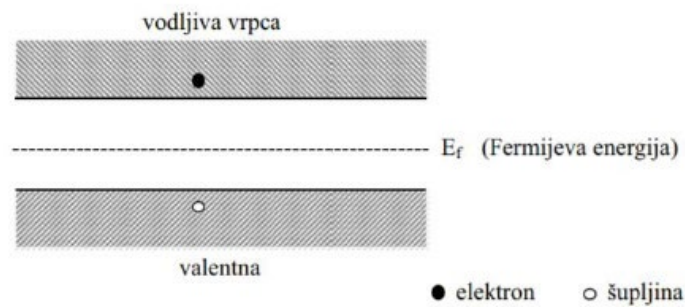
naboja u materijalu, dok je svrha dodavanja primjesa p-tip poluvodiču stvaranje mnoštva šupljina.

Poluvodička dioda, poznata kao pn-spoj, predstavlja osnovnu komponentu solarnih ćelija. Ova dioda nastaje povezivanjem dvaju tipova poluvodiča: p-tipa i n-tipa. Proces se ostvaruje dodavanjem primjesa, tj. akceptora, u jedan dio kristalne rešetke čistog poluvodiča kako bi se stvorio p-tip, dok se donori dodaju u drugi dio kristalne rešetke kako bi se stvorio n-tip poluvodiča.

U takvoj diodi, p-tip poluvodič služi kao anoda, dok n-tip poluvodič služi kao katoda. Ključno je napomenuti da je u ravnotežnom stanju broj elektrona u vodljivoj vrpci jednak broju šupljina u valentnoj vrpci. Ova dva segmenta poluvodiča razdvojena su Fermijevom energetska razinom, poznatom kao  $E_F$ .

Drugim riječima, poluvodička dioda se stvara povezivanjem različitih tipova poluvodiča kako bi se stvorio električni spoj s posebnim svojstvima. Ovaj spoj omogućuje kontroliranu struju elektrona i šupljina, što je ključno za funkcioniranje solarnih ćelija i pretvaranje svjetlosne energije

u električnu energiju.



Slika 3. Energetski dijagram poluvodiča [4]

Jedno od bitnijih svojstava poluvodičke diode je njeno ispravljačko djelovanje, što znači da propušta struju u jednom smjeru, a u drugom ne. Kada se na pn-spoju priključi izvor vanjskog napona u propusnom smjeru, tako da je pozitivan pol na p-strani, a negativan na n-strani, struja elektrona teče iz n-područja prema p-području, dok šupljine teku iz p-područja prema n-području. Vezu između vanjskog napona  $U$  i jakosti struje  $I_d$  kroz pn-spoj, nazvane strujno-naponske karakteristike diode, prikazujemo jednačinom:

$$I_d = I_z \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right)$$

gdje je:

$I_d$  – struja diode (jakost struje kroz pn-spoj)

$I_z$  – struja zasićenja

$e$  – elementarni naboj ( $1.602176462 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ )

$U$  – električni napon

$k$  – Boltzmannova konstant ( $1.3805 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ )

$T$  – termodinamička temperatura [5]

### **3.3. Fotonaponski efekt**

Godine 1839., Edmond Becquerel otkrio je pojavu nazvanu fotonaponski efekt. Ova pojava događa se kada svjetlost udari u poluvodički materijal i rezultira stvaranjem napona ili istosmjerne električne struje. Becquerel je proveo eksperiment u kojem je potopio dvije ploče, od platine ili zlata, u različite kiseline ili lužnate otopine, a zatim ih izložio svjetlu. Kada je spojio elektrode na tim pločama, generirao je električni napon i struju.

I ako je Becquerel otkrio ovaj fenomen, tek je 1883. godine njemački izumitelj Charles Fritts izradio prvu solarnu ćeliju koja se temeljila na fotonaponskom efektu.

Važno je napomenuti da fotonaponski efekt nije isto što i fotoelektrični efekt, iako su oba povezana sa svjetlošću. U fotoelektričnom efektu, elektroni se oslobađaju s površine metala nakon izlaganja intenzivnoj sunčevoj svjetlosti. No, kod fotonaponskog efekta, elektroni se oslobađaju između molekula različitih materijala kad ih osvjetli svjetlost. To stvara napetost između dviju elektroda i rezultira generiranjem električne energije.

## 4. Solarne ćelije

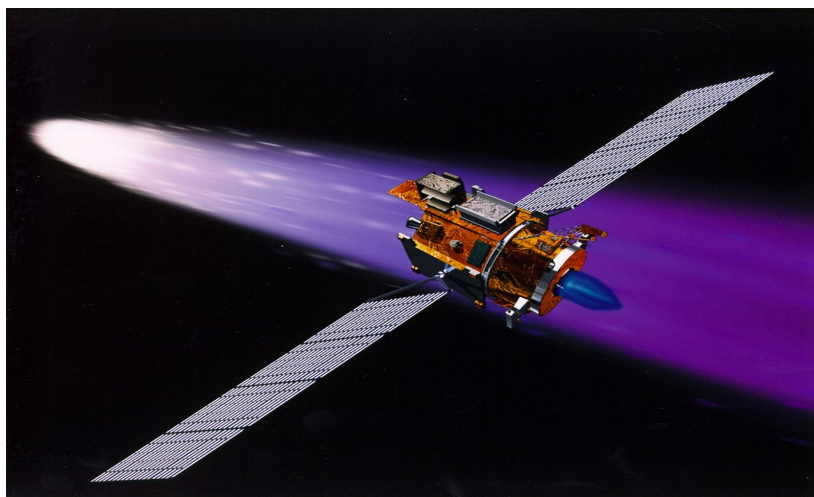
### 4.1. Povijest solarnih ćelija

Razvoj fotonaponskih ćelija započeo je 1839. godine kada je francuski fizičar Edmond Becquerel počeo istraživati ovu tehnologiju. Becquerel je prvi primijenio fotonaponski efekt, na kojem se temelji rad solarnih ćelija. Prva solarna ćelija je stvorena 1883. godine, a izradio ju je Charles Fritts. Ova ćelija koristila je selen kao poluvodič s tankim slojem zlata. Međutim, učinkovitost tih prvih solarnih ćelija bila je manja od 1 % .

Prva silicijska solarna ćelija otkrivena je 1941. godine od strane Russella Ohla, a trinaest godina kasnije, trojica američkih istraživača - Fuller, Pearson i Chapin, predstavili su silicijsku solarnu ćeliju koja je imala učinkovitost od 6% u pretvaranju energije iz direktnih sunčevih zraka .

U početku su proizvodni troškovi solarnih ćelija bili visoki, pa su se primjenjivali uglavnom u opskrbi električnom energijom satelita u orbiti oko Zemlje. Prvi satelit sa solarnim panelima nazvao se Vanguard 1, lansiran 17. ožujka 1958. godine i još uvijek kruži oko Zemlje. Iako je prvobitno bio opremljen samo baterijama, dodane su solarne ćelije na trup kako bi se produljio vijek trajanja misije.

Solarne ćelije su ubrzo pronašle veliku primjenu u svemirskim istraživanjima ( slika 4. )



Slika 4. Svemirska letjelica opremljena solarnim panelima [6]

Naftna kriza 1970-ih potaknula je ulaganja u tehnologije fotonaponskih ćelija kao alternativu zbog rastućih cijena nafte. Solarni paneli su postali popularni za opskrbu električnom energijom

na udaljenim lokacijama koje nisu bile povezane s električnom mrežom. Osim toga, počeli su se koristiti u bežičnim uređajima, telekomunikaciji, kalkulatorima, satovima, radio uređajima, svjetiljkama i drugim uređajima s malim baterijama. Predviđa se da će fotonaponska tehnologija dominirati u 21. stoljeću za zadovoljenje energetske potrebe. Također, nova područja primjene fotonaponskih sustava otvaraju se u građevinarstvu, gdje solarni paneli mogu zamijeniti tradicionalne krovove i fasade, poboljšavajući energetske učinkovitost i proizvodeći električnu energiju.

U prva dva mjeseca 2022. godine solarna industrija ostvarila je 36% rast u odnosu na 2021. godinu. Europski kapacitet za obnovljive izvore energije povećavat će se i tijekom 2023. godine zbog „Europske solarne inicijative“.

## 4.2. Princip rada solarne ćelije

Fotonaponska ćelija radi na principu fotonaponskog efekta, koji je osnova za pretvaranje sunčeve energije u električnu energiju. Po strukturi, fotonaponska ćelija je zapravo pn-spoj. Kada sunčeva svjetlost pogodi solarnu ćeliju, dolazi do fotonaponskog efekta, što rezultira pojavom elektronske napetosti na krajevima ćelije. Ako se na izlazu ćelije spoji potrošač, kroz njega će teći električna struja i dobit će se električna energija.

Kada se prati emisija i apsorpcija sunčevog zračenja, zračenje se može promatrati kao snop čestica, a te čestice nazivamo fotonima. Fotoni su čestice koje se kreću brzinom svjetlosti i nemaju masu. Za izračun fotostruje koja nastaje u solarnoj ćeliji, potrebno je poznavati tok fotona koji ulaze u ćeliju.

Energija pojedinog fotona može se izračunati pomoću Einsteinove jednadžbe:

$$E = h\nu = h \frac{c_0}{\lambda}$$

gdje je:

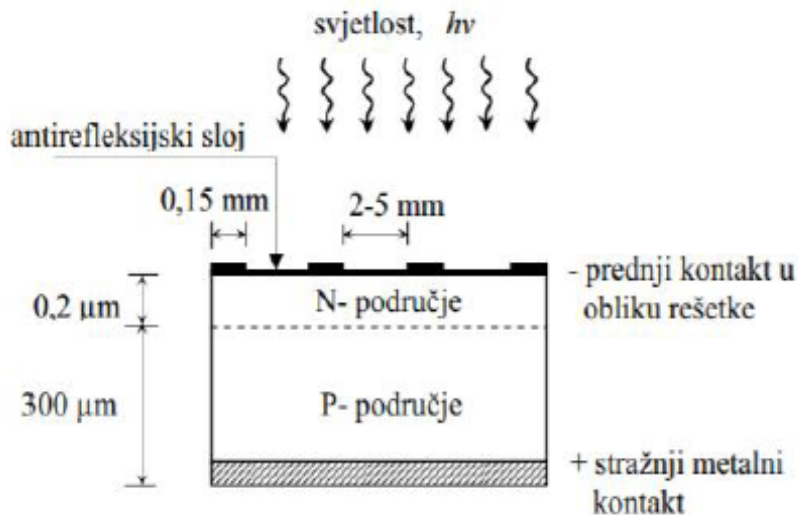
$h$  - Planckova konstanta (  $6.626 \cdot 10^{-34}$  Js )

$\nu$  – frekvencija fotona ( 1/s )

$c_0$  – brzina svjetlosti koja  $3 \cdot 10^8$  m/s

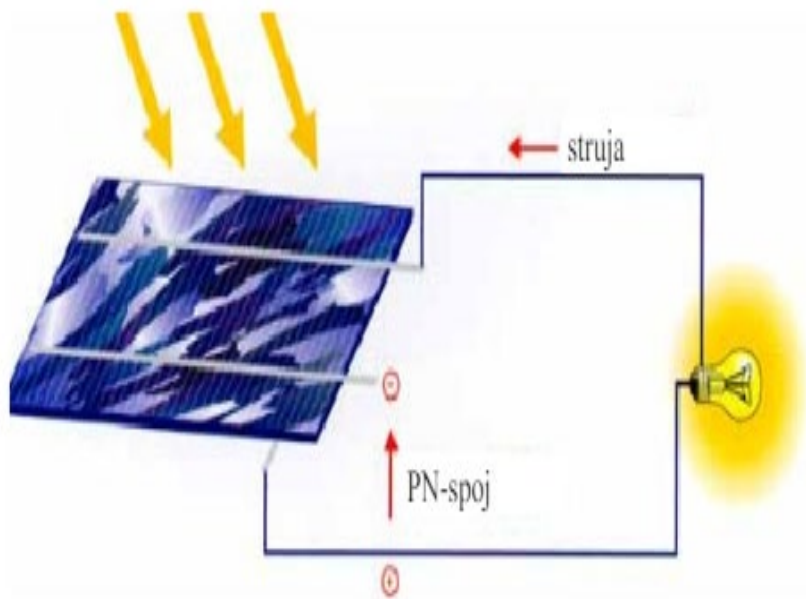
$\lambda$  – valna duljina,  $\mu\text{m}$

Silicijska solarna ćelija apsorbira sunčevo zračenje koristeći fotonaponski efekt prikazano na slici 5. Na prednjoj površini pločice nalazi se tanki sloj p-tipa poluvodiča s difuziranom primjesom, dok je na tankom sloju n-tipa na stražnjoj strani. Metalna rešetka na prednjoj strani, koja ne prekriva više od 5% površine, omogućava prikupljanje generiranih elektrona i šupljina. Stražnja strana solarnih ćelija je prekrivena metalnim kontaktom radi učinkovitog prikupljanja struje.



Slika 5. Silicijska solarna ćelija [5]

Kada se pn-spoj solarnih ćelija osvjetli, apsorbirani fotoni potiču generiranje elektron-šupljinskih parova unutar poluvodiča. Elektroni se kreću prema n-području, dok šupljine putuju prema p-području zbog razlike u električnom potencijalu. Ovaj proces stvara elektromotornu silu između p-tipa i n-tipa poluvodiča. Na p-strani kontakta solarnih ćelija postaje pozitivan, dok na n-strani postaje negativan nakon osvjetljenja, omogućujući protok električne struje kroz spoj.

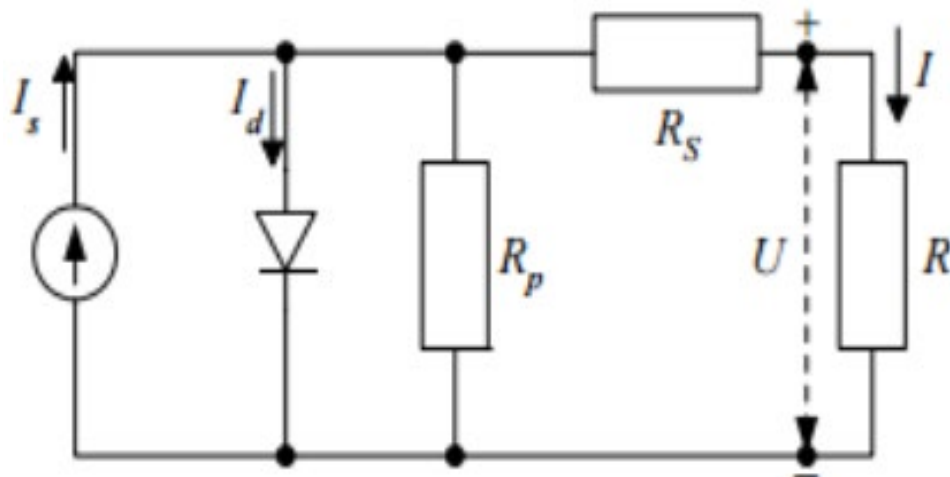


Slika 6. Prikaz solarne ćelije kao izvor električne energije [5]

Između metalne rešetke na prednjoj strani i metalnog kontakta na stražnjoj strani pločice solarnih ćelija se stvara spoj. Ovaj spoj omogućuje stvaranje elektromotorne sile kada se apsorbira sunčeva svjetlost. Zbog svojstava poluvodičke diode, solarna ćelija propušta struju samo u jednom smjeru, što omogućuje proizvodnju istosmjernog napona od 0,5 V do 0,7 V. Gustoća struje solarnih ćelija kreće se u rasponu nekoliko desetaka mA/cm<sup>2</sup>.

Za povećanje napona solarnih ćelija, one se mogu spojiti u seriju, pri čemu struja ostaje ista. Ako je potrebno povećati jakost struje, solarni moduli se spajaju paralelno, što zadržava napon na istoj razini. Idealna situacija je kada je solarna ćelija u električnom krugu s izvorom struje i paralelno spojenom diodom.

U stvarnim primjenama, osim osnovnog spoja, solarni moduli često uključuju dodatne komponente poput otpornika koji mogu biti spojeni u seriju ili paralelno kako bi se prilagodila i optimizirala električna karakteristika sustava.



Slika 7. Realan slučaj električne sheme fotonaponske ćelije [7]

Struja  $I_D$  protječe kroz fotonaponsku ćeliju kada ćelija nije osvijetljena, dana je jednačbom:

$$I_D = I_0 \cdot \left( e^{\frac{q \cdot U}{m k T}} - 1 \right)$$

gdje je:

$I_D$  – struja diode

$I_0$  – struja zasićenja

$q$  – naboj elektrona

$m$  – parametar fotonaposnke ćelije ( $m=1$ )

$k$  – Boltzmanova konstanta ( $k= 1.3806 \cdot 10^{-23}$  J/K)

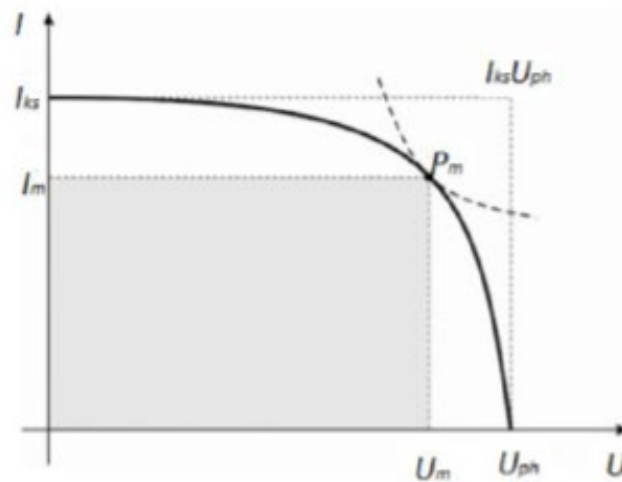
$T$  – apsolutna temperatura izražena u kelvinima

Parovi nosilaca naboja stvaraju se osvijetljenjem fotonaponske ćelije oni razdvajaju električno polje u osiromašenom području. Kao posljedica toga nastaje fotostruja koja se označava s  $I_s$ , te se sama osvijetljena fotonaponska ćelija ponaša kao izvor struje. Ako je trošilo koje se označava s  $R$  spojeno u izlaznom krugu, struju fotonaponske ćelije kroz trošilo dok je osvijetljena dobivamo jednačbom:

$$I = I_s - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q \cdot U}{m k T}} - 1 \right)$$



Odnos osnovnih parametara strujno naponske fotonaponske ćelije prikazan je na slici 8.



Slika 8. U-I karakteristike fotonaponske ćelije [8]

Karakteristični parametri fotonaponske ćelije su:

$I_{ks}$  – struja kratkog spoja

$U_{ph}$  – napon praznog hoda

$P_m$  – točka maksimalne snage

Maksimalna snaga fotonaponske ćelije odgovara najvećoj površini pravokutnika koji se može upisati u U-I karakteristiku. U točki maksimalne snage, struja je  $I_m$ , a napon je  $U_m$ . Struju kratkog spoja možemo izračunati u uvjetu kada je  $U=0$ , što se uvrštava u o jednadžbu:

$$I = I_S - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q \cdot U}{m k T}} - 1 \right)$$

dobivamo:

$$I_{ks} = I_S$$

Nakon praznog hoda dobivamo uvrštavanjem uvjeta  $I=0$  u jednadžbu, te dobivamo:

$$U_{ph} = \frac{mkT}{q} \ln \left( \frac{I_S}{I_0} + 1 \right)$$

Napon praznog hoda ovisi o iznosu struje  $I_S$  i o struji zasićenja diode  $I_0$ .

Karakterističan otpor  $R_k$  definiran je kao omjer nagona praznog hoda i struje kratkog spoja:

$$R_k = \frac{U_{ph}}{I_{ks}}$$

Snaga fotonaponske ćelije jednaka je:

$$P = U \cdot I = U \cdot \left[ I_S - I_0 \cdot \left( e^{\frac{qU}{mkT}} - 1 \right) - \frac{U}{R_p} \right]$$

Maksimalna snaga fotonaponske ćelije je:

$$P_m = U_m \cdot I_m = U_{ph} \cdot I_{ks} \cdot FF$$

FF predstavlja faktor punjenja, koji je omjer površine pravokutnika čije su stranice  $U_m$  i  $I_m$  i pravokutnika čije su stranice  $U_{ph}$  i  $I_{ks}$ . Vrijednost faktora punjenja odražava koliko se stvarna ćelija približava idealnoj, tj. koliki je utjecaj serijskog i paralelnog otpora same ćelije. Uobičajeno je da vrijednost faktora punjenja iznosi oko 0,7 do 0,9 te opada linearno s odnosom.

