

# Analiza parametara koji utječu na rad fotonaponskog sustava

---

**Vidović, Vjeran**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:011969>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-31**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
Sveučilišni diplomski studij politehnika i informatika  
(nastavnički)

Diplomski rad  
ANALIZA PARAMETARA KOJI UTJEČU NA RAD  
FOTONAPONSKOG SUSTAVA

Rijeka, rujan 2023.

Vjeran Vidović

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
Sveučilišni diplomski studij politehnika i informatika  
(nastavnički)

Diplomski rad  
ANALIZA PARAMETARA KOJI UTJEČU NA RAD  
FOTONAPONSKOG SUSTAVA

Mentor: Prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

Rijeka, rujan 2023.

Vjeran Vidović

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**Studij politehnike**

Rijeka, 20.3.2023.

## **Zadatak za diplomski rad**

Pristupnik: Vjeran Vidović

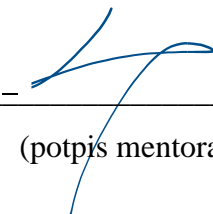
Naziv diplomskog rada: Analiza parametara koji utječu na rad fotonaponskog sustava

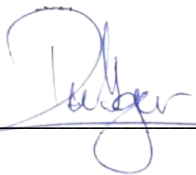
Naziv diplomskog rada na eng. jeziku: Analysis of parameters affecting the operation of a photovoltaic system

Sadržaj zadatka: Opisati proizvodnju električne energije u fotonaponskim sustavima analizirati utjecaj zasjenjenja, geografskog položaja elektrane, vremenskih uvjeta i održavanja na rad elektrane, napraviti projekciju proizvodnje za elektranu na krovu višestambenog objekta. Analizirati status i perspektivu razvoja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj te predložiti unaprjeđenja.

Mentor: dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

Voditelj za diplomske radove

  
\_\_\_\_\_  
(potpis mentora)

  
\_\_\_\_\_  
Zadatak preuzet: datum

\_\_\_\_\_  
(potpis pristupnika)

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	4
POPIS SLIKA.....	6
POPIS TABLICA .....	7
SAŽETAK .....	8
SUMMARY .....	9
1. UVOD.....	10
2. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U FOTONAPONSKIM SUSTAVIMA .....	12
2.1. Izračun proizvodnje električne energije iz solarnih modula .....	13
2.2. Najvažniji dijelovi fotonaponskog sustava .....	14
2.3. Fotonaponski moduli .....	15
2.4. Fotonaponski izmjenjivač .....	16
3. PARAMETRI KOJI UTJEČU NA RAD FOTONAPONSKIH SUSTAVA.....	18
3.1 Utjecaj zasjenjenja na rad fotonaponskog sustava .....	19
3.2 Utjecaj geografskog položaja fotonaponskog sustava na proizvodnju električne energije 19	
3.3 Utjecaj vremenskih uvjeta na proizvodnju električne energije .....	20
3.4 Utjecaj održavanja na rad fotonaponskog sustava .....	22
4. PROJEKCIJA PROIZVODNJE ELEKTRANE NA KROVU VIŠESTAMBENOG OBJEKTA.....	26
5. STATUS I PERSPEKTIVA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U RH.....	35
5.1 Problemi postojećeg sustava .....	35
5.2 Moguća unaprjeđenja postojećeg sustava.....	36
5.2.1. Optimizacija administrativnih postupaka i digitalizacija procesa .....	37

5.2.2. Izazovi u nabavci i dobavljanju .....	37
5.2.3. Dugoročna održivost i neovisnost.....	37
6. METODIČKI DIO RADA.....	38
6.1 Uvod – opis razloga za obradu sadržaja zastupljenih u diplomskom radu .....	38
6.2 Reducirani izvedbeni nastavni program.....	40
6.3 Opisni dio vezan za metodičku obradu sadržaja integriranog u nastavni program .....	48
6.4 Priprema za nastavu .....	49
7. ZAKLJUČAK.....	57
8. LITERATURA .....	59

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Fotonaponski modul .....	16
Slika 2. Fotonaponski izmjenjivač .....	17
Slika 3. Čišćenje fotonaponski modula.....	23
Slika 4. Fotonaponski modul - Termalna kamera.....	25
Slika 5. Instalacije fotonaponske elektrane - Termalna kamera .....	25
Slika 6. Višestambeni objekt za građenje fotonaponske elektrane .....	27
Slika 7. Krov višestambenog objekta predviđen za instalaciju fotonaponske elektrane .....	27
Slika 8. Projekcija višestambenog objekta u programu PVsyst.....	28
Slika 9. Pregled rezultata i parametara projekta .....	29
Slika 10. Karakteriste projektrane elektrane .....	30
Slika 11. Gubici u projektiranoj elektrani.....	30
Slika 12. Dijagram zasjenjenja projektirane elektrane .....	31
Slika 13. Dijagram gubitaka .....	32
Slika 14. Konačni rezultati projekcije.....	34

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Reducirani izvedbeni nastavni program..... 43



## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu analiziraju se parametri koji utječu na rad fotonaponskog sustava, odnosno solarnih elektrana. U današnjem svijetu, sve veći naglasak stavlja se na obnovljive izvore energije kako bi se smanjila ovisnost o fosilnim gorivima i kako bi se smanjili negativni utjecaji na okoliš. Solarne elektrane igraju ključnu ulogu u ovom tranzicijskom procesu prema održivoj energetskej budućnosti. U radu se analizira kako različiti parametri utječu na performanse fotonaponskih sustava, istražuje se utjecaj zasjenjenja, orijentacije, odnosno geografskog položaja panela, vremenskih uvjeta i održavanja na proizvodnju energije. Kroz projekciju proizvodnje elektrane na krovu višestambenog objekta, primjenjuju se analize u praktičnom kontekstu. U sklopu rada, analizira se i trenutni status te perspektiva obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj s naglaskom na solarnu energiju, identificiraju se potencijali za daljnji razvoj solarnih kapaciteta, uzimajući u obzir društvene, tehničke i ekonomske faktore. U radu se također istražuju moguća unapređenja sustava fotonaponskih elektrana. Proučavaju se inovativne tehnologije, tehnike praćenja performansi i integracija solarnih sustava u postojeće energetske mreže kako bi se postigla veća učinkovitost i održivost. Zaključno, ovaj rad prepoznaje važnost solarnih elektrana kao ključne čimbenike u tranziciji prema održivoj energetskej budućnosti. Kroz analizu parametara, projekciju proizvodnje, razmatranje perspektiva i unapređenja. U završnom dijelu rada, prikazan je i metodički dio u obliku nastavne pripreme, koji pruža praktične smjernice za daljnje obrazovne i istraživačke aktivnosti u ovom području.

**Ključne riječi:** Fotonaponski sustav, fotonaponski modul, solarna elektrana, parametri, rad fotonaponskog sustava

**Analaysis of parameters affecting the operation of a photovoltaic system****SUMMARY**

This master thesis analyses the parameters that affect the operation of the photovoltaic system, specifically solar power plants. In today's world, there is a growing emphasis on renewable energy sources to reduce dependence on fossil fuels and mitigate negative environmental impacts. Solar power plants play a crucial role in this transition towards a sustainable energy future. The thesis examines how various parameters affect the performance of photovoltaic systems, investigating the impact of shading, orientation, panel geographical positioning, weather conditions, and panel maintenance on energy production. Through a projection of power plant production on the roof of a multi-story building, these analyses are applied in a practical context. As part of the thesis, the current status and prospects of renewable energy sources in Croatia are analyzed, with a focus on solar energy. The potentials for further development of solar capacities are identified, taking into account social, technical, and economic factors. The thesis also explores possible enhancements to photovoltaic system technology. Innovative technologies, performance monitoring techniques, and the integration of solar systems into existing energy grids are studied to achieve greater efficiency and sustainability. In conclusion, this thesis recognizes the importance of solar power plants as key factors in the transition towards a sustainable energy future. Through parameter analysis, production projection, consideration of prospects and enhancements, the study highlights their significance. The final part of the thesis presents a methodological section in the form of teaching preparation, providing practical guidelines for further educational and research activities in this field.

**Keywords:** Photovoltaic system, photovoltaic module, solar power plant, parameters, operation of the photovoltaic system

## 1. UVOD

Solarna ili sunčeva energija jest sunčevo zračenje koje može proizvesti toplinu, izazvati kemijske reakcije ili proizvesti električnu energiju. Ukupna količina solarne energije koja pada na Zemlju, uvelike je veća od trenutnih i očekivanih svjetskih energetske potreba. Ako se prikladno iskoristi, ovaj visoko raspršeni izvor ima potencijal zadovoljiti sve buduće energetske potrebe. Očekuje se da će solarna energija u 21. stoljeću postati sve atraktivnija kao obnovljivi izvor energije, zbog svoje neiscrpane zalihe i ekološkog karaktera, u oštroj suprotnosti s ograničenim fosilnim gorivima (ugljen, nafta i prirodni plin). Sunce je izuzetno moćan izvor energije pa je sunčeva svjetlost daleko najveći izvor energije koju Zemlja prima, ali je njezin intenzitet na Zemljinoj površini zapravo poprilično nizak. To je uglavnom zbog ogromnog radijalnog širenja zračenja s udaljenog Sunca. Gubitak zračenja posljedica je Zemljine atmosfere i oblaka koji apsorbiraju ili raspršuju čak 54 posto dolazne sunčeve svjetlosti. Sunčeva svjetlost koja dopire do tla sastoji se od gotovo 50 posto vidljive svjetlosti, 45 posto infracrvenog zračenja te manje količine ultraljubičastog i drugih oblika elektromagnetskog zračenja. Potencijal za solarnu energiju je ogroman, budući da Zemlja svaki dan prima oko 200 000 puta više sunčeve energije od ukupnog svjetskog dnevnog kapaciteta za proizvodnju električne energije. Nažalost, iako je solarna energija sama po sebi besplatna, visoki troškovi njezinog prikupljanja, pretvorbe i skladištenja još uvijek ograničavaju njezino iskorištavanje na mnogim mjestima. Sunčevo zračenje može se pretvoriti ili u toplinsku energiju (toplinu) ili u električnu energiju, iako je prvo lakše postići (Khalid, 2023).

Rad analizira parametre koji utječu na rad fotonaponskog sustava. Podijeljen je u četiri glavna poglavlja dok je peto metodički dio rada. Prvo poglavlje odnosi se na proizvodnju električne energije u fotonaponskim sustavima gdje su opisani osnovni principi proizvodnje električne energije pomoću energije sunca. Drugo poglavlje daje prikaz najvažnijih parametara, zasjenjenja i geografskog položaja fotonaponskog sustava u proizvodnji električne energije te se obrađuju utjecaji vremenskih uvjeta i utjecaj održavanja. Posebno je opisano redovno, a posebno preventivno održavanje i važnosti svakog. Treće poglavlje sastoji se od projekcije proizvodnje jedne elektrane na krovu višestambenog objekta. Projekcija proizvodnje izrađena je u programu PVsyst koji služi upravo za izradu projekcija proizvodnje budućih elektrana, uzimajući u obzir sve prije spomenute parametre. Program daje izvještaj koji je analiziran u radu. Na temelju tog

izvještaja investitor odlučuje isplati li se graditi planiranu elektranu i kolika bi bila njezina korist za njega. Nakon projekcije proizvodnje elektrane, u četvrtom poglavlju proučava se status i perspektiva obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj, govori se o problemima postojećeg sustava te su predložena moguća unapređena za isti. Metodički dio rada je podijeljen u četiri potpoglavlja, i to uvod u kojem se opisuje razlog za obradu sadržaja zastupljenih u diplomskom radu, u drugom potpoglavlju je reduciran izvedbeni nastavni program sa zastupljenom temom rada, treće potpoglavlje je opisni dio vezan za metodičku obradu sadržaja integriranog u nastavni program, a četvrto ujedno i posljednje potpoglavlje metodičkog dijela jest priprema za nastavu ove teme diplomskog rada, to jest kako bi tema mogla biti obrađena u samoj nastavi tehničke kulture. Zadnji dio rada sastoji se od zaključka te popisa priloga i literature.

## 2. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U FOTONAPONSKIM SUSTAVIMA

Fotonaponski sustavi sastoje se od solarnih panela, jednog ili više izmjenjivača i dodatnog, neobaveznog, ali često preporučenog, baterijskog sustava. Postavljaju se na otvorenom, gdje mogu iskoristiti sunčevu energiju i često se pričvršćuju na krov kuće ili zgrade. Neki fotonaponski sustavi također se mogu montirati na zemlju i imaju motore koji prate sunce dok se kreće po nebu. Solarni sustavi pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju, koja se zatim može koristiti za napajanje našeg doma, naše tvrtke ili drugih električnih potreba. To je prvi puta postignuto nizom upečatljivih napredaka u znanosti o materijalima i fizici, a fotonaponski sustavi sada su uobičajeni diljem svijeta (Khalid, 2023).

