

# Utjecaj fotonaponske elektrane na energetska učinkovitost građevine u različitim klimatskim područjima

---

**Nekić, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:588105>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-16**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Tehnički fakultet u Puli



**Antonio Nekić**

**Utjecaj fotonaponske elektrane na energetska učinkovitost  
građevine u različitim klimatskim područjima**

Diplomski rad

Pula, studeni, 2024. godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Tehnički fakultet u Puli



**Antonio Nekić**

# **Utjecaj fotonaponske elektrane na energetska učinkovitost građevine u različitim klimatskim područjima**

Diplomski rad

**JMBAG:** 0069072704, izvanredan student

**Studijski smjer:** Strojarsstvo, Energetika i inženjerstvo okoliša

**Predmet:** Toplinski strojevi

**Znanstveno područje:** Tehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Strojarsstvo

**Znanstvena grana:** Strojarsstvo

**Mentor:** doc. dr. sc. Igor Kegelj

Pula, studeni, 2024. godine

doc.dr.sc. Igor Kegalj  
(Ime i prezime nastavnika)



Tehnički fakultet u Puli

Toplinski strojevi  
(Predmet)

**Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
TEHNIČKI FAKULTET U PULI  
ZADATAK TEME DIPLOMSKOG RADA**

**Pristupniku/ci** Antonio Nekić **MBS:** 0069072704

**Studentu/ci stručnog studija Tehničkog fakulteta u Puli izdaje se zadatak za diplomski rad – tema završnog rada pod nazivom:**

**UTJECAJ FOTONAPONSKE ELEKTRANE NA ENERGETSKU UČINKOVITOST GRAĐEVINE U RAZLIČITIM KLIMATSKIM PODRUČJIMA**

Rad obraditi sukladno odredbama Pravilnika o završnom radu Sveučilišta u Puli.

**Izvanredni, strojarstvo**

**Datum:** 08.04.2024.

**Potpis nastavnika** doc.dr.sc. Igor Kegalj



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Antonio Nekić kandidat za magistra strojarstva ovime izjavljujem da je ovaj Diplomski rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Diplomskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

---

U Puli, studeni, 2024. godine



IZJAVA  
o korištenju autorskog djela

Ja, Antonio Nekić dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj diplomski rad pod nazivom „Utjecaj fotonaponske elektrane na energetske učinkovitost građevine u različitim klimatskim područjima“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljajući na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 13. studeni 2024. godine

Student

---

## Sažetak

Rad istražuje utjecaj fotonaponskih elektrana na energetska učinkovitost zgrada u različitim klimatskim područjima, analizirajući primjere iz gorske i primorske hrvatske. Cilj je procijeniti energetska uštedu, ekonomsku isplativost i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>. Istraživanje uključuje proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje pomoću softvera KI-Expert, te modeliranje fotonaponskih elektrana putem softvera PV SOL. Rezultati simulacija pokazuju pozitivne učinke integracije FN sustava na energetska učinkovitost zgrada, posebice u kontekstu smanjenja potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova, uz značajnu ekonomsku uštedu.

Ključne riječi: fotonaponske elektrane, energetska učinkovitost, klimatska područja, proračun potrebne energije, emisija CO<sub>2</sub>, ekonomska isplativost

## Summary

The study examines the impact of photovoltaic (PV) power plants on the energy efficiency of buildings in different climate zones, analyzing examples from mountainous and coastal regions of Croatia. The goal is to assess energy savings, economic viability, and CO<sub>2</sub> emissions reduction. The research includes the calculation of energy needs for heating and cooling using KI-Expert software, as well as modeling PV power plants through PV SOL software. The simulation results show positive effects of PV system integration on the energy efficiency of buildings, especially in terms of reducing energy consumption and greenhouse gas emissions, along with significant economic savings.

Keywords: photovoltaic power plants, energy efficiency, climate zones, energy needs calculation, CO<sub>2</sub> emissions, economic viability



# Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Predmet istraživanja.....	1
1.2. Ciljevi istraživanja .....	1
1.3. Hipoteza.....	2
1.4. Metode istraživanja .....	3
1.5. Struktura rada .....	4
2. Energetska učinkovitost građevine.....	5
2.1. Zakonska regulativa energetske učinkovitosti.....	6
2.2. Proračun potrebne energije.....	10
2.2.1. Proračun potrebne energije za grijanje .....	10
2.2.2. Proračun potrebne energije za pripremu potrošne tople vode .....	12
2.2.3. Proračun potrebne energije za hlađenje .....	12
3. Fotonaponske elektrane.....	13
3.1. Energija sunca .....	16
3.2. Fotonaponske ćelije i moduli.....	18
3.3. Izmenjivači .....	24
3.4. Baterije.....	26
4. Rezultati proračuna potrebne energije .....	30
4.1. Opis predmetne građevine i lokacija .....	30
4.2. Proračun potrebne energije pomoću softvera KI-Expert .....	38
4.3. Rezultati proračuna potrebne energije .....	42
5. Modeliranje fotonaponske elektrane pomoću softvera PV SOL .....	46
5.1. Postupak modeliranja fotonaponske elektrane pomoću softvera PV SOL .....	46
5.2. Prikaz rezultata simulacije fotonaponskih elektrana.....	53
5.2.1. Analiza dobivenih rezultata na lokaciji Delnice .....	56
5.2.2. Analiza dobivenih rezultata na lokaciji Rijeka .....	57
6. Analiza rezultata ekonomske uštede i smanjenja CO2 .....	58

6.1.	Analiza ekonomske isplativosti uvođenja fotonaponske elektrane u Delnicama	58
6.2.	Analiza ekonomske isplativosti uvođenja fotonaponske elektrane u Rijeci ....	60
6.3.	Analiza utjecaja uvođenja fotonaponske elektrane na emisiju CO2.....	63
7.	Zaključak.....	65
8.	Literatura.....	67

## Popis slika

Slika 1.	Prva fotonaponska ćelija.....	14
Slika 2.	Fuzija dva protona .....	16
Slika 3.	Prikaz godišnje insolacije na području Republike Hrvatske .....	17
Slika 4.	Rad fotonaponske ćelije.....	19
Slika 5.	Molekularna struktura perovoksita .....	20
Slika 6.	Usporedba materijala fotonaponskih ćelija s obzirom na učinkovitost .....	21
Slika 7.	I-U karakteristike spoja fotonaponskih modula .....	23
Slika 8.	Tlocrt predmetne građevine .....	31
Slika 9.	Presjek predmetne građevine .....	32
Slika 10.	Popis neto površina predmetne građevine.....	33
Slika 11.	Tlocrt predmetne građevine sa ucrtanom granicom grijane/hlađene površine .....	34
Slika 12.	Slojevi konstrukcije predmetne građevine.....	35
Slika 13.	Orijentacija građevine u Delnicama s obzirom na strane svijeta.....	36
Slika 14.	Orijentacija građevine u Rijeci s obzirom na strane svijeta .....	37
Slika 15.	Pročelja predmetne građevine .....	38
Slika 16.	Sučelje za odabir klimatskih podataka.....	39
Slika 17.	Sučelje za unos opisnih parametara predmetne građevine .....	40
Slika 18.	Sučelje za definiranje građevnih dijelova predmetne građevine .....	41
Slika 19.	Sučelje za definiranje otvora na ovojnici grijane/hlađene površine predmetne građevine.....	41
Slika 20.	Prikaz sučelja softvera PV SOL premium .....	47
Slika 21.	Modeliranje građevine u softveru SketchUp .....	48

Slika 22. Orijentacija uvezenog 3D modela na odabranoj lokaciji u softveru PV SOL .....	48
Slika 23. Tehnički list odabranog fotonaponskog modula.....	49
Slika 24. Pozicioniranje fotonaponskih modula na krovnište predmetne građevine....	49
Slika 25. Konfiguracija i raspored fotonaponskih modula .....	51
Slika 26. Elektrotehnička shema fotonaponskog sustava.....	51
Slika 27. Sučelje za unos podataka za financijsku analizu simulirane fotonaponske elektrane.....	53
Slika 28. Shematski prikaz energetske bilance fotonaponske elektrane u Delnicama .....	54
Slika 29. Shematski prikaz energetske bilance fotonaponske elektrane u Rijeci.....	56

## Popis tablica

Tablica 1. Karakteristike energije i snage za baterije korištene u fotonaponskim sustavima .....	28
Tablica 2. Rezultati proračuna potrebne energije za građevinu u Rijeci .....	42
Tablica 3. Mjesečni iznosi potrebne energije za grijanje i hlađenje za građevinu u Rijeci .....	43
Tablica 4. Rezultati proračuna potrebne energije za građevinu u Delnicama.....	44
Tablica 5. Mjesečni iznosi potrebne energije za grijanje i hlađenje za građevinu u Delnicama.....	45
Tablica 6. Tarifni modeli za kategoriju poduzetništvo .....	52
Tablica 7. Godišnja cijena potrebne energije na lokaciji u Delnicama .....	58
Tablica 8. Godišnja cijena potrebne energije na lokaciji u Rijeci .....	60
Tablica 9. Godišnja emisija CO <sub>2</sub> na lokaciji Delnice.....	63
Tablica 10. Godišnja emisija CO <sub>2</sub> na lokaciji Rijeka.....	64

## Popis dijagrama

Dijagram 1. grafički prikaz potrebne energije za grijanje i hlađenje za građevinu u Rijeci .....	43
Dijagram 2. grafički prikaz potrebne energije za grijanje i hlađenje za građevinu u Delnicama.....	44

Dijagram 3. Godišnja potrošnja potrebne energije po mjesecima izražena u kWh ...	47
Dijagram 4. Godišnju potrošnju i proizvodnju energije na mjesečnoj bazi za lokaciju u Delnicama.....	55
Dijagram 5. Godišnju potrošnju i proizvodnju energije na mjesečnoj bazi za lokaciju u Rijeci.....	56
Dijagram 6. Grafički prikaz perioda povrata investicije za lokaciju u Delnicama.....	60
Dijagram 7. Grafički prikaz perioda povrata investicije za lokaciju u Rijeci.....	62

# 1. Uvod

Suočeni s globalnim izazovima klimatskih promjena i sve većom potrebom za smanjenjem ovisnosti o fosilnim gorivima, svijet se okreće alternativnim, obnovljivim izvorima energije. Fotonaponske elektrane predstavljaju jedno od obećavajućih rješenja u tranziciji prema održivijoj energetskej budućnosti. Integracija fotonaponskih sistema u arhitektonske strukture, postaje ključna tema istraživanja i razvoja u području održive gradnje. Ovaj diplomski rad fokusira se na analizu utjecaja fotonaponske elektrane na energetske učinkovitost zgrade u različitim klimatskim područjima, istražujući kako implementacija ovih sistema može doprinijeti energetskej efikasnosti, smanjenju operativnih troškova i ukupnom smanjenju emisija CO<sub>2</sub>.