Faktor punjenja je važan pokazatelj učinkovitosti fotonaponskih ćelija jer govori o tome koliko se električna energija generirana u ćeliji može efikasno prenijeti iz ćelije u vanjski krug, uzimajući u obzir gubitke zbog otpora unutar same ćelije.

$$\frac{R_s}{R_k} \text{ i } \frac{R_k}{R_p}$$

Korisnost fotonaponske ćelije označava se s  $\eta$  i definira se kao omjer između maksimalne snage  $P_m$ , koju ćelija može dati, i snage sunčeva zračenja  $P_u$  koja upada na ćeliju:

$$\eta = \frac{P_m}{P_u} = \frac{P_m}{E \cdot A} = \frac{U_m \cdot I_m}{E \cdot A}$$

gdje je:

$E$  – ozračenje površine

$A$  – površina fotonaponske ćelije

Ako u izraz uvrstimo izraz za maksimalnu snagu dobiva se:

$$\eta = FF \cdot \frac{U_{ph} \cdot I_{ks}}{E \cdot A}$$

Faktor punjenja bliži jedinici i veći iznos struje kratkog spoja doprinose većoj učinkovitosti fotonaponske ćelije. Najveća učinkovitost postiže se kada se fotonaponska ćelija koristi na točki maksimalne snage, što podrazumijeva optimalno prilagođavanje između ćelije i vanjskog opterećenja pri određenom ozračenju i temperaturi. Korisnost fotonaponske ćelije može varirati od nekoliko postotaka do maksimalno 40 %, dok se preostala energija pretvara u toplinu, zagrijavajući ćeliju. Porastom temperature solarnih ćelija smanjuje se njihova korisnost.

### 4.3. Izrada solarnih ćelija

Osnovni tipovi materijala koji se koriste za izradu fotonaponskih ćelija uključuju silicij. Postoje dva glavna tipa silicija koji se koriste: monokristalni silicij i polikristalni silicij.

Monokristalni silicij ima bolje performanse u smislu efikasnosti pretvaranja sunčeve energije u električnu energiju, ali je skuplji za proizvodnju. Nedostatak monokristalnog silicija je da zahtijeva relativno veliku debljinu aktivnog sloja kako bi se maksimalno iskoristila energija sunčevog zračenja.

Polikristalni silicij je jeftiniji za proizvodnju, ali ima nešto nižu efikasnost u usporedbi s monokristalnim silicijem. Većina solarnih ćelija danas je izrađena od polikristalnog silicija koji se tiska na ploči. Ove solarni ćelije se mogu naći na tržištu u različitim bojama i dimenzijama, što omogućava fleksibilnost u dizajnu i integraciji u različite okoline.

Prva generacija fotonaponskih ćelija relativno je jeftina za proizvodnju, ali ima nisku učinkovitost. Druga generacija također ima nižu učinkovitost, ali je jeftinija za proizvodnju u usporedbi s prvom generacijom. Treća generacija fotonaponskih ćelija koristi napredne tehnologije tankih filmova.

Kristalni silicij se uglavnom dobiva procesom u kojem se visoko čisti rastaljeni silicij ubacuje u kristalnu jezgru. Nakon što se silicij kristalizira na jezgri, šipke se proizvode rotiranjem jezgre i polaganim izvlačenjem, nakon čega se šipke režu na tanke pločice debljine od nekoliko nanometara do desetak mikrometara. Te pločice se slažu na podlogu od stakla, nehrđajućeg čelika ili plastike u iznimno tanke slojeve.

Pločice su obično slabo dopirani poluvodič tipa p, a proces izrade solarne ćelije uključuje površinsku difuziju dopanata kako bi se stvorio pn spoj. Sljedeći korak je nanošenje antirefleksijske prevlake kako bi se povećala količina iskorištene svjetlosti u ćeliji. Često korišten materijal za antirefleksijsku prevlaku je silicij nitrid, koji sprječava rekombinaciju nosilaca naboja na površini solarne ćelije.

Nakon toga se na cijeloj stražnjoj strani dodaje običan metalni kontakt. Stražnji kontakt se aplicira tiskanjem metalne paste na površinu, obično aluminijske. Pasta se zagrijava na visoke temperature (nekoliko stotina stupnjeva Celzijusa) kako bi se formirali metalni elektrodi u električnom kontaktu sa silicijem. Nakon izrade metalnog kontakta, solarne ćelije se međusobno spajaju u seriju ili paralelu i ugrađuju u module.

Ovaj proces omogućuje proizvodnju efikasnih fotonaponskih ćelija koje se koriste za pretvaranje sunčeve energije u električnu energiju u različitim aplikacijama.



Slika 10. Prikaz proizvodnje ćelija, solarnih panela i montaža [5]

Mogući negativni utjecaj na okoliš izazvao je dosta veliku zabrinutost jer proces proizvodnje koristi neke otrovne metale poput olova, žive i kadmija, korištenje tih sredstava dolazi do proizvodnje ugljikovog dioksida koji je jedan od stakleničkih plinova. Provedene studije su pokazale da postupak proizvodnje solarnih ćelija proizvodi manje onečišćenja zraka u usporedbi s tradicionalnim tehnologijama koje koriste fosilna goriva. Ovaj proces također rezultira manjom emisijom štetnih plinova. Izrada solarnih ćelija je skup i složen proces koji se poboljšava kroz godine. Kako se poboljšavaju karakteristike solarnih ćelija, tako i cijene polako padaju.

Ove promjene u tehnologiji solarnih ćelija pokazuju se kao ključne za smanjenje ekološkog otiska i prijelaz prema održivijim energetske rješenjima. S kontinuiranim napretkom u tehnologiji, očekuje se daljnje smanjenje troškova i poboljšanje učinkovitosti fotonaponskih sustava, što doprinosi globalnim naporima u borbi protiv klimatskih promjena.

Pojednostavljenjem izrade ćelija i korištenjem nekih jeftinijih materijala njihova proizvodnja

je sve isplativija.

Koncentrirajuće solarne ćelije su napredne tehnologije koje koriste optičke sustave kako bi usmjerile i koncentrirale sunčevu energiju na male fotovoltaične ćelije. Ove ćelije omogućuju solarnim sustavima da prate putanju Sunca tijekom dana, što povećava efikasnost pretvaranja sunčeve energije u električnu.

Stupanj efikasnosti koncentrirajućih solarinih ćelija je oko 35 %, što znači da mogu pretvoriti otprilike 35 % sunčeve energije u električnu energiju. Kada se te ćelije uključe u module zajedno s drugim komponentama, ukupni stupanj efikasnosti modula iznosi oko 25 %. Ovaj postotak obuhvaća gubitke koji mogu nastati tijekom pretvorbe ili transporta električne energije unutar solarnog sustava.

Ova tehnologija pruža visoku učinkovitost, osobito u područjima s obiljem sunčeve svjetlosti, što je ključno za povećanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.

#### **4.4. Fotonaponski moduli**

Fotonaponski moduli sastoje se od nekoliko ključnih komponenata koje zajedno omogućavaju pretvaranje sunčeve energije u električnu energiju. Sastoje se od više spojenih ćelija koje su postavljene u kućište koje je otporno na vlagu i vremenske utjecaje. Jedna fotonaponska ćelija može proizvesti napon od 0,5 V. Fotonaponski moduli obično se sastoje od 36 takvih ćelija spojenih zajedno, što rezultira izlaznim naponom od 12 V.

Kada se fotonaponske ćelije spajaju paralelno, ukupna struja se povećava, dok se spajanjem serijski povećava iznos napona. Moduli se mogu spajati prema željenim vrijednostima istosmjernog napona i struje, koristeći serijsko, paralelno ili kombinirano spajanje.

Polje fotonaponskih ploča nastaje kada se više solarnih modula ili panela poveže zajedno. Ova polja čine osnovu solarnih fotonaponskih elektrana koje proizvode električnu energiju iz sunčeve svjetlosti. Na slici 11. prikazano je polje fotonaponskih ploča.



Slika 11. Fotonaponske ploče [9]

## 5. Fotonaponski sustav

Solarni sustav može opskrbljivati električnom energijom istosmjerna (DC) i izmjenična (AC) trošila, ovisno o tome ima li uključen dodatni pretvarač napona. U slučaju da solarni sustav nema pretvarač, može napajati samo istosmjerna trošila. Međutim, ako je sustav opremljen pretvaračem, može napajati i izmjenična trošila.

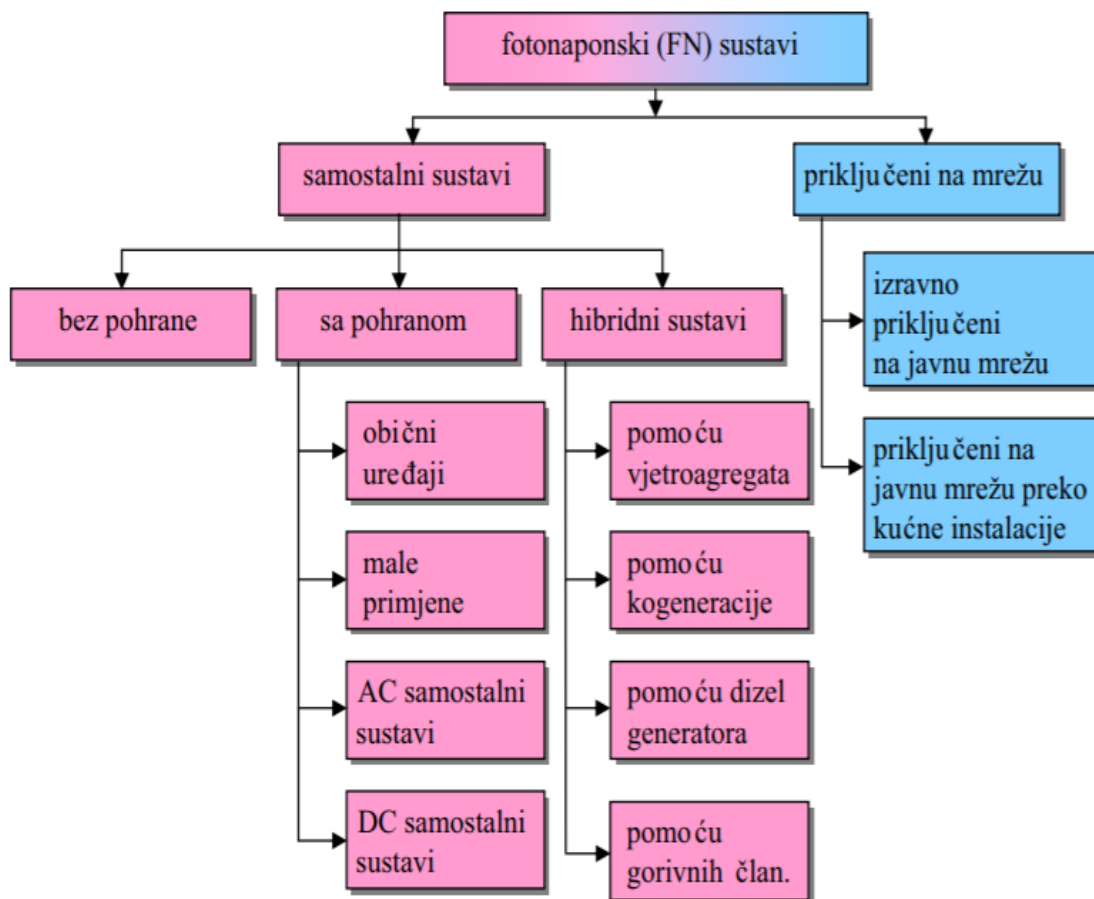
Fotonaponski sustavi se, prema načinu rada, mogu podijeliti u dvije glavne skupine:

1. Samostalni sustavi (eng. off-grid): Ovi sustavi nisu povezani s javnom elektroenergetskom mrežom. Proizvedena električna energija se skladišti na licu mjesta, obično u baterije ili akumulatorne. Ova energija se zatim koristi za napajanje trošila kad sunčeva energija nije dostupna, kao noću ili u oblačnim danima.

2. Mrežni sustavi (eng. on-grid): Ovi sustavi su povezani s javnom elektroenergetskom mrežom. U mrežnim sustavima nema potrebe za baterijama ili akumulatorima jer se višak proizvedene električne energije može predati u elektroenergetski sustav. Ovi sustavi mogu često koristiti i pretvarače kako bi se generirana istosmjerna energija pretvorila u izmjeničnu energiju kompatibilnu s mrežom.

Različiti načini rada omogućuju solarnim sustavima da se prilagode specifičnim potrebama korisnika ili uvjetima okoline, pružajući ekonomičan i ekološki prihvatljiv izvor električne energije.





Slika 12. Detaljnije o podjeli fotonaponskih sustava [5]

Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu mogu biti podijeljeni na one s pohranom energije i one bez pohrane. Ovisno o specifičnoj primjeni i načinu potrošnje energije, ovi sustavi mogu biti hibridni i koristiti dodatne izvore poput vjetroagregata, kogeneracije, dizelskih generatora ili gorivnih članaka.

S druge strane, fotonaponski sustavi koji su priključeni na mrežu mogu biti direktno spojeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili mogu biti spojeni preko kućne instalacije na mrežu.

Ova različita konfiguracija omogućuje fotonaponskim sustavima da se prilagode različitim potrebama i uvjetima korištenja, što doprinosi fleksibilnosti i učinkovitosti njihove upotrebe u proizvodnji električne energije iz sunčeve svjetlosti.

## 5.1. Samostalni ili otočni fotonaponski sustavi

Samostalni fotonaponski sustavi, poznati i kao otočni fotonaponski sustavi, koriste solarnu energiju za proizvodnju električne energije i nisu povezani s centralnom električnom mrežom.

Nazivaju se "otočni" jer su neovisni i samostalni, poput otoka, te ne zahtijevaju povezanost s električnom mrežom.

Ovi sustavi obavezno uključuju akumulator (bateriju) kao spremnik električne energije. Također je potreban regulator koji kontrolira punjenje i pražnjenje baterije. Dodavanjem pretvarača takvim samostalnim sustavima omogućuje se zadovoljenje potreba mrežnih potrošača koji zahtijevaju izmjenični napon, kao što su perilice rublja, hladnjaci, televizori, mali kućanski aparati i druga električna trošila.

Komponente samostalnog fotonaponskog sustava:

- fotonaponski modul
- regulator punjenja
- akumulator
- trošila
- izmjenjivač



Slika 13. Samostalni fotonaponski sustav [10]

U solarnoj ćeliji se odvija proces pretvorbe svjetlosne energije iz sunčevih zraka u električnu energiju. Ova pretvorba se događa zahvaljujući fotovoltaičkom efektu, gdje foton (kvant svjetlosti)

pogodi poluvodički materijal solarnog članka, što rezultira oslobađanjem elektrona i stvaranjem električnog napona.

S druge strane, u akumulatoru se odvija povratni (reverzibilni) elektrokemijski proces pretvorbe. To znači da se tijekom punjenja akumulatora kemijska energija pretvara u električnu energiju, dok se tijekom pražnjenja električna energija iz akumulatora pretvara natrag u kemijsku energiju.

Električna energija koja se dobije iz solarnih ćelija ili iz akumulatora može se dalje koristiti u različitim trošilima. Ovisno o vrsti trošila, električna energija se može pretvoriti u toplinsku (npr. električni grijači), mehaničku (npr. motori), ili svjetlosnu energiju (npr. svjetiljke). Ove konverzije energije definirane su snagom (izraženom u vatima), naponom (izraženim u voltima), i strujom (izraženom u amperima)

Prednost samostalnih fotonaponskih sustava je mogućnost skladištenja električne energije u akumulatoru koja se može koristiti u bilo kojem trenutku. S takvim sustavima povećava se sigurnost, energetska ovisnost i nema troškova.

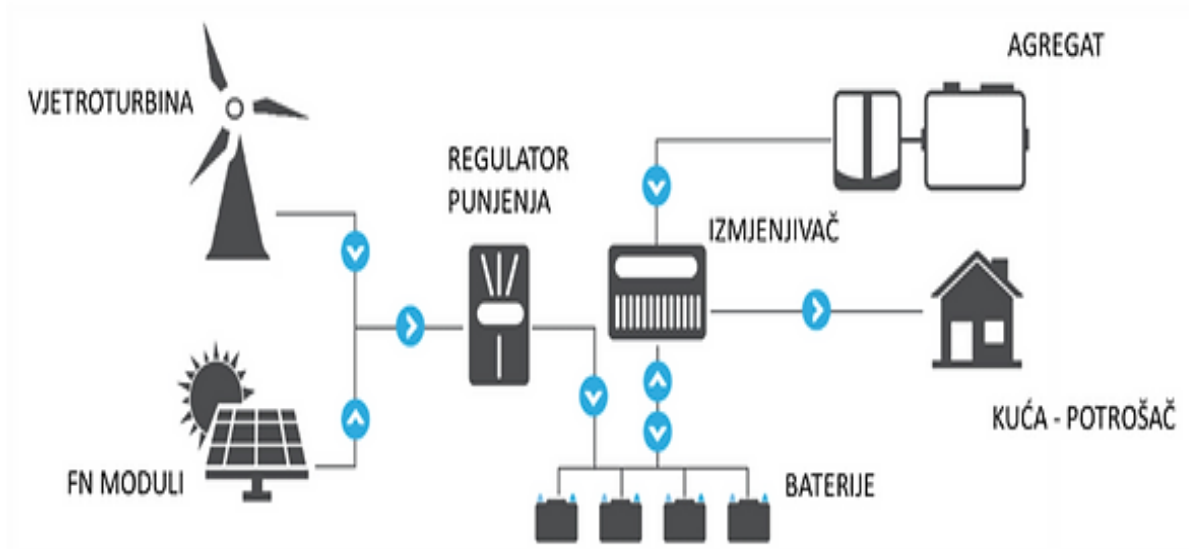
Nedostatak samostalnih fotonaponskih sustava je njihova osjetljivost na promjene godišnjih doba, što može rezultirati varijacijama u proizvodnji električne energije ovisno o intenzitetu sunčeve svjetlosti. Ovaj nedostatak može se djelomično nadoknaditi povećanjem kapaciteta skladištenja energije, tj. akumulatora, kako bi se višak električne energije prikupljen tijekom sunčanih razdoblja mogao koristiti tijekom manje sunčanih dana ili noći.

Unatoč tome, samostalni fotonaponski sustavi potiču uštedu energije jer korisnici postaju svjesniji svoje potrošnje i ovisnosti o dostupnosti sunčeve svjetlosti. Ovi sustavi također potiču prilagodbu potrošnje energije prema dnevnom ritmu i sezonskim varijacijama, što može doprinijeti boljoj energetskej učinkovitosti i smanjenju troškova energije na duže staze.

## **5.2. Hibridni fotonaponski sustavi**

Hibridni fotonaponski sustav ili hibridni solarni sustav je sustav koji kombinira solarnu energiju s drugim izvorima energije kako bi se osigurala kontinuirana opskrba električnom energijom. Ovi sustavi često kombiniraju solarnu energiju s drugim obnovljivim izvorima energije poput vjetera ili hidroenergije, te obično uključuju i sustav za pohranu energije kao što su baterije. Vjetroturbine i fotonaponski sustavi se mogu povezati s pomoću zajedničkog izmjenjivača. Time se daje veća sigurnost i raspoloživost električne energija time se omogućava manji kapacitet akumulatora (baterije) kao samog spremnika električne energije.

Proizvedenom električnom energijom s pomoću solarnih modula prvo se napajaju trošila, a višak energije pohranjuje se u akumulatore. Ako dođe do situacije da se solarna energija ne može proizvoditi s pomoću solarnih modula, akumulator postaje izvor napajanja za istosmjerna ili izmjenična trošila, u slučaju da to ne može biti akumulator uključuje se generator na dizel ili biodizel gorivo.