Sunčeva svjetlost pada na solarnu ploču i stvara električnu struju kroz proces koji se naziva fotonaponski efekt. Svaka ploča proizvodi relativno malu količinu energije, ali se može povezati s drugim pločama kako bi proizvela veće količine energije kao solarni niz. Električna energija proizvedena iz solarne ploče (ili polja) je u obliku istosmjerne struje (DC). Iako mnogi elektronički uređaji koriste istosmjernu struju, uključujući telefon ili prijenosno računalo, oni su dizajnirani za rad pomoću električne mreže koja pruža (i zahtijeva) izmjeničnu struju (AC). Stoga, kako bi solarna električna energija bila korisna, prvo se mora pretvoriti iz istosmjerne u izmjeničnu struju pomoću pretvarača. Ta izmjenična struja iz pretvarača se zatim može koristiti za lokalno napajanje elektronike ili se može poslati u električnu mrežu za korištenje negdje drugdje. Izmjeničnu struju dobivamo iz izmjenjivača, koji uzima istosmjernu struju iz solarnih panela i pretvara je u izmjeničnu struju tako da se može koristiti u vašem domu ili poslu. To čini putem procesa nazvanog "modulacija širine impulsa" koji "treperi" istosmjernu struju prema standardnoj frekvenciji i matematički primjenjuje točan napon. Većina pretvarača ima učinkovitost pretvorbe od 90% ili više i sadrži važne sigurnosne značajke uključujući prekid strujnog kruga pri kvaru na zemlji i slično. Baterijski sustav nije obavezan, ali se često preporučuje. Ako imate baterijski sustav, on će pohraniti električnu energiju koju generira fotonaponski sustav tijekom dana, kada sunce najjače sja, za korištenje kasnije – navečer, noću ili tijekom nestanka struje. To je poznato kao skladištenje izvan mreže i postaje sve popularnije zbog kretanja prema energetske neovisnosti. Također je praktičnije jer povećava potrošnju vlastite energije koju proizvedemo

pomoću solarne elektrane pa time možemo uštedjeti više novca. Čak i ako nemamo baterijski sustav ili nam nije potrebno toliko energije, još uvijek možemo prodati svoju energiju natrag u mrežu, što svakako nije loš izbor.

## 2.1. Izračun proizvodnje električne energije iz solarnih modula

Ključni pojmovi za solarne ploče su: kW, kWh, DC i AC. Naime, da bi se u potpunosti razumjeli brojevi, nužno je obratiti pozornost na neke osnovne jedinice. Kilovat (kW) je mjerna jedinica koja se najčešće koristi u kontekstu solarnih elektrana, mjera je električne snage i iznosi 1000 vata. Električna energija koju generira solarna ploča ili solarni sustav može se izraziti u vatima ili kilovatima. Kilovat sat (kWh) je mjera električne energije koja je jednaka potrošnji od 1000 vata za 1 sat. kWh se koristi kao obračunska jedinica za energiju koju potroše pojedinci. Jedan kilovat-sat jednak je 3,6 megadžula. Snaga istosmjerne struje (DC) je oblik snage koja se inicijalno generira iz ploče. Napajanje izmjeničnom strujom (AC) odnosi se na napajanje koje koristi većina kućanskih aparata. Istosmjerna struja koju generiraju solarni paneli pretvara se u izmjeničnu tako da je mogu učinkovito koristiti potrošači u cijeloj kući (YES energy solutions, 2023).

Kako bi se izmjerilo koliko električne energije proizvodi jedan solarni panel, potrebne su dvije brojke: solarna snaga panela (mjerena u vatima) i broj sunčanih sati dnevno (u satima) za promatrano područje. Snaga solarnog panela razlikuje se ovisno o modelu i kreće se od oko 250 do 450 W. Izlazna snaga u vatima (W) predstavlja koliko energije ploča može proizvesti po satu pod standardnim uvjetima ispitivanja. U 2023. paneli od 400 W smatraju se standardnim, pa se može koristiti ovaj izlaz za naš primjer. Broj sunčanih sati je broj koji nam govori koliko upotrebljive sunčeve svjetlosti primaju naši solarni paneli. To varira od preko 7,4 sati dnevno na jugu zemlje, točnije Hvaru, do otprilike od 4,9 sata dnevno u Zagrebu. Budući da je prosjek Hrvatske oko 6 sunčanih sati dnevno ili više, može se koristiti 6 sata za naš primjer. Da bi se izračunalo koliko solarni panel proizvodi dnevno, jednostavno se pomnoži izlaz solarnog panela s sunčanim satima:  $400 \text{ W (izlazna snaga)} \times 6 \text{ sati} = 2400 \text{ Wh dnevno}$ . Za pretvorbu u standardno mjerenje kWh, jednostavno se podijeli s 1000 i utvrdi da jedna ploča od 400 W može proizvesti 2,4 kWh dnevno. Kada bi željeli izračunati koliko mjesečno energije može proizvesti zadani modul to bi izračunali na sljedeći način: solarni panel od 400 W koja prima 6 vršnih sunčanih sati dnevno

može proizvesti 2,4 kWh električne energije dnevno, kao što je izračunato u gornjem primjeru. Sada se može pomnožiti 2,4 kWh s 30 dana i utvrditi da prosječan fotonaponski modul može proizvesti 72 kWh električne energije mjesečno. U sunčanim dijelovima Hrvatske poput Dalmacije i Istre koje imaju veći broj prosječnih sunčanih sati dnevno, prosječni fotonaponski modul proizvodi više električne energije mjesečno. Kada bi to stavili u kontekst, prosječna električna energija u Hrvatskom kućanstvu troši 450 kWh mjesečno. Dakle, da bi se nadoknadilo 100% potrošnje električne energije za prosječno kućanstvo koje ima 6 vršnih sunčanih sati dnevno, potreban je solarni sustav od 2,5 kW ( $2,5 \text{ kW} \times 6 \text{ sunčanih sati dnevno} \times 30 \text{ dana mjesečno} = 450 \text{ kWh mjesečno}$ ). Za to bi bilo potrebno 7 solarnih panela snage 400 W (YES energy solutions, 2023).

## 2.2. Najvažniji dijelovi fotonaponskog sustava

Fotonaponski sustav, odnosno solarna elektrana, sastoji se od nekoliko ključnih dijelova odnosno sustava koji objedinjeni pretvaraju sunčevu energiju u električnu energiju.

1. **Solarni paneli (fotonaponski moduli):** Solarni paneli su osnovni elementi solarnog sustava. Solarni paneli sadrže foto naponske ćelije koje apsorbiraju sunčevu svjetlost i pretvaraju je u električnu energiju pomoću fotonaponskog efekta.
2. **Izmjenjivač:** Izmjenjivač ili inverter je uređaj koji preuzima proizvedenu istosmjernu (DC) električnu energiju iz solarnih panela i pretvara je u izmjeničnu (AC) električnu energiju, koja je prikladna za kućanstva i distribucijsku mrežu.
3. **Montažni sustav:** Montažni sustav uključuje okvire, nosače i konstrukciju koja drži solarni panel na krovu ili tlu. Pravilno postavljanje panela za maksimalnu insolaciju (izloženost sunčevoj svjetlosti) važno je za optimalnu proizvodnju energije.
4. **Kablovi i spojevi:** Električni kablovi povezuju solarni panel, inverter i ostale dijelove sustava. Kvalitetni kablovi i spojevi ključni su za siguran i učinkovit prijenos električne energije.
5. **Monitoriranje i nadzor:** Sustavi za praćenje omogućuju vlasnicima solarnih sustava da prate performanse svojih panela i provjere koliko energije sustav proizvodi. Nadzor omogućuje otkrivanje problema ili pad performansi kako bi se brzo mogli intervenirati.

6. **Oprema za zaštitu:** Oprema za zaštitu uključuje različite sigurnosne uređaje poput prekidača, prenaponske zaštite, zaštite od udara groma i zaštite od struja kratkog spoja. To pomaže u održavanju sigurnosti sustava i sprječava eventualne električne nezgode.
7. **Baterije (opcionalno):** U nekim sustavima se koriste baterije kako bi se pohranila višak proizvedene energije za korištenje tijekom noći ili kada nema sunčeve svjetlosti. To omogućuje veću neovisnost od elektroenergetske mreže.
8. **Elektroenergetska mreža (opcionalno):** Ako solarna elektrana proizvodi više energije nego što je potrebno, višak se može prodati elektroenergetskoj mreži kroz sustav neto mjerenja, čime se dodatno iskorištava generirana energija.

Ovo su osnovni dijelovi solarnog sustava, no svaki projekt može imati dodatne komponente ili specifične konfiguracije ovisno o potrebama, veličini i lokalnim uvjetima. Posebno su opisani najvažniji dijelovi elektrane, modul i izmjenjivač (The solar labs, 2023).

### 2.3. Fotonaponski moduli

Fotonaponski moduli obično se izrađuju od silicija ugrađenog u metalni okvir panela sa staklenim kućištem. Kada fotoni ili čestice svjetlosti udare u tanki sloj silicija na vrhu solarne ploče, izbacuju elektrone s atoma silicija. Kada sunce obasjava solarnu ploču, energiju sunčeve svjetlosti apsorbiraju fotonaponske ćelije u ploči. Ova energija stvara električne naboje koji se kreću kao odgovor na unutarnje električno polje u ćeliji, uzrokujući strujanje struje. Ovaj fotonaponski naboj stvara električnu struju (konkretno, istosmjernu struju ili DC) koju hvata ožičenje u solarnim pločama. Ova istosmjerna struja se zatim pretvara u izmjeničnu struju (AC). Izmjenična struja je vrsta električne struje koja se koristi kada uključite uređaje u normalne zidne utičnice. Fotonaponski moduli mogu se postavljati na tlo, sa fiksnom konstrukcijom, pod fiksnim kutom. Mogu se postavljati na tlo sa „trackerom“ koji prati položaj Sunca te se okreće prema njemu. Također mogu se postavljati na krovove kuća i zgrada, u nagibu s crijepom na kuće te u ravnini s krovom kad je u pitanju ravni krov. Fotonaponski modul je prikazan na slici 1. (The solar labs, 2023).





*Slika 1. Fotonaponski modul*  
*Izvor: <https://solarprojekt.hr/proizvod/285wp/>*

## 2.4. Fotonaponski izmjenjivač

Fotonaponski izmjenjivač, poznat i kao inverter, igra ključnu ulogu u solarnim elektranama pretvarajući istosmjernu (DC) električnu energiju koju proizvode solarni paneli u izmjeničnu (AC) električnu energiju koja se koristi za napajanje kućanstava, industrijskih postrojenja i električnih mreža. Na prvi pogled, fotonaponski izmjenjivač možda se čini tek neupadljivom kutijom u nizu solarnih panela. Međutim, njegova važnost i složenost ne mogu se umanjiti. U srcu svakog solarnog sustava, ovaj uređaj ima ključnu funkciju - transformirati istosmjernu električnu energiju generiranu fotonaponskim ćelijama solarnih panela u izmjeničnu električnu energiju koja je kompatibilna s našim kućanstvima, industrijskim postrojenjima i električnim mrežama. Bez njega, proizvedena energija bila bi beskorisna jer se većina naših uređaja napaja izmjeničnom strujom (Solar Energy Technologies Office, 2023).

Jedna od ključnih uloga fotonaponskog izmjenjivača je sinkronizacija. On mora osigurati da proizvedena izmjenična energija bude savršeno u faznom skladu s električnom mrežom. Ova harmonija osigurava stabilnost i kvalitetu napajanja, sprječavajući nestabilnosti mreže ili potencijalno neželjene učinke na uređaje koji se napajaju. Uz to, fotonaponski izmjenjivač treba biti vrhunske učinkovitosti. Svaka izgubljena količina energije tijekom konverzije smanjuje ukupnu proizvodnju solarnog sustava. Upravo ovdje leži tehnološki napredak - moderni izmjenjivači koriste sofisticirane tehnike kako bi smanjili ove gubitke i povećali učinkovitost. Oni se prilagođavaju uvjetima osvjetljenja i opterećenju kako bi postigli maksimalnu učinkovitost. Njihove se performanse mogu pratiti putem internetske veze, što olakšava dijagnostiku problema i održavanje. Sigurnost je također ključni element. Fotonaponski izmjenjivači sadrže ugrađene sigurnosne mehanizme kako bi zaštitili sustav od prenapona, strujnih udara i potencijalnih rizika. Ovi sustavi zaštite čuvaju ne samo korisnike sustava, već i sam izmjenjivač od mogućih oštećenja (Solar Energy Technologies Office, 2023).

U zaključku, fotonaponski izmjenjivač predstavlja neophodni most između koncepta solarnih panela i stvarnosti električnog napajanja. On je jedan od najvažnijih dijelova solarnih elektrana jer transformira sunčeve zrake u električnu energiju koju koristimo u svakodnevnicu. Fotonaponski izmjenjivač možemo vidjeti prikazan na slici 2.



Slika 2. Fotonaponski izmjenjivač

Izvor: <https://www.greentechrenewables.com/article/3-benefits-sma-core1-inverter>

### 3. PARAMETRI KOJI UTJEČU NA RAD FOTONAPONSKIH SUSTAVA

Fotonaponski sustavi, koji pretvaraju sunčevu energiju u električnu energiju, predstavljaju ključnu komponentu održive energetske budućnosti. Učinkovitost ovih sustava ovisi o nizu parametara koji zajedno oblikuju njihov rad. Neki od tih parametara su ključni za maksimiziranje energetske proizvodnje, dok drugi imaju manji utjecaj, no svejedno igraju ulogu u dugoročnom funkcioniranju sustava (Shaik, Lingla, & Veeraboina, 2023). Jedan od ključnih parametara koji utječe na rad fotonaponskih sustava je sunčeva svjetlost. Količina sunčeve energije koja dopire do površine fotonaponskih panela određuje raspoloživu snagu za konverziju u električnu energiju. Uz to, kut incidencije sunčeve svjetlosti na panele ima značajan utjecaj. Pravilno postavljanje panela u optimalnom kutu omogućava bolju apsorpciju svjetlosne energije (Shaik, Lingla, & Veeraboina, 2023). Temperatura također ima ključnu ulogu u radu fotonaponskih sustava. Povećana temperatura može smanjiti efikasnost panela, što znači da je važno održavati panele na prihvatljivoj temperaturi kako bi se osigurala optimalna konverzija sunčeve energije (Shaik, Lingla, & Veeraboina, 2023). Kvaliteta fotonaponskih panela igra ključnu ulogu u dugoročnoj učinkovitosti sustava. Paneli visoke kvalitete ne samo da imaju veću efikasnost konverzije, već su i otporniji na oštećenja te imaju duži vijek trajanja. Osim toga, efikasnost konverzije, tj. postotak sunčeve energije koji se pretvara u električnu energiju, također je značajan parametar koji utječe na ukupni učinak sustava. Orijehtacija panela prema suncu također igra ključnu ulogu u energetske proizvodnji. Usmjerenjem panela prema suncu, maksimalna količina svjetlosne energije može biti apsorbirana, što povećava ukupnu efikasnost sustava. S druge strane, postoji još nekoliko važnih parametara koji također mogu utjecati na rad fotonaponskih sustava, ali njihov utjecaj je manje izražen. Sjenčanje panela može smanjiti efikasnost, pa je važno osigurati da nema prepreka koje bi mogle stvarati sjenu na panelima. Vlažnost zraka može imati manji utjecaj na učinkovitost, dok se prašina i prljavština, iako mogu smanjiti efikasnost, redovitim održavanjem mogu minimizirati.