## 1.1. Predmet istraživanja

Ovim diplomskim radom se kroz tumačenje i usporedbu podataka vezanih za predmetno područje, teži doprinijeti širem razumijevanju važnosti i potencijala fotonaponskih elektrana kao ključnog elementa u ostvarivanju energetske neovisnosti i održivosti zgrada, istovremeno naglašavajući njihovu ulogu u globalnim nastojanjima za smanjenje utjecaja klimatskih promjena.

## 1.2. Ciljevi istraživanja

Cilj ovog diplomskog rada je dubinski analizirati i usporediti utjecaj male fotonaponske elektrane na energetske potrošnje dvije identične građevine, smještene u različitim klimatskim uvjetima - jedna u primorskom, a druga u gorskom krajoliku. Kroz tumačenje i usporedbu potrebne energije za rad, prije i nakon uvođenja male fotonaponske elektrane, rad teži identificirati ključne faktore koji utječu na efikasnost i isplativost ovakvog sustava u različitim okruženjima.

U fokusu istraživanja su:

1. Evaluacija promjena u potrošnji električne energije i proizvodnji energije iz fotonaponske elektrane, s ciljem utvrđivanja neto učinka obje zgrade.
2. Analiza utjecaja klimatskih uvjeta (sunčeva radijacija, temperatura, broj sunčanih sati) na performanse fotonaponskog sustava.

3. Ekonomski aspekti uvođenja male fotonaponske elektrane, uključujući početnu investiciju, povrat investicije, te operativne troškove i uštede.
4. Utjecaj na smanjenje emisija ugljičnog dioksida i doprinos održivom razvoju i zaštiti okoliša.

Kroz komparativnu analizu, diplomski rad ima za cilj pružiti konkretne smjernice i preporuke za optimizaciju korištenja fotonaponskih elektrana u zgradarstvu, uzimajući u obzir specifičnosti različitih klimatskih uvjeta. Rezultati istraživanja trebali bi pridonijeti boljem razumijevanju potencijala i ograničenja malih fotonaponskih elektrana kao ključnih elemenata u strategijama za postizanje energetske učinkovitosti i održivosti zgrada.

### **1.3. Hipoteza**

Na temelju ciljeva i fokusa istraživanja navedenih u prethodnom opisu, mogu se postaviti sljedeće tri hipoteze za diplomski rad:

**Hipoteza 1:** Uvođenje male fotonaponske elektrane ima značajan pozitivan utjecaj na smanjenje potrošnje električne energije iz konvencionalnih izvora i poboljšanje energetske bilance zgrada, s tim da će zgrada u primorskom krajoliku, zbog povoljnijih klimatskih uvjeta i većeg broja sunčanih sati, ostvariti veću efikasnost fotonaponskog sustava u odnosu na zgradu u gorskom krajoliku.

**Hipoteza 2:** Ekonomski aspekti uvođenja male fotonaponske elektrane, uključujući početnu investiciju i povrat investicije, variraju značajno u odnosu na klimatske uvjete, pri čemu se očekuje da će zgrada u primorskom krajoliku ostvariti brži povrat investicije zbog više proizvedene energije iz fotonaponskog sustava, u usporedbi s zgradom u gorskom krajoliku.

**Hipoteza 3:** Implementacija male fotonaponske elektrane doprinosi značajnom smanjenju emisija ugljičnog dioksida za obje zgrade, neovisno o klimatskim uvjetima, međutim, ukupni doprinos održivom razvoju i zaštiti okoliša bit će veći za zgradu u primorskom krajoliku zbog veće efikasnosti i bolje iskoristivosti fotonaponskog sustava.

## 1.4. Metode istraživanja

Na temelju postavljenih ciljeva i hipoteza diplomskog rada, primijenit će se sljedeće stručne metode istraživanja kako bi se osigurala pouzdanost i valjanost dobivenih rezultata:

- Analiza sekundarnih podataka: Ova metoda uključuje detaljno pregledavanje i analizu postojeće literature, studija slučaja, znanstvenih članaka i drugih relevantnih izvora informacija koji se odnose na fotonaponske elektrane, njihovu implementaciju u zgradarstvu i specifične utjecaje na energetska učinkovitost zgrada u različitim klimatskim uvjetima. Ovo će pomoći u stvaranju teorijske osnove za istraživanje.
- Kvantitativna analiza: Implementirat će se kvantitativne metode za mjerenje i usporedbu potrebne energije za rad zgrada prije i poslije uvođenja fotonaponske elektrane. Ovo uključuje prikupljanje podataka o građevini, proizvodnji energije fotonaponskim sustavom, uštedama u emisiji CO<sub>2</sub>, i ekonomskim parametrima (npr. početna investicija, operativni troškovi, povrat investicije).
- Modeliranje energetske efikasnosti: Korištenjem specijaliziranog softvera za simulaciju energetske efikasnosti „KI EXPERT“ i softvera za modeliranje fotonaponskih elektrana „PV SOL“, provest će se modeliranje energetske performansi zgrada s i bez fotonaponskog sustava. Ovo omogućuje detaljnu analizu utjecaja fotonaponske elektrane na energetska učinkovitost zgrada, uključujući specifične klimatske uvjete primorskog i gorskog krajolika.
- Komparativna analiza: Na temelju prikupljenih i izračunatih podataka, koristit će se metoda komparativne analize za usporedbu energetske, ekonomske i ekološke učinaka uvođenja male fotonaponske elektrane u oba klimatska uvjeta. Ovo uključuje usporedbu povrata investicije, smanjenja potrošnje konvencionalne energije, i doprinosa održivom razvoju.

Primjena ovih metoda istraživanja omogućit će sveobuhvatnu analizu i interpretaciju podataka, doprinoseći pouzdanim zaključcima koji će podržati ili opovrgnuti postavljene hipoteze. Rezultati dobiveni ovim metodama pružit će dubinski uvid u utjecaj male fotonaponske elektrane na energetska učinkovitost zgrada u različitim klimatskim uvjetima, kao i na ekonomske i ekološke aspekte tog utjecaja.

## 1.5. Struktura rada

Uvodni dio izlaže motivaciju iza izbora teme, ciljeve koje rad nastoji postići, hipoteze koje će se testirati, te metodologiju koja će se primijeniti.

Teorijski okvir razrađuje ključne koncepte i postojeće znanje relevantno za temu. Ovdje se detaljno razmatraju fotonaponske elektrane, počevši od povijesti razvoja, koja pruža kontekstualni pregled napretka u tehnologiji solarne energije. Segment o komponentama razlaže fotonaponski sustav na njegove osnovne dijelove, kao što su solarni paneli, inverteri i sustavi za skladištenje, objašnjavajući funkciju svake komponente. Vrste fotonaponskih sistema klasificiraju se prema njihovoj integraciji s energetsom mrežom i specifičnim karakteristikama, dok segment o načinu instalacije i proračunu pruža tehnički uvid u proces postavljanja sistema i evaluaciju njegove isplativosti.

Paralelno, rad se bavi i racionalnom uporabom energije i energetsom zaštitom građevine, istražujući povijesni razvoj i evoluciju praksi i propisa u domeni energetske efikasnosti. Zakoni, priručnici i tehnički propisi pregledavaju regulativni okvir koji oblikuje projektiranje i izgradnju zgrada s naglaskom na održivost. Diskusija o komponentama energetske efikasnosti i proračunima potrebnim za optimizaciju potrošnje energije pruža praktične smjernice za implementaciju mjera energetske učinkovitosti.

Metodologija istraživanja detaljno opisuje pristup prikupljanju i analizi podataka, uključujući selekciju zgrada za studiju slučaja, kriterije za evaluaciju i alate za obradu podataka. Ovaj segment služi kao most između teorijske podloge i praktičnog istraživanja, omogućavajući čitatelju da razumije kako se teoretski koncepti primjenjuju u stvarnom kontekstu.

Analiza slučaja predstavlja centralni dio istraživanja, gdje se teorijski koncepti i metodološki pristupi primjenjuju na konkretne primjere zgrada u različitim klimatskim uvjetima. Ovaj dio uključuje detaljnu analizu energetske bilance prije i nakon instalacije fotonaponske elektrane, istražujući praktične učinke tehnologije na energetske učinkovitost i održivost objekata.

Zaključak sintetizira ključne rezultate te ih reflektira na postavljene hipoteze i nudi preporuke za buduću praksu i istraživanja. Ovaj segment donosi kritički osvrt na cijelo istraživanje, ističući njegov doprinos i potencijalne pravce za daljnji razvoj.