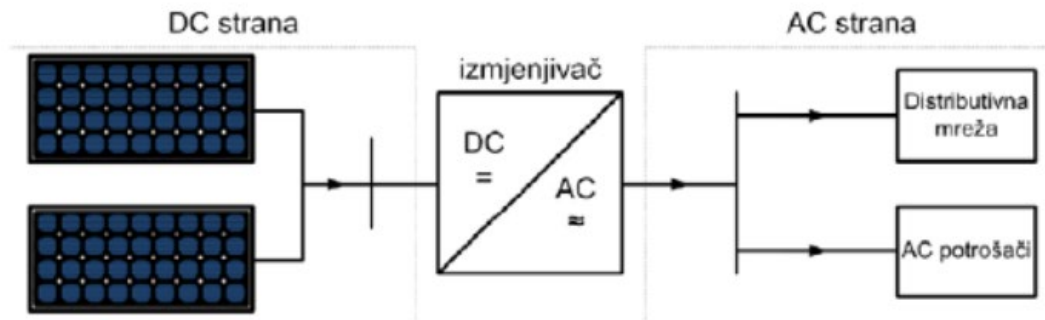


Slika 14. Hibridni fotonaponski sustav [11]

### 5.3. Mrežni sustavi

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu, poznati i kao mrežni fotonaponski sustavi, omogućuju korištenje proizvedene električne energije za potrebe objekta na kojem su postavljeni. Ovi sustavi mogu biti direktno povezani na javnu elektroenergetsku mrežu ili preko kućne instalacije. Za razliku od samostalnih sustava, mrežni sustavi ne zahtijevaju baterije ili akumulatore, jer javna elektroenergetska mreža služi kao spremnik električne energije.

Mrežni sustavi opremljeni su izmjenjivačem koji pretvara istosmjernu struju proizvedenu u fotonaponskim modulima u izmjeničnu struju, sinkroniziranu s naponom i frekvencijom mreže. Kada sustav proizvodi više električne energije nego što objekt troši, višak se isporučuje u mrežu. U slučaju nedovoljne proizvodnje, potrebna energija se preuzima iz mreže.



Slika 15. Fotonaponski sustav priključen na mrežu [5]

### 5.3.1. Mrežni sustavi priključeni izravno na mrežu

Mrežni sustavi koji su izravno povezani na javnu mrežu funkcioniraju tako da se sustav nakon izmjenjivača i mjernog brojila direktno priključuje na javnu mrežu. Karakteristika ovih sustava je da zahtijevaju veću snagu te se uglavnom instaliraju na većim površinama. Obično im je potrebno 30 do 40 m<sup>2</sup> površine za 1 kW snage, što je tri do četiri puta više u odnosu na kristalne module, a šest puta više u odnosu na module tankog filma instalirane na kosim krovovima.



Slika 16. Fotonaponski sustav priključen izravno na mrežu [11]

Osnovni dijelovi fotonaponskog sustava izravno priključenog na mrežu:

- fotonaponski moduli
- fotonaponski izmjenjivač
- montažna potkonstrukcija
- brojilo predane i preuzete električne energije

Fotonaponski moduli pretvaraju svjetlosne energiju u električnu energiju istosmjernog oblika dok fotonaponski izmjenjivač prilagođava oblik proizvodnje energije u oblik koji se može predati u javno elektroenergetsku mrežu. Mrežni izmjenjivači pretvaraju istosmjernu struju iz fotonaponskih sustava ili vjetroturbina u izmjeničnu struju. Njihova uloga je osigurati da izlazni izmjenični napon bude u fazi s naponom koji dolazi iz električne mreže.

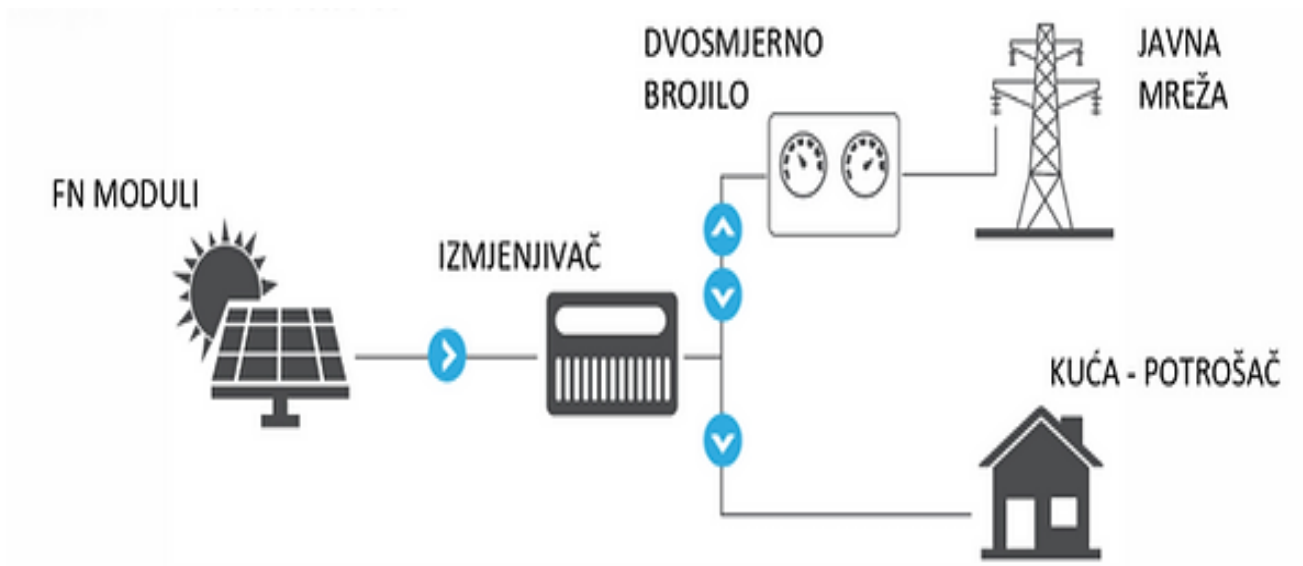
Brojilo električne energije registrira proizvedenu energiju predanu u mrežu i potrošenu energiju koja je preuzeta iz mreže.

### **5.3.2. Mrežni sustavi priključeni na javnu mrežu preko kućne instalacije**

Sustavi povezani s javnom mrežom putem kućnih instalacija pripadaju distribuiranoj proizvodnji električne energije, omogućujući povezivanje distribuiranih sustava na niskonaponsku razinu elektroenergetskog sustava. Ovi sustavi se povezuju tako da se nakon izmjenjivača, odnosno glavnog razvodnog ormara, direktno spajaju na kućnu instalaciju. Umjesto postojećeg brojila kuće, postavlja se dvosmjerno brojilo koje bilježi količinu energije predane u mrežu i preuzete iz mreže. Korisnik može prodavati električnu energiju distributeru preko brojila ili koristiti proizvedenu električnu energiju.

Osnovni dijelovi sustava su:

- fotonaponski modul
- spojna kutija sa zaštitnom opremom
- kablovi istosmjernog razvoda
- glavna sklopka za odvajanje
- izmjenjivač
- kablovi izmjeničnog razvoda
- brojila predane i preuzete električne energije



Slika 17. Fotonaponski sustav priključen preko kućne instalacije [11]

### 5.3.3. Mrežno spojene sunčeve elektrane

Mrežno povezane sunčeve elektrane su postrojenja koja koriste solarne panele za proizvodnju električne energije i povezane su s električnom mrežom. Ovo je popularan način proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Takva postrojenja generiraju velike količine električne energije putem fotonaponskih instalacija smještenih na jednoj lokaciji. Te instalacije mogu biti postavljene na neplodnim zemljištima ili velikim farmama, a njihova snaga varira od nekoliko stotina kilovata do nekoliko stotina megavata.

U Hrvatskoj je 12. 05. 2023. godine puštena u rad sunčana elektrana koja je nalazi kod Obrovca. Elektrana ima instaliranu snagu od 8,7 MW priključnu od 7,35 MW, najveća sunčana elektrana u Hrvatskoj u komercijalnom pogonu. Elektrana je izgrađena na području bivše tvornice glinice, na površini od 117.137 m<sup>2</sup> ugrađeno je 27.544 fotonaponskih modula domaćeg proizvođača.

## 6. Fotonaponska elektrana

Fotonaponska elektrana ili solarna elektrana je sustav koji pretvara sunčevu energiju direktno u električnu energiju korištenjem fotovoltaičnih modula.

Poznata su dva osnovna načina pretvorbe energije Sunca u električnu energiju: direktna i indirektna pretvorba.

- 1. Direktna pretvorba** koristi fotonaponske ćelije koje direktno pretvaraju sunčevu energiju u električnu energiju. Fotonaponske elektrane koriste ovaj princip, gdje se solarni paneli postavljaju kako bi direktno hvatali sunčevu svjetlost i pretvarali je u električnu energiju.
- 2. Indirektna pretvorba** koristi koncentriranu toplinsku solarnu energiju. U ovom procesu se koriste zrcala ili leće koje koncentriraju sunčevu svjetlost na jednu točku, gdje se stvara visoka temperatura. Ta toplina potom koristi se za proizvodnju pare koja pokreće klasične parne turbine koje proizvode električnu energiju.

Fotonaponske elektrane svoju proizvedenu električnu energiju direktno predaju u energetski sustav, za razliku od samostalnih ili otočnih solarnih sustava koji svoju energiju često skladište u baterijama za kasniju upotrebu. Ovaj sustav predstavlja elegantan način korištenja sunčeve energije, a njegov rad temelji se na fotonaponskom efektu.

Orijentacija solarnih panela važna je za maksimiziranje hvatanja sunčeve energije, pa se paneli obično usmjeravaju prema smjeru s najvećim sunčevim zračenjem. U Hrvatskoj, potencijal za korištenje solarnih elektrana varira ovisno o lokaciji, ali kreće se između 970 do 1380 kWh po kvadratnom metru površine solarnog kolektora, ako je postavljen pod optimalnim godišnjim kutem. [12]

Solarne elektrane uglavnom se postavljaju na dva načina jedan je da su solarni paneli fiksni, a drugi da solarni paneli imaju sustav za praćenje položaja Sunca.

Solarne elektrane s fiksno postavljenim panelima su bez mogućnosti praćenja položaja Sunca, a najčešće se koriste kod montaže na krovove kuća i zgrada. Fiksno postavljeni sustav postavlja se pod određenim kutom kako bi se dobila najveća godišnja ozračenost, te se taj kut naziva optimalni kut nagnute plohe. U našim krajevima se solarne elektrane s fiksnim postavljenim solarnim panelima postavljaju prema jugu i optimalni kut nagiba im iznosi oko 30°. Sunčeva zračenja kroz ljeto padaju okomito na solarne panele, te je takva orijentacija pogodna.

Kako solarna energija postaje sve zastupljenija tako i tehnologija napreduje. U posljednje vrijeme savršene su ćelije koje prate kretanje Sunca. Sustavi za praćenje koriste se kako bi se



smanjio kut pada sunčeve svjetlosti na fotonaponske panele. Ovi sustavi automatski podešavaju kut panele kako bi uvijek bili usmjereni prema suncu tijekom dana. Za razliku od fiksnih postavljanja panela koji su statični, sustavi za praćenje mogu značajno povećati proizvodnju električne energije, u nekim slučajevima za otprilike trećinu.

To omogućuje fotonaponskim sustavima da maksimiziraju apsorpciju sunčeve energije, smanjujući gubitke zbog neoptimalnog položaja panela u odnosu na sunce.

## **6.1. Sunčane elektrane na zgradama Sveučilišta Sjever**

Sunčane elektrane nalazit će se u Varaždinu na krovovima građevina Sveučilišta Sjever koje spada u 2.b skupinu građevine. Krovne plohe građevina su primarno orijentirane prema sjeveroistoku gdje se nalazi ulaz u građevine UNIN-1 i UNIN-2 dok je ulaz u građevinu UNIN-3 orijentiran prema jugozapadu. Krovovi su izvedeni kao kosi s nagibom od 29-31°, klasično ventilirajući s crijepom.

Na krovovima građevina predviđa se montaža fotonaponske elektrane ukupne snage:

- UNIN-1 – 60 kW
- UNIN-2 – 60 kW
- UNIN-3 – 30 kW

Predviđena godišnja potrošnja je 166 239 kWh, korištenje energije i snage planirano je da bude trajno. Potrebno je dizajnirati fotonaponsku elektranu s automatskim funkcijama koje će osigurati njezino kontinuirano djelovanje bez obzira na promjenjive vremenske uvjete. Ključni elementi i dijelovi trebaju biti pouzdani i očuvani kako bi se garantirala pouzdana i dugotrajna operativnost elektrane.

## **6.2. Osnovni podaci o fotonaponskim panelima**

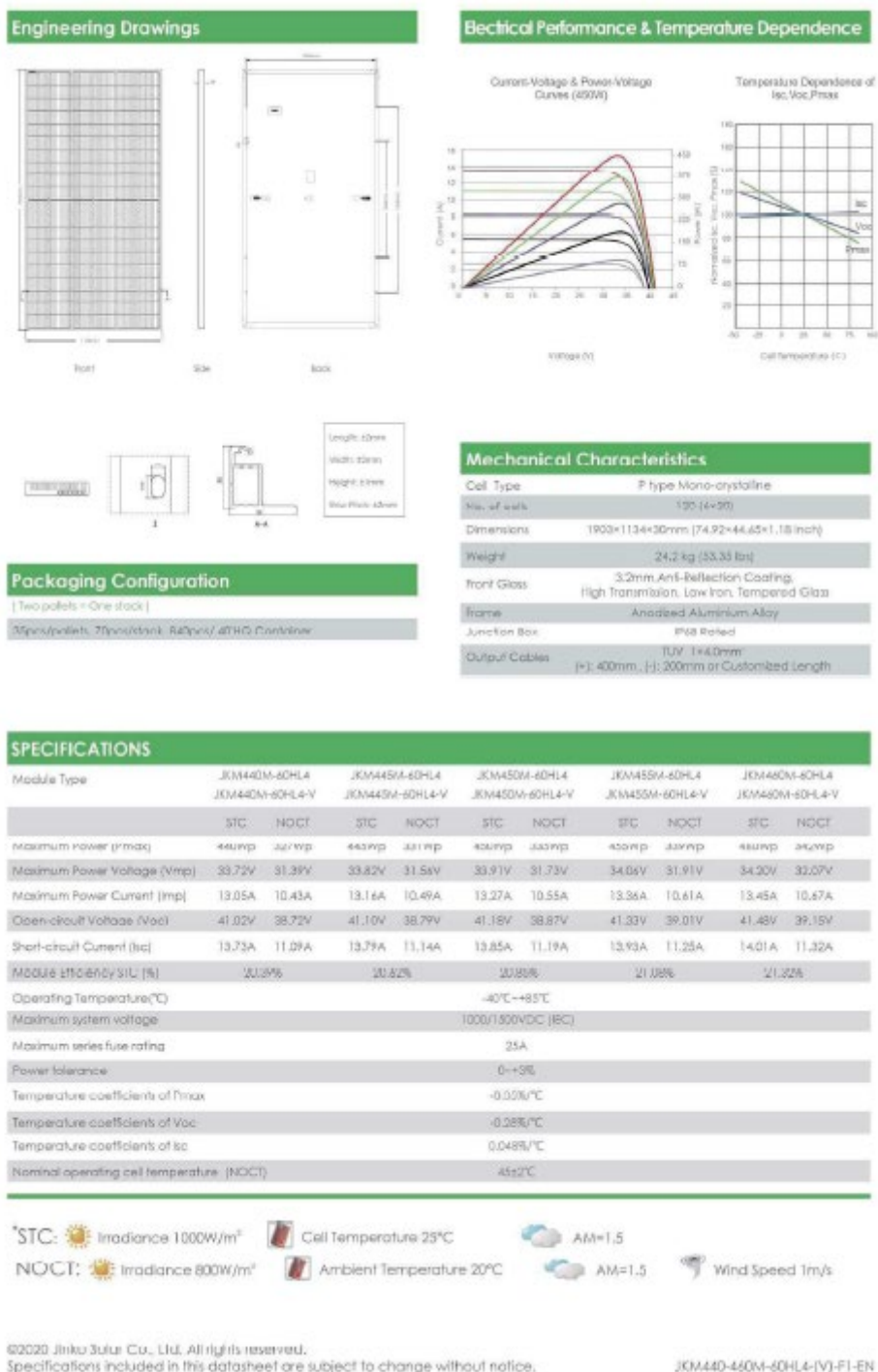
Konstrukcija za postavljanje modula izrađena je od aluminijske konstrukcije predviđeno je postavljanje 306 fotonaponskih modula.

Planirano je postavljanje:

- UNIN-1 – 62+62 panela
- UNIN-2 – 62+52 panela

- UNIN-3 – 64 panela

Konstrukcija na koju će se postavljati paneli je tipska pod konstrukcija koja je lagana i lako se montira na drvenu potkonstrukciju. Paneli će se montirati tako da ne reflektiraju sunčevu svjetlost prema prometnicama te time ne ugrožavaju sigurno odvijanje prometa. Na slici 18. prikazane su karakteristike koje moraju zadovoljiti fotonaponski paneli.



Slika 18. Karakteristike i izgled fotonaponskog panela [13]

### 6.3. Inverter

Inverteri ili izmjenjivači su ključna komponenta solarnih elektrana koja omogućava pretvaranje sunčevog zračenja u upotrebljivu električnu energiju koja se može koristiti u građevini ili distribuirati u električnu mrežu. Izbor odgovarajućeg invertera i njegovo redovito održavanje od velike su važnosti za učinkovito i pouzdano funkcioniranje sustava.

Izmjenjivač svojim ulaznim naponskim i strujnim ograničenjima pokriva radno područje fotonaponskog polja u svim uvjetima sukladno proračunu. Predviđa se ugradnja 5 izmjenjivača ukupne maksimalne snage 150 kW:

- UNIN-1 – 2 izmjenjivača, maks. snage 30+30 kW
- UNIN-2 – 2 izmjenjivača , maks. snage 30+30 kW
- UNIN-3 – 1 izmjenjivač, maks. snage 30 kW

Izmjenjivač je bez transformatora, nazivne snage 30 kW i najveće učinkovitosti 98.7/98.4 %, ima ugrađene vrlo napredne sigurnosne sustave zaštite kako od otočnog pogona, tako i nadstrujne i prenaponske zaštite. Osim toga izmjenjivač ima i ugrađeni sustav za praćenje maksimalne snage fotonaponskog polja.



Slika 19. Inverter 30 kW [13]

Na jedan izmjenjivač se priključuje do 4 stringa po 14-20 panela sunčane elektrane. Izmjenjivač će biti smješten u potkrovlju zgrade, izmjenjivači moraju imati dovoljnu međusobnu

udaljenost, ormara, zidova greda i ostalog. Invertor u sebi sadrži komunikacijsku opremu koja se spaja na uređaj za centralnu komunikaciju. U svakom trenutku se preko web servera može pratiti rad elektrane te proizvodnja iste.