Rad fotonaponskih sustava rezultat je složene interakcije različitih parametara. Sunčeva insolacija, kut incidencije, temperatura, kvaliteta panela i efikasnost konverzije ključni su za postizanje optimalne učinkovitosti. S druge strane, parametri poput sjenčanja, vlažnosti, prašine i spektralne distribucije, iako imaju manji utjecaj, ne smiju se zanemariti jer mogu utjecati na dugoročnu

održivost i rad fotonaponskih sustava. Stoga je važno pažljivo planirati, instalirati i održavati ove sustave kako bi se osigurala njihova maksimalna učinkovitost i doprinos održivoj energetskej budućnosti (Iskandar, Bakti & Sambasri, 2018).

### **3.1 Utjecaj zasjenjenja na rad fotonaponskog sustava**

Tradicionalno, solarni paneli su povezani u niz paralelnih „nizova“. To znači da ako je jedna ploča pokrivena sjenom stabla ili dimnjaka, tada će sve povezane ploče unutar niza također izgubiti snagu. To je zato što su ploče spojene zajedno na takav način da je izlaz smanjen na onaj najslabije ploče unutar sustava. Sjenčanje samo jedne ćelije u modulu na polovicu uzrokuje pad izlazne snage cijelog modula na polovicu. Bez obzira koliko ćelija ima u nizu, potpuno zasjenjenje jedne ćelije uzrokovat će pad izlazne snage modula na nulu (Batista, 2018).

### **3.2 Utjecaj geografskog položaja fotonaponskog sustava na proizvodnju električne energije**

Prirodni nagib i orbita Zemlje oko Sunca utječu na način na koji se Sunce kreće nebom na različitim mjestima diljem svijeta i u različita doba godine. Zemljopisna širina solarne instalacije određuje okomiti kut pod kojim bi paneli trebali biti postavljeni kako bi se generiralo najviše energije od sunčevih zraka koje padaju na površinu. Solarni paneli koji nisu nagnuti postavljali bi se paralelno s tlom, dok bi paneli pod kutom od  $90^\circ$  stajali uspravno. Ali nije samo položaj Sunca ono što utječe na proizvodnju solarne električne energije. Kut pod kojim su postavljeni solarni paneli također određuje učinak klimatskih i okolišnih uvjeta. U regijama bliže polovima, nakupljanje snijega na pločama tijekom zime može spriječiti sunčevu svjetlost da dosegne optimalnu razinu. Iako se fotonaponski modeli zagrijavaju i tope snijeg, još bolje bi bilo da imamo veći kut nagiba koji tada može ograničiti količinu snijega i leda koji se nakupljaju na površini ploča dopuštajući snijegu i kiši da skliznu. Nagib također može ograničiti prljanje od prašine, pijeska i prljavštine u suhim, zagađenim ili pustinjskim područjima. Kao opće pravilo, kako bi se postigla optimalna godišnja proizvodnja energije, kut nagiba za solarne panele trebao bi biti isti kao i geografska širina mjesta. Ako se solarni niz nalazi na geografskoj širini od  $50^\circ$ , optimalni kut nagiba također bi bio  $50^\circ$ . Što je mjesto udaljenije od ekvatora i bliže polovima, trebao bi biti

veći nagib da bi ploča bila okrenuta prema suncu. Optimalni kut nagiba nije univerzalan za sve. Kako imamo fiksnu konstrukciju na koju postavljamo fotonaponske module, nagib postavljanja modula treba biti pod kutom koji će im dati najizravniju sunčevu svjetlost od promjenjivog položaja sunca tijekom dana. Međutim naginjanje redova solarnih panela stvara zasjenjenje susjednih paralelnih redova, što djelomično sprječava njihovu izloženost izravnoj sunčevoj svjetlosti. A kako je ranije rečeno, kada je čak i jedna ćelija u kristalnom modulu zasjenjena, to smanjuje proizvodnju električne energije cijelog modula. Za projekte velikih razmjera, čak i mali stupanj zasjenjenja može rezultirati znatnim gubicima proizvodnje (Shaik, Lingla & Veeraboina, 2023).

Ključ optimizacije projekta je povećanje udaljenosti između paralelnih redova ploča bez pretjeranog povećanja ukupne veličine mjesta postavljanja. Sustav postavljen na tlo koji je prevelik povećava cijenu potrebnog zemljišta i možda neće biti održiv za mjesta gdje dodatno zemljište nije dostupno. Krovni sustavi ograničeni su na korisnu površinu krova zgrade. Preveliki razmak između panela smanjuje broj panela koje može primiti krov ili komad zemlje i proizvodi manje električne energije (Shaik, Lingla & Veeraboina, 2023). Za ovaj problem koristimo različite softvere za modeliranje elektrana koji nam mogu osigurati da veliko postrojenje postigne optimalan učinak. U kasnijem konkretnom primjeru koristimo softver PVsyst. Jednostavan način na koji većina softvera funkcionira jest da ako je geografska širina ispod  $5^\circ$ , preporučeni nagib je  $5^\circ$ . Za geografske širine između  $5^\circ$  i  $10^\circ$ , preporučeni nagib jednak je geografskoj širini. Za geografske širine između  $10^\circ$  i  $20^\circ$ , preporučeni nagib jednak je geografskoj širini pomnoženoj s 0,9, a za veće geografske širine iznad  $20^\circ$ , preporučuje se da nagib bude jednak geografskoj širini pomnoženoj s 0,85.

### 3.3 Utjecaj vremenskih uvjeta na proizvodnju električne energije

Idealno vrijeme za proizvodnju solarne energije je hladno, sunčano i vjetrovito. Sunce daje energiju za ploču, a hladan zrak koji okružuje ploču održava je hladnom zajedno s rashlađujućim učinkom vjetra na ploči, uklanjajući sav višak topline koju stvara sam instrument. Za primjer možemo uzeti Irsku i Veliku Britaniju koje imaju blagu temperaturu okoline što znači da fotonaponski moduli rade na nižim temperaturama i stoga su učinkovitiji. Iako ove lokacije nisu

poznate po sunčanoj klimi, dugi dnevni sati tijekom ljeta ipak mogu generirati velike količine sunčeve energije (Lin, Bora & Prasad, 2023). Konkretno na tim područjima, problem stvara prisutnost kiše. Tamo gdje pada kiša, velika je vjerojatnost da će nebo biti jako naoblačeno. Kiša može utjecati na rad solarnih elektrana na nekoliko načina. Prvo, kada pada kiša, sunčeve zrake se blokiraju oblakom, što smanjuje količinu sunčeve svjetlosti koja dopijeva na solarne panele, a time i količinu energije koju mogu proizvesti (Lin, Bora & Prasad, 2023). Jak pljusak kiše može uzrokovati i fizička oštećenja na solarnim panelima, naročito ako su loše montirani ili oštećeni. Stoga, pravilno održavanje solarnih elektrana i redovita provjera stanja solarnih panela mogu biti ključni za osiguravanje da kiša ne utječe na njihov rad. Sve u svemu, iako kiša može kratkoročno utjecati na proizvodnju solarnih elektrana, dugoročno se pokazalo da kiša nema značajan negativan utjecaj na njihov rad, a čak može pomoći u održavanju njihove učinkovitosti jer su solarni paneli projektirani da rade i tijekom kišnih dana. Kiša može ukloniti prašinu, lišće, ptičji izmet i druge nečistoće koje se skupljaju na panelima i smanjuju njihovu učinkovitost. Učinak čišćenja solarnih panela kišom je učinkovit, a obično je dovoljan za održavanje njihove učinkovitosti. Međutim, ako je kiša vrlo jaka i dolazi s jakim vjetrovima, to može oštetiti solarne panele i čak uzrokovati njihovo lomljenje, naročito ako su paneli loše montirani ili ako su već oštećeni. Stoga je važno redovito provjeravati stanje solarnih panela i pravilno ih montirati kako bi se smanjio rizik od oštećenja (Lin, Bora & Prasad, 2023). U svakom slučaju, solarni sustavi su izdržljivi i dizajnirani da izdrže različite vremenske uvjete, uključujući kišu. Čak i tijekom kišnih dana, solarni sustavi mogu proizvoditi dovoljno električne energije za potrebe kućanstva ili industrije, a baterije mogu pomoći u skladištenju viška energije koja se proizvodi tijekom sunčanih dana (Lin, Bora & Prasad, 2023). Kad se radi o ekstremno toplim i hladnim vremenskim uvjetima dizajn i proizvodnja panela dosegla je točku u kojoj je proizvod vrlo visoke kvalitete. Dovoljno su čvrsti da izdrže stalnu izloženost toplim ili hladnim okruženjima, iako može doći do pada kada se postignu određene ekstremno visoke temperature. Što se tiče ekstremne hladnoće, nema razloga za brigu sa stajališta učinkovitosti. Ako fotonaponsku elektranu postavimo u mjestu gdje zimi ima puno snijega, fotonaponskim modulima u pravilu ne bi trebalo biti ništa, izrađeni su da izdrže komade snijega i leda koji se nakupljaju na vrhu panela (Lin, Bora & Prasad, 2023).

Još jedan vremenski uvjet koji može naštetiti fotonaponskom sustavu jest munja. Iako su današnji sustavi solarnih panela napravljeni da traju, postoje neke stvari koje čvrsta konstrukcija i materijali

ne mogu podnijeti. Udari groma mogu oštetiti postavke ploče, a također mogu uzrokovati probleme s ožičenjem i drugim komponentama poput izmjenjivača. Međutim, postoje sigurnosne mjere koje pomažu spriječiti kvarove sustava u takvim scenarijima. Tako da sustav ne bih trebao predstavljati opasnost objekt na kojem je instaliran tijekom grmljavine i grmljavine (Lin, Bora & Prasad, 2023).

Što se tiče utjecaja vjetara, uragana i tornada, paneli su napravljeni tako da izdrže vremenske uvjete kao što su jaki udari vjetra, međutim tornada i uragani su nešto drugo. Mjesta koja su stalno na putu takvih potencijalnih katastrofa mogu zahtijevati veće i čvršće konstrukcije kako bi mogle izdržati velike brzine vjetra. Oluje za module nisu štetne, ali ukoliko oni nisu dovoljno jako pričvršćeni za krov postoji opasnost od pada sa istog. U žarištima uragana, na primjer, instalacije moraju biti napravljene tako da izdrže vjetrove do 458 kmh. Iako, tada bi bilo dobro razmisliti čak i o dodatnom pojačanju kako bi stvari ostale na mjestu (Lin, Bora & Prasad, 2023).

### **3.4 Utjecaj održavanja na rad fotonaponskog sustava**

Najvažnija stavka održavanja jest samo čišćenje solarnih panela. Kako bi solarni paneli pravilno funkcionirali, moraju se održavati čistima i redovito provjeravati. Elementi poput prašine, pijeska i ptičjeg izmeta mogu smanjiti učinkovitost panela. Panele je potrebno redovito čistiti i održavati. Također je važno redovito provjeravati ploče i po potrebi ih popravljati. Druga stavka održavanja jest redovito održavanje ostale opreme elektrane. Pretvarače, transformatore, kabele i drugu opremu potrebno je redovito provjeravati i po potrebi popravljati. Važno je povećati učinkovitost i produljiti vijek trajanja opreme (Shaik, Lingla, & Veeraboina, 2023).

Za održavanje elektrane važno je pravovremeno prikupljanje i detaljna analiza podataka. Podaci se mogu koristiti za praćenje rada panela i proizvodnje energije. Podaci također mogu pomoći kako bi se redovito provjeravale ploče i po potrebi popravljale. Zračnom termografijom ili pak softverom kojim pratimo elektrane moguće je analizirati podatke kako bi se otkrile greške, kvarovi i anomalije. Mapiranjem podataka, softver daje izvješća i omogućuje poduzimanje potrebnih intervencija. Rad i održavanje solarnih elektrana su radnje koje se izvode kako bi se osiguralo da sustav ostane u kontinuiranom radu i proizvodi energiju uz maksimalnu učinkovitost. Pravilan rad

i održavanje produljuje vijek trajanja elektrane i skraćuje povrat investicije (Frontiers in Energy Research, 2021). Rad i održavanje mogu se kategorizirati u dvije glavne kategorije: preventivno održavanje i korektivno održavanje. Preventivno održavanje uključuje redovito održavanje, čišćenje i remont solarne elektrane. Ovo održavanje provodi se kako bi se unaprijed otkrili i spriječili potencijalni problemi u sustavu. Preventivno održavanje trebalo bi se provoditi na rutinskoj osnovi i trebalo bi se provesti prije bilo kakvih oštećenja. Preventivno održavanje može uključivati:

- Čišćenje panela i invertera (*slika 3.*);
- Provjera kabela i spojeva;
- Mjerenje parametara kao što su temperatura, napon i struja;
- Zamjena oštećenih dijelova;
- Provjera i testiranje sustava za snimanje podataka.