Kompletirajući rad, literatura i prilozi pružaju dodatne resurse za dublje istraživanje i potvrdu iznesenih tvrdnji, osiguravajući transparentnost i pouzdanost istraživanja.

Ova strukturirana i sveobuhvatna organizacija rada omogućava čitatelju da postupno gradi razumijevanje složenih tema, potičući duboko promišljanje o potencijalu fotonaponskih elektrana u kontekstu energetske efikasnosti i održivosti zgrada.

## 2. Energetska učinkovitost građevine

Energetska učinkovitost u zgradarstvu predstavlja sveobuhvatan pristup koji zahtijeva integraciju različitih tehnologija i dizajnerskih strategija kako bi se smanjila potrošnja energije i povećala učinkovitost zgrada. U kontekstu globalnih klimatskih promjena i sve većeg pritiska na smanjenje emisija stakleničkih plinova, energetska učinkovitost postaje ne samo ekološki imperativ već i ekonomska nužnost. Prema Međunarodnoj agenciji za energiju, zgrade su odgovorne za gotovo 40% globalne potrošnje energije i oko 33% stakleničkih emisija. Stoga, poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada može imati značajan utjecaj na smanjenje globalnog energetskeg otiska.[1]

Energetska bilanca zgrade predstavlja kvantitativni opis svih energetskeg tokova koji ulaze i izlaze iz zgrade, uključujući, ali ne ograničavajući se na, potrošnju za grijanje, hlađenje, osvjetljenje, te rad električnih uređaja. U kontekstu termodinamičke analize zgrade, energetska bilanca predstavlja kvantitativnu procjenu ukupne energije koja se unosi u zgradu (putem različitih izvora) i energije koja se gubi ili potroši unutar zgrade. Ova bilanca je ključna za razumijevanje energetske učinkovitosti zgrade i za postizanje optimalnih uvjeta toplinske udobnosti unutar njezinih prostora. Energetska bilanca se može izraziti pomoću sljedeće jednadžbe:

$$Q_{total} = Q + Q_{sun} + Q_{in} = Q_{gg} + Q_{ven} + Q_{trans} , (1)$$

gdje su:

- $Q_{total}$  - ukupna energija dostupna unutar zgrade,
- $Q$  - primarna energija dobivena od goriva korištenog za grijanje prostora,
- $Q_{sun}$  - predstavlja energiju dobivenu direktno od sunčevog zračenja,
- $Q_{in}$  - unutarnja toplinska energija generirana od strane stanara, uređaja i drugih izvora unutar zgrade,

- $Q_{gg}$  - toplinski gubici kroz sustav grijanja uslijed neefikasnosti u pretvorbi energije,
- $Q_{ven}$  - gubici energije kroz ventilacijski sustav uslijed izmjene unutarnjeg i vanjskog zraka,
- $Q_{trans}$  - transmisijski gubici koji se odnose na gubitak topline kroz konstrukcijske elemente zgrade.

Za održavanje toplinske udobnosti unutar zgrade, važno je da ukupna dobivena energija bude u ravnoteži s ukupnim energetske gubicima. Ova ravnoteža omogućava da se unutar zgrade održe stabilni uvjeti toplinske ugodnosti bez nepotrebnog prekomjernog trošenja energije. Postizanje energetske učinkovitosti u zgradarstvu podrazumijeva implementaciju mjera koje smanjuju energetske gubitke i optimiziraju iskorištavanje dostupne energije. To uključuje poboljšanje izolacijskih svojstava zgrade, optimizaciju sustava grijanja i ventilacije, te korištenje materijala i tehnologija koje doprinose smanjenju potrebe za dodatnom energijom. Implementacija energetske učinkovitih praksi u zgradarstvu obuhvaća širok spektar tehnika i metoda, od pasivnog dizajna zgrada, koji maksimalno koristi prirodne izvore svjetlosti i topline, do primjene naprednih materijala i tehnologija, kao što su visoko izolacijski materijali i pametni sustavi upravljanja energijom. Osim toga, integracija obnovljivih izvora energije, poput solarnih fotonaponskih panela i sustava za geotermalno grijanje, dodatno povećava energetske učinkovitost i smanjuje ovisnost o konvencionalnim izvorima energije. [2,3]

## **2.1. Zakonska regulativa energetske učinkovitosti**

Zgrade u Europskoj uniji troše oko 40% ukupne primarne energije, dok kućanstva, koja čine gotovo dvije trećine ukupnog fonda zgrada u EU, sudjeluju s oko 25% u ukupnoj potrošnji energije. Ova velika potrošnja energije ne samo da značajno opterećuje energetske sustav, već rezultira i visokim emisijama ugljičnog dioksida, čineći zgradarstvo jednim od najvećih zagađivača okoliša. Upravo zbog toga, energetska učinkovitost u sektoru zgradarstva predstavlja područje s najvećim potencijalom za uštede i poboljšanja, te je od ključne važnosti za smanjenje emisija i unapređenje okoliša. Europska unija prepoznaje taj potencijal i stoga je razvila sveobuhvatan plan energetske učinkovitosti, koji naglašava potrebu za sustavnom i cjelovitom obnovom postojećih zgrada s ciljem poboljšanja njihovih energetske svojstava. Ova strategija

također uključuje unapređenje energetske učinkovitosti sustava, uređaja i opreme koji se koriste u zgradama. Jedan od ključnih elemenata ove strategije je Europa 2020, plan koji je Europska komisija predstavila početkom 2010. godine kao odgovor na gospodarsku krizu iz 2008. godine. Ova kriza otkrila je brojne slabosti europskog gospodarstva, te postavila nove izazove, poput globalizacije, prekomjernog iskorištavanja prirodnih resursa i starenja stanovništva. Cilj strategije Europa 2020 je ne samo oporaviti gospodarstvo, već i osigurati dugoročni rast kroz pametan, održiv i uključiv razvoj.

Europa 2020 postavila je pet ključnih ciljeva koji su se trebali postići do 2020. godine:

- Povećanje stope zaposlenosti na 75% za osobe u dobi između 20 i 64 godine.
- Ulaganje 3% BDP-a EU-a u istraživanje i razvoj.
- Smanjenje emisije stakleničkih plinova za 20% do 30% u usporedbi s razinama iz 1990. godine.
- Osiguranje da 20% potrošene energije dolazi iz obnovljivih izvora.
- Povećanje energetske učinkovitosti za 20%.

Osim toga, strategija također ima za cilj smanjenje stope prekida školovanja na manje od 10%, osiguranje da najmanje 40% osoba između 30 i 34 godine završi tercijarno obrazovanje, te smanjenje broja siromašnih i socijalno ugroženih za 20 milijuna. Ovi ciljevi su međusobno povezani, te njihovo ostvarenje pridonosi smanjenju siromaštva, povećanju konkurentnosti i otvaranju novih radnih mjesta.

Jedan od ključnih aspekata ove strategije je odvajanje gospodarskog rasta od korištenja prirodnih resursa. EU stoga potiče prijelaz na gospodarstvo s niskim emisijama ugljika, razvoj zelenih tehnologija, modernizaciju sektora prometa i promicanje energetske učinkovitosti. Postizanjem ciljeva strategije Europa 2020, predviđa se da bi EU mogla smanjiti uvoz nafte i plina za 60 milijardi eura do 2020. godine, što bi uz financijsku uštedu također značajno pridonijelo energetske sigurnosti. Također, povećanje udjela obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti moglo bi rezultirati stvaranjem više od milijun novih radnih mjesta.

Kako bi podržala postizanje ovih ciljeva, EU je donijela niz direktiva i smjernica koje zemlje članice moraju implementirati u svoje zakonodavstvo. Te direktive čine temeljni zakonodavni okvir unutar svake zemlje članice, a sve nacionalne zakone, propise i pravilnike potrebno je uskladiti s njima. Među ključnim direktivama vezanim uz energetske učinkovitost su:

- Direktiva 2012/27/EU o energetske učinkovitosti: Donijeta 25. listopada 2012., ova direktiva postavlja strože zahtjeve za energetske učinkovitost u EU, zamjenjujući prethodne direktive 2004/8/EZ i 2006/32/EZ. Cilj je smanjenje potrošnje primarne energije, povećanje sigurnosti opskrbe te izlazak iz gospodarske krize kroz stvaranje novih radnih mjesta i postizanje pametnog, održivog i uključivog rasta.
- Direktiva 2018/844/EU o energetskim svojstvima zgrada: Ova direktiva, donijeta 19. svibnja 2010., predstavlja izmijenjeno izdanje Direktive 2002/91/EZ. Ona postavlja strože zahtjeve za energetska svojstva zgrada i naglašava potrebu za korištenjem obnovljivih i alternativnih energetskih sustava u zgradarstvu. Direktiva također zahtijeva od zemalja članica da donesu nacionalne planove za povećanje broja gotovo nula energetskih zgrada, posebno u javnom sektoru.

Hrvatska, kao članica Europske unije, uskladila je svoje zakonodavstvo s direktivama EU kroz niz strateških i zakonodavnih dokumenata. Na temelju strategije Europa 2020, Hrvatska je razvila Nacionalni program energetske učinkovitosti za razdoblje 2008.-2016., poznat kao "Master plan energetske učinkovitosti za Hrvatsku". Ovaj plan usmjeren je na poticanje ulaganja u obnovu nacionalnog fonda zgrada te na postizanje većih ušteda energije. [4]

U skladu s ovim ciljevima, Hrvatska je donijela nekoliko ključnih zakona, uključujući:

- Zakon o gradnji: U nadležnosti Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, ovaj zakon postavlja uvjete za gradnju novih zgrada, uključujući energetske učinkovitost.
- Zakon o prostornom uređenju: Također u nadležnosti Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, ovaj zakon regulira planiranje i korištenje prostora, uključujući energetske učinkovite mjere.
- Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji: U nadležnosti Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva, ovaj zakon postavlja pravni okvir za učinkovito korištenje energije u Hrvatskoj.