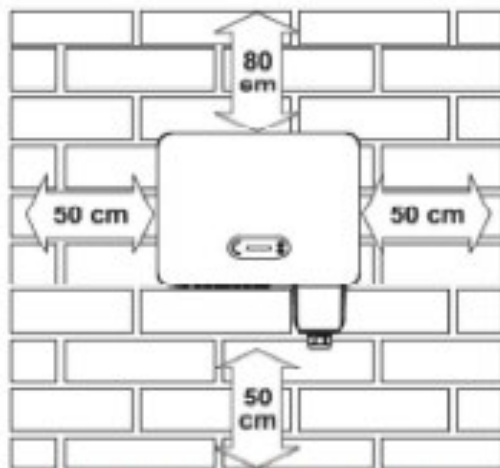
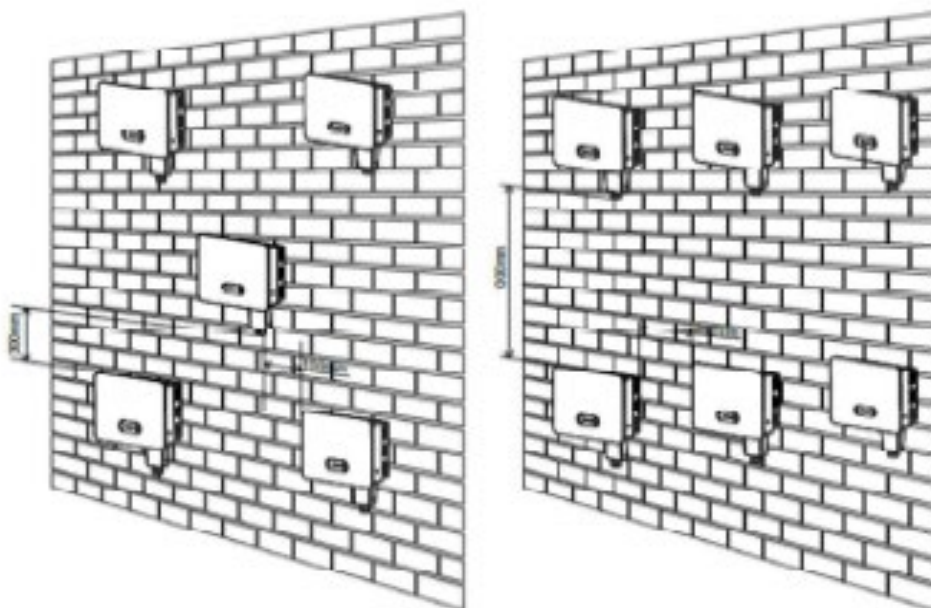


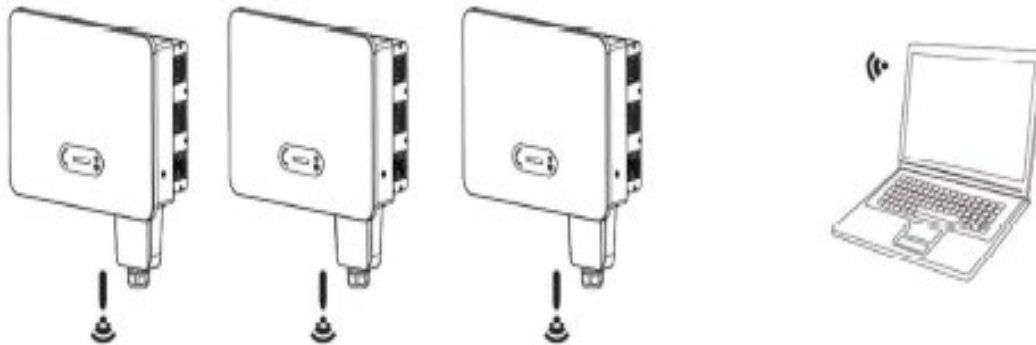
Figure 3-2 Clearance for single Inverter



Slika 20. Pozicije invertera [13]

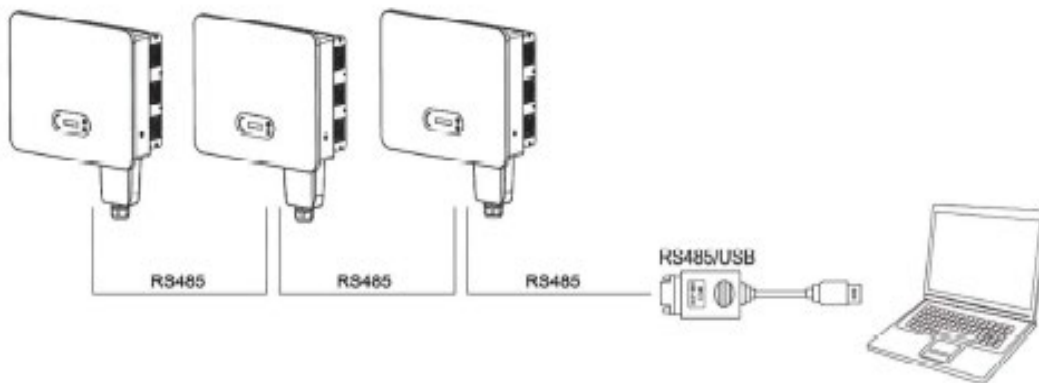
Daljinski nadzor će se vršiti preko dodatnog USB sticka gdje će se moći pratiti izlazna snaga pretvarača, informacije o alarmu, stanje rada na PC terminal ili lokalne podatke uređaja. A sve će

se odvijati preko softverskog rješenja koje nudi proizvođača. Prikaz nadzora preko USB sticka je na slici 21.



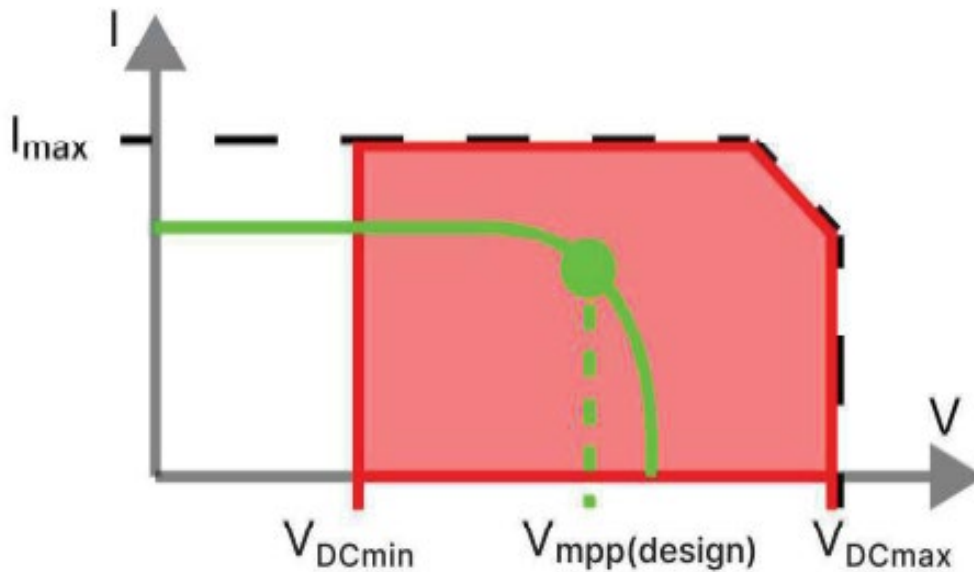
Slika 21. Daljinski nadzor rada elektrane [13]

Također je moguće uređaje povezati direktno na računalo preko RS485 komunikacijskog kabela.



Slika 22. Nadzor rada preko RS485 komunikacijskog kabela [13]

Na slici 23. prikazana je radna krivulja invertera koja pruža važne informacije o njegovim performansama i karakteristikama pri različitim uvjetima rada.



Slika 23. Radna krivulja invertera [13]

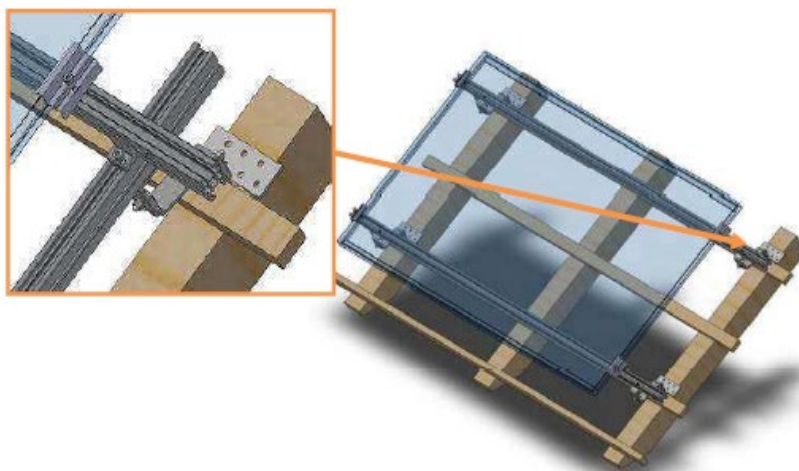
Na x-osim nalazi se oznaka  $I$  koja predstavlja izlaznu snagu Inverta, što je količina struje koja teče kroz opterećenje spojeno na inverteru. Ova vrijednost može varirati ovisno o opterećenju i naponu. Maksimalna izlazna struja označena je sa  $I_{max}$  to je struja koju inverter može generirati bez prekoračenja svojih kapaciteta. Važan parametar koji utječe na odabir odgovarajućeg invertera za specifičnu primjenu.

Na y-osi nalazi se oznaka  $V$  koja predstavlja ulazni napon invertera, izmjenični napon koji inverter generira i isporučuje opterećenju.  $V_{DCmin}$  označava minimalni ulazni napon izmjenične struje, potreban za pokretanje invertera. Inverter će početi raditi kad ulazni napon dosegne ovu vrijednost. Oznaka  $V_{mpp(design)}$  predstavlja napon maksimalne snage što je napon kojem inverter može generirati najveću izlaznu snagu. Ovo je važan parametar za solarni inverter jer utječe na maksimalnu učinkovitost pretvorbe solarne energije u električnu energiju.  $V_{DCmax}$  označava maksimalni ulazni napon izmjenične struje, koji inverter može podnijeti bez oštećenja ili prekida rada. Prekoračenje ove vrijednosti može biti štetno za inverter.

## 6.4. Montaža fotonaponskih modula na krov

Montaža solarnih panela na drveni krov zahtijeva pažljivo planiranje i ispravnu tehniku kako bi se osigurala stabilnost panela i integritet krova. Prvo, provodi se detaljno planiranje kako biste utvrdili gdje želite postaviti panele na krovu i osigurali sunčevu ekspoziciju. Nabavka potrebnih materijala i alata je ključni korak, uključujući nosače, vijke, kabele i druge komponente. Priprema krova je također važna, uključujući pregled i, ako je potrebno, popravke. Postavljanje nosača se obavlja pažljivo kako bi se osigurala čvrstoća i stabilnost. Nakon toga, solarni paneli se montiraju na nosače u skladu s dizajnom rasporeda, pričvršćujući ih sigurno i ravno. Nakon montaže, električna instalacija uključuje povezivanje panela u solarni niz i spajanje sa solarnim inverterom. Konačno, testiranje i puštanje u rad osigurava da sistem ispravno radi, a redovito održavanje održava njegovu efikasnost tijekom vremena. Važno je napomenuti da se montaža na drveni krov mora izvesti pažljivo kako bi se osigurala sigurnost i dugotrajnost solarnog sistema.

Krov je klasični ventilirani s drvenom potkonstrukcijom i crijepom, krov je prikazan na slici 24.



Slika 24. Prikaz krovne konstrukcije [13]

Modulske stezaljke sa sigurnosnim zaticima drže fotonaponske module unutar za njihove profile okvir pod kutom nagiba krova.

## 6.5. Vizualna procjena nosivosti krovne konstrukcije za fotonaponske sustave

U ovom potpoglavlju detaljno ćemo analizirati drvenu krovnu konstrukciju na zgradi UNIN-1 s ciljem procjene njezine nosivosti i mogućnosti prilagodbe za instalaciju fotonaponskih modula. Na temelju mojih opažanja tijekom fotografiranja, krovna konstrukcija koristi tradicionalnu drvenu metodu s masivnim drvenim gredama i krovnim letvama. Letve su nove, što je pozitivan indikator za stabilnost i nosivost krova. Razmatrat ćemo stanje konstrukcije, metode korištene u izradi, te procjenu nosivosti s obzirom na instalaciju fotonaponskih modula.

Konstrukcija krova sastoji se od masivnih drvenih greda dimenzija 15 x 15 cm koje čine glavne nosive elemente, kao pomoćnih greda dimenzija 16 x 13 cm. Na osnovu fotografija, drvene grede pokazuju znakove starenja kao što su ljuštenje boje i manje pukotine, što je tipično za starije zgrade. Međutim, letve su nove, što značajno doprinosi stabilnosti krova. Novi krovni letvi dimenzija su 5 x 3 cm i pravilno su postavljeni s razmakom od 30 cm, što dodatno osigurava stabilnost krova.



Slika 25. Fotografija krovišta



U analizi krovne konstrukcije naglasak je na pravilnom povezivanju rogova s poprečnim gredama radi učinkovitog raspoređivanja opterećenja. Ova praksa odražava principe metalnih i drvenih konstrukcija, osiguravajući stabilnost i nosivost krova pri eventualnoj instalaciji fotonaponskih modula. Ovakav pristup izveden je uzimajući u obzir relevantno znanje stečeno na kolegiju Metalne i drvene konstrukcije, što je ključno za stručnu analizu zdravlja konstrukcije.

Na temelju prikazanih fotografija i vizualnog pregleda, vidljivo je da su glavne grede dobro očuvane i pravilno postavljene te da nema značajnih deformacija koje bi ukazivale na prekomjerna opterećenja ili strukturne probleme. Površinske pukotine i znakovi starenja uglavnom su kozmetičke prirode i ne utječu značajno na nosivost konstrukcije. Preporučuje se redovito praćenje stanja drvenih elemenata kako bi se na vrijeme uočile i sanirale eventualne štete.

### **6.5.1. Detaljan pregled krovne konstrukcije**

Rogovi su pravilno povezani s poprečnim gredama, što osigurava ravnomjerno raspoređivanje opterećenja. Ova konstrukcijska metoda omogućuje učinkovit prijenos težine s krova na nosive zidove. Unatoč starosti drvenih elemenata, struktura se čini stabilnom i dovoljno čvrstom za podupiranje dodatnih opterećenja kao što su fotonaponski moduli.



Slika 26. Detaljan prikaz drvenih greda i poprečnih elemenata

Rogovi su pravilno povezani s poprečnim gredama, što osigurava ravnomjerno raspoređivanje opterećenja. Ova konstrukcijska metoda omogućuje učinkovit prijenos težine s krova na nosive zidove. Unatoč starosti drvenih elemenata, struktura se čini stabilnom i dovoljno čvrstom za podupiranje dodatnih opterećenja kao što su fotonaponski moduli.

Procjena nosivosti temelji se na nekoliko ključnih faktora:

- težina fotonaponskih modula:  
Tipični fotonaponski moduli imaju težinu od oko 15-20 kg po kvadratnom metru. Letve i grede moraju biti sposobne izdržati ovo dodatno opterećenje.
- stanje drvene konstrukcije:  
Unatoč starosti drva, struktura se čini dovoljno čvrstom. Novi letvi također značajno doprinose stabilnosti krova. Nema vidljivih znakova ozbiljnih oštećenja poput truljenja ili velikih pukotina.
- mjere greda i letvi:

Glavne grede dimenzija 15 x 15 cm i pomoćne grede dimenzija 16 x 13 cm pokazuju solidnu nosivost. Novi letvi dimenzija 5 x 3 cm i razmakom od 30 cm pružaju dodatnu stabilnost za fotonaponske panele.



Slika 27. Vidljiva oštećenja



Slika 28. Detaljan prikaz novih letva

Na osnovu vizualne procjene, možemo zaključiti da postojeća konstrukcija ima potencijal izdržati dodatno opterećenje fotonaponskih modula. Ipak, preporučuje se dodatna inspekcija kako bi se potvrdila čvrstoća i stabilnost drvenih elemenata prije instalacije modula.

### **6.5.2. Izračun opterećenja krova od fotonaponskog modula**

Kako bi se osigurala strukturna integritet zgrada s instalacijom fotonaponskih modula, ključno je izračunati dodatno opterećenje koje se nameće na krovove. Ovaj izračun uzima u obzir težinu fotonaponskih panela i invertera.

Zgrada UNIN-1

Fotonaponski paneli:

Broj panela:  $62 + 62 = 124$

Težina po panelu: 24,2 kg

Ukupna težina:  $124 \text{ panela} \times 24,2 \text{ kg/panel} = 3000,8 \text{ kg}$

Inverteri:

Broj invertera: 2

Težina po inverteru: 43 kg

Ukupna težina:  $2 \text{ invertera} \times 43 \text{ kg/inverter} = 86 \text{ kg}$

Ukupno opterećenje:

Ukupno opterećenje od panela i invertera:  $3000,8 \text{ kg} + 86 \text{ kg} = 3086,8 \text{ kg}$

Zgrada UNIN-2

Fotonaponski paneli:

Broj panela:  $62 + 52 = 114$

Težina po panelu: 24,2 kg

Ukupna težina:  $114 \text{ panela} \times 24,2 \text{ kg/panel} = 2758,8 \text{ kg}$

Inverteri:

Broj invertera: 2

Težina po inverteru: 43 kg

Ukupna težina:  $2 \text{ invertera} \times 43 \text{ kg/inverter} = 86 \text{ kg}$

Ukupno opterećenje:

Ukupno opterećenje od panela i invertera:  $2758,8 \text{ kg} + 86 \text{ kg} = 2844,8 \text{ kg}$

Zgrada UNIN-3

Fotonaponski paneli:

Broj panela: 64

Težina po panelu: 24,2 kg

Ukupna težina:  $64 \text{ panela} \times 24,2 \text{ kg/panel} = 1548,8 \text{ kg}$

Inverteri:

Broj invertera: 1

Težina po inverteru: 43 kg

Ukupna težina: 43 kg

Ukupno opterećenje:

Ukupno opterećenje od panela i invertera:  $1548,8 \text{ kg} + 43 \text{ kg} = 1591,8 \text{ kg}$

Sažetak ukupnih opterećenja:

UNIN-1: 3086,8 kg

UNIN-2: 2844,8 kg

UNIN-3: 1591,8 kg

Ovi izračuni pružaju potrebne podatke za procjenu može li krovna konstrukcija podnijeti dodatnu težinu fotonaponskih sustava. Na temelju postojeće nosivosti svakog krova, možda će biti potrebno izvršiti strukturno jačanje.

### **6.5.3. Primjeri mogućih dodatnih jačanja konstrukcije**

Kako bi se osigurala dugoročna stabilnost i sigurnost krovne konstrukcije prilikom instalacije fotonaponskih modula, predlažu se sljedeće mogućnosti:

- dodavanje poprečnih greda:

Kako bi se osigurala dodatna stabilnost, mogu se postaviti dodatne poprečne grede između postojećih greda. Ove grede mogu biti dimenzija 10 x10 cm i mogu se

pričvrstiti na glavne grede kako bi se dodatno podržao krovni pokrov.

- instalacija vertikalnih potpornja:

Vertikalni potpornji mogu se postaviti ispod glavnih greda kako bi se ravnomjernije rasporedilo opterećenje na nosive zidove. Ovi potpornji mogu biti izrađeni od drveta ili metala, ovisno o specifičnim zahtjevima i preferencijama.

- upotreba metalnih nosača:

Metalni nosači mogu se koristiti za dodatno povezivanje drvenih elemenata i povećanje njihove čvrstoće. Ovi nosači mogu se postaviti na ključna mjesta gdje su grede spojene, osiguravajući dodatnu stabilnost i nosivost.

- ojačanje spojnih elemenata:

Postojeći spojni elementi, poput vijaka i čavala, mogu se zamijeniti novim, jačim materijalima. Korištenje modernih spojnih elemenata može značajno povećati čvrstoću spojeva i smanjiti rizik od strukturnih oštećenja.

Prema dostupnim slikama i vizualnoj procjeni, tradicionalna drvena konstrukcija uz nove letve pokazuje zadovoljavajuću razinu stabilnosti i nosivosti. Uz predložena pojačanja, krov bi trebao biti adekvatno pripremljen za instalaciju fotonaponskih modula. Preporučuje se dodatna fizička inspekcija i, po potrebi, izvođenje manjih popravaka i pojačanja kako bi se osigurala dugoročna stabilnost i sigurnost.

## 7. Proračuni

Proračun pada napona u sunčanoj elektrani je važan korak u projektiranju solarnog sustava kako bi se osigurala učinkovita distribucija električne energije. Pada napona treba minimizirati kako bi se maksimalno iskoristila proizvedena energija i osiguralo pravilno funkcioniranje sustava. Ovaj proračun je ključan za pravilan rad sustava i zaštitu opreme od prenapona ili preniskih napona.