*Slika 3. Čišćenje fotonaponski modula  
Izvor: Vlastita arhiva*

Korektivno održavanje provodi se kako bi se otkrile i popravile neispravnosti sustava. Ovo održavanje se provodi kada dođe do bilo kakvog kvara ili oštećenja solarne elektrane. Korektivno

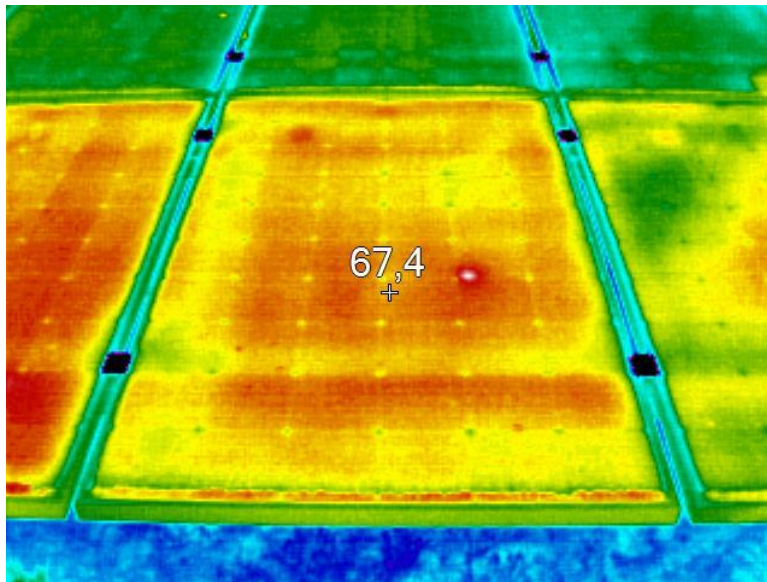


održavanje treba provoditi tehničko osoblje koje može otkriti kvarove u sustavu (Frontiers in Energy Research, 2021). Radnje korektivnog održavanja mogu uključivati sljedeće:

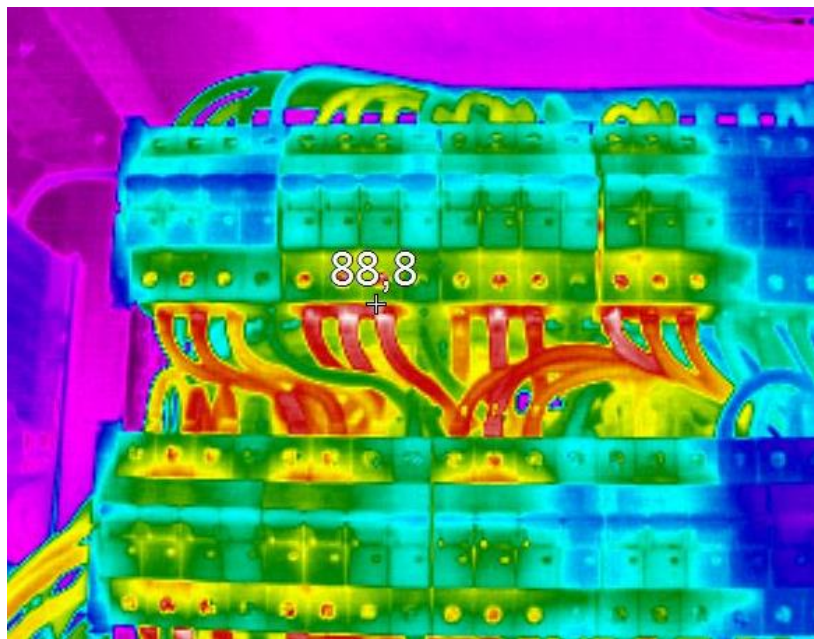
- Zamjena neispravnih dijelova;
- Ispravak grešaka u ožičenju i spajanju;
- Obnavljanje ili popravak pretvarača;
- Obnova ili popravak solarnih panela.

Solarne elektrane neprekidno rade tisuće sati godišnje i mogu biti pod utjecajem vanjskih čimbenika. Vrlo je važno da se radnje održavanja izvode na ispravan način i redovito. Redovitim radom i održavanjem solarna elektrana ima dug vijek trajanja i optimalnu učinkovitost.

Solarne elektrane su dizajnirane za proizvodnju velikih količina električne energije i rade kontinuirano. Razni čimbenici kao što su vruće vrijeme, vlaga, prašina, vjetar i drugi vanjski čimbenici mogu imati negativne učinke na solarne ploče i opremu. Inspekcije termalnim kamerama igraju ključnu ulogu u radu i održavanju solarnih elektrana. Toplinske inspekcije termalnim kamerama koriste se za određivanje učinka i raspodjele temperature ploča u elektranama. Pregledi se provode zahvaljujući slikama dobivenim tijekom fotografiranja s osjetljivim termalnim kamerama (Frontiers in Energy Research, 2021). Slike dobivene tijekom inspekcije termalnim dronovima analiziraju se i prikazuju u različitim softverima kao što su Fluke te MapperX. Ovakvi softver detektiraju pogreške, kvarove i anomalije na slikama te daju detaljan izvještaj voditeljima poslovanja. Tako se brzo i učinkovito otkrivaju problemi i poduzimaju potrebne intervencije. To povećava vrijeme rada i učinkovitost. Fotografije modula te instalacija fotonaponske elektrane možemo vidjeti na slikama 4. i 5. (Frontiers in Energy Research, 2021).



Slika 4. Fotonaponski modul - Termalna kamera



Slika 5. Instalacije fotonaponske elektrane - Termalna kamera

## 4. PROJEKCIJA PROIZVODNJE ELEKTRANE NA KROVU VIŠESTAMBENOG OBJEKTA

Projekcijom proizvodnje elektrane na krovu višestambenog objekta može se dobiti odličan uvid u proizvodnju neke buduće elektrane. Program koji koristimo naziva se PVsyst, a on analizira potencijal solarnih panela za generiranje električne energije. PVsyst je profesionalni softver za simulaciju i analizu solarnih fotonaponskih sustava. Kroz ovaj program, moguće je procijeniti koliko energije solarni paneli postavljeni na krovu višestambenog objekta mogu proizvesti, uzimajući u obzir parametre poput geografske lokacije, orijentacije krova, nagiba panela, sjene, efikasnosti panela i drugih parametara. Program nam na jednostavan način prikazuje sve što nam je potrebno za shvaćanje rada elektrane. Kako bi započeli s analizom, prvo je potrebno unijeti sljedeće parametre: mjesto na kojem planiramo graditi elektranu (na temelju kojeg će on automatski prikazati broj sunčevih sati u zadanom mjestu odnosno vremenske uvijete mjesta), altitudu (geografska nadmorska visina) i kut. Svi ti parametri će pomoći programu u projekciji točnih rezultata proizvodnje za planiranu elektranu. Zatim pomoću programa definiramo broj modula i snagu izmjenjivača, tj. snagu same elektrane te nacrtamo planiranu elektranu (bila to elektrana na tlu, na krovu kuće ili pak elektrana na krovu višestambenog objekta). Ova projekcija omogućuje precizniju procjenu potencijalnih energetskih ušteda, što pomaže investitorima i stručnjacima za obnovljive izvore energije u donošenju informiranih odluka o implementaciji solarnih sustava na krovovima višestambenih objekata. Projekcijom istražujemo osnovne korake i važne aspekte koje treba uzeti u obzir kod planiranja izgradnje solarne elektrane. Za početak projekcije odabiremo naš višestambeni objekt, prikazan na slikama 6. i 7., a vrlo je važno uz sam izgled objekta znati i izgled krova kako bi znali orijentaciju, oblik i vrstu modula za postavljanje.



*Slika 6. Višestambeni objekt za građenje fotonaponske elektrane  
Izvor: <https://eurogradnja.hr/kompleks-stambenih-zgrada-u-predjelu-smiljevca/>*

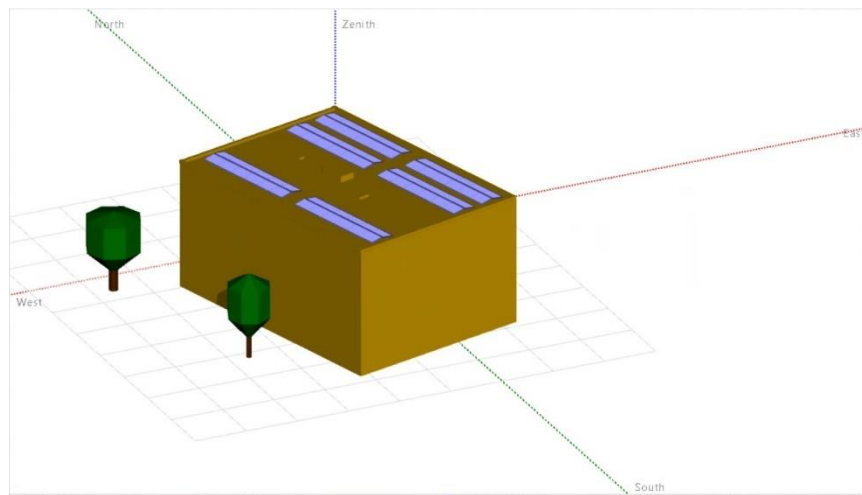


*Slika 7. Krov višestambenog objekta predviđen za instalaciju fotonaponske elektrane  
Izvor: <https://eurogradnja.hr/kompleks-stambenih-zgrada-u-predjelu-smiljevca/>*

Nakon što smo vidjeli krov i dimenzije istog važno nam planira li se na njemu graditi elektrana za vlastite potrebe ili pak za prodaju. Ukoliko je to za vlastite potrebe od strane HEP-a zatražimo energetska karticu za višestambeni objekt te se na temelju potrošnje dimenzionira elektrana koja bi proizvodila odgovarajuću električnu energiju za sve stambene jedinice u zgradi. Pomoću programa najprije unosimo obavezne parametre, koji su orijentacija u koje spadaju nagib panela i azimut. Sustav koji postavljamo na krov, to jest vrsta i broj modula te vrsta i broj izmjenjivača. Zatim namještamo gubitke sustava s kojima smo upoznati kao što su gubici u kabelima, a ostale gubitke program sam definira prema vrsti modula izmjenjivača te položaju elektrane. Nakon što

unesemo obavezne parametre unosimo i opcionalne parametre, iako oni nisu nužni za bolju simulaciju i rezultate bolje je da što detaljnije opišemo željenu elektranu.

U ovoj simulaciji korišteno je sedamdeset i dva modula. Što se tiče izmjenjivača, odabrani je bio odgovarajući za sustav, to je onaj koji zadovoljava električna svojstva sustava i nije premali ili ogroman. Odjeljak "detaljnih gubitaka" nije promijenjen otkad je program izračunao automatski detaljne gubitke fotonaponskog polja. Sljedeći korak bio je definiranje okoline sustava. Samo crtanje zgrade te eventualna udaljena zasjenjenja. Za lakše izračunavanje u trenutnom primjeru pretpostavit ćemo da nema većih zgrada bližoj okolini. U sljedećem koraku potrebno je odlučiti kako će se sjenčanja odraziti na module. Najbolja opcija je "detaljan, prema rasporedu modula", koji izračunava sjenčanja uzimajući u obzir detaljne električne gubitke sustava i poziciju samih modula u odnosu jedni na druge. Sljedeći korak je izgradnja trodimenzionalne globalne scene. To se radi u 3D editoru koji uključen u program. Slika 8. prikazuje 3D editor kao i scenu koju smo dizajnirali za ovaj primjer.



*Slika 8. Projekcija višestambenog objekta u programu PVsyst  
Izvor: Program PVsyst*

Crtanje 3D modela stambenog objekta nam je jedan od završnih dijelova prije nego li možemo „pustiti“ program da nam simulira proizvodnju same elektrane. U simuliranoj proizvodnji na slici 9. na početku možemo vidjeti parametre koje smo postavili kao i planiranu godišnju proizvodnju te potrošnju za konkretnu zgradu.

Project summary					
<b>Geographical Site</b>		<b>Situation</b>		<b>Project settings</b>	
Zadar		Latitude	44.12 °N	Albedo	0.20
Croatia		Longitude	15.23 °E		
		Altitude	8 m		
		Time zone	UTC+1		
<b>Meteo data</b>					
Zadar					
Meteonorm 8.1 (1991-2013), Sat=100% - Synthetic					
System summary					
<b>Grid-Connected System</b>		<b>Building system</b>		<b>User's needs</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Near Shadings</b>		Fixed constant load	
Fixed planes	2 orientations	Linear shadings		4795 W	
Tilts/azimuths	10 / -105 *			Global	
	10 / 75 *			42.0 MWh/Year	
<b>System information</b>					
<b>PV Array</b>		<b>Inverters</b>			
Nb. of modules	72 units	Nb. of units	0.7 unit		
Pnom total	30.2 kWp	Pnom total	33.3 kWac		
		Pnom ratio	0.907		
Results summary					
Produced Energy	36186 kWh/year	Specific production	1197 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	85.46 %
Used Energy	42000 kWh/year			Solar Fraction SF	38.38 %

Slika 9. Pregled rezultata i parametara projekta  
Izvor: Program PVsyst

U narednom dijelu izvještaja simulirane proizvodnje možemo vidjeti karakteristike „mreže“ solarnih panela, tj. fotonaponske elektrane. Možemo vidjeti broj, vrstu i karakteristike modula, broj, vrstu i karakteristike izmjenjivača. Vidimo i način na koji program vidi fotonaponski sustav kao dvije zasebne mreže jer imamo 2 izmjenjivača na koji su povezana dva polja modula koja zajedno čine našu fotonaponsku elektranu. Snaga elektrane jest 30 kWp, a površina koju pokrivaju moduli je 144 m<sup>2</sup> (slika 10.).