Ovi zakoni omogućili su uvođenje niza podzakonskih akata koji uključuju energetske certificiranje zgrada, osposobljavanje stručnjaka, propisivanje minimalnih zahtjeva za energetske učinkovitost zgrada i definiranje metodologije za proračun energetskih svojstava zgrada. Također, Zakon o prostornom uređenju i gradnji ("Narodne novine"

br. 153/13., 065/17, 114/18, 039/19, 098/19, 067/23) navodi uštede energije i toplinsku zaštitu kao bitne zahtjeve za građevine, te propisuje obavezno izdavanje certifikata o energetske karakteristika za svaku zgradu.

Hrvatska je također donijela Zakon o zaštiti okoliša ("Narodne novine" br. 78/2015, 078/2015, 012/2018, 118/2018), koji zahtijeva da se zahvati u okolišu planiraju i izvode na način koji minimizira opterećenje okoliša, uzimajući u obzir racionalno korištenje prirodnih resursa. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti igra ključnu ulogu u financiranju projekata energetske učinkovitosti u Hrvatskoj. Ovaj Fond je osnovan s ciljem financiranja pripreme, provedbe i razvoja programa i projekata u području očuvanja okoliša, energetske učinkovitosti i korištenja obnovljivih izvora energije.

Sva ova zakonodavna i institucionalna rješenja omogućavaju Hrvatskoj da uskladi svoje energetske ciljeve s onima Europske unije, osiguravajući tako poboljšanje energetske učinkovitosti, smanjenje emisija stakleničkih plinova i zaštitu okoliša, dok istovremeno pridonosi gospodarskom rastu i stvaranju novih radnih mjesta. [4]

Stupanjem na snagu navedenih zakona dovelo je do stvaranja tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama predstavljaju ključni aspekt modernog pristupa održivom građenju i korištenju zgrada. Ovi zahtjevi, koji su primjenjivi na nove zgrade kao i na postojeće zgrade koje prolaze kroz značajne obnove ili rekonstrukcije, usmjereni su na postizanje optimalne energetske učinkovitosti i smanjenje potrošnje energije, s posebnim naglaskom na zgrade koje se griju na unutarnju temperaturu višu od 12 °C. Jedan od osnovnih ciljeva ovih zahtjeva je osigurati da se prilikom projektiranja i građenja novih zgrada, kao i tijekom značajnih obnova postojećih, primjenjuju načela racionalne uporabe energije i toplinske zaštite. To uključuje precizne izračune energetske potreba za različite tehničke sustave, kao što su grijanje, hlađenje, priprema potrošne tople vode, ventilacija i rasvjeta. Ovi izračuni su nužni kako bi se optimizirali zahtjevi u pogledu zdravlja, kvalitete zraka u unutarnjem prostoru i opće udobnosti korisnika. Posebna pažnja posvećuje se izračunu energetske svojstva zgrade, koji uključuje određivanje minimalnog obveznog udjela obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji energije zgrade te definiciju kriterija za zgrade gotovo nulte energije. Ovi zahtjevi su ključni za smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima i poticanje korištenja održivih izvora energije. Također, zahtjevi obuhvaćaju i tehničke aspekte kao što su ispravna ugradnja, dimenzioniranje, podešavanje i nadzor tehničkih sustava zgrade, što doprinosi dugoročnom održavanju

energetske učinkovitosti. Minimalni zahtjevi za energetska svojstva primjenjuju se kako na nove zgrade, tako i na postojeće koje se podvrgavaju rekonstrukcijama i značajnim obnovama. Osim toga, ovi zahtjevi se odnose i na dijelove zgrade koji čine dio ovojnice, kao i na tehničke sustave kada se isti ugrađuju, zamjenjuju ili moderniziraju. Ovi tehnički zahtjevi osiguravaju da svaki dio zgrade doprinosi ukupnoj energetskoj učinkovitosti. Za nove zgrade, dodatno se propisuje potreba za izradom prikaza tehničke, okolišne i gospodarske izvedivosti visokoučinkovitih alternativnih sustava za opskrbu energijom. Time se omogućava usporedba različitih rješenja u kontekstu njihovog utjecaja na okoliš i ekonomičnost. Tehnički zahtjevi obuhvaćaju i detalje vezane uz sadržaj projekta zgrade u odnosu na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu, sadržaj Iskaznice energetske svojstva zgrade te zahtjeve za održavanje zgrade kako bi se osigurala dugotrajna učinkovitost. Sve ove mjere doprinose stvaranju zgrada koje su energetske učinkovite, ekološki prihvatljive i udobne za život i rad, čime se direktno podržavaju ciljevi održivog razvoja. [5]

## **2.2. Proračun potrebne energije**

Kako bih se zadovoljili svi aspekti građevine u pogledu zdravlja, udobnosti boravka, te kvalitete zraka u unutrašnjem prostoru, potrebno je napraviti detaljan izračun energetske potreba građevine u pogledu grijanja, hlađenja, pripreme potrošne tople vode, ventilacije i ugrađene rasvjete.

### *2.2.1. Proračun potrebne energije za grijanje*

Proračun potrebne energije za grijanje računa se prema normi HRN EN 12831:2004. Ovaj standard pruža metode za izračunavanje gubitaka topline za osnovne slučajeve pri projektiranim uvjetima. Također, standard daje metodu za izračunavanje projektiranog toplinskog opterećenja za osnovne slučajeve pod projektiranim uvjetima. Osnovni slučajevi obuhvaćaju većinu zgrada koje se u praksi susreću, s ograničenom visinom prostorije (ne višom od 5 metara), a za koje se pretpostavlja da su grijane do pod projektiranim uvjetima. Projektni uvjeti odnose se na unutarnje i vanjske projektne temperature. Unutarnja projektna temperatura ovisi od namjene prostora, te načina korištenja istih prema željama investitora. Vanjske projektne temperature vežu na lokacijske uvjete te predstavljaju najnižu izmjerenu temperaturu na toj lokaciji u zadnjih

10 godina. Temeljni izraz vezan za ovu normu opisuje ukupne toplinske gubitke građevine. [5,6]

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} + \phi_{RH,i} [W], (2)$$

- $\phi_{T,i}$  – transmisijski gubici topline
- $\phi_{V,i}$  – ventilacijski gubici topline
- $\phi_{RH,i}$  – toplinski tok za zagrijavanje zbog prekida grijanja

Transmisijski gubitci topline vežu se na izmjene topline kroz građevne elemente, što se odnosi na razlike u temperaturi prema negrijanim susjednim prostorijama, vanjskom prostoru i tlu. Navedeni gubitci prikazani su sljedećim izrazom.

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) * \Delta T [W], (3)$$

U kojem je:

- $H_{T,ie}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu, [W/K]
- $H_{T,iue}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu, [W/K]
- $H_{T,ig}$  – stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu, [W/K]
- $H_{T,ij}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature, [W/K]
- $\Delta T$  – razlika između unutarnje i vanjske projektne temperature, [°C]

Ventilacijski gubitci topline određuju se pomoću koeficijenta ventilacijskih toplinskih gubitaka koji ovisi o načinu ventilacije (mehanička ventilacija ili prodor zraka kroz otvore). Predstavljaju se sljedećim izrazom.

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} * \Delta T [W], (4)$$

U kojem je:

- $H_{T,ij}$  – koeficijent ventilacijskih gubitaka topline, [W/K]
- $\Delta T$  – razlika između unutarnje i vanjske projektne temperature [°C].

Kako bi se izračunala potrebna energija za zagrijavanje nakon prekida grijanja prostora koristi se sljedeći izraz.

$$\phi_{RH,i} = A_i * f_{RH} [W], (5)$$

U kojem je:

- $A_i$  – površina poda na tlu s polovicom debljine zidova, [m<sup>2</sup>]
- $f_{RH}$  – korekcijski faktor [W/m<sup>2</sup>]. [6]

### 2.2.2. Proračun potrebne energije za pripremu potrošne tople vode

Potrebna energija za pripremu potrošne tople vode računa se prema standardu HRN EN 15316-1-1:2008 koji sadrži izraz za potrebnu toplinsku energiju za pripremu tople vode u sezoni grijanja, te izvan nje. U ovom slučaju koristimo izraz za nestambene zgrade koji glasi:

$$Q_W = 4,182 * V_{W,f,day} * f * (\theta_{W,del} - \theta_{W,0}) * d / 3600 \quad [kWh], \quad (6)$$

gdje su:

- $V_{W,f,day}$  – dnevna potrošnja PTV-a po jedinici pri temperaturi  $\theta_{W,del}$  (lit/jedinici/dan),
- $f$  – broj dana u promatranom periodu [dan],
- $\theta_{W,del}$  – temperatura PTV-a [°C],
- $\theta_{W,0}$  – temperatura svježe vode [°C],
- $d$  – broj dana u promatranom periodu. [7]

### 2.2.3. Proračun potrebne energije za hlađenje

Potrebna energija za hlađenje računa se prema standardu VDI 2078 kojim se uzima u obzir solarne dobitke koji značajno utječu na toplinsko opterećenje zgrade. Kada građevinski elementi izloženi sunčevom zračenju apsorbiraju solarne dobitke, oni se zagrijavaju i postižu temperaturu višu od unutarnjeg zraka, što rezultira toplinskim opterećenjem zbog prijenosa topline na unutarnji zrak. Izvori topline tijekom ljetnog razdoblja uključuju unutarnje i vanjske izvore topline. Unutarnje izvore topline odnose se na dobitak topline kroz rad ljudi, rasvjete i strojeva. Iskazuje se sljedećim izrazom. [8]

$$\phi_I = \phi_P + \phi_M + \phi_B + \phi_G + \phi_C + \phi_R \quad [W], \quad (7)$$

Gdje je:

- $\phi_P$  – toplinski dobitci od osoba [W],
- $\phi_M$  – toplinski dobitci od strojeva i uređaja [W],



- $\phi_B$  – toplinski dobici od rasvjete [W],
- $\phi_G$  – toplinski dobici od prolaznog materijala kroz prostoriju [W],
- $\phi_C$  – toplinski dobici od susjednih prostorija [W],
- $\phi_R$  – toplinski dobici od ostalih izvora [W].