Gubici u solarnim fotonaponskim vodičima moraju biti ograničeni, istosmjerni gubici u nizovima solarnih panela, a izmjenični gubici na izlazu pretvarača. Način da se ograniče ti gubici je minimaliziranje pada napona u kabelima. Prikladan je pad napona manji 1% , a ako nije izvediv u svakom slučaju ne smije biti veći od 3 % .

Pad napona dan je sljedećom formulom:

$$\Delta V = b \left( \rho_1 \frac{L}{S} \cos \rho + \lambda L \sin \rho \right) \cdot I_B$$

Gdje je:

b – faktor duljine kabela, b=2 za jednofazno ožičenje, b=1 za trofazno ožičenje

$\rho_1$  – otpornost u materijalnog vodiča za danu temperaturu

L – jednostavna duljina kabela

S - presjek kabela

$\cos \rho$  – faktor snage

$\lambda$  – reaktancija po jedinici duljine

$\sin \rho$  – sinus

$I_B$  – struja u amperima

Pad napona u postocima izračunava se po formuli:

Gdje je:

$\Delta U$  – pad napona u V

$U_0$  – napon između faze i nule

Gubici energije u kabelu uglavnom su uzrokovani otporom zagrijavanjem kabela.

Daje se sljedećom formulom:

$$E = \alpha \cdot R \cdot I_B^2$$

Gdje je:

E - gubici energije u žicama

a – broj koeficijenta linije

R – otpor jednog aktivnog voda

$I_B$  – struja u amperima

R je dan sljedećom formulom:

Gdje je:

b - faktor duljine kabela

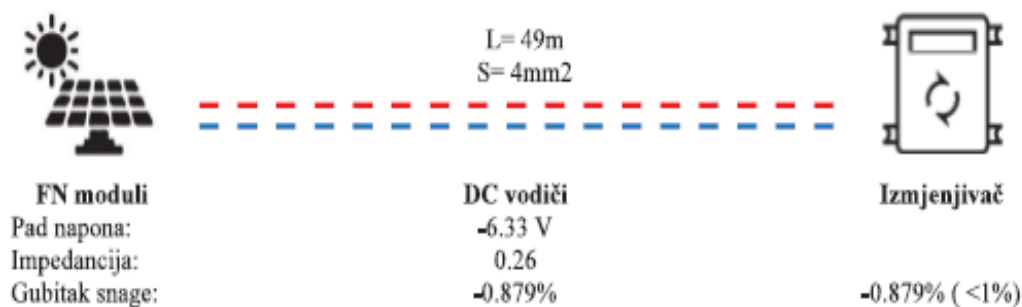
$\rho_l$  – otpornost materijalnog vodiča

L – jednostavna duljina kabela

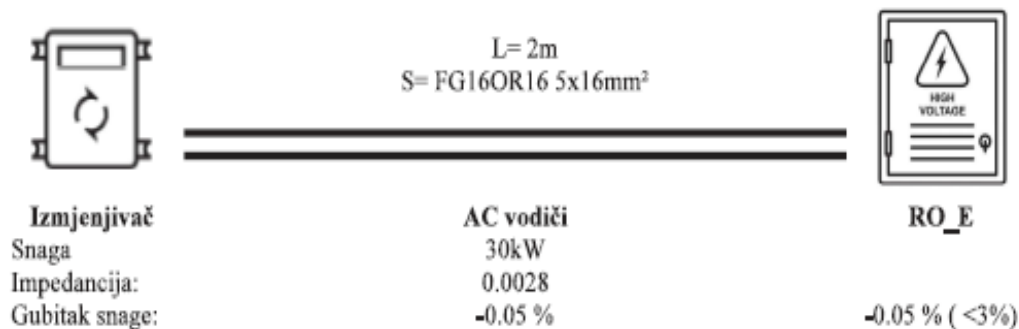
S – presjek kabela



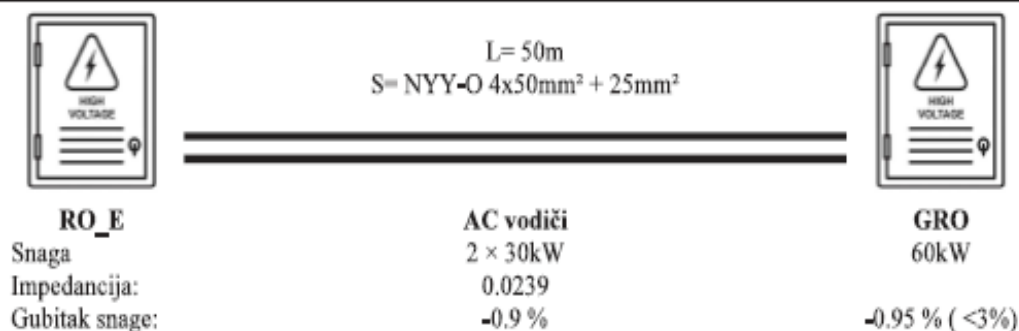
Proračun najnepovoljnijeg slučaja DC razvoda



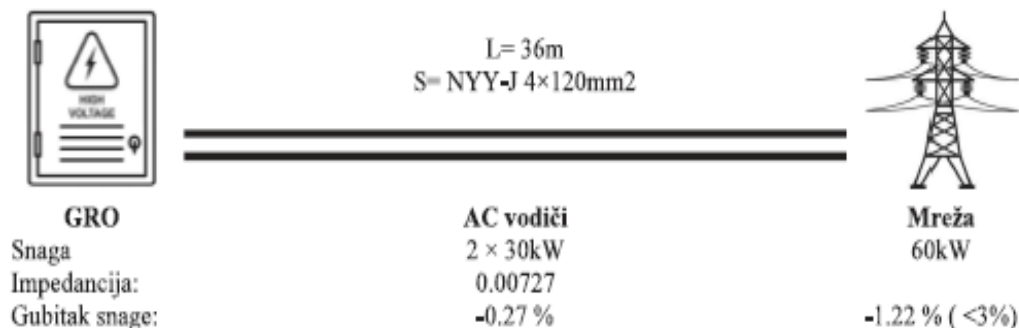
Proračun najnepovoljnijeg slučaja AC razvoda



Proračun najnepovoljnijeg slučaja AC razvoda



Proračun najnepovoljnijeg slučaja AC razvoda



Slika 29. Proračun najnepovoljnijeg položaja [13]

Stringovi, u kontekstu solarnih elektrana, predstavljaju ključnu vezu između solarnih panela i sustava za prikupljanje energije. Svaki string čini niz solarnih panela povezanih u seriju, što omogućava efikasno povećanje napona i, time, snage. Takva organizacija panela igra ključnu ulogu u procesu pretvaranja solarne energije u električnu energiju.

Jedna od važnih karakteristika stringova je njihova prilagodljivost različitim uvjetima osvjetljenja. Na primjer, u uvjetima slabog svjetla ili oblačnog vremena, stringovi omogućavaju nastavak prikupljanja energije, dok u sunčanim danima omogućavaju povećanje proizvodnje energije. Osim toga, stringovi olakšavaju održavanje i praćenje performansi solarnih panela jer omogućavaju identifikaciju problema ili gubitka učinkovitosti u određenom dijelu elektrane.

Također, stringovi pružaju mogućnost optimizacije performansi solarnih elektrana putem praćenja i upravljanja naponom i strujom u svakom od njih. To omogućava precizno podešavanje sustava kako bi se postigla maksimalna učinkovitost i proizvodnja električne energije, što je ključno za održivost i ekonomsku isplativost solarnih elektrana.

Stringovi su neophodni element u solarnim elektranama, omogućavajući im da učinkovito prikupljaju i pretvaraju solaru energiju u električnu energiju, pružajući tako održivo i ekološki prihvatljivo rješenje za opskrbu električnom energijom.

Proračunom je dobiveno da je potrebno 4 stringa, a broj modula po stringovima je 14 – 20, nagib modula treba biti 30°.

## **7.1. Proračun efikasnosti zaštite od indirektnog dodira**

U svijetu sve veće upotrebe solarnih elektrana, zaštita od indirektnog dodira postaje ključna komponenta kako bi se osigurala sigurna operacija sustava za prikupljanje i pretvaranje solarne energije. Indirektni dodir odnosi se na situaciju kada korisnik ili radnik dođe u kontakt s metalnim komponentama ili strukturama unutar elektrane koje su slučajno postale pod naponom zbog neispravnosti u električnom sustavu. Da bi se smanjio rizik od indirektnog dodira, primjenjuju se niz sigurnosnih mjera i protokola.

Prva i osnovna mjera je pravilno uzemljenje svih metalnih dijelova i struktura unutar elektrane. Ovo osigurava da se svi dijelovi sustava održavaju na potencijalu zemlje i da se potencijalni električni naponi neutraliziraju. Uzemljenje se redovito provjerava i održava kako bi se osiguralo njegovo pravilno funkcioniranje.

Također, upotreba diferencijalnih strujnih prekidača (RCD) ima ključnu ulogu u otkrivanju i prekidu električnih curenja koja mogu nastati zbog indirektnog dodira. RCD-ovi brzo prekidaju strujni krug kada detektiraju nepravilnosti u strujnom toku, čime štite radnike od opasnih situacija. Obuka osoblja također je od velike važnosti. Svi zaposlenici trebaju biti obučeni za prepoznavanje rizika od indirektnog dodira i za pravilno postupanje u slučaju električnog udara. To uključuje i postupke pružanja prve pomoći u slučaju ozljeda.

Redovita inspekcija i održavanje električnih komponenata i sustava također su ključni. Održavanje se provodi kako bi se identificirali i riješili potencijalni problemi prije nego što postanu ozbiljni. Periodične inspekcije osiguravaju da su svi sustavi u dobrom stanju i da nema propusta koji bi mogli izazvati indirektni dodir.

Da bi zaštita bila efikasna, u slučaju proboja faznog vodiča prema kućištu osigurač treba isključiti napajanje u propisanom vremenu. Ovom je zahtjevu udovoljeno ako je ispunjen uvjet:

Sustav	50V <math> <U_0 \leq 120V </math>		120V <math> <U_0 \leq 230V </math>		230V <math> <U_0 \leq 400V </math>		<math> U_0 > 400V </math>	
	s		s		s		s	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0,8	Napomena 1	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	Napomena 1	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Kad se u TT sustavima isklon postize nadstrujnom zastitnom napravom, a svi strani vodljivi dijelovi u instalaciji su spojeni na zastitno izjednačivanje potencijala, smiju se uporabljati najveća isklonna vremena za TN sustave.

$U_0$  je nazivni napon linijskog vodiča prema zemlji izmjenične struje (a.c.) ili istosmjerne struje (d.c.)

NAPOMENA 1 Isklon se može zahtijevati iz drugih razloga osim zaštite od električnog udara.

NAPOMENA 2 U TN sustavima isklonno vrijeme koje ne prelazi 5s dopušta se za razdiobne (distribucijske) strujne krugove i za strujne krugove koji nisu obuhvaćeni

Slika 30. Uvjet za isključenje napajanja [13]

Za dodatno izjednačenje potencijala metalnih masa biraju se presjeci vodiča prema slici 27.

Presjek voda $S ; mm^2, Cu$	Minimalni presjek vodiča za uzemljenje metalnih masa	
	Ako je zaštitni vodič istog materijala kao i dovodni vod.	Ako je zaštitni vodič nije istog materijala kao i dovodni vod.
$S \leq 16$	S	$\frac{S_1}{k_2} \cdot S$
$16 < S \leq 35$	$16^2$	$\frac{S_1}{k_2} \cdot 16$
$S > 35$	$\frac{S^a}{2}$	$\frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{S}{2}$

Gdje je:  $k_1$  konstanta dovodnog voda,  $k_2$  konstanta zaštitnog vodiča, koja ovisi o vrsti materijala vodiča i izolacije voda a za PEN vodiče smanjenje presjeka nije dozvoljeno osim za određene slučajeve opisane prema IEC 60364-5-52

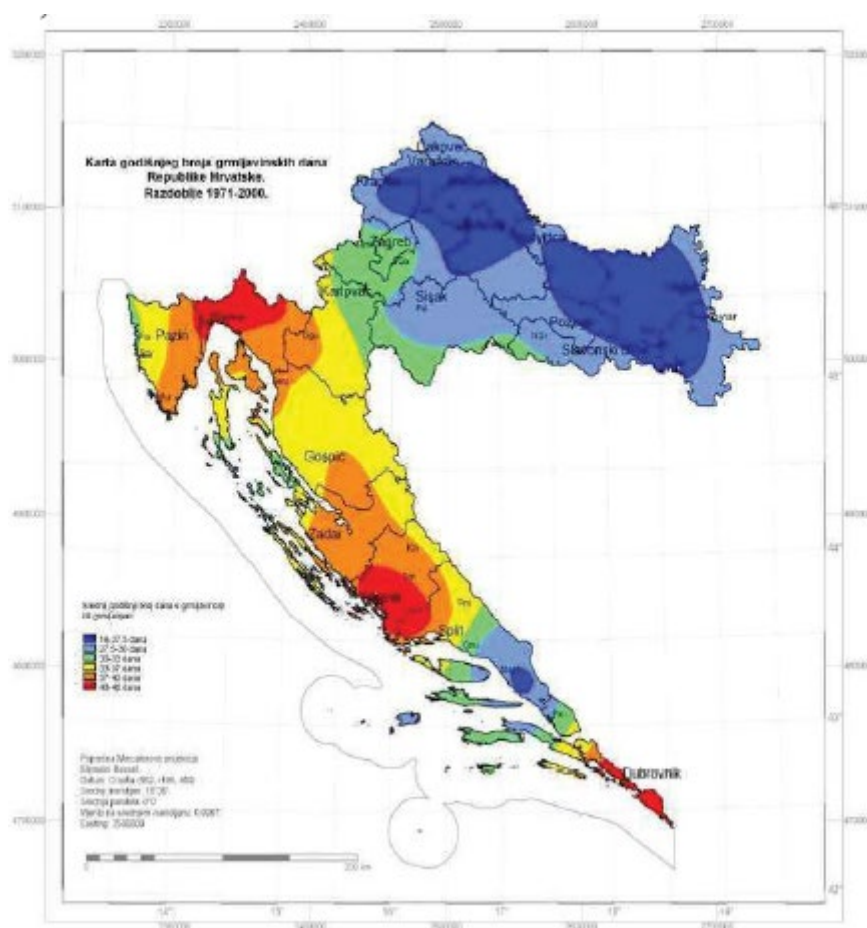
NAPOMENA 1 : U slučaju da vodič nije u sklopu voda ili nije u trasi sa vodičem onda presjek zaštitnog vodiča ne smije biti manja od  $2,5 mm^2$  Cu ili  $16 mm^2$  Al ako zaštita od mehaničkih naprezanja nije osigurana, te  $4 mm^2$  Cu ili  $16 mm^2$  Al ako nema zaštite od mehaničkih naprezanja.

NAPOMENA 2 : Konstante k računaju se prema prilogu A norme HRN HD 60364-5-54

Slika 31. Tablica HRN HD 60364-5-54 [13]

## 7.2. Računanje rizika udara od munje

Računanje rizika od udara munje za solarne elektrane ključno je za očuvanje sigurnosti i pouzdanosti ovih energetske sustava. Ovaj proces uključuje dubinsku analizu geografskog položaja elektrane, procjenu vrijednosti opreme i potencijalne posljedice za okoliš i ljudske živote. Na temelju tih podataka, odabire se odgovarajuća razina zaštite, uključujući postavljanje gromobranskih sustava i primjenu zaštite od prenapona. Korištenje računalnih simulacija i modeliranja pomaže u identifikaciji potencijalnih slabih točaka u sustavu, dok redovito održavanje osigurava ispravno funkcioniranje zaštitnih mjera. Integrirani pristup koji uključuje tehničke, sigurnosne i ekološke aspekte ključan je za uspješno upravljanje rizicima i održavanje sigurnosti i funkcionalnosti solarnih elektrana.



Slika 32. Karta grmljavinskih dana [13]

Tablice procjene rizika udara od munje

OKOLICA I ZNAČAJKE ZGRADE			
Ulazni parametar	Opis	Oznaka	Vrijednost
Duljina građevine (m):		L	75
Širina građevine (m):		W	16
Visina krova građevine (m):		H	13
Visina najviše dogradnje na krovu (m):		H	13
Sabirna površina (m <sup>2</sup> )		ND	13076 m <sup>2</sup>
Broj grmljavinskih dana:			28 dana/god
Gustoća udara munje:			2,8 udara/km <sup>2</sup>
Relativan položaj građevine	- Okružena objektima jednake ili manje visine	Co	0,5
Razina zaštite LPS-a:	- Razina zaštite IV	Ps	0,2
Izjednačenje potencijala:	- Razina zaštite II	PEB	0,02
Vanjski prostorni zaslon:	-Nema	Ks1	1

ELEKTROENERGETSKI VOD			
Ulazni parametar	Opis	Oznaka	Vrijednost
Duljina (m)		LL	1000
Faktor polaganja voda	- Kabel	C1	0,5
Faktor vrste voda	- NN e.e. Vod, tele- komunikacijski ili signalni vod	C1	1
Faktor okolice voda	- Selo	CE	1
Zaslon voda	- Bez zaslona	Rs	1
Zaštita, uzemljenje, odvajanje	-Nema	Cw	1
	-Nema	Cu	1
Priključena građevina	-Nema		-
Faktor lokacije priključene građevine	-Nema		-
Podnosivi udarni napon unu- tarnjih sustava (kV)	2,5 kV	Uw	2,5 kV

	Rezultirajući parametri	Ks4	0,40
		$P_w$	1
		$P_u$	0,3

TELEKOMUNIKACIJSKI VOD			
Ulazni parametar	Opis	Oznaka	Vrijednost
Duljina (m)		LL	1000
Faktor polaganja voda	- Kabel	CI	0,5
Faktor vrste voda	- NN e.e. Vod, telekomunikacijski ili signalni vod	C1	1
Faktor okolice voda	- Selo	CE	1
Zaslon voda	- Bez zaslona	Rs	1
Zaštita, uzemljenje, odvajanje	-Nema	$C_w$	1
	-Nema	$C_u$	1
Priključena građevina	-Nema		-
Faktor lokacije priključene građevine	-Nema		-
Podnosivi udarni napon unutarnjih sustava (kV)	1,5 kV	$U_w$	1,5
	Rezultirajući parametri	Ks4	0,67
		$P_w$	1
		$P_u$	0,5

FAKTORI ZA ZONU UNUTAR OBJEKTA ZI				
Ulazni parametar	Opis	Oznaka	Vrijednost	
Zaposjednutost građevine (broj ljudi)			20	
Vrsta poda	- asfalt, linoleum, drvo	ft	1,0E-05	
Zaštita od el. udara (udar u građevinu)	- Nema zaštitnih mjera	PTA	1	
Zaštita od el. udara (udar u vod)	- Nema zaštitnih mjera	Pm	1	
Rizik od požara	- Pozar (Normalna)	ff	0,01	
Zaštita od požara	- Nije se poduzelo ništa	fp	1	
Unutamji prostori zaslon		-Nema	Ks2	1
Elektroenergetski sustav	Unutarnja instalacija	- Nezaslonjeni vodovi (Nije se vodilo računa o izbjegavanju petlji)	Ks3	1
	Usklađeni SPD	- Nije postavljena SPD zaštita	PsPD	1
Telekomunikacijski sustav	Unutarnja instalacija	- Nezaslonjeni vodovi (Nije se vodilo računa o izbjegavanju petlji)	Ks3	1
	Usklađeni SPD	- Nije postavljena SPD zaštita	PsPD	1
Gubitak ljudskih života L1	Posebna opasnost	- Nema posebnih opasnosti	hz	1
	D1 ozliede	- sve vrste	Lt	0,01
	D2 materijalne stete	- bolnice, hoteli, škole, civilne zgrade	Lf	0,1
	D3 kvarovi unutarnjih sustava	- nije bitno	Lo	0
Faktor za ljude u zoni			1	
	Rezultirajući parametri	LA	1,0E-07	
		Lu	1,0E-07	
		LB	0,001	
		Lv	0,001	