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Trinasolar	Manufacturer	SMA
Model	TSM-DE09R.05	Model	Sunny Tripower CORE1-80kWp
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	420 Wp	Unit Nom. Power	50.0 kWac
Number of PV modules	72 units	Number of inverters	0.7 unit
Nominal (STC)	30.2 kWp	Total power	33.3 kWac
<b>Array #1 - PV Array</b>			
Orientation	#1		
Tilt/Azimuth	10/-105 °		
Number of PV modules	36 units	Number of inverters	2 * MPPT 17% 0.3 unit
Nominal (STC)	15.12 kWp	Total power	16.7 kWac
Modules	3 Strings x 12 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Operating voltage	188-800 V
Pmpp	13.85 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	0.91
U mpp	458 V		
I mpp	30 A		
<b>Array #2 - Sub-array #2</b>			
Orientation	#2		
Tilt/Azimuth	10/75 °		
Number of PV modules	36 units	Number of inverters	2 * MPPT 17% 0.3 unit
Nominal (STC)	15.12 kWp	Total power	16.7 kWac
Modules	3 Strings x 12 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Operating voltage	188-800 V
Pmpp	13.85 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	0.91
U mpp	458 V		
I mpp	30 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	30 kWp	Total power	33.3 kWac
Total	72 modules	Nb. of inverters	1 unit
Module area	144 m <sup>2</sup>		0.3 unused
		Pnom ratio	0.91
		No power sharing	

Slika 10. Karakteristike projektrane elektrane  
Izvor: Program PVsyst

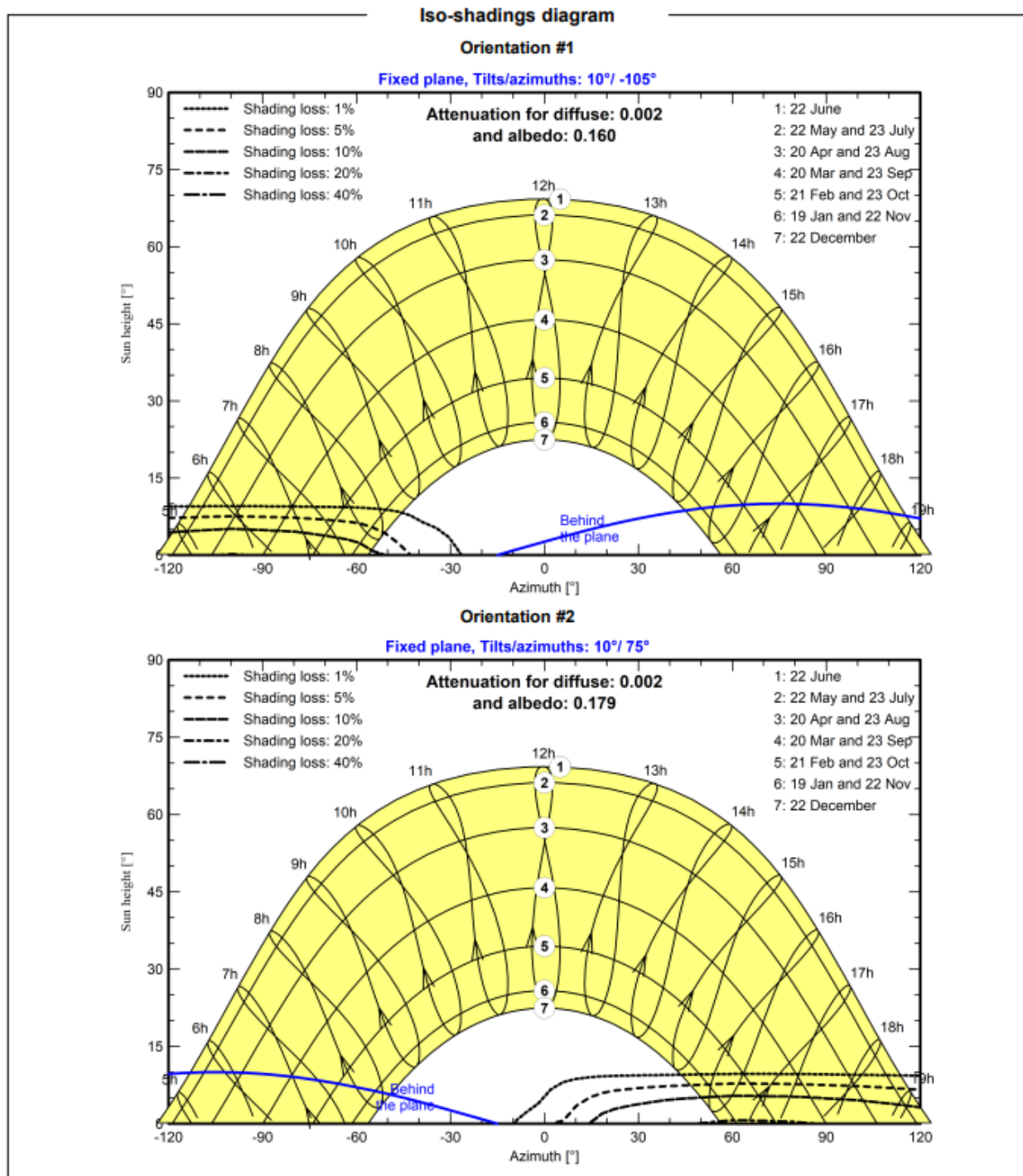
Na slici 11. prikazani su postotak gubitka kvaliteta modula, gubitak zbog otpora s kabelima i IAM faktor gubitka koji odgovara stvarnom smanjenju zračenja fotonaponske ćelije. To je zbog refleksija na staklenom poklopcu.

Array losses								
<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>		<b>Module Quality Loss</b>				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	249 mΩ	Loss Fraction	-1.3 %			
Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Global wiring resistance	125 mΩ					
Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s	Loss Fraction	1.5 % at STC					
<b>Module mismatch losses</b>								
Loss Fraction	2.0 % at MPP							
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

Slika 11. Gubici u projektiranoj elektrani  
Izvor: Program PVsyst



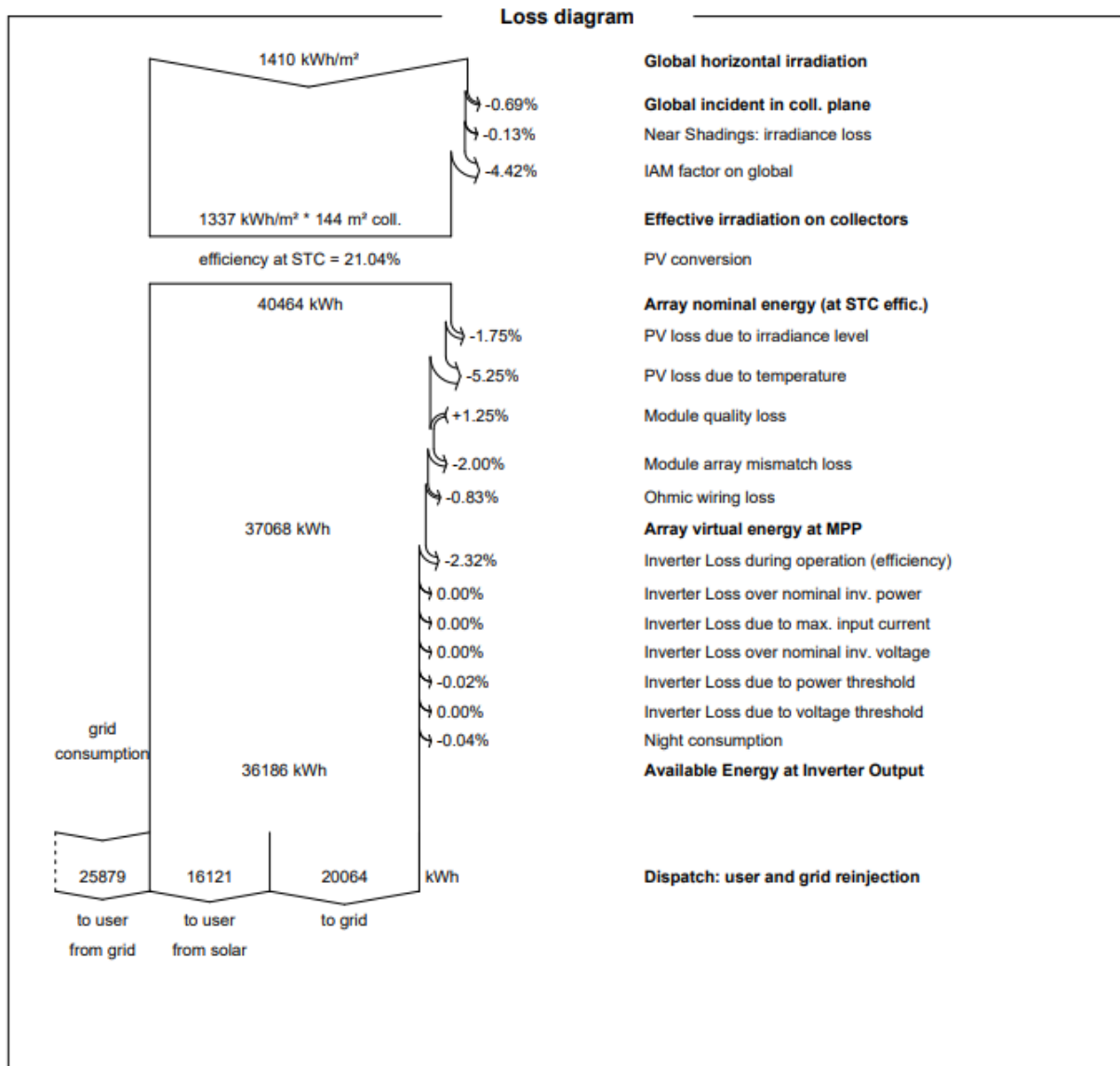
Iz dijagrama zasjenjenja na slici 12. možemo vidjeti položaj sunca u odnosu na panela s obzirom na datum i vrijeme te gubitke zbog zasjenjenja u određeno doba dana.



Slika 12. Dijagram zasjenjenja projektirane elektrane  
 Izvor: Program PVsyst



Energetski učinak sustava može se izračunati uz pomoć dijagrama gubitaka, koji nam omogućuje brz uvid u kvalitetu fotonaponskog sustava identificiranjem glavnog izvora gubitaka. Ovaj se dijagram pojavljuje u konačnom izvješću u simulaciji i možemo ga vidjeti na slici 13.



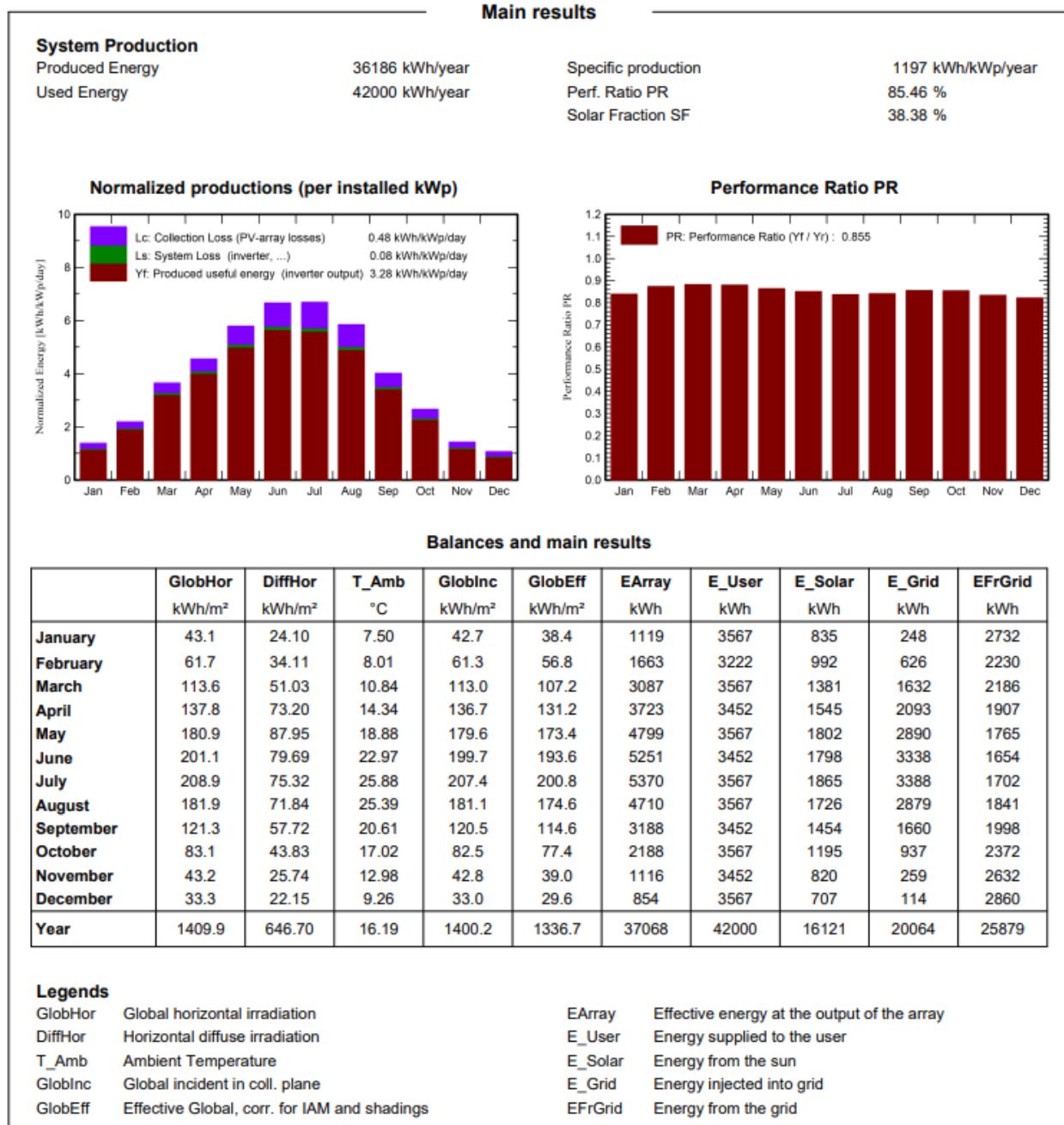
Slika 13. Dijagram gubitaka

Izvor: Program PVsyst

Brzim pregledom dijagrama možemo iščitati neke od važnih faktora:

1. Faktor IAM koji na globalnoj razini odgovara stvarnom smanjenju zračenja fotonaponske ćelije. To je zbog refleksija na staklenom poklopcu;
2. "Gubici neusklađenosti, modula i nizova" povezani su s normalnim malim razlikama između modula, čak i ako su proizvedeni na isti način;
3. "Virtualna energija polja na MPP" je DC (istosmjerna struja) energija, tj. prije nego li je izmjenjivač pretvara u AC (izmjeničnu struju);
4. Posljednji dio u dijagramu odnosi se na izmjenjivač.