Vanjski izvori topline odnose se na dobitak topline kroz vanjsku ovojnicu građevine što podrazumijeva zidove i staklene plohe. Iskazuje se sljedećim izrazom.

$$\phi_A = \phi_W + \phi_T + \phi_S + \phi_{FL} [W], (8)$$

gdje je:

- $\phi_W$  – toplinski dobici preko neprozirnih masivnih ploha [W],
- $\phi_T$  – toplinski dobici preko prozirnih ne masivnih ploha [W],
- $\phi_T$  – solarni toplinski dobici kroz n od strojeva i uređaja [W],
- $\phi_{FL}$  – ventilacijski toplinski dobici [W].

Kako bih se odredilo toplinsko opterećenje hladene prostorije potrebno je napraviti sumu unutarnjih i vanjskih toplinskih dobitaka u određenom trenutku. Toplinsko opterećenje hladene prostorije iskazuju se sljedećim izrazom.

$$\phi_{KR}(t) = \phi_I(t) + \phi_A(t) [W], (9)$$

gdje je:

- $\phi_{KR}$  – toplinsko opterećenje hlađenje prostorije [W],
- $\phi_I$  – unutarnji toplinski dobici hladene prostorije [W],
- $\phi_A$  – vanjski toplinski dobici hladene prostorije [W]. [8]

### 3. Fotonaponske elektrane

Fotonaponske elektrane, poznate kao solarne elektrane, koriste fotonaponske ćelije za izravnu pretvorbu sunčeve svjetlosti u električnu energiju. Ove elektrane predstavljaju ključnu tehnologiju za iskorištavanje obnovljivih izvora energije, značajno doprinoseći smanjenju emisija stakleničkih plinova i smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima. Osnovni element ovih elektrana su fotonaponske ćelije, koje se najčešće izrađuju od poluvodičkih materijala, prvenstveno silicija. Razvoj ove tehnologije bilježi povijesne korijene iz 1954. godine kada su u Bell Laboratories stvorene prve silicijske fotonaponske ćelije, prikazane na slici 1.



Slika 1. Prva fotonaponska ćelija

Izvor: <https://solarmuseum.org/cells/first-modern-solar-cell/>

Iako su rani modeli imali nisku učinkovitost i visoke troškove, tehnološki napredak tijekom posljednjih desetljeća omogućio je značajno povećanje učinkovitosti i smanjenje proizvodnih troškova. Prema Međunarodnoj agenciji za energiju, globalni kapacitet instaliranih fotonaponskih elektrana premašio je 700 gigavata (GW) do kraja 2020. godine, s očekivanim daljnjim rastom. [1,9]

Klasifikacija fotonaponskih elektrana može se provoditi prema veličini i namjeni, te prema mjestu instalacije. Male fotonaponske elektrane, s kapacitetom do 10 kilovata (kW), uglavnom se koriste za stambene objekte i male poslovne korisnike. Srednje fotonaponske elektrane, s kapacitetom od 10 kW do nekoliko megavata (MW), koriste se za veće poslovne objekte, industrijske pogone i zajedničke mreže u zajednicama. Velike fotonaponske elektrane, s kapacitetom u rasponu od nekoliko megavata do stotina megavata, obično su instalirane na velikim površinama zemlje i koriste se za proizvodnju električne energije na razini komunalnih poduzeća.

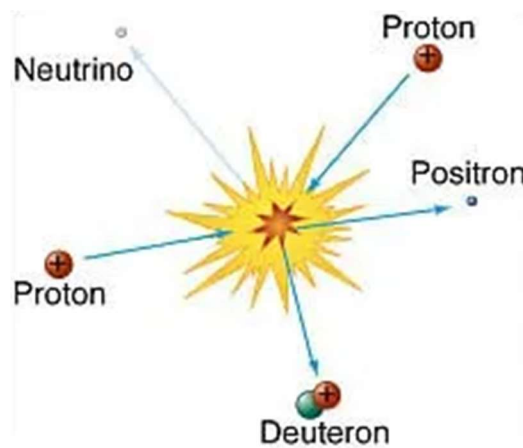
Fotonaponske elektrane mogu se klasificirati prema načinu prenošenja tj. pohrane proizvedene energije. Sustavi spojeni na mrežu (on-grid) su dizajnirani za izravnu integraciju s elektroenergetskom mrežom. Ovi sustavi proizvode električnu energiju koja se ili neposredno koristi za lokalne potrebe ili se višak energije isporučuje u mrežu.

Sustavi spojeni na mrežu ne zahtijevaju vlastite sustave za pohranu energije, što smanjuje početne troškove instalacije. Ključni element ovih sustava je inverter, koji pretvara istosmjernu struju (DC) proizvedenu fotonaponskim modulima u izmjeničnu struju (AC) koja se koristi u mreži. U slučaju viška proizvodnje, električna energija se prodaje natrag mreži, često po unaprijed dogovorenim tarifama. Sustavi sa pohranom energije (off-grid) uključuju skladištenje proizvedene energije u baterijama ili drugim oblicima pohrane kako bi se omogućila uporaba tijekom razdoblja kada sunčeva svjetlost nije dostupna. Ovi sustavi su ključni za područja bez pouzdane mrežne infrastrukture ili za korisnike koji žele povećati svoju energetska neovisnost. Baterijski sustavi najčešće koriste litij-ionske baterije zbog njihove visoke gustoće energije i dugog vijeka trajanja. Pohrana energije omogućuje uravnoteženje proizvodnje i potrošnje, no povećava složenost i troškove sustava. Integracija sustava pohrane također zahtijeva napredne upravljačke sustave za optimizaciju punjenja i pražnjenja baterija te osiguranje dugovječnosti i učinkovitosti cijelog sustava. [1,10].

Mjesto instalacije fotonaponskih elektrana također igra ključnu ulogu. Krovne instalacije, smještene na krovovima stambenih, poslovnih ili industrijskih zgrada, popularne su zbog efikasnog korištenja prostora i smanjenja gubitaka prijenosa električne energije. Zemaljske instalacije, postavljene na otvorenim površinama zemljišta, omogućuju optimalno pozicioniranje panela za maksimalnu sunčevu ekspoziciju. Plutajuće instalacije, postavljene na vodenim površinama poput jezera ili rezervoara, smanjuju potrebu za zemljištem i mogu pomoći u smanjenju isparavanja vode iz rezervoara, dok efekt hlađenja vode povećava učinkovitost panela. Komponente fotonaponske elektrane uključuju fotonaponske module, izmjenjivače, konstrukcije i nosače te prateću opremu. Fotonaponski moduli sastavljeni od više fotonaponskih ćelija, pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju. Izmjenjivači su elektronički uređaji koji pretvaraju istosmjernu struju (DC) proizvedenu u fotonaponskim modulima u izmjeničnu struju (AC) koja se može koristiti u kućanstvima ili distribuirati u elektroenergetski sustav. Konstrukcije i nosači osiguravaju stabilnost fotonaponskih modula, dok prateća oprema uključuje kablove, spojeve, zaštitne komponente, mjernu opremu i sustave za upravljanje energijom, osiguravajući siguran i efikasan rad cijele elektrane. [10]

### 3.1. Energija sunca

Sunčeva energija, ključni izvor energije za naš planet, potječe od nuklearne fuzije koja se odvija u jezgri Sunca. U središtu Sunca, pod ekstremnim uvjetima temperature i tlaka, vodikovi atomi se spajaju u procesu nuklearne fuzije stvarajući helij. Ovaj proces oslobađa ogromne količine energije u obliku gama zraka. Glavni lanac reakcija u ovom procesu poznat je kao proton-proton (p-p) lanac, koji dominira u zvijezdama veličine Sunca. Proton-proton lanac uključuje nekoliko koraka. Prvi korak je fuzija dva protona (jezgre vodika) koja stvara deuterij, pozitron i neutrino, prikazano na slici 2.