SABIRNE POVRŠINE ZA GRAĐEVINU I VODOVE			
Ulazni parametar	Opis	Oznaka	Vrijednost
Građevina	- Udar munie u građevinu	AD	13076 m <sup>2</sup>
	- Udar munje pored građevine	AM	-
Elektroenergetski vod	- Udar munie u vod	Aup	40000
	- Udar munie pokrai voda	AiIP	4000000
	- Nema priključene građevine	Ao11P	0
Telekomunikacijski vod	- Udar munie u vod	AuT	40000
	- Udar munie pokrai voda	A11T	4000000
	- Nema priključene građevine	ADJ/T	0
OČEKIVANI GODIŠNJI BROJ OPASNIH DOGAĐAJA			
Ulazni parametar	Opis	Oznaka	Vrijednost
Građevina	- Udar munie u građevinu	No	1,83E-02
	- Udar munje pored građevine	NM	Nije vazno
Elektroenergetski vod	- Udar munje u vod	<i>Nup</i>	0,056
	- Udar munje pokraj voda	Nr1P	5,6
	- Nema priključene građevine	No11P	0
Telekomunikacijski vod	- Udar munje u vod	<i>NuT</i>	0,056
	- Udar munje pokraj voda	<i>N11T</i>	5,6
	- Nema priključene građevine	<i>No11T</i>	0

<b>IZRAČUNATI RIZICI:</b>	<b>Prihvatljivi rizik</b>	<b>Izravni udar munje:</b>	<b>Neizravan udar munje:</b>	<b>Izračunati rizik:</b>
RIZIK GUBITKA LJUDSKIH ŽIVORARI:	1,00E-05	3,66E-06	2,24E-06	<b>5,90E-06</b>
RIZIK GUBITKA JAVNE OPSKRBE R2:	1,00E-03	0,0E+00	0,0E+00	<b>0,0E+00</b>
RIZIK GUBITKA KULTURNE BASTINER3:	1,00E-04	0,0E+00	0,0E+00	<b>0,0E+00</b>
RIZIK GUBITKA GOSPODARSKIH VRIJEDNOSTI R4:	1,00E-03	0,0E+00	0,0E+00	<b>0,0E+00</b>

Metode za odabir zaštite građevine od udara munje

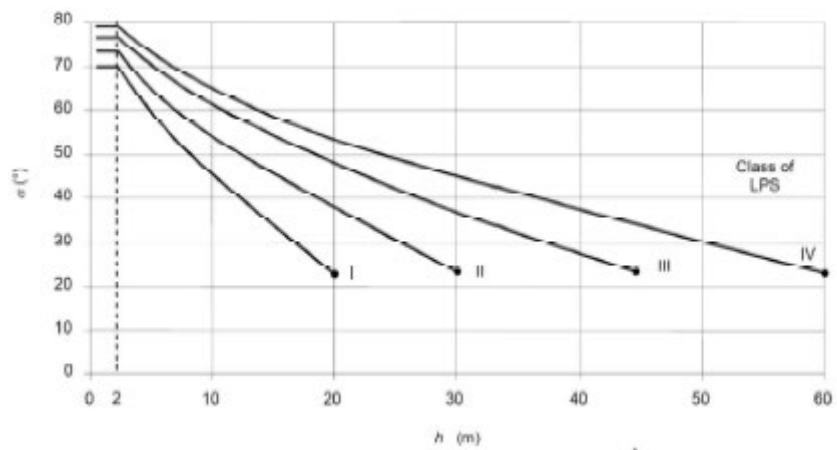
- metoda kotrljajuće kugle
- metoda zaštite mreže
- metoda zaštitnog kuta

karakteristike u ovisnosti o sustavu su prikazane u tablici i grafički kako slijedi:

Klasa LPS-a	Metoda zaštite		
	Metoda kotrljajuće kugle	Metoda zaštitne mreže	Metoda zaštitnog kuta
	radius kugle $r$ [m]	<b>Wm[m]</b>	kut $\alpha$ °
I	20	5 × 5	70° (1)
II	30	10 × 10	73° (1)
III	45	15 × 15	76° (1)
<b>IV</b>	<b>60</b>	<b>20 × 20</b>	<b>790 (1)</b>

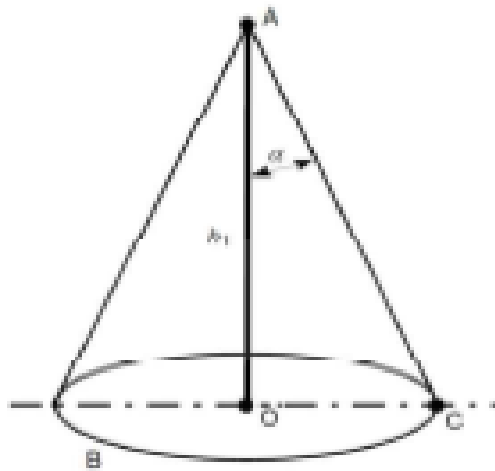
<sup>1</sup> Napomena: Za visine objekta veće od 2 m kut štićenja je prema dijagramu Kuta štićenja za pojedinu klasu LPS-a

<sup>2</sup> Napomena: Potrebna klasa LPS-a označena je bojom



h - visina objekta

Metodom zaštitnog kuta dobiva se da visina hvataljke mora biti 1 m , a kut zaštite iznosi  $\alpha = 79^\circ$ .



Slika 33. Metoda zaštitnog kuta[13]

## 8. Proračun parametara elektrane i analiza profitabilnosti

Proračun parametara elektrane i analiza profitabilnosti su ključni koraci u planiranju i evaluaciji energetske projekata. Proračun parametara obuhvaća utvrđivanje osnovnih karakteristika projekta, poput kapaciteta elektrane i troškova izgradnje, dok analiza profitabilnosti uključuje procjenu ukupnih troškova i prihoda tijekom životnog vijeka elektrane. Ova analiza, koja uzima u obzir investicijske i operativne troškove te očekivane prihode od proizvodnje električne energije, pomaže investitorima donijeti informirane odluke o isplativosti projekta. Dodatno, analiza uzima u obzir faktore kao što su inflacija, kamate, porezi i regulatorni okviri. Konačni rezultat analize profitabilnosti otkriva hoće li projekt generirati dovoljan povrat investicije i biti dugoročno profitabilan. To je ključno za održavanje ekonomske održivosti i uspješnost projekata u području obnovljive energije i električne proizvodnje.

### Pregled projekta

#### FN sustav

Mrežno povezan FN generator s električnim trošilom

Klimatski podaci	Sisak, HRV (1996-2015)
Izvor podataka	Meteonorm 8.1
Snaga FN generatora	140,76 kWp
Površina FN generatora	963,3 m <sup>2</sup>
Broj FN modula	306
Broj izmjenjivača	5

#### Prognoza dobiti

Snaga FN generatora	140,76 kWp
FN-energija generatora (AC-mreža)	150,106 kWh/godina
Vlastita potrošnja	166,239 kWh/godina
Regulacija na točki ulaza	0 kWh/godina

Udio vlastite potrošnje	9,7 %
-------------------------	-------

Samodostatnost	90,3 %
Prognoza proizvodnje	

Površine	Korisnost (%)	Azimuth (0 )
Ploha 1	98,8	22
Ploha 2	59,1	-166
Ploha 3	87,8	-70
Ploha 4	72,8	-110

	Broj panela (kom)	Ukupna snaga (kW)
Ploha 1	180	82800
Ploha 2	0	0
Ploha 3	66	30360
Ploha 4	60	27600

#### Financijska analiza

##### Vaša dobit

Ukupni troškovi investicije	168.000,00 €
Cijena el. Energije po kWh	0,172 €
Trajanje amortizacije	5,8 godine

Simulacije omogućuju inženjerima i investitorima dublje razumijevanje stvarnih uvjeta rada solarnih panela i kako će se ti uvjeti odraziti na ukupne performanse i ekonomske aspekte projekta.

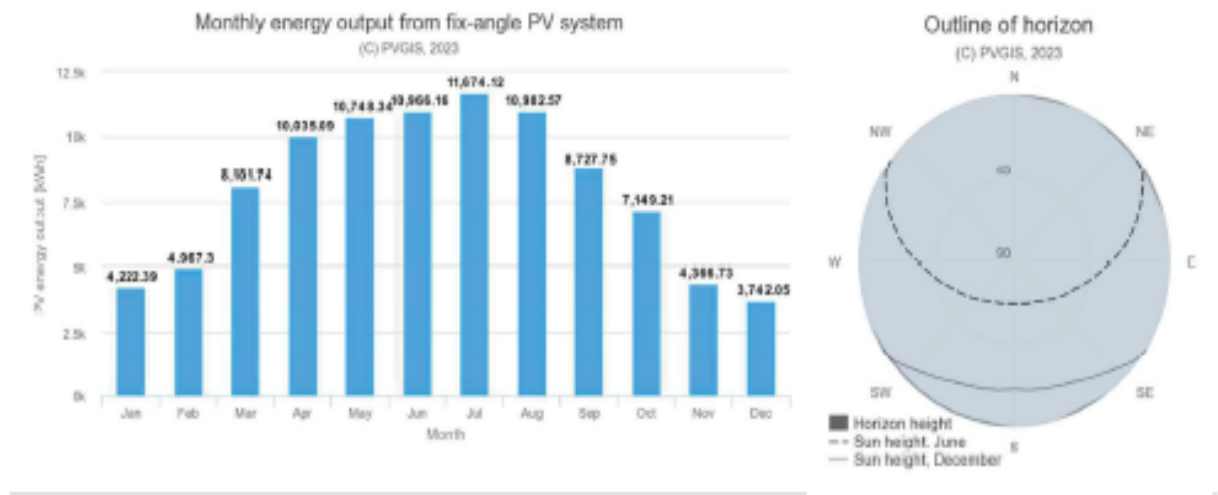
Kroz simulacije, mogu se predvidjeti različite scenarije i uvjeti, uključujući varijacije u vremenskim uvjetima, promjenjive kutove nagiba i orijentaciju panela, te fluktuacije u tarifama ili cijenama električne energije. Ovi modeli omogućuju procjenu proizvodnje električne energije solarnih panela tijekom godine, uzimajući u obzir stvarne uvjete.

Također, simulacije dopuštaju analizu troškova i prihoda, uključujući procjenu operativnih i održavateljski troškova tijekom vijeka trajanja elektrane. Ovo pomaže u izračunavanju očekivanih prihoda od prodaje električne energije i utvrđivanju isplativosti projekta.

Osim toga, simulacije omogućuju eksperimentiranje s različitim konfiguracijama i parametrima, čime se identificiraju optimalne postavke koje maksimiziraju proizvodnju električne energije i profitabilnost. Također pomažu u procjeni rizika i razmatranju strategija za njihovo upravljanje.

Sve te informacije iz simulacija kritične su za investitore kako bi donijeli informirane odluke o izgradnji i upravljanju solarnom elektranom. Analiza profitabilnosti elektrane temelji se na ovim simulacijama kako bi se ocijenilo hoće li projekt donijeti očekivani povrat investicije i dugoročnu profitabilnost.

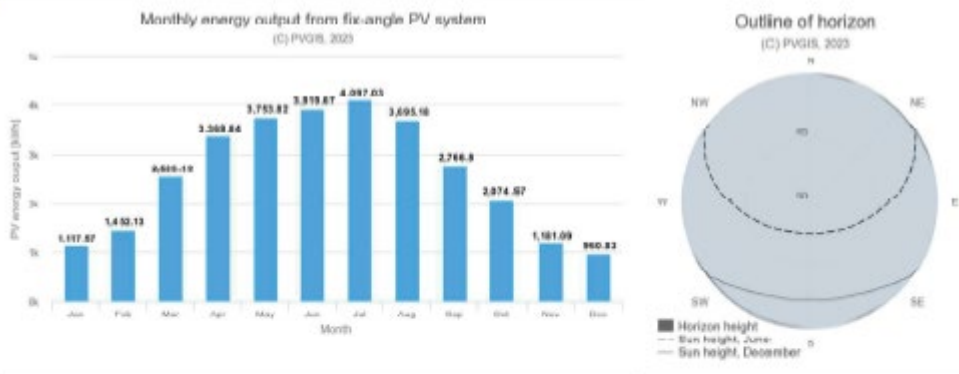
**Ploha 1**



Godišnja proizvodnja PV energije [kWh]:	95683.45
Godišnje zračenje [kWh/m <sup>2</sup> ]:	1535.02
Varijabilnost iz godine u godinu [kWh]:	4899.92
Promjene u izlazu zbog:	
Upadni kut [%]:	-2.89
Spektralni učinci [%]:	1.42
Temperatura i nisko zračenje [%]:	-11.11
Potpuni gubitak [%]:	-24.72

Slika 34. Rezultati plohe 1 [13]

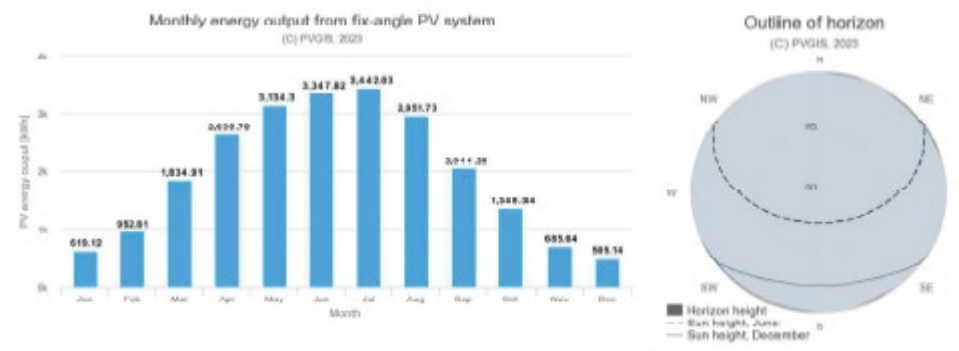
### Ploha 3



Godišnja proizvodnja PV energije [kWh]:	30926.01
Godišnje zračenje [kWh/m <sup>2</sup> ]:	1355.9
Varijabilnost iz godine u godinu [kWh]:	1629.99
Promjene u izlazu zbog:	
Upadni kut [%]:	-3.31
Spektralni učinci [%]:	1.32
Temperatura i nisko zračenje [%]:	-10.84
Potpuni gubitak [%]:	-24.87

Slika 35. Rezultati plohe 3 [13]

### Ploha 4



Godišnja proizvodnja PV energije [kWh]:	23496.89
Godišnje zračenje [kWh/m <sup>2</sup> ]:	1141.72
Varijabilnost iz godine u godinu [kWh]:	1066.34
Promjene u izlazu zbog:	
Upadni kut [%]:	-4.3
Spektralni učinci [%]:	1.21
Temperatura i nisko zračenje [%]:	-10.48
Potpuni gubitak [%]:	-25.43

Slika 36. Rezultati plohe 4 [13]

Samodostatnost solarne elektrane je ključni pokazatelj njezine učinkovitosti i sposobnosti da zadovolji vlastite energetske potrebe. U slučaju ove specifične solarne elektrane, koja ima ukupnu godišnju potrošnju električne energije od 166,239 kilovatsati (kWh) godišnje, samodostatnost iznosi visokih 90,3%. To znači da ova elektrana proizvodi gotovo 90,3% ukupne energije koja joj je potrebna za vlastite potrebe.

Ova impresivna razina samodostatnosti ukazuje na visoku učinkovitost solarnih panela i pripadajućih sustava. Sposobnost proizvodnje tolike količine električne energije iz obnovljivog izvora poput sunčeve energije znači da je ova elektrana znatno smanjila svoju ovisnost o električnoj mreži. Izvanmrežni sustavi za pohranu energije, poput baterija, vjerojatno igraju ključnu ulogu u postizanju ovakve visoke samodostatnosti, omogućujući pohranu viška proizvedene energije za korištenje tijekom noći ili oblačnih dana.

Osim financijskih ušteda koje donosi smanjenje ovisnosti o električnoj mreži, visoka samodostatnost također ima ekološke prednosti.

## **8.1. Procjena troškova gradnje**

Procjena troškova gradnje solarnog projekta u iznosu od 168.000 € jedan je od ključnih faktora u financijskom planiranju i analizi isplativosti projekta. Važno je razumjeti kako se ovi troškovi raspoređuju tijekom vremena i kako će projekt utjecati na novčani tijek kroz dugi vremenski period. U ovom slučaju, analiza uključuje tablice novčanog tijeka koje se protežu tijekom 21 godine.

U prvim godinama nakon izgradnje, vidjet ćemo znatno negativan novčani tijek zbog inicijalne investicije od 168.000, 00 €. To uključuje troškove za kupnju i instalaciju solarnih panela, invertera, montažnog sustava i električne opreme.

Nakon toga, tijekom razdoblja od 21 godine, vidjet ćemo postupno povećanje prihoda generiranih prodajom proizvedene električne energije, što će rezultirati pozitivnim novčanim tijekom. Ovaj prihod nadoknađuje troškove investicije i pokriva operativne troškove, uključujući održavanje i eventualnu zamjenu komponenata.



U tablici novčanog tijeka, svaka godina će sadržavati sljedeće stavke:

1. **Investicija:** U prvoj godini će biti vidljiva inicijalna investicija od 168.000 €.
2. **Proizvedeno:** Ovaj stupac pokazuje koliko električne energije je proizvedeno svake godine, a što će se prodavati.
3. **Preuzeto:** To su prihodi generirani prodajom proizvedene električne energije.
4. **Godišnji novčani tijek:** Ovaj redak pokazuje razliku između preuzetog novca (prihoda) i troškova (uključujući investiciju i operativne troškove).
5. **Kumulativni novčani tijek:** Ovaj redak prikazuje akumulaciju novčanog tijeka tijekom vremena i ukupni financijski rezultat projekta.

Ova analiza omogućuje investitorima da razumiju kako će se troškovi i prihodi razvijati tijekom vremena, koliko će vremena biti potrebno za povrat inicijalne investicije i koliki će ukupni financijski rezultat projekta biti tijekom 21 godine.

## 9. Sadašnje stanje obnovljivih izvora

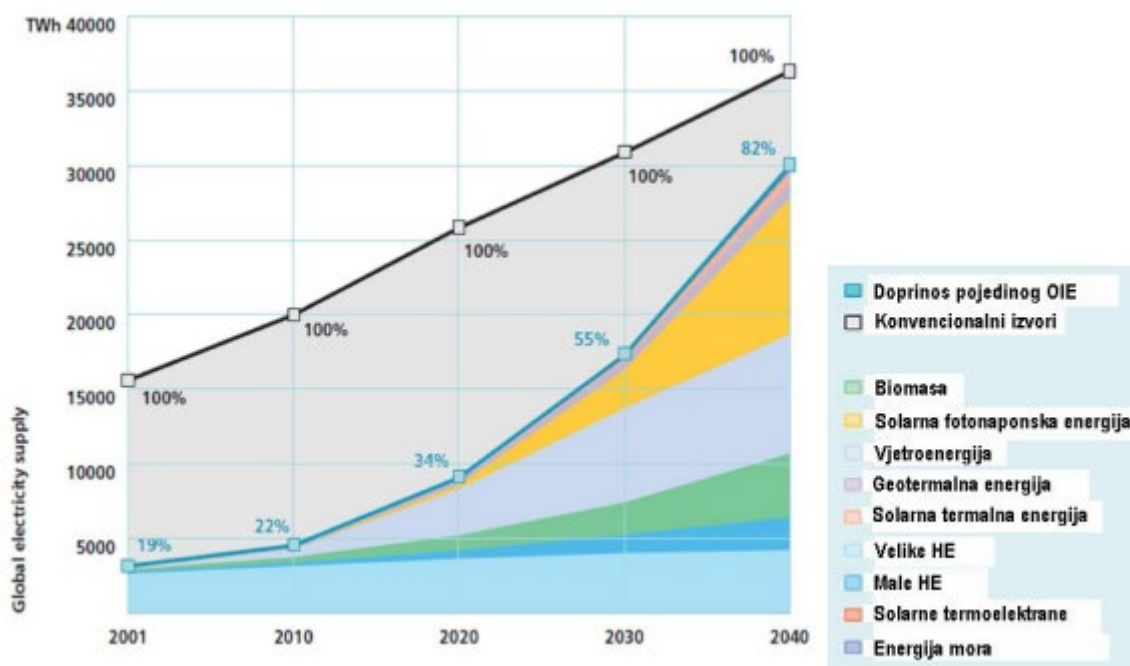
### 9.1. Obnovljivi izvori u Europskoj uniji i svijetu

Stanje obnovljivih izvora energije u Europskoj Uniji i svijetu pokazuje očitu tendenciju prema rastu i razvoju. U Europskoj Uniji, ambiciozni ciljevi za povećanje udjela obnovljivih izvora u energetske mješavini potiču ulaganja u solarne panele, vjetroelektrane i druge obnovljive izvore. Osim toga, razvoj pametnih mreža i tehnologija za pohranu energije omogućava učinkovitije korištenje obnovljivih izvora i njihovu integraciju u energetske sustave. S druge strane, na globalnoj razini, rast solarnih i vjetroelektrana je značajan, s Kinom kao vodećim igračem u proizvodnji i instalaciji obnovljive energije. Međunarodni sporazumi, poput Pariškog sporazuma, dodatno potiču zemlje da ulažu u obnovljive izvore energije kako bi smanjile emisije stakleničkih plinova. Unatoč izazovima, uključujući fluktuaciju i potrebu za pohranom energije te potrebom za infrastrukturnim i regulatornim prilagodbama, obnovljivi izvori energije igraju ključnu ulogu u postizanju ciljeva održivosti i smanjenju utjecaja na okoliš.