Konačno, na kraju simulacije imamo glavne dijagrame i tablicu. U završnom dijelu možemo vidjeti projiciranu proizvodnju sustava, planiranu potrošenu energiju te postotak produktivnosti sistema. U dijagramima na slici 14. možemo vidjeti gubitke i proizvodnju po mjesecima u čitavoj godini. Također ispod spomenutih dijagrama imamo tablicu proizvodnje po mjesecima. Po stupcima s lijeva na desno možemo iščitati globalno horizontalno zračenje na našu elektranu, kao i difuzno zračenje (ne direktno zračenje), prosječnu temperaturu područja, globalno zračenje na našu elektranu i efektivno zračenje na panele, kad oduzmemo zasjenjenje i gubitke. Zatim možemo iščitati efektivnu energiju na izlazu fotonaponskog polja, energiju koja se isporučuje korisniku, energiju iz sunca, energiju ubrizganu u mrežu te na koncu, energiju iz mreže.



Slika 14. Konačni rezultati projekcije  
Izvor: Program PVsyst

## 5. STATUS I PERSPEKTIVA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U RH

Hrvatska je u posljednjih nekoliko godina uvela niz politika i mjera kako bi se povećao udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije u zemlji. Prema izvještaju Agencije za statistiku Hrvatske, u 2020. godini, udio obnovljivih izvora u bruto konačnoj potrošnji energije u Hrvatskoj iznosio je oko 30%, što predstavlja povećanje u odnosu na prethodne godine. Hrvatska ima znatan potencijal za obnovljive izvore energije, poput solarnih, vjetroelektrana, hidroelektrana, geotermalnih izvora, biomase i drugih izvora. Hrvatska ima veliki potencijal za solarnu energiju, s godišnjom prosječnom insolacijom koja iznosi oko 1.600 kWh po kvadratnom metru, što je iznad europskog prosjeka. Također ima veliki potencijal za hidroelektrane, posebno u unutrašnjosti zemlje. Hrvatska ima cilj da do 2030. godine postigne 50% udjela obnovljivih izvora u bruto konačnoj potrošnji energije, što će zahtijevati daljnje ulaganje u obnovljive izvore energije. Uz to, Hrvatska se obvezala da će smanjiti emisije stakleničkih plinova za 40% do 2030. godine u odnosu na razine iz 1990. godine, što također zahtijeva povećanje korištenja obnovljivih izvora energije. U Hrvatskoj postoje i programi poticaja za obnovljive izvore energije, poput subvencija za instalaciju fotonaponskih panela i drugih obnovljivih izvora energije. Također postoje i inicijative koje promiču energetske učinkovitost i smanjenje potrošnje energije, kao i programi za poboljšanje energetske infrastrukture u zemlji. Uz sve ove mjere, perspektiva obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj je pozitivna, s potencijalom za daljnji rast i razvoj u budućnosti (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2020).

### 5.1 Problemi postojećeg sustava

Hrvatska ima relativno visok broj sunčanih sati godišnje, posebno na južnoj obali. Zbog toga su solarni projekti u Hrvatskoj postali sve popularniji, a izgradnja solarnih elektrana je u porastu. Sunčane elektrane koriste solarne panele za pretvaranje sunčeve svjetlosti u električnu energiju. Hrvatska je postavila ambiciozne ciljeve za obnovljive izvore energije, a solarna energija igra ključnu ulogu u postizanju tih ciljeva. Trenutno postoje solarni projekti u cijeloj zemlji, uključujući i velike solarno-energetske projekte u Dalmaciji. Uz nastavak ulaganja u obnovljive izvore energije, Hrvatska ima potencijal da postane lider u korištenju solarne energije u regiji (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2020).

Postoji nekoliko prepreka i izazova u izgradnji solarnih elektrana u Hrvatskoj:

1. Biološka raznolikost - Hrvatska ima bogatu biološku raznolikost, a neke lokacije za izgradnju solarnih elektrana nalaze se u osjetljivim ekosustavima koji bi mogli biti ugroženi.
2. Prostorni planovi - U Hrvatskoj postoje prostorni planovi koji ograničavaju lokacije za izgradnju solarnih elektrana, što može otežati njihovu izgradnju.
3. Troškovi - Iako su cijene opreme za solarnu energiju općenito pale u posljednjih nekoliko godina, izgradnja solarnih elektrana i dalje može biti skupa. To može predstavljati prepreku za neke investitore.
4. Tehnički problemi - Tehnički problemi, poput nedostatka pouzdanosti i održivosti, mogu biti izazov za solarne elektrane, posebno na nekim udaljenim lokacijama.
5. Regulativni okvir - Nedostatak jasno definiranih pravila i regulativa može biti prepreka za investitore koji žele ulagati u solarnu energiju u Hrvatskoj.

Također, problem na koji nailazimo kod postavljanja fotonaponskog sustava na stambene zgrade jest potrebna suglasnost svih stanara kako bi se postavio sustav na stambenu zgradu kao i razrada financiranja. Većina zgrada je u vlasništvu stanara tako je je potreban potpis svakog od njih te pristanak na sufinanciranje. Trenutno u Hrvatskoj postavljanje fotonaponskih sustava na višestambene zgrade nije pretjerano napredovalo, dok je postavljanje fotonaponskih sustava na obiteljske kuće i tvrtke u konstantnom porastu. Unatoč tim izazovima, Hrvatska je uvela niz politika i mjera koje su usmjerene na poticanje razvoja obnovljivih izvora energije, uključujući i solarne elektrane. Uz daljnje ulaganje u obnovljive izvore energije i razvoj tehničkih rješenja za povećanje pouzdanosti i održivosti solarnih elektrana, Hrvatska je na dobrom putu da svoje ciljeve i ostvari.

## **5.2 Moguća unaprjeđenja postojećeg sustava**

Kada govorimo o unaprijeđenima postojećeg sustava važno je istražiti mogućnosti za smanjenje administrativnih zahtjeva i olakšati proces kroz online platforme, dok se suočavamo s izazovima u vezi s dobavljanjem opreme, posebno iz Kine.

### **5.2.1. Optimizacija administrativnih postupaka i digitalizacija procesa**

Unapređenje postojećih sustava zahtijeva pažljivo razmatranje kako bi se smanjila papirologija i pojednostavili administrativni postupci. U modernom dobu digitalizacije, ključno je omogućiti mogućnost online podnošenja zahtjeva. To ne samo da smanjuje vremenske resurse, već i povećava transparentnost i dostupnost informacija korisnicima. Ovaj korak prema digitalizaciji olakšava interakciju s korisnicima i omogućuje bržu razmjenu potrebnih informacija.

### **5.2.2. Izazovi u nabavci i dobavljanju**

Suočavanje s izazovima u vezi s dobavljanjem opreme, posebno s obzirom na činjenicu da većina dijelova, uključujući izmjenjivače i module, dolazi iz Kine, zahtijeva temeljito razmatranje. Raznolikost izvora opreme i dobavljača može biti ključna kako bi se izbjegla prekomjerna ovisnost o jednom tržištu. Iako se trenutno većina opreme proizvodi u Kini, istovremeno je važno poticati razvoj lokalnih resursa i proizvodnje. Suradnja s domaćim proizvođačima i razvoj vlastite tehnologije mogu smanjiti osjetljivost na tržišne fluktuacije i osigurati kontinuitet opskrbe.

### **5.2.3. Dugoročna održivost i neovisnost**

Unapređenje sustava izgradnje solarnih elektrana ne ograničava se samo na tehnološke promjene. Važno je postaviti dugoročne ciljeve usmjerenje na održivost i neovisnost. To uključuje diverzifikaciju dobavljača, poticanje lokalne proizvodnje i implementaciju standarda kvalitete. Ovi koraci osiguravaju da se sustav ne oslanja previše na jedno tržište i da se osigura pouzdana opskrba čak i u promjenjivim uvjetima globalnog tržišta.

U zaključku, unapređenje sustava izgradnje solarnih elektrana zahtijeva sveobuhvatni pristup koji obuhvaća administrativne postupke, tehnološki razvoj, raznolikost izvora opreme i strateško planiranje za dugoročnu održivost. Kroz optimizaciju administracije i digitalizaciju, kao i razvoj lokalnih resursa, može se stvoriti snažan temelj za rastuću solarnu industriju, osiguravajući da sunčeva energija postane stabilna i održiva komponenta našeg energetskeg pejzaža.

## 6. METODIČKI DIO RADA

### 6.1 Uvod – opis razloga za obradu sadržaja zastupljenih u diplomskom radu

Sadržaj ovog diplomskog rada, bazira se na obnovljivim izvorima energije, konkretno na proizvodnji električne energije iz sunca. Temu rada možemo smjestiti u predmet tehničke kulture. Obnovljivi izvori energije obrađuju se u šestom razredu osnovne škole, gdje učenici obrađuju sve obnovljive izvore energije u koji je uključena i energija sunca. Tablica 1. prikazuje izvedbeni plan tehničke kulture s naglaskom na solarnu energiju. Solarna energija, kao jedan od ključnih obnovljivih izvora, zaslužuje posebnu pozornost u školama zbog usmjeravanja budućih generacija. Detaljnije uvođenje sadržaja u nastavni program tehničke kulture za šesti razred osnovne škole ima nekoliko značajnih razloga koji doprinose razvoju učenika i društva kao cjeline. Razmotrimo razinu na kojoj se ovaj sadržaj obrađuje. Šesti razred osnovne škole označava ključan trenutak u obrazovnom procesu, gdje se temelji postavljaju za daljnje razumijevanje tehničkih principa. Učenici ovog uzrasta već imaju osnovno znanje o tehničkim pojmovima i osnovama energetike. Upravo ovdje sadržaj o analizi parametara fotonaponske elektrane pronalazi svoje mjesto. Iako možda na prvi pogled zvuči složeno, analiza ovih parametara može se pojednostaviti kako bi se učenike upoznalo s osnovama kako solarna energija funkcionira i kako različiti čimbenici utječu na njen učinak. Svrha uvođenja ovog sadržaja je višestruka. Prvo, to potiče svijest o održivosti među učenicima. Mladi ljudi trebaju shvatiti da su resursi našeg planeta ograničeni te da se stoga moramo okrenuti izvorima energije koji se mogu neprestano obnavljati. Analiza parametara fotonaponske elektrane omogućuje im da razumiju kako iskoristiti energiju Sunca, prirodni resurs koji je dostupan gotovo svugdje, a kako bi se zadovoljile potrebe za električnom energijom. Drugo, ovakav sadržaj razvija tehničku pismenost učenika. Kroz analizu parametara i principa rada fotonaponske elektrane, učenici će se upoznati s osnovnim tehničkim konceptima. Ova tehnološka pismenost nije samo važna za buduće inženjere i tehničare, već i za svakog građanina koji se susreće s tehnologijom u svakodnevnom životu. Treće, uvođenje ovog sadržaja priprema učenike za budućnost. Svijet se mijenja, tehnologija napreduje, i održivost postaje sve važnija. Obnovljivi izvori energije poput solarnih sustava postaju sveprisutni. Uvođenjem ovog sadržaja, pružamo učenicima osnovu za razumijevanje tehnologije koja će oblikovati njihovu budućnost. S druge strane, produblјivanje ovog sadržaja moglo bi se postići proširenjem teme o obnovljivim izvorima

energije. Na primjer, osim analize parametara fotonaponske elektrane, učenici bi mogli istražiti i druge obnovljive izvore energije poput vjetra ili vode. Osim toga, mogli bi se pozabaviti i etičkim, ekonomskim i ekološkim aspektima korištenja obnovljivih izvora energije te kako naši izbori utječu na globalnu energetska situaciju. Kroz razumijevanje sustava korištenja sunčeve energije učenici postaju svjesni svoje uloge u svijetu energetike i kako mogu doprinijeti očuvanju okoliša.