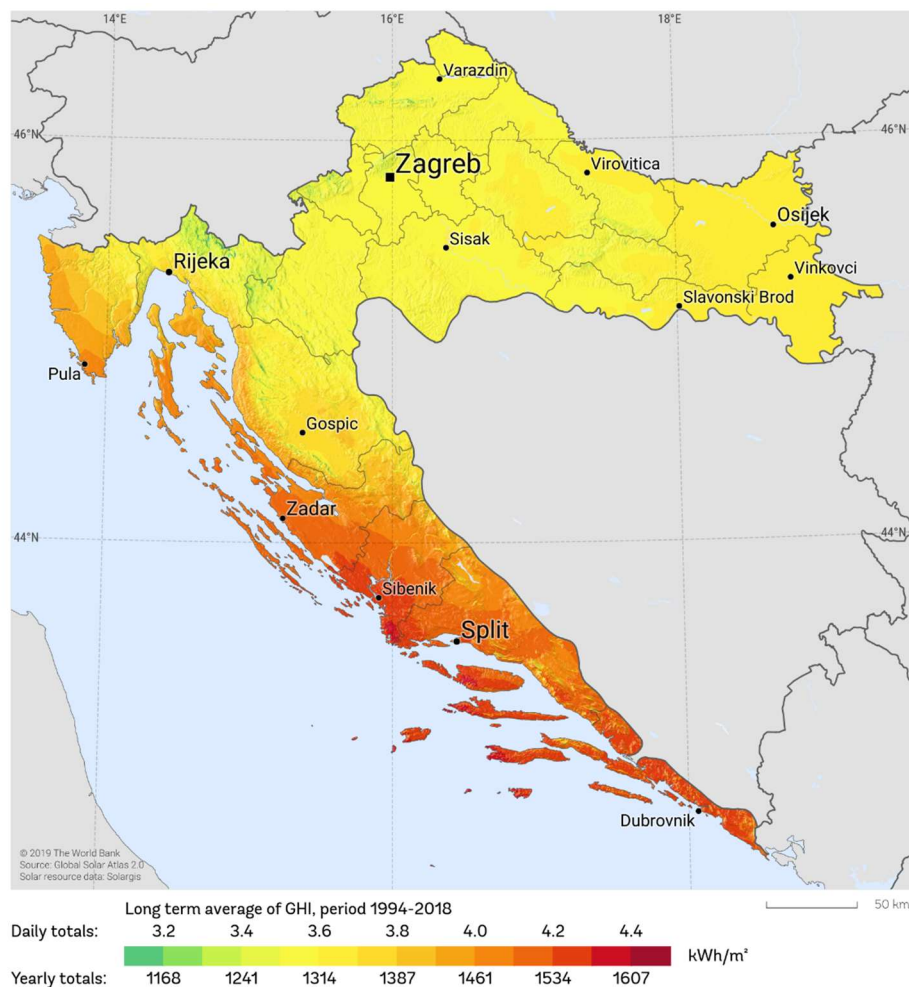


Slika 2. Fuzija dva protona

Izvor: <https://static.astronomija.org.rs/suncsist/Sunce/sunce/3.htm>

Pozitron brzo anihilira sa elektronom, proizvodeći gama zrake. Deuterij potom reagira s drugim protonom, formirajući jezgru helija-3 i oslobađajući dodatne gama zrake. Konačno, dvije jezgre helija-3 reagiraju, stvarajući jezgru helija-4 i oslobađajući dva protona. Ukupna energija oslobođena tijekom ovih reakcija emitira se kao gama zrake koje se apsorbiraju i reemitiraju unutar Sunca, postupno gubeći energiju i konačno napuštajući Sunce kao vidljiva svjetlost i druga elektromagnetska zračenja. Sunčeva energija putuje kroz svemir u obliku elektromagnetskih valova, obuhvaćajući širok spektar valnih duljina, uključujući ultraljubičaste, vidljive i infracrvene valove. Kada sunčeva energija stigne do Zemljine atmosfere, određeni dio zračenja apsorbira se i raspršuje, dok ostatak prolazi kroz atmosferu i dopire do površine Zemlje. Ovaj dolazni solarni fluks mjeri se kao solarna konstanta, koja iznosi približno 1361 vata po kvadratnom metru ( $W/m^2$ ) na vrhu atmosfere. Pri ulasku u Zemljinu atmosferu, solarna energija podliježe različitim procesima apsorpcije, refleksije i raspršenja. Atmosferski plinovi, aerosoli i oblaci igraju ključnu ulogu u određivanju količine solarne energije koja dopire do površine. Dio energije apsorbiran u atmosferi zagrijava zrak, vodenu paru i

aerosole, dok dio energije reflektiran od oblaka i površine Zemlje doprinosi planetarnom albedu, koji je omjer reflektirane solarne energije prema ukupnoj dolaznoj energiji. Oko 30% sunčevog zračenja reflektira se natrag, dok preostalih 70% apsorbira atmosfera, oceani i kopnena masa, što zagrijava planet i omogućava život. [11] Hrvatska se nalazi u jugoistočnoj Europi, prostirući se duž istočne obale Jadranskog mora, što joj pruža iznimno povoljan geografski položaj za iskorištavanje solarne energije. Klimatski uvjeti Hrvatske karakterizirani su visokim brojem sunčanih sati tijekom godine, posebice u priobalnim područjima i na otocima. Prosječna godišnja insolacija u Hrvatskoj iznosi između 1200 i 1600 kWh/m<sup>2</sup>, prikazano na slici 2, što je znatno iznad prosjeka mnogih europskih zemalja. Priobalni dio Hrvatske, uključujući Istru, Dalmaciju i otoke, bilježi više od 2600 sunčanih sati godišnje, što je idealno za postavljanje fotonaponskih elektrana. Takvi klimatski uvjeti omogućuju konstantnu i pouzdanu proizvodnju solarne energije, smanjujući sezonske varijacije i osiguravajući stabilne energetske tokove.



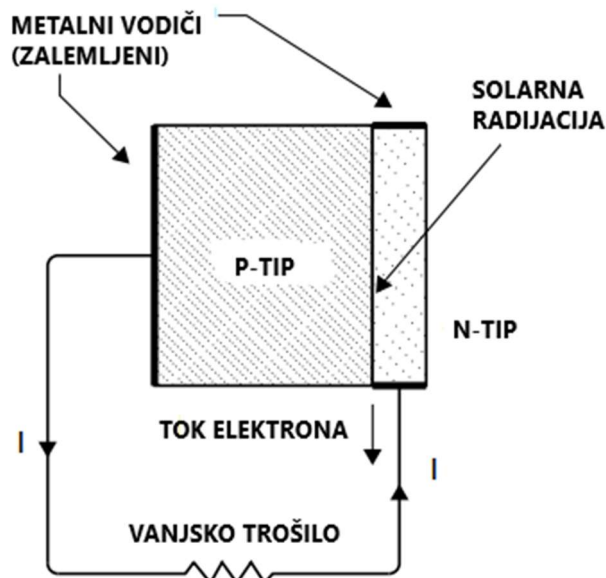
Slika 3. Prikaz godišnje insolacije na području Republike Hrvatske

Izvor: <https://globalsolaratlas.info/download/croatia>

Uz geografske i klimatske prednosti, Hrvatska posjeduje i raznolike topografske karakteristike koje dodatno podržavaju instalaciju fotonaponskih sustava. Relativno ravni tereni u kontinentalnim dijelovima Hrvatske, poput Slavonije, omogućuju lako postavljanje velikih fotonaponskih elektrana, dok obalna područja pružaju idealne uvjete za manje, decentralizirane solarne instalacije. Osim prirodnih uvjeta, Hrvatska se nalazi na važnom energetsom koridoru između jugoistočne i zapadne Europe, što može poslužiti kao ključna točka za distribuciju solarne energije unutar šire regije. Povećanje ulaganja u fotonaponske elektrane može značajno doprinijeti energetske neovisnosti Hrvatske, smanjenju emisija stakleničkih plinova te promociji održivog razvoja. [1,12]

### **3.2. Fotonaponske ćelije i moduli**

Fotonaponske ćelije djeluju na principu fotoelektričnog efekta koji podrazumijeva interakciju fotona sunčeve svjetlosti s poluvodičkim materijalom, poput silicija, pri čemu dolazi do oslobađanja elektrona iz njihovih atomskih veza. Oslobođeni elektroni stvaraju električnu struju dok se kreću kroz materijal. Proces se sastoji od nekoliko ključnih koraka: apsorpcije fotona, generacije elektrona i šupljina, te odvajanja naboja unutar ćelije. Apsorpcija fotona uključuje interakciju fotona s poluvodičkim materijalom ćelije, pri čemu se energija fotona apsorbira u materijal, uzrokujući oslobađanje elektrona iz atomskih veza. Oslobođeni elektroni i nastale šupljine (pozitivno nabijene praznine koje ostaju nakon što elektroni napuste svoje pozicije) igraju ključnu ulogu u generaciji električne struje. Unutar ćelije, specijalizirani slojevi poluvodičkog materijala, označeni kao N-tip i P-tip, stvaraju električno polje koje razdvaja elektrone i šupljine, omogućujući slobodnim elektronima da se kreću kroz vanjski krug i stvaraju električnu struju. Proces proizvodnje električne energije unutar fotonaponske ćelije prikazan je na slici 4. [10]

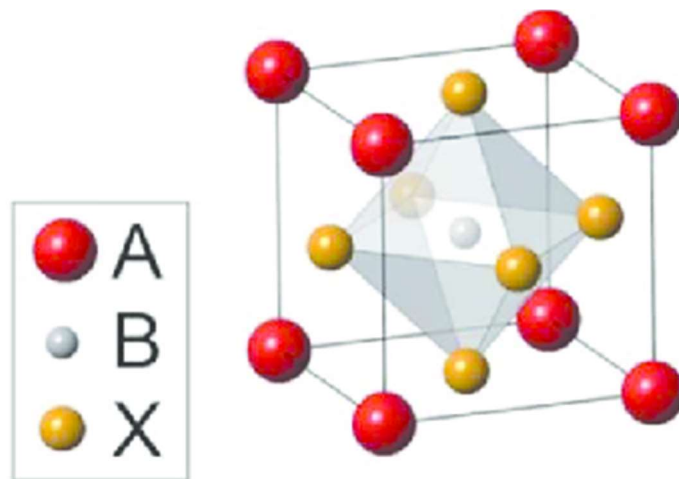


Slika 4. Rad fotonaponske ćelije

Izvor: S. A. Kalogirou, Solar Energy Engineering, 2013.