Slika 37. Karta projekta energetske infrastrukture EU [15]

Plan energetskeg razvoja za globalni električni sustav, kako ga predstavlja EREC Agencija na Slici 31, pruža viziju kako bi svijet mogao postići potpuno održivu energetska budućnost već do 2040. ili 2050. godine.



Slika 38. Grafikon doprinosa obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije [15]

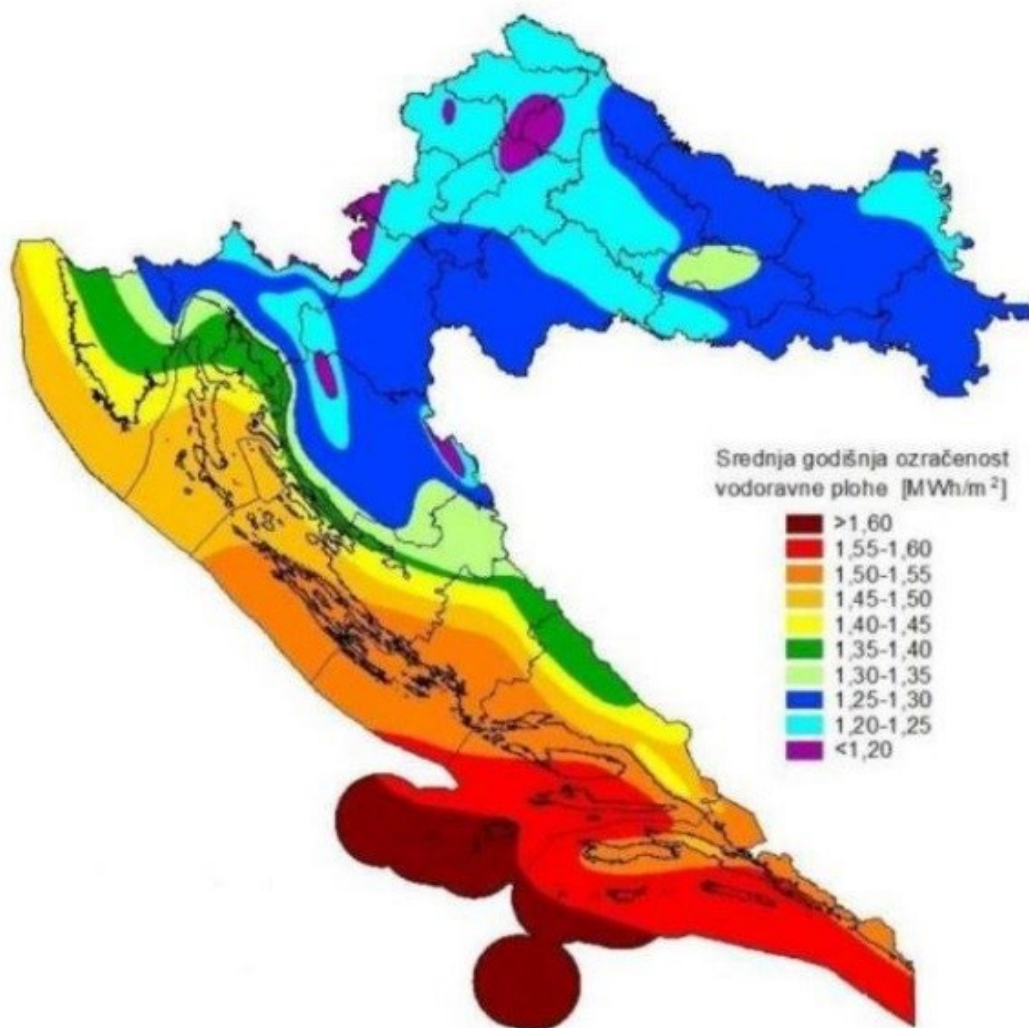
## 9.2. Obnovljivi izvori u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj, obnovljiva energija (OIE) igra ključnu ulogu u postizanju energetske neovisnosti, smanjenju emisija stakleničkih plinova i stvaranju održivog energetskeg sektora. Ovaj odjeljak će pružiti pregled stanja i razvoja OIE u Hrvatskoj, istražujući ključne aspekte, politike i perspektive.

Geografski položaj Republike Hrvatske čini je idealnom za iskorištavanje solarne energije, a prosječna godišnja sunčeva insolacija (ozračenost) služi kao ključni pokazatelj tog potencijala. Kao što se može vidjeti na karti u Slici 39., područje uz obalu Jadranskog mora, posebno Dalmacija, ima najbolju prosječnu insolaciju, koja iznosi između 1,40 i 1,60 megavatsat (MWh) po kvadratnom metru godišnje. S druge strane, unutrašnji dijelovi kopnene Hrvatske imaju nešto nižu insolaciju, između 1,20 i 1,40 MWh po kvadratnom metru godišnje.

Ovaj visoki potencijal za sunčevu energiju u Hrvatskoj nije još potpuno prepoznat, iako je globalno gledano jedan od najizraženijih u Europi. To ukazuje na mogućnost značajnog razvoja solarnih elektrana i drugih solarnih projekata u zemlji kako bi se iskoristila ova obnovljiva energija

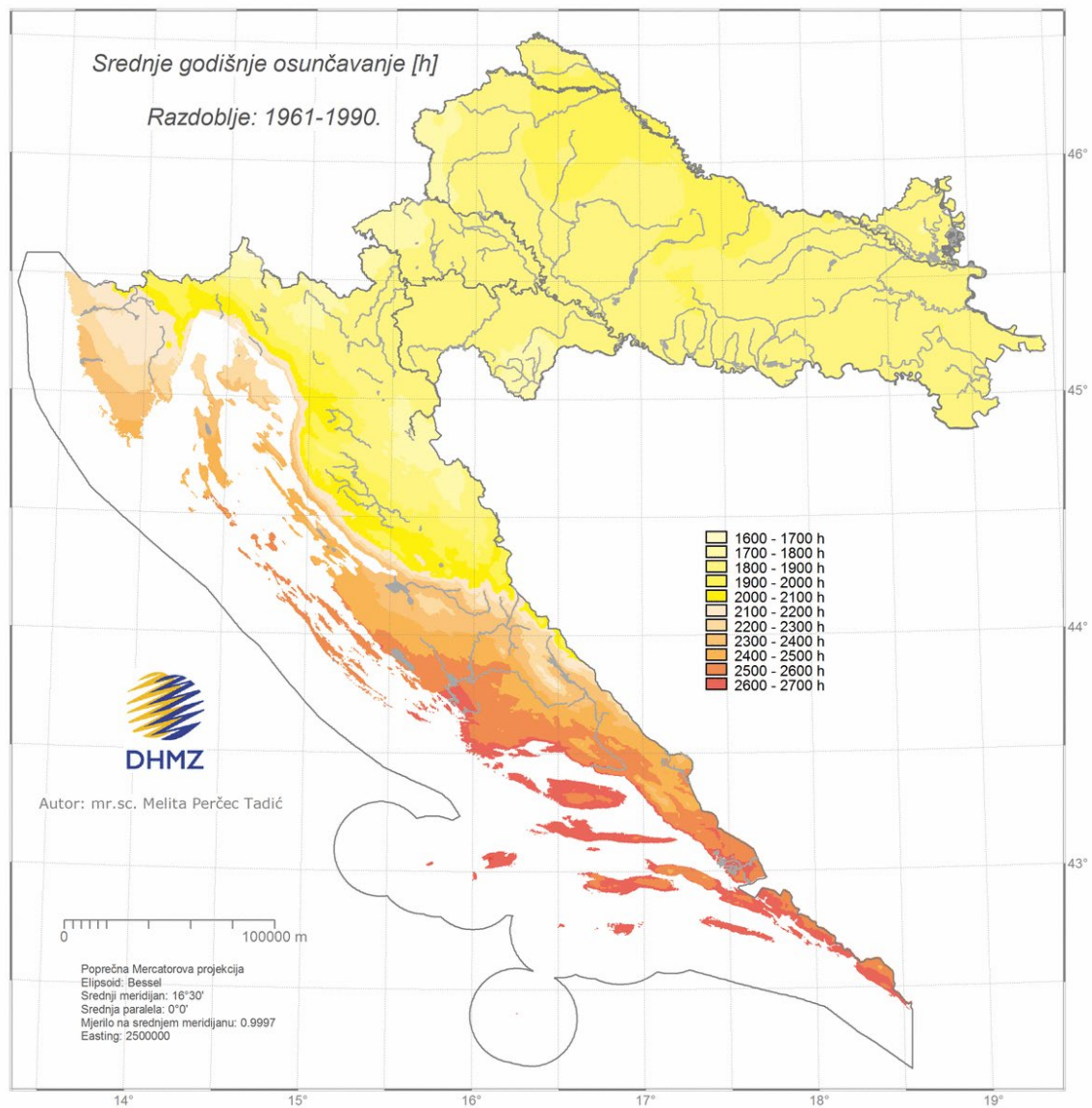
i doprinijelo smanjenju emisija stakleničkih plinova.



Slika 39. Ozračenost vodoravne plohe na Republiku Hrvatsku [16]

Prema dostupnim podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda, Republika Hrvatska ima značajan potencijal za iskorištavanje solarne energije, s obzirom na visok broj sunčanih dana tijekom godine. Ovo promatranje obuhvaća razdoblje od 1961. do 1990. godine i ukazuje na činjenicu da Hrvatska nije sklonija oblačnim danima kao neke zapadnije europske zemlje. Tijekom oblačnih dana, iskorištavanje sunčeve energije smanjuje se zbog smanjenog sunčevog zračenja.

Na karti u Slici 40. prikazan je broj sunčanih dana u Hrvatskoj, pri čemu južna Dalmacija, posebno, ističe s impresivnih 2300 do 2700 sunčanih sati godišnje. Ovi podaci potvrđuju da Hrvatska ima povoljnu klimu za korištenje solarnih tehnologija zbog obilja sunčanih dana, što pruža povoljne uvjete za proizvodnju solarne energije.



Slika 40. Srednje godišnje osunčavanje u Republici Hrvatskoj [16]

## 10. Zaključak

U suvremenom društvu, obnovljivi izvori energije igraju ključnu ulogu u transformaciji energetskega sektora, a razvijene nacije aktivno potiču njihovu široku primjenu. Ovaj poticaj za obnovljivim izvorima energije otvara vrata za značajan napredak u tehnologiji njihove integracije u elektroenergetsku sustavu. Važno je napomenuti da se u ovu tehnologiju ulaže znatno manje resursa u usporedbi s fosilnim gorivima i nuklearnom energijom.

Unutar obnovljivih izvora energije, Sunčeva energija se izdvaja kao jedan od najperspektivnijih izvora energije. Fotonaponski sustavi predstavljaju iznimno učinkovit način pretvaranja Sunčeve energije u električnu energiju, a iako su fotonaponski paneli i dalje relativno skupi u odnosu na proizvedenu snagu, konstantan tehnološki napredak donosi pad cijena i povećanje učinkovitosti.

Ugradnjom solarnih panela na krovove zgrada diljem svijeta postiže se značajna ušteda u električnoj energiji. Ovi paneli ne samo da pridonose smanjenju emisije stakleničkih plinova nego i potiču energetske neovisnost. Sa znanjem stečenim na predmetu Fizika zgrade i energetska učinkovitost, koji obuhvaća osnovne principe projektiranja i planiranja energetske učinkovitih zgrada, dolazi se do razumijevanja važnosti integracije solarnih tehnologija u moderne građevine. Sve više se prepoznaje da Sunčeva energija ima potencijal postati ključnim nositeljem ekološki održivog energetskega razvoja u bliskoj budućnosti.

S obzirom na visoke cijene fosilnih goriva, ograničene rezerve nafte i prirodna ograničenja nuklearne energije, upotreba Sunčeve energije postaje ekonomski i ekološki isplativija opcija. Intenzivna istraživanja i razvoj novih tehnologija za pretvorbu Sunčeve energije u električnu energiju obećavaju svijetlu budućnost obnovljive energije.

U konačnici, Sunčeva energija, putem fotonaponskih panela postavljenih na krovovima, pruža održivu alternativu tradicionalnim izvorima energije. Njezina sveprisutnost i čisti karakter čine je ključnim igračem u transformaciji energetskega sektora prema održivijoj i ekološki prihvatljivijoj budućnosti.

## 11. Literatura

[1] Edutorij.e-škole.hr

URL:[https://edutorij.e-škole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/8fcc33ca-529a-4baf-b303-4dbb614e20f7/j\\_2.html](https://edutorij.e-škole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/8fcc33ca-529a-4baf-b303-4dbb614e20f7/j_2.html).

Pristupljeno rujan 5, 2023.

[2] Crnković, M. Završni rad, Pametan tuš. Repozitorij Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek

URL:<https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A1758/datastream/PDF/view>.

Pristupljeno studeni 20, 2023.

[3] EKO.ZAGREB.HR. Gradski ured za energetiku, zaštitu okoliša i održivi razvoj

URL: <http://eko.zagreb.hr/print.aspx?id=85>.

Pristupljeno siječanj 10, 2024.

[4] Papić, V. Predavanja iz osnova elektronike. Sveučilište u Splitu, 2005.

URL: [http://marjan.fesb.hr/~vpapic/nastava\\_files/POE2.pdf](http://marjan.fesb.hr/~vpapic/nastava_files/POE2.pdf).

Pristupljeno travanj 15, 2024.

[5] Majdandžić, L. Fotonaponski sustavi. Priručnik, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu

URL:<https://dokumen.tips/documents/fotonaponski-sustavi-ljubomir-majdandzic.html>.

Pristupljeno svibanj 3, 2024.

[6] Wikipedia. Solarni paneli na svemirskim letjelicama

URL: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Solarni\\_paneli\\_na\\_svemirskim\\_letjelicama](https://hr.wikipedia.org/wiki/Solarni_paneli_na_svemirskim_letjelicama).

Pristupljeno kolovoz 22, 2023.

[7] Karakteristike solarne ćelije

URL:[https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Karakteristika\\_solarne\\_celije.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Karakteristika_solarne_celije.pdf).

Pristupljeno listopad 7, 2023.

[8] Prirodoslovna lepeza za mlade znanstvenike – suvremena nastava za izazove tržišta. Energija sunca i fotonaponske ćelije

URL:<http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/2-energija-sunca-i-fotonaponske-celije/>.

Pristupljeno prosinac 18, 2023.

[9] Fotonaponska ploča

URL: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotonaponska\\_plo%C4%8Da](https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotonaponska_plo%C4%8Da).

Pristupljeno siječanj 30, 2024.

[9] REA Kvarner d.o.o. Fotonaponski sustavi

URL: [https://www.irena-istra.hr/uploads/media/Fotonaponski\\_sustavi.pdf](https://www.irena-istra.hr/uploads/media/Fotonaponski_sustavi.pdf).

Pristupljeno veljača 12, 2024.

[10] Soletrik. Fotonaponski sustavi

URL: <https://www.soletrik.hr/fotonaponski-sustavi>.

Pristupljeno ožujak 5, 2024.

[10] Srpak, D., Stijačić, S., & Šumiga, I. Izgradnja sunčane elektrane na studentskom restoranu u Varaždinu

URL: [https://bib.irb.hr/datoteka/789753.tj\\_8\\_2014\\_4\\_433\\_437.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/789753.tj_8_2014_4_433_437.pdf).

Pristupljeno srpanj 19, 2023.

[11] Suton, A. Idejni projekt: Sunčane elektrane zgrade Sveučilišta Varaždin (UNIN1, UNIN2 i UNIN3), 2023

[12] Energetska infrastruktura u EU-u

URL: [https://energy.ec.europa.eu/energy-explained/energy-infrastructure-eu\\_hr](https://energy.ec.europa.eu/energy-explained/energy-infrastructure-eu_hr).

Pristupljeno listopad 28, 2023.

[13] Sokač, D. Regulativa vezana za distribuirane izvore, uključujući i specifične probleme obnovljivih izvora i kogeneracijskih postrojenja, 2012.

[14] Solarna energija u Hrvatskoj.

URL: <http://www.ho-cired.hr/3savjetovanje/SO4-15.pdf>.

Pristupljeno prosinac 5, 2023.

[15] Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu

URL: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2020\\_03\\_25\\_602.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2020_03_25_602.html)

Pristupljeno svibanj 18, 2024.



[16] Solarna energija u Hrvatskoj

URL: <http://www.ho-cired.hr/3savjetovanje/SO4-15.pdf>.

Pristupljeno prosinac 5, 2023.

[17] Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu

URL: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2020\\_03\\_25\\_602.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2020_03_25_602.html).

Pristupljeno svibanj 18, 2024.