## 6.2 Reducirani izvedbeni nastavni program

Tablica 1. Reducirani izvedbeni nastavni program

Redni broj (tjedan/tema)	Naziv nastavne cjeline (povezanih aktivnosti) Nastavna tema/vježba/projekt...	Glavni ishodi učenja	Korelacija – veze s drugim nastavnim predmetima (predmet/tema /sadržaji)	Aktivnosti koje provode učenici i učitelj (metodičko oblikovanje)	Nastavna sredstva, pomagala imat. uvjetirada (alat, instrumenti...)	Mjesto izvođenja nastavne	Vrijeme		Napomene nakon realizacije
							T	V	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rujan	UVOD U NASTAVNI PREDMET	Upoznavanje s nastavnim planom i programom	Tehnička kultura	Frontalni rad Grupni rad	Ploča Kreda Spužva Računalo Platno Projektor PowerPoint prezentacija	Učionica	2	0	
Rujan	TEHNIKA, TEHNOLOGIJA, TEHNOLOŠKI I RADNI PROCES	Tehnološki i radni proces, značenje, elementi, postupak izrade (obrada novih nastavnih sadržaja)	Tehnička kultura	Frontalni rad Individualni rad	Ploča Kreda Spužva Računalo Platno Projektor Pribor za crtanje i pisanje	Učionica	1	1	

Redni broj (tjedan/tema)	Naziv nastavne cjeline (povezanih aktivnosti) Nastavna tema/vježba/projekt...	Glavni ishodi učenja	Korelacija – veze s drugim nastavnim predmetima (predmet/tema/sadržaji)	Aktivnosti koje provode učenici i učitelj (metodičko oblikovanje)	Nastavna sredstva, pomagala imat. uvjetirada (alat, instrumenti...)	Mjesto izvođenja nastavne	Vrijeme		Napomene nakon realizacije
							T	V	
Listopad	<b>TEHNIČKO CRTANJE</b>	<b>Vrste tehničkih crteža prema načinu izrade, razumijevanje jednostavnog tehničkog crteža</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Tehnička kultura  Matematika: pribor za crtanje  Geografija: mjerila, simboli	<b>Frontalni rad Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računalo Platno Projektor	Učionica	1	1	
Listopad	<b>TEHNIČKO CRTANJE</b>	<b>Postupci izrade radioničkog crteža, kotiranje</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Tehnička kultura  Matematika: pribor za crtanje  Geografija: mjerila, simboli	<b>Frontalni rad Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računalo Platno Projektor Pribor za crtanje i pisanje, ravnalo, kutomjer, šestar	Učionica	1	1	
Studeni	<b>TEHNIČKO CRTANJE</b>	<b>Izrada radioničkog crteža, presjek tehničkog crteža, kotiranje tehničkog crteža</b> (usvajanje novih nastavnih sadržaja)	Tehnička kultura  Matematika: pribor za crtanje  Geografija: mjerila, simboli	<b>Frontalni rad Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računalo Platno Projektor Pribor za crtanje i pisanje, ravnalo, kutomjer, šestar	Učionica	0	2	

Redni broj (tjedan/tema)	Naziv nastavne cjeline (povezanih aktivnosti) Nastavna tema/vježba/projekt...	Glavni ishodi učenja	Korelacija – veze s drugim nastavnim predmetima (predmet/tema/sadržaji)	Aktivnosti koje provode učenici i učitelj (metodičko oblikovanje)	Nastavna sredstva, pomagala imat. uvjetirada (alat, instrumenti...)	Mjesto izvođenja nastavne	Vrijeme		Napomene nakon realizacije
							T	V	
Studenti	PISANA PROVJERA ZNANJA	<b>Prva pisana provjera znanja, izrada tehničkog crteža</b> (provjera znanja / Ocjenjivanje)	Tehnička kultura	<b>Frontalni rad Individualni rad</b>	Pisana provjera znanja	Učionica	2	0	
Prosinac	MATERIJALI	<b>Postupak proizvodnje i svojstvometala</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Strojarstvo Mehanika	<b>rad Individualni rad Suradnički (grupni rad)</b>	Ploča Kreda Spužva Računalo Platno Projektor Ravnalo Škare za metal	Učionica	1	1	
Prosinac	MATERIJALI	<b>Postupak rezanja i spajanja lima</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Strojarstvo Mehanika	<b>Frontalni rad Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računalo Platno Projektor Lemilica Škare za metal Ravnalo Olovka	Učionica	1	1	

Redni broj (tjedan/tema)	Naziv nastavne cjeline (povezanih aktivnosti) Nastavna tema/vježba/projekt...	Glavni ishodi učenja	Korelacija – veze s drugim nastavnim predmetima (predmet/tema /sadržaji)	Aktivnosti koje provode učenici i učitelj (metodičko oblikovanje)	Nastavna sredstva, pomagala imat. uvjetirada (alat, instrumenti...)	Mjesto izvođenja nastavne	Vrijeme		Napomene nakon realizacije
							T	V	
Siječanj	MATERIJALI	<b>Postupak rezanja i spajanja lima, lemljenje</b> (usvajanje novih nastavnih sadržaja)	Strojarstvo o Mehanika	<b>Frontalni rad</b> <b>Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računalo Platno Projektor Lemilica Škare za metal Ravnalo Olovka	Učionica	1	1	
Siječanj	MATERIJALI	<b>Korozija i postupci zaštite metala</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Kemija Fizika Strojarstvo o Mehanika Biologija	<b>Frontalni rad</b> <b>Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računalo Platno Projektor	Učionica	2	0	
Veljača	USMENA PROVJERA ZNANJA	<b>Usmena provjera znanja</b> (provjera znanja/Ocjenjivanje)	-	<b>Frontalni rad</b> <b>Individualni rad</b>	Udžbenik Bilježnica	Učionica	2	0	

Redni broj (tjedan/tema)	Naziv nastavne cjeline (povezanih aktivnosti) Nastavna tema/vježba/projekt...	Glavni ishodi učenja	Korelacija – veze s drugim nastavnim predmetima (predmet/tema/sadržaji)	Aktivnosti koje provode učenici i učitelj (metodičko oblikovanje)	Nastavna sredstva, pomagala i mat. uvjeti rada (alat, instrumenti...)	Mjesto izvođenja nastavne	Vrijeme		Napomene nakon realizacije
							T	V	
Veljača	ENERGETIKA	<b>Hidroelektrane i termoelektrane, vrste, način rada</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Kemija Fizika Elektrotehnika	<b>Frontalni rad Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računal oPlatno Projektor	Učionica	1	1	
Veljača	ENERGETIKA	<b>Solarne elektrane, vrste, način rada</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Kemija Fizika Elektrotehnika	<b>Frontalni rad Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računal oPlatno Projektor	Učionica	1	1	
Ožujak	TERENSKA NASTAVA	<b>Terenska nastava</b> (posjet tehničkom muzeju Zagreb)	Fizika Elektrotehnika Strojstvo Robotika	<b>Frontalni rad Individualni rad Timski rad</b>	Udžbenik Bilježnica Dnevnik terenske nastave	Posjet tehničkom muzeju Zagreb	1	1	

Ožujak	TEHNIČKE TVOREVINE	<b>Električne instalacije u kući</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Elektrotehni kaFizika	<b>Frontalni rad Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računal oPlatno Projekto r	Učionica	1	1	
--------	--------------------	--	--------------------------	---	---	----------	---	---	--

Redni broj (tjedan/tema)	Naziv nastavne cjeline (povezanih aktivnosti) Nastavna tema/vježba/projekt...	Glavni ishodi učenja	Korelacija – veze s drugim nastavnim predmetima (predmet/tema /sadržaji)	Aktivnosti koje provode učenici i učitelj (metodičko oblikovanje)	Nastavna sredstva, pomagala i mat. uvjeti rada (alat, instrumenti...)	Mjesto izvođenja nastavne	Vrijeme		Napomene nakon realizacije
							T	V	
Travanj	TEHNIČKE TVOREVINE	<b>Hladnjaci, način rada, dijelovi rashladnog uređaja</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Elektrotehnika Fizika	<b>Frontalni rad</b> <b>Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računal oPlatno Projektor	Učionica	1	1	
Travanj	TEHNIČKE TVOREVINE	<b>Električni grijač vode, razlikovanje električnih trošila u kućanstvu, način rukovanja</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Elektrotehnika Fizika	<b>Frontalni rad</b> <b>Individualni rad</b>	Ploča Kreda Spužva Računal oPlatno Projektor	Učionica	1	1	
Svibanj	INFORMACIJSKA TEHNOLOGIJA	<b>Tablice u programima za obradu teksta, crtanje u programima</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Informatika	<b>Frontalni rad</b> <b>Individualni rad</b>	Računal oPlatno Projektor MS Office programski paket	Informatička učionica	1	1	

Redni broj (tjedan/tema)	Naziv nastavne cjeline (povezanih aktivnosti) Nastavna tema/vježba/projekt...	Glavni ishodi učenja	Korelacija – veze s drugim nastavnim predmetima (predmet/tema/sadržaji)	Aktivnosti koje provode učenici i učitelj (metodičko oblikovanje)	Nastavna sredstva, pomagala i mat. uvjeti rada (alat, instrumenti...)	Mjesto izvođenja nastavne	Vrijeme		Napomene nakon realizacije
							T	V	
Svibanj	INFORMACIJSKA TEHNOLOGIJA	<b>Pretraživanje interneta i rad s porukama</b> (obrada novih nastavnih sadržaja)	Informatika	<b>Frontalni rad Individualni rad</b>	Računal oPlatno Projektor Internet tražilica Outlook program	Informatička učionica	0	2	
Lipanj	ZAKLJUČIVANJE OCJENA I PONAVLJANJE	<b>Zaključivanje Ocjena</b> (zaključni sat/ocjenjivanje/Evaluiranje)	Tehnička kultura  Informatika	<b>Frontalni oblik rada Timski oblikrada (cijeli razred</b>	Ploča Kreda Spužva Računal oPlatno Projektor	Učionica	2	0	



### **6. 3 Opisni dio vezan za metodičku obradu sadržaja integriranog u nastavni program**

Metodička obrada sadržaja "Analiza parametara koji utječu na rad solarne elektrane" za učenike šestog razreda nastavnog programa tehničke kulture ima za cilj osigurati temeljito razumijevanje koncepta obnovljivih izvora energije i specifično, solarnih sustava. Nastavu je potrebno koncipirati tako da učenici aktivno sudjeluju u procesu učenja kroz različite interaktivne metode i vježbe. Nastava bi mogla započeti uvodom o važnosti obnovljivih izvora energije i predstavljanjem solarnih sustava kao primjera. Učitelj bi mogao postaviti pitanja poput "Što znate o solarnoj energiji?" i potaknuti razgovor o prednostima korištenja Sunčeve energije. Zatim bi učitelj mogao prezentirati osnovne koncepte fotonaponskih sustava, objasniti kako solarni paneli pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju te predstaviti osnovne parametre kao što su insolacija, učinkovitost, orijentacija panela i slično. Nakon toga potrebno je osmisliti interaktivne vježbe. Primjena interaktivnih vježbi omogućit će učenicima praktično razumijevanje koncepta. Na primjer, jedna vježba može uključivati konstrukciju jednostavnog modela solarnog sustava. Učenici bi mogli izraditi male solarne panele (od kartona, aluminijske folije itd.) i testirati kako ih orijentacija prema Suncu ili njen položaj na nebu utječu na proizvodnju energije. Nakon izrade učenici bi analizirali svoje uratke, učitelj bi mogao postaviti problem kojeg učenici moraju analizirati i razmotriti kako bi različiti uvjeti (npr. promjena kuta nagiba panela) utjecali na količinu proizvedene električne energije. Tako se potiče analitičko razmišljanje i primjena teorije na stvarne situacije. Također, organiziranjem učenika u grupe za diskusiju i rješavanje problema poticali bi suradnju i timski rad. Učitelj bi mogao postaviti stvarne scenarije (npr. "Gradite solarni sustav za kuću") te tražiti od grupa da analiziraju različite parametre kako bi izabrali najefikasnije rješenje. Nakon toga, moguće je integrirati ovu aktivnost u nastavni plan, bilo organiziranjem terenske nastave posjetom solarnoj elektrani ili pozivanjem stručnjaka kao gostujućeg predavača. Organizacijom terenske nastave posjetom solarnoj elektrani ili pozivanjem stručnjaka na predavanje omogućava se učenicima da vide stvarne primjere primjene tehnologije. No također se produbljuje razumijevanje i povezuje teoriju s praksom. Nakon gostujućeg predavanja, znanje bi mogli provjeriti kroz kvizove, usmene prezentacije ili pak radom na projektima. Na primjer, zadatak bi mogao biti analiziranje stvarnih podataka o proizvodnji energije solarnih elektrana i izvođenje zaključaka.

## 6.4 Priprema za nastavu

S V E U Č I L I Š T E U R I J E C I  
STUDIJ POLITEHNIKE

Ime i prezime: \_\_ Vjeran Vidović \_\_\_\_\_

### **P R I P R E M A Z A I Z V O Ğ E N J E N A S T A V E**

Škola: \_\_1. Osnovna škola Čakovec \_\_\_\_\_ Mjesto: \_\_Čakovec \_\_\_\_\_

Razred: \_\_6.razred \_\_\_\_\_ \*Zanimanje: \_\_\_\_\_

Nastavni predmet: \_\_Tehnička kultura \_\_\_\_\_

Kompleks: \_\_Energetika \_\_\_\_\_

Metodička (nastavna) jedinica: \_\_Solarne elektrane \_\_\_\_\_

---

## SADRŽAJNI PLAN

**Podjela kompleksa na teme (vježbe, operacije)**

(Uz svaku temu /vježbu, operaciju/ navedite broj nastavnih sati i podvucite onu koja se u pripremi obrađuje)

Redni broj	Naziv tema u kompleksu	Broj sati	
		teorija	vježbe
1	Energetika i obnovljivi izvori energije	2	
2	Hidroelektrane i termoelektrane, vrste, način rada	1	1
3	<u>Solarne elektrane</u>	1	1

Karakter teme (vježbe, operacije) – metodičke jedinice

## PLAN VOĐENJA ORGANIZACIJE NASTAVNOG PROCESA

**Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:**

(Navedite ŠTO OD UČENIKA OČEKUJETE na kraju, nakon obrade nastavne građe, zbog čega se građa obrađuje)

Razumjeti osnovne principe solarnih sustava.

Prepoznati ključne parametre koji utječu na rad solarne elektrane.

Analizirati kako promjene parametara utječu na proizvodnju solarnih panela.

Razvijati kritičko razmišljanje kroz analitičko razmatranje parametara.

***Ishodi učenja (postignuća koja učenik treba ostvariti za postizanje cilja):***

(Posebno upišite koja znanja; vještine i umijeća; razinu samostalnosti i odgovornosti učenik treba steći nakon obrade nastavne teme. Ishode formulirati jasno i jednoznačno kako bi se mogli provjeriti evaluacijom.)

**ZNANJE I RAZUMIJEVANJE:**

Prepoznati različite obnovljive izvore energije i objasniti što je solarna energija.

Identificirati ključne parametre koji utječu na rad solarne elektrane: insolacija, orijentacija panela, kut nagiba i učinkovitost.

Objasniti osnovne principe pretvorbe sunčeve svjetlosti u električnu energiju kroz fotonaponske sustave.

Analizirati kako promjene parametara utječu na proizvodnju električne energije u solarnim panelima.