Materijali korišteni za izradu fotonaponskih ćelija igraju ključnu ulogu u učinkovitosti i troškovnoj efikasnosti fotonaponskih elektrana. Najčešće korišten materijal je silicij, koji se koristi u nekoliko različitih oblika zbog svojih poluvodičkih svojstava i obilja u prirodi. Silicij, kao osnovni materijal za izradu fotonaponskih ćelija, može biti monokristalni, polikristalni i amorfni. Monokristalni silicij proizveden je iz jednog kristala silicija, što rezultira visokom učinkovitošću koja može doseći do 22%. Njegova struktura omogućuje nesmetano kretanje elektrona, što rezultira manjim unutarnjim otporom i većom učinkovitošću pretvorbe energije. Međutim, proizvodnja monokristalnih ćelija zahtijeva visokotehnološke procese koji su skupi i energetski intenzivni, što se odražava na konačni trošak proizvoda. Polikristalni silicij, s druge strane, sastoji se od mnogih manjih kristala silicija. Njegova proizvodnja je manje zahtjevna i jeftinija u usporedbi s monokristalnim silicijem, ali to dolazi s cijenom smanjene učinkovitosti, koja obično varira između 15% i 17%. Polikristalne ćelije su lakše za proizvodnju i manje osjetljive na pukotine, što ih čini ekonomski privlačnim za široku primjenu. Amorfni silicij, koji nema urednu kristalnu strukturu, koristi se u tankoslojnim solarnim ćelijama. Iako je njegova učinkovitost niža u usporedbi s kristalnim silicijem, amorfni silicij je fleksibilan i može se nanositi na različite podloge, uključujući staklo i plastiku. To omogućuje inovativne primjene, kao što su integrirani fotonaponski sustavi u građevinama (BIPV). [10,13] Pored silicija, postoje i drugi materijali koji se koriste u fotonaponskim ćelijama. Kadmij-telurid (CdTe) i bakar-indij-galij-selenid (CIGS) su primjeri tankoslojnih fotonaponskih materijala. CdTe ćelije su

atraktivne zbog svojih nižih proizvodnih troškova i relativno dobre učinkovitosti. Međutim, prisutnost kadmija, koji je toksičan element, izaziva zabrinutost u pogledu okolišne sigurnosti i održivosti. CIGS ćelije, s druge strane, nude visoku učinkovitost i mogućnost prilagodbe sastava za optimizaciju performansi, ali također dolaze s kompleksnim proizvodnim procesima. Perovskit se ističe kao napredni materijal za izradu fotonaponskih ćelija zbog svoje iznimne sposobnosti apsorpcije svjetlosti i visokog koeficijenta difuzije nositelja naboja. Perovskiti su kristalni materijali s  $ABX_3$  strukturom, gdje 'A' predstavlja organski kation, 'B' metalni kation, a 'X' halogenidni anion. Ova struktura, prikazana na slici 5, omogućuje prilagodbu kemijskog sastava za optimizaciju fotonaponskih svojstava. Jedna od ključnih prednosti perovskita je visoka učinkovitost konverzije energije, koja se rapidno povećala u posljednjem desetljeću, dosegnuvši preko 25%.



Slika 5. Molekularna struktura perovoksita

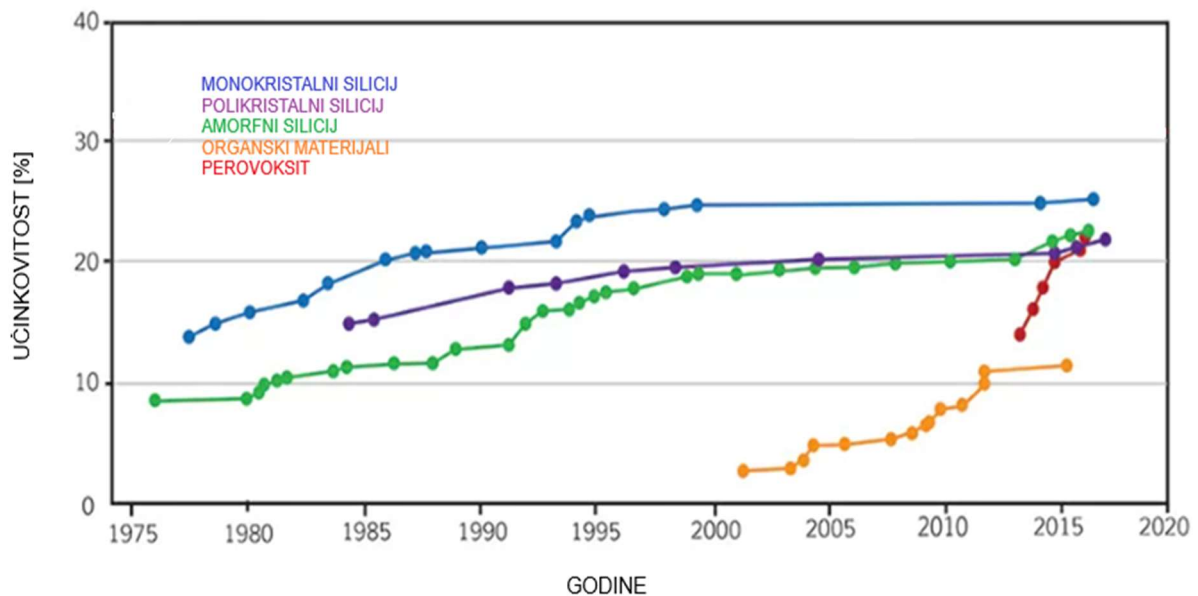
Izvor: <https://www.researchgate.net/profile/Shiqiang-Luo-2/publication/268528571/figure/fig1/AS:392141865013295@1470505314720/The-3D-crystal-structure-of-perovskite-structure-ABX3-in-this-case-A-is-Cs-CH3NH3-or.png>

2/publication/268528571/figure/fig1/AS:392141865013295@1470505314720/The-3D-crystal-structure-of-perovskite-structure-ABX3-in-this-case-A-is-Cs-CH3NH3-or.png

Ova učinkovitost je usporediva s najboljim silicijskim ćelijama, ali perovskitni materijali mogu se proizvesti po nižim troškovima i na nižim temperaturama, što smanjuje energetske potrošnje u proizvodnom procesu. Dodatno, perovskitne ćelije mogu se izraditi kao fleksibilne i prozirne filmove, otvarajući nove mogućnosti za integraciju u zgrade, vozila i nosivu tehnologiju. Još jedna značajna prednost perovskita je njegova sposobnost apsorpcije širokog spektra sunčeve svjetlosti, uključujući i infracrveno područje, što dodatno povećava učinkovitost konverzije energije. Perovskitne ćelije također pokazuju visok koeficijent difuzije nositelja naboja, što smanjuje gubitke i povećava izlaznu snagu. Međutim, perovskitni materijali još uvijek suočavaju s



izazovima vezanim uz dugoročnu stabilnost i otpornost na vlagu, što je predmet intenzivnih istraživanja. Povećanje stabilnosti i trajnosti perovskitnih ćelija ključno je za njihovu komercijalnu primjenu i integraciju u velike fotonaponske sustave. Na slici 6 prikazana je usporedba navedenih materijala korištenih za izradu fotonaponskih ćelija u vidu njihove učinkovitosti.

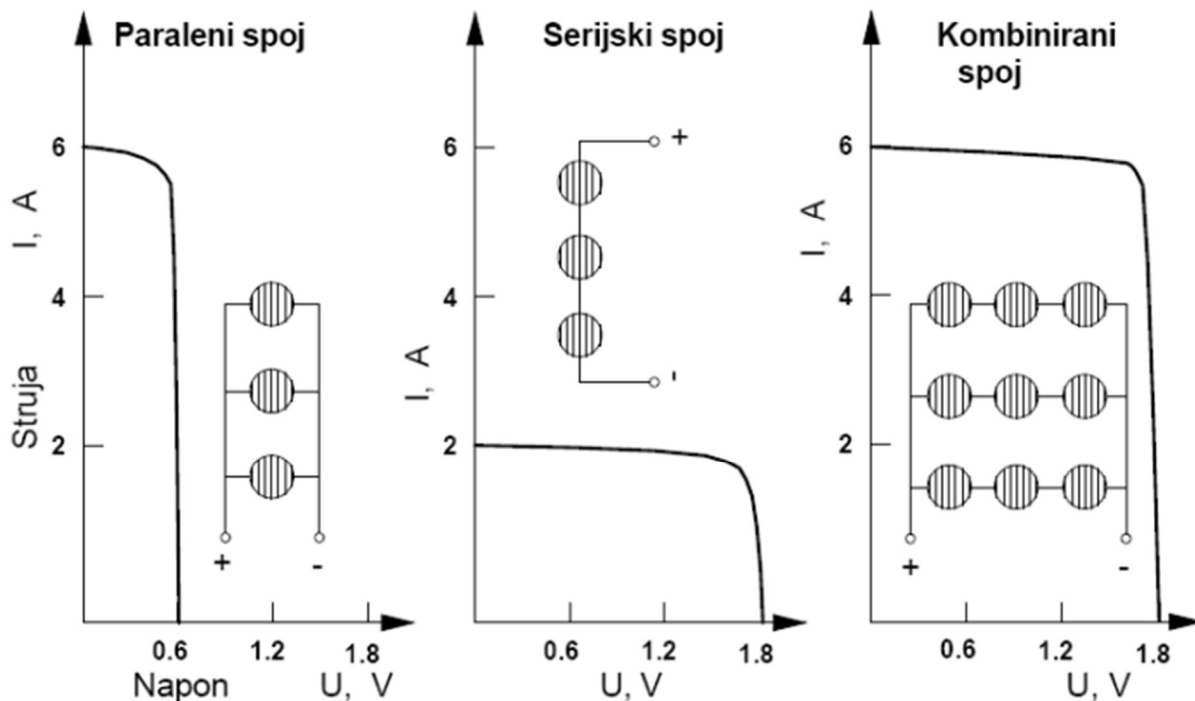


Slika 6. Usporedba materijala fotonaponskih ćelija s obzirom na učinkovitost

Izvor: <https://i0.wp.com/www.prostarsolar.net/wp-content/uploads/2019/03/Solar-cell-efficiency.jpg?w=900&ssl=1>

Iako silicij i dalje dominira tržištem fotonaponskih ćelija zbog svoje provjerene učinkovitosti i zrelosti tehnologije, perovskitni materijali nude značajne prednosti u smislu troškovne efikasnosti, fleksibilnosti i potencijalne visoke učinkovitosti. Istraživanja usmjerena na rješavanje problema stabilnosti i otpornosti na okolišne uvjete ključna su za prelazak perovskitnih ćelija iz laboratorija na tržište, čime bi se dodatno ubrzala tranzicija prema održivim i obnovljivim izvorima energije. [10,13] Svaka fotonaponska ćelija čini sastavnu komponentu fotonaponskog modula, te proizvodi napon od oko 0,5 V. Kako bi se postigao viši napon potreban za praktičnu primjenu, ćelije se spajaju u seriji ili paraleli unutar modula. Serijsko spajanje povećava napon, dok paralelno spajanje povećava struju, ovisno o zahtjevima sustava. Razlikujemo nekoliko vrsta fotonaponskih modula, od kojih su najzastupljeniji monokristalni silicijski moduli, polikristalni silicijski moduli te tankoslojni moduli. Svaka vrsta ima specifične tehničke karakteristike i stupanj učinkovitosti.