## Popis slika

Slika 1. Sunce [1]

Slika 2. Vrste Sunčevog zračenja [2]

Slika 3. Energetski dijagram poluvodiča [4]

Slika 4. Svemirska letjelica opremljena solarnim panelima [6]

Slika 5. Silicijeva solarna ćelija [5]

Slika 6. Prikaz solarne ćelije kao izvor električne energije [5]

Slika 7. Realan slučaj električne sheme fotonaponske ćelije [7]

Slika 8. U-I karakteristike fotonaponske ćelije [8]

Slika 9. Ćelije polukristalnog silicija [5]

Slika 10. Prikaz proizvodnje ćelija, solarnih panela i montaža [5]

Slika 11. Fotonaponske ploče [9]

Slika 12. Detaljnije o podjeli fotonaponskih sustava [5]

Slika 13. Samostalni fotonaponski sustav [10]

Slika 14. Hibridni fotonaponski sustav [11]

Slika 15. Fotonaponski sustav priključen na mrežu [5]

Slika 16. Fotonaponski sustav priključen izravno na mrežu [11]

Slika 17. Fotonaponski sustav priključen preko kućne instalacije [11]

Slika 18. Karakteristike i izgled fotonaponskog panela [13]

Slika 19. Inverter 30 kW [13]

Slika 20. Pozicije invertera [13]

Slika 21. Daljinski nadzor rada elektrane [13]

Slika 22. Nadzor rada preko RS485 komunikacijskog kabla [13]

Slika 23. Radna krivulja invertera [13]

Slika 24. Prikaz krovne konstrukcije [13]

Slika 25. Fotografija krovišta

Slika 26. Detaljan prikaz drvenih greda i poprečnih elemenata

Slika 27. Vidljiva oštećenja

- Slika 28. Detaljan prikaz novih letva
- Slika 29. Proračun najnepovoljnijeg položaja [13]
- Slika 30. Uvjet za isključenje napajanja [13]
- Slika 31. Tablica HRN HD 60364-5-54 [13]
- Slika 32. Karta grmljavinskih dana [13]
- Slika 33. Metoda zaštitnog kuta[13]
- Slika 34. Rezultati plohe 1 [13]
- Slika 35. Rezultati plohe 3 [13]
- Slika 36. Rezultati plohe 4 [13]
- Slika 37. Karta projekta energetske infrastrukture EU[14]
- Slika 38. Grafikon doprinosa obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije [15]
- Slika 39. Ozračenost vodoravne plohe na Republiku Hrvatsku [16]
- Slika 40. Srednje godišnje osunčavanje u Republici Hrvatskoj [16]

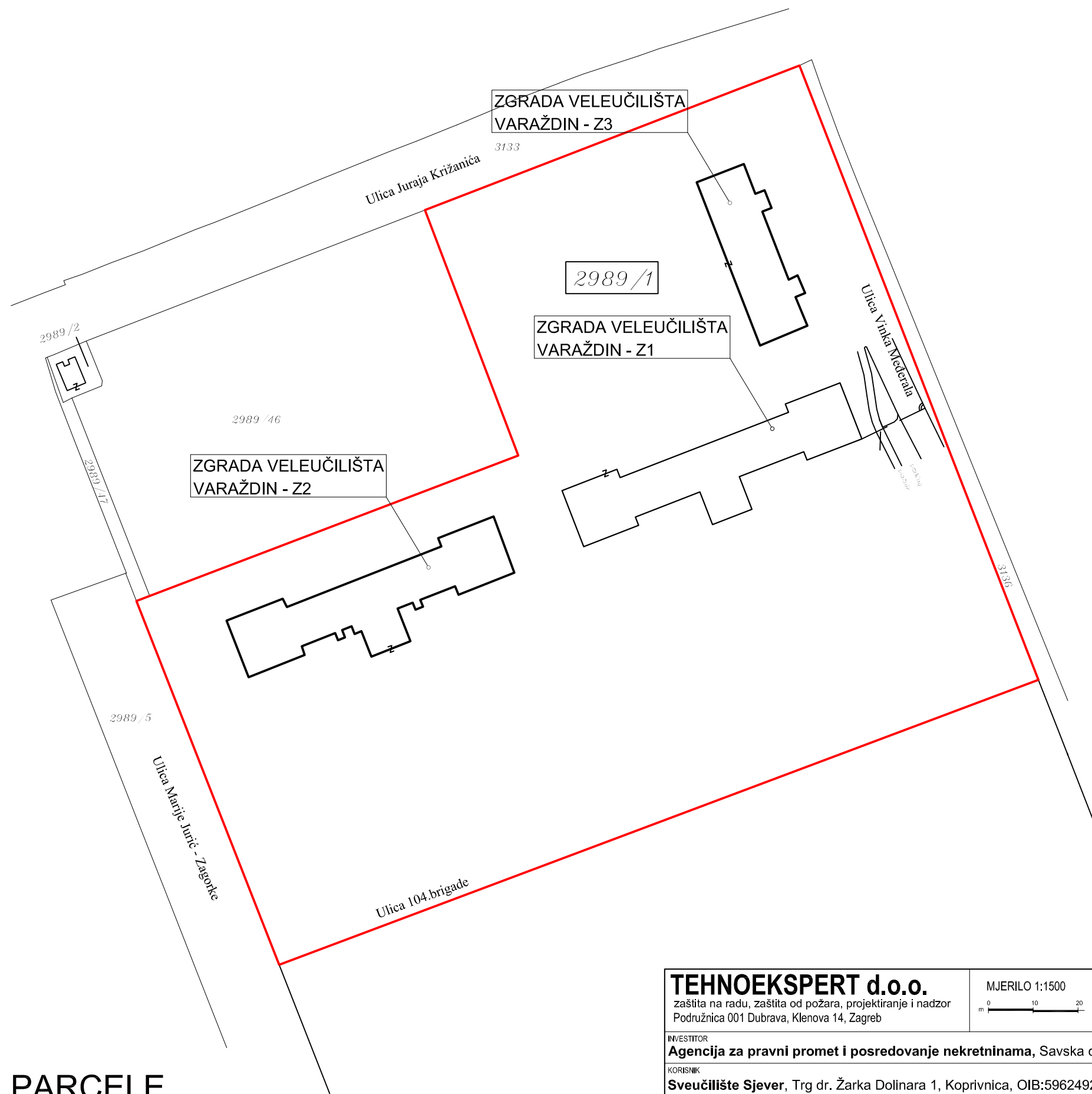
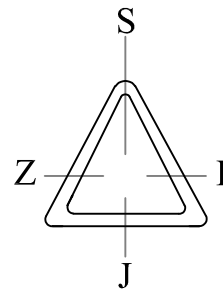
## **Prilozi**

Prilog 1. Situacija s prikazom lokacije građevina

Prilog 2. Tlocrt krova - s pozicijama FN modula Z1

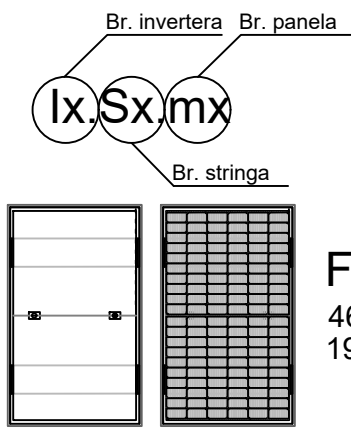
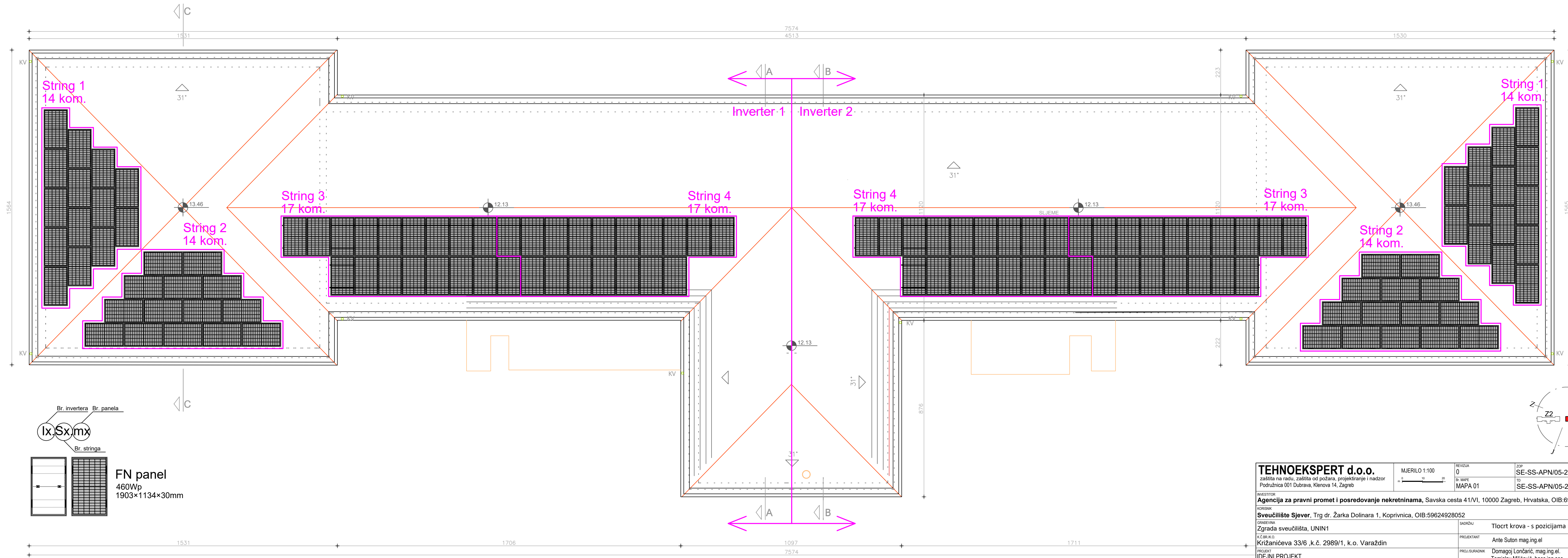
Prilog 3. Tlocrt krova – s pozicijama FN modula Z2

Prilog 4. Tlocrt krova – s pozicijama FN modula Z3



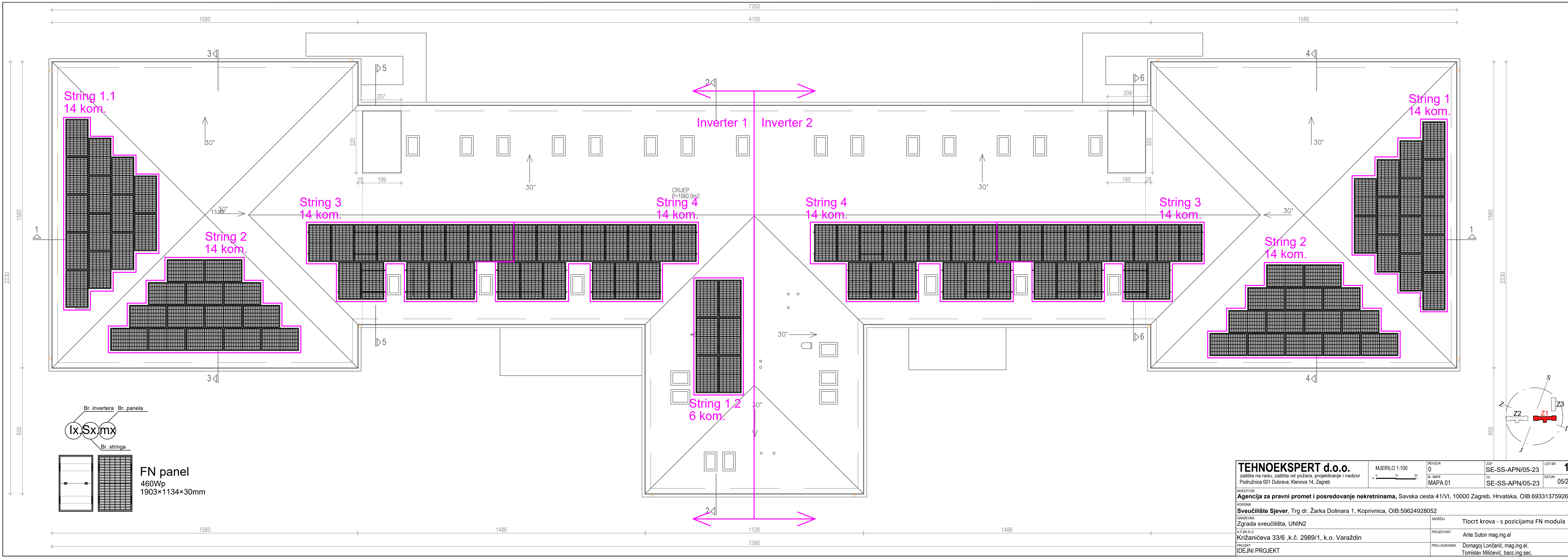
— RUB PARCELE

<b>TEHNOEKSPERT d.o.o.</b> zaštita na radu, zaštita od požara, projektiranje i nadzor Podružnica 001 Dubrava, Klenova 14, Zagreb	MJERILO 1:1500 	REVIZIJA 0	ZOP SE-SS-APN/05-23	LIST BR. <b>01</b>
		Br. MAPE MAPA 01	TD SE-SS-APN/05-23	DATUM 05/2023
INVESTITOR Agencija za pravni promet i posredovanje nekretninama, Savska cesta 41/VI, 10000 Zagreb, Hrvatska, OIB:69331375926				
KORISNIK Sveučilište Sjever, Trg dr. Žarka Dolinara 1, Koprivnica, OIB:59624928052				
GRADEVINA Zgrada sveučilišta, UNIN1, UNIN2 i UNIN3	SADRŽAJ Situacija s prikazom lokacije građevina			
K.Č.BR./K.O. Kržanićeva 33/6 ,k.č. 2989/1, k.o. Varaždin	PROJEKTANT Ante Suton mag.ing.el			
PROJEKT IDEJNI PROJEKT	PROJ.SURADNIK Domagoj Lončarić, mag.ing.el. Tomislav Miličević, bacc.ing.sec.			

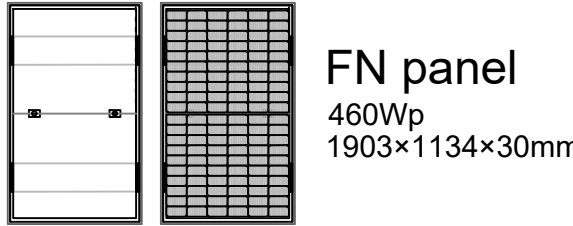


**FN panel**  
460Wp  
1903×1134×30mm

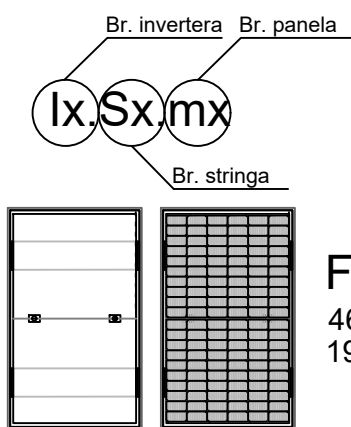
<b>TEHNOEKSPERT d.o.o.</b> zaštita na radu, zaštita od požara, projektiranje i nadzor Podružnica 001 Dubrava, Klenova 14, Zagreb	MJERILO 1:100	REVIZIJA 0	ZOP SE-SS-APN/05-23	LIST BR. 06
		By. MAPE MAPA 01	TD SE-SS-APN/05-23	DATUM 05/2023
INVESTITOR <b>Agencija za pravni promet i posredovanje nekretninama</b> , Savska cesta 41/VI, 10000 Zagreb, Hrvatska, OIB:6931375926	KODIRNIK <b>Sveučilište Sjever</b> , Trg dr. Žarka Dolinara 1, Koprivnica, OIB:59624928052			
GRAĐEVINA <b>Zgrada sveučilišta, UNIN1</b>	SADRŽAJ Tlocrt krova - s pozicijama FN modula			
K.Č.BR./K.O. Križanićeva 33/6, k.č. 2989/1, k.o. Varaždin	PROJEKTANT Ante Suton mag.ing.el			
PROJEKT IDEJNI PROJEKT	PROJ./SURADNIK Domagoj Lončarić, mag.ing.el. Tomislav Miličević, bacc.ing.sec.			



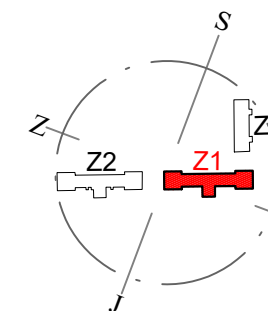
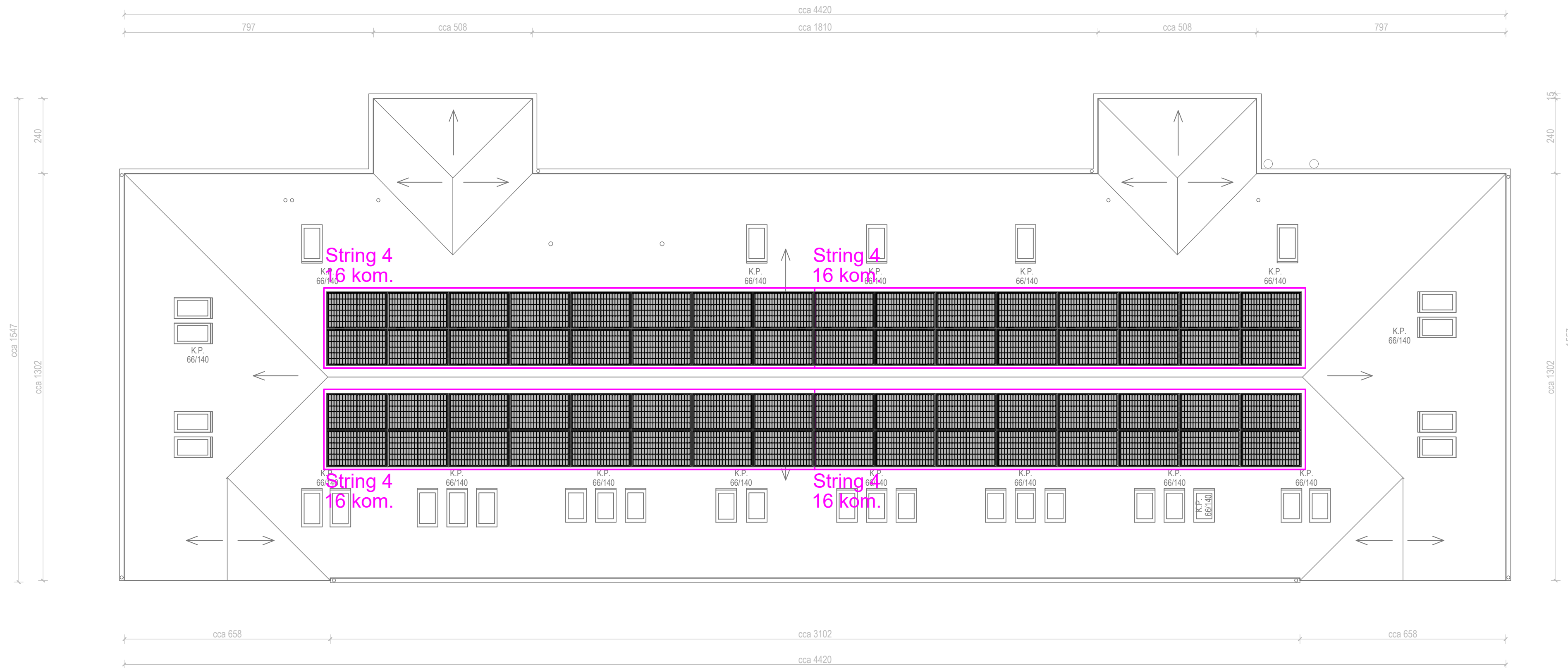
Br. invertera Br. panela  
 (Ix, Sx, mx)  
 Br. stringa



<b>TEHNOEKSPERT d.o.o.</b> zaštita na radu, zaštita od požara, projektiranje i nadzor Podružnica 001 Dubrava, Klenova 14, Zagreb	MJERILO 1:100	REVIZIJA 0	ZOP SE-SS-APN/05-23	LIST BR. <b>12</b>
		BY: MAPE MAPA 01	TD SE-SS-APN/05-23	DATUM 05/2023
INVESTITOR <b>Agencija za pravni promet i posredovanje nekretninama, Savska cesta 41/VI, 10000 Zagreb, Hrvatska, OIB:69331375926</b>	KODIRNIK <b>Sveučilište Sjever, Trg dr. Žarka Dolinara 1, Koprivnica, OIB:59624928052</b>			
GRABEVINA <b>Zgrada sveučilišta, UNIN2</b>	SADRŽAJ Tlocrt krova - s pozicijama FN modula			
K.C.BR./K.O. Križanićeva 33/6 ,k.č. 2989/1, k.o. Varaždin	PROJEKTANT Ante Suton mag.ing.el			
PROJEKT IDEJNI PROJEKT	PROJ./SURADNIK Domagoj Lončarić, mag.ing.el. Tomislav Miličević, bacc.ing.sec.			



**FN panel**  
460Wp  
1903×1134×30mm



<b>TEHNOEKSPERT d.o.o.</b> zaštita na radu, zaštita od požara, projektiranje i nadzor Podružnica 001 Dubrava, Klenova 14, Zagreb		MJERILO 1:100 	REVIZIJA 0 BY: MAPE MAPA 01	ZOP SE-SS-APN/05-23 TD SE-SS-APN/05-23	LIST BR. <b>18</b> DATUM 05/2023
INVESTITOR <b>Agencija za pravni promet i posredovanje nekretninama</b> , Savska cesta 41/VI, 10000 Zagreb, Hrvatska, OIB:69331375926					
KODIRNIK <b>Sveučilište Sjever</b> , Trg dr. Žarka Dolinara 1, Koprivnica, OIB:59624928052					
GRABEVINA Zgrada sveučilišta, UNIN3			SADRŽAJ Tlocrt krova - s pozicijama FN modula		
K.C.BR./K.O. Križanićeva 33/6, k.č. 2989/1, k.o. Varaždin			PROJEKTANT Ante Suton mag.ing.el.		
PROJEKT IDEJNI PROJEKT			PROJ./SURADNIK Domagoj Lončarić, mag.ing.el. Tomislav Miličević, bacc.ing.sec.		