**VJEŠTINE I UMIJEĆA:**

Upotrebljavati modele solarnih panela kako bi simulirali promjene kuta nagiba i orijentacije.

Sudjelovati u grupnim diskusijama i prezentacijama, razmjenjujući ideje i zaključke.

Vješto koristiti praktične vježbe kako bi promijenili parametre i pratili rezultate.

Povezivati teorijsko znanje s praktičnim primjenama kroz eksperimentiranje.

**SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST:**

Razvijati interes i svijest o važnosti obnovljivih izvora energije za očuvanje okoliša.

Pokazati motivaciju za suradnju u grupnom radu i diskusijama.

Razvijati sposobnost kritičkog razmišljanja i analitičkog razmatranja problema.

Pokazati interes za praktične vježbe i eksperimentiranje kako bi bolje razumjeli koncepte

**Organizacija nastavnog rada – artikulacija metodičke jedinice:**

(Pregledno u tablicu upišite, zasebno za uvodni, glavni i završni dio u obliku teza: ŠTO se obrađuje – sadržaj, KAKO se obrađuje – metodičko oblikovanje i KOLIKO se obrađuje – trajanje nastavnog rada)

Dio sata	Faze rada i sadržaj	Metodičko oblikovanje	Vrijeme (min)
Uvodni dio	Kratko ponavljanje gradiva. Uvod u novu temu, naglašavanje bitnih pojmova.	Dijalog s učenicima, Frontalni rad, Uvodno Predavanje	5
Glavni dio	Detaljnije objašnjavam osnovne pojmove vezane uz Solarne sustave, dijelove solarnih elektrana. Definiram svaki pojam i ističem osnovne ključne parametere. Koristim primjere i demonstracije kako bih ilustrirao koncepte solarnih elektrana. Pokazujem stvarne primjere elektrana na krovovima te zemlji. Potičem učenike na diskusiju o konceptu solarnih elektrana u svakodnevnim životu i Hrvatskoj.	Frontalni rad, Dijalog, Demonstracija (korištenje alata, rad s materijalom), Samostalni rad Učenika	25
Završni dio	Ponavljanje najbitnijih dijelova.	Rekapitulacija naučenog, Razgovor (priprema za nadolazeće teme, dobivanje povratne informacije od učenika)	5

**Posebna nastavna sredstva, pomagala i ostali materijalni uvjeti rada:**

(Navedite što je konkretno potrebno i količine koje su potrebne. Izdvojite zasebno sredstva, pomagala i ostalo.)

Nastavna sredstva – udžbenik za šesti razred osnovne škole, Internet i online resursi.

Nastavna pomagala – računalo, projektor, ploča.

***Korelativne veze metodičke jedinice s ostalim predmetima i područjima:***

(Navedite nastavni predmet i konkretno područje – temu.)

*Priroda i Biologija* - Povezivanje s prirodnim ciklusima; Učenici mogu istraživati kako Sunčeva energija pokreće procese u prirodi poput fotosinteze kod biljaka. Utjecaj solarnih sustava na okoliš; Razmatranje kako korištenje solarnih panela utječe na ekosustave i životne uvjete.

*Matematika* - Analiza i interpretacija podataka; Učenici mogu analizirati rezultate promjena parametara solarne elektrane te koristiti matematičke koncepte za grafičko prikazivanje. Računanje efikasnosti i proizvodnje energije; Učenici mogu izračunavati koliko električne energije može proizvesti solarni panel u različitim uvjetima.

*Geografija* - Utjecaj geografskog položaja; Učenici mogu istraživati kako geografski položaj utječe na insolaciju i učinkovitost solarnih sustava u različitim dijelovima svijeta. Povezanost s geografskim područjima koja se bave obnovljivim izvorima energije.

*Informatika* - Analiza podataka; Učenici mogu koristiti računalne alate za analizu rezultata eksperimenata s solarnim panelima.

***Operacionalizacija ishoda iz predmetnog kurikulumu:***

(Navedi ishode iz predmetnog kurikulumu koji se realiziraju ovom nastavnom temom i aktivnosti kojima se realiziraju)

Ishod: Razumjeti osnovne principe rada obnovljivih izvora energije, uključujući solarnu energiju. Učenici će biti sposobni opisati osnovne principe kako solarni paneli pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju kroz fotonaponske sustave.

Aktivnosti kojima se realizira ishod: Učitelj će izvesti interaktivno predavanje o principima rada solarnih sustava, koristeći ilustracije i praktične primjere.

Ishod: Prepoznati ključne parametre koji utječu na rad solarnih sustava.

Učenici će identificirati i objasniti parametre poput insolacije, orijentacije panela, kuta nagiba i učinkovitosti koji utječu na proizvodnju energije solarnih sustava.

Aktivnosti kojima se realizira ishod: Učitelj će organizirati grupne diskusije i vježbe analize kako bi učenici razgovarali o svakom parametru i njegovom utjecaju.

Ishod: Učenici će biti sposobni analizirati kako različite promjene parametara (npr. promjena kuta nagiba) utječu na proizvodnju energije u solarnim panelima.

Aktivnosti kojima se realizira ishod: Učenici će raditi praktičnu vježbu s modelima solarnih panela te pratiti kako se mijenja proizvodnja energije pri promjeni parametara..

### ***Izvori za pripremanje nastavnika:***

(Literatura s potpunim bibliografskim podacima, prikupljenim podacima, uvidom u konkretnu praksu i drugo.)

1. J. Milat (1995). PRIPREMANJE ZA NASTAVU - metodički priručnik. Zagreb, Hrvatska zajednica tehničke kulture.
2. Online materijali

### ***Izvori za pripremanje učenika:***

(Udžbenik ili/i pomoćna literatura s potpunim bibliografskim podacima i sl.)

1. M. Baradić, J. Čirjak (2021.) Tehnička kultura 6 - udžbenik za 6. razred osnovnih škola. Zagreb, Profil

## ***TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE – NASTAVNI RAD***

(Detaljna razrada faza rada i sadržaja iz tablice artikulacije – napisati onako kako će se izvoditi pred učenicima – “scenarij” nastavnog procesa; razraditi metodičku, komunikacijsku i sadržajnu komponentu)\*

### Faza 1: Uvod

Uvodim učenike u temu obnovljivih izvora energije, s naglaskom na solarnu energiju. Pozdravljam ih i objašnjavam što će se obrađivati tijekom lekcije. Postavljam im pitanje: " Zašto mislite da

trebamo razmišljati o načinima dobivanja energije koji ne štete okolišu?" kako bih potaknuo njihovo aktivno sudjelovanje.

#### Faza 2: Pojašnjenje osnovnih pojmova

Detaljnije objašnjavam osnovne pojmove vezane uz solarnu energije i solarne elektrane. Definiram svaki pojam i ističem njihove ključne karakteristike. Naglašavam da je solarna energija dolazi iz Sunca i može se pretvoriti u električnu energiju putem solarnih panela. Ključni pojmovi koje ćemo istražiti su insolacija, orijentacija panela, kut nagiba i učinkovitost

#### Faza 3: Primjeri i demonstracija

Koristim primjere i demonstracije kako bih ilustrirao koncepte solarnih elektrana i parametre iste. Pripremio sam modele solarnih panela kako bismo mogli bolje razumjeti koncept promjene parametara. Gledajte pažljivo dok postavljamo panele pod različitim kutem prema svjetlu. *Primijetiti ćete kako se promjena kuta može odraziti na količinu energije koju paneli proizvode.*

#### Faza 4: Diskusija o primjeni

Potičem učenike na diskusiju o primjeni solarne energije u svakodnevnim predmetima i tehnici. Zamišljamo da imamo kuću s solarnim panelima. *Kako bismo postavili panele kako bismo dobili najviše sunčeve energije? Možete li predvidjeti kako bi promjena orijentacije i kuta utjecala na proizvodnju energije?* Ovaj dio je bitan jer nam pomaže razumjeti kako pravilno postaviti panele kako bi bili što efikasniji.

#### Faza 5: Zaključak i evaluacija

Sumiram ključne točke i naglašavam važnost razumijevanja solarne energije i izgradnje sunčanih elektrana. Provodim evaluaciju učenja postavljanjem pitanja koja provjeravaju njihovo razumijevanje i primjenu naučenog gradiva. Dodjeljujem kratki zadatak za domaću zadaću kako bi učenici mogli primijeniti svoje znanje u stvarnom svijetu.



### **Izgled ploče**

(Skicirati potpuni izgled ploče nakon obrađene teme /naslov, skice, crteži, tekst/ .)

## **OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE – SOLARNA ENERGIJA**

1. Solarna energija - koristi sunčevu svjetlost za proizvodnju struje.
2. Fotonaponski sustavi - pretvaraju svjetlost u električnu energiju.
3. Insolacija - količina sunčeve svjetlosti koja doseže površinu.
4. Orijentacija - usmjeravanje panela prema Suncu za veću efikasnost.
5. Kut nagiba - nagib panela za optimalno hvatanje svjetlosti.
6. Učinkovitost - omjer pretvorene svjetlosti u električnu energiju.

#### Primjena:

- Solarni paneli na krovovima kuća i zgrada.
- Solarni sustavi za napajanje kućanstava i javne rasvjete.
- Solarni sustavi u udaljenim područjima bez pristupa struji.

#### Analiza Parametara:

- Orijentacija prema Suncu: Bolja izloženost svjetlosti.
- Kut nagiba: Prilagodba za maksimalni ulov svjetlosti.
- Učinkovitost: Mjera koliko svjetla se pretvara u energiju.

## 7. ZAKLJUČAK

U okviru ovog diplomskog rada analizirani su parametri koji značajno utječu na rad fotonaponskih elektrana. Obuhvaćeni su čimbenici poput insolacije, nagiba i orijentacije panela, efikasnosti pretvaranja sunčeve energije i temperaturnih varijacija. Posebna pažnja posvećena je izradi projekcije proizvodnje fotonaponske elektrane, uzimajući u obzir spomenute parametre. Insolacija, tj. količina sunčeve energije koja doseže solarne panele tijekom dana, je povezana s geografskom lokacijom, sezonom i vremenskim uvjetima te izravno utječe na dnevnu proizvodnju električne energije. Orijehtacija panela u odnosu na Sunce igra ključnu ulogu u apsorpciji energije, a efikasnost pretvorbe sunčeve energije u električnu energiju ovisi i o tehničkim karakteristikama fotonaponskih ćelija. Temperaturne varijacije također su bitan faktor. Povećanje temperature može smanjiti efikasnost fotonaponskih panela, što može rezultirati smanjenom proizvodnjom energije. Senzorski sustavi za praćenje i kontrolu sustava također utječu na energetska učinkovitost, omogućujući prilagodbu rada sustava prema trenutačnim uvjetima.

Dubljim razumijevanjem spomenutih parametara i odnosa među njima moguće je bolje optimizirati rad solarnih sustava te postići održivu i ekonomski isplativu proizvodnju električne energije. Važno je solarne elektrane graditi na pravilan način i na odgovarajućim lokacijama. Ispitivanje trenutnog stanja u Republici Hrvatskoj pokazalo je da postoji značajan potencijal za razvoj fotonaponskih elektrana s obzirom na povoljan geografski položaj i klimatske uvjete. Međutim, primjećujemo da se suočavamo s administrativnim preprekama koje često usporavaju ili kompliciraju proces ulaganja u infrastrukturu za obnovljive izvore energije. Kako bismo iskoristili puni potencijal obnovljivih izvora energije, ključno je olakšati ovaj proces. Jedan od mogućih koraka prema tome je razvoj online platformi koje bi pojednostavile administrativne zahtjeve i omogućile bržu i učinkovitiju obradu potrebne dokumentacije. Na ovakav način može se značajno ubrzati razvoj fotonaponskih elektrana, potičući investicije i doprinoseći ostvarenju ciljeva održive proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Perspektiva za daljnji razvoj i proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora u Republici Hrvatskoj je obećavajuća. Implementacija naprednih tehnologija i poticanje investicija u fotonaponske elektrane mogli bi dovesti do značajnog povećanja udjela obnovljivih izvora u ukupnoj energetska mreži. Ne samo

da bi se time smanjila ovisnost o fosilnim gorivima, već bi se doprinijelo očuvanju okoliša i dugoročnoj održivosti energetskeg sektora u zemlji.

## 8. LITERATURA

- [1] Khalid, M. (2023). *“Solar Energy Harvesting, Conversion, and Storage”*, Materials, Technologies, and Applications, Sunway University.
- [2] YES energy solutions. (2023). *“How much energy do solar panels produce for your home?”*, <https://www.yesenergysolutions.co.uk/advice/how-much-energy-solar-panels-produce-home/>, s Interneta
- [3] The solar labs. (2023). *“What Are The Basic Components Of The Photovoltaic System?”*, <https://thesolarlabs.com/ros/basic-components-of-photovoltaic-system/>, s Interneta.
- [4] Solar Energy Technologies Office. (2023). *“Solar Integration: Inverters and Grid Services Basics”*, <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics/>, s Interneta.
- [5] Shaik, F., Lingla S. & Veeraboina P. (2023). *“Effect of various parameters on the performance of solar PV power plant: a review and the experimental study”*, Sustainable Energy Research.
- [6] Iskandar, H., Bakti Z. & Sambasri S. (2018). *„Study and Analysis of Shading Effects on Photovoltaic Application System”*, University of Jenderal Achmad Yani.
- [7] Batista, R. (2018). *“The Impact Of Shadowing In Photovoltaic Systems And How To Minimize It”*, University of Gävle.
- [8] Lin, L., Bora B. & Prasad B. (2023). *“Influence of outdoor conditions on PV module performance – an overview”*, Material Science & Engineering International Journal, SAD.
- [9] Frontiers in Energy Research (2021.) *“ Review of Operation and Maintenance Methodologies for Solar Photovoltaic Microgrids”*, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2021.730230/full/>, s Interneta
- [10] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (2020). *„Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu”*.