Monokristalni silicijski moduli proizvode se iz jednog kristala silicija. Učinkovitost ovih modula kreće se od 17% do 22%, što ih čini najefikasnijim među trenutno dostupnim tehnologijama na tržištu. Zahvaljujući visokoj gustoći snage, monokristalni moduli idealni su za sustave s ograničenim prostorom, no njihova proizvodnja zahtijeva složeniji tehnološki proces i veću cijenu. Polikristalni silicijski moduli izrađeni su od više kristala silicija, zbog čega je njihova proizvodnja jednostavnija i jeftinija. Međutim, niža kristalna čistoća rezultira smanjenjem učinkovitosti, koja se kreće između 15% i 17%. Zbog niže cijene, polikristalni moduli su čest izbor u primjenama gdje je važan omjer cijene i učinkovitosti, ali za istu snagu zahtijevaju više prostora u odnosu na monokristalne. Tankoslojni moduli koriste tehnologije poput amornog silicija (a-Si), kadmij-telurida (CdTe) i bakar-indij-galij-diselenida (CIGS). Učinkovitost ovih modula obično iznosi 10% do 12%, što ih čini manje učinkovitim u usporedbi s kristalnim silicijem, ali su lagani, fleksibilni i jeftini za proizvodnju. Zbog tih svojstava koriste se u specifičnim primjenama, kao što su fasade zgrada ili vozila. Moduli s višeslojnim (višespojnim) ćelijama koriste nekoliko slojeva različitih poluvodičkih materijala, kako bi se maksimizirala apsorpcija različitih valnih duljina sunčeve svjetlosti. Iako ove ćelije imaju najveću laboratorijsku učinkovitost (preko 40%), zbog svoje složene proizvodnje koriste se pretežno u svemirskoj tehnologiji.[14,15] Spajanje fotonaponskih modula može se izvesti serijski ili paralelno, ovisno o zahtjevima sustava. Serijsko spajanje rezultira zbrajanjem napona svakog modula, dok struja ostaje ista. Ova konfiguracija koristi se kada je potrebna veća izlazna snaga u obliku napona, što je važno u aplikacijama s visokim naponima, poput mrežno povezanih solarnih sustava. S druge strane, paralelno spajanje modula omogućuje povećanje struje dok napon ostaje konstantan. Ova konfiguracija je korisna u aplikacijama gdje je potrebna veća struja, poput sustava za punjenje baterija. Kod velikih solarnih elektrana, često se koristi kombinacija serijskog i paralelnog spajanja, čime se postiže balansirana distribucija struje i napona u sustavu, što doprinosi optimizaciji učinkovitosti i stabilnosti sustava. Na slici 7 prikazani dijagrami odnosa struje i napona za navedene načine spajanja fotonaponskih modula.



Slika 7. I-U karakteristike spoja fotonaponskih modula

Izvor: Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za visoki napon i energetiku, Obnovljivi izvori i pohrana energije, Predavanje: Energija sunca, str: 102

Učinkovitost fotonaponskih modula, definirana kao omjer proizvedene električne energije prema primljenoj sunčevoj energiji, varira ovisno o vrsti modula, geografskom položaju i uvjetima okoliša. Teoretska maksimalna učinkovitost silicijskih modula ograničena je Shockley-Queisserovom granicom, koja za jednodijelne (single-junction) silicijske ćelije iznosi 33,7%. Međutim, komercijalno dostupni moduli dostižu učinkovitosti između 15% i 22%, ovisno o tehnologiji. Temperatura značajno utječe na performanse modula. Učinkovitost fotonaponskih modula opada s porastom temperature zbog povećanog otpora unutar ćelija. Tipični temperaturni koeficijent za silicijske ćelije iznosi približno -0,4% po stupnju Celzijusa iznad standardne testne temperature (25°C). Također, zasjenjenje ili prljavština na modulima može smanjiti učinkovitost cijelog sustava, posebno u serijskim spojevima, gdje neispravnost jednog modula može negativno utjecati na cijeli niz. Prednosti fotonaponskih modula uključuju korištenje obnovljive, čiste energije, što značajno smanjuje emisije stakleničkih plinova. Prema procjenama, solarni sustavi mogu smanjiti emisiju CO<sub>2</sub> za otprilike 50-80 g po kWh proizvedene energije, ovisno o tehnologiji i lokaciji. Nadalje, fotonaponski sustavi imaju dugi vijek trajanja (prosječno 25-30 godina) i niske operativne troškove, što ih čini isplativim dugoročnim rješenjem za proizvodnju energije. Međutim, nedostaci uključuju visoke početne troškove instalacije, kao i ovisnost o dostupnosti sunčeve

svjetlosti, što znači da su solarni sustavi manje učinkoviti u područjima s manje sunčanih dana. Dodatno, integracija sustava za skladištenje energije, poput baterija, povećava troškove i kompleksnost solarnih sustava, budući da skladištenje energije igra ključnu ulogu u održavanju stabilne opskrbe energijom tijekom noći ili oblačnih dana. [1,14,16]

### **3.3. Izmjenjivači**

Izmjenjivači su ključne komponente svakog fotonaponskog (PV) sustava, jer omogućuju konverziju istosmjerne struje (DC), koju proizvode fotonaponski moduli, u izmjeničnu struju (AC) koja se koristi u kućanstvima i komercijalnim objektima te distribuira u elektroenergetske mreže. Bez izmjenjivačkih sustava, energija proizvedena iz solarnih panela ne bi bila kompatibilna s većinom električnih uređaja i mreža, s obzirom na to da je standardna električna energija u većini svjetskih energetske sustava izmjenična. Primarna funkcija izmjenjivača je konverzija istosmjerne struje (DC) u izmjeničnu struju (AC) pomoću sklopnih uređaja kao što su tranzistori i tiristori. Proces konverzije uključuje visoku frekvenciju sklopki koje stvaraju AC valni oblik (najčešće sinusoidni) iz DC izvora. Kvaliteta izmjenične struje definirana je prema nekoliko kriterija, od kojih su najvažniji frekvencija (50 Hz ili 60 Hz, ovisno o regiji) i naponska amplituda (tipično 230 V ili 110 V). Moderni izmjenjivački sustavi koriste napredne tehnike modulacije širine impulsa (PWM – Pulse Width Modulation), koje omogućavaju stvaranje visoko kvalitetne sinusoidne AC struje uz male gubitke energije. Osim osnovne funkcije pretvorbe, izmjenjivači imaju dodatne funkcionalnosti, poput praćenja točke maksimalne snage (MPPT – Maximum Power Point Tracking). MPPT algoritmi kontinuirano optimiziraju rad fotonaponskih modula, prilagođavajući njihovu radnu točku kako bi se postigla maksimalna proizvodnja energije ovisno o uvjetima kao što su intenzitet sunčeve svjetlosti i temperatura. Ovi algoritmi mogu povećati učinkovitost fotonaponskog sustava za 20% do 30%, posebno u promjenjivim uvjetima. [10,17].

Postoji nekoliko vrsta izmjenjivača, svaki s različitim karakteristikama, prednostima i primjenama. Najčešće korištene vrste izmjenjivača u fotonaponskim sustavima su centralni, string, mikro izmjenjivači i hibridni izmjenjivači. Centralni izmjenjivači su veliki uređaji koji upravljaju velikim količinama električne energije iz više fotonaponskih modula, obično iz cijele solarne elektrane ili većih sustava. Ovakvi izmjenjivači spajaju

više nizova modula u jedan središnji uređaj za konverziju. Koriste se u komercijalnim i industrijskim aplikacijama. Njihova učinkovitost obično iznosi između 97% i 99%. Iako su centralni izmjenjivači ekonomičniji za velike sustave, njihov nedostatak je veća osjetljivost na zasjenjenje, jer zasjenjenje jednog modula može negativno utjecati na cijeli niz modula povezan s centralnim izmjenjivačem. String izmjenjivači upravljaju energijom iz jednog niza fotonaponskih modula (engl. string), koji je obično sastavljen od 10 do 30 modula. Ova vrsta invertera pruža fleksibilniju instalaciju u usporedbi s centralnim inverterima i koristi se u manjim komercijalnim i kućnim instalacijama. Prednost string izmjenjivača je manja osjetljivost na kvarove pojedinih modula u nizu te jednostavnije održavanje. Mikro izmjenjivači su postavljeni na pojedinačne fotonaponske module, čime omogućuju decentraliziranu konverziju DC u AC struju na razini svakog modula što smanjuje probleme uzrokovane zasjenjenjem, prljavštinom ili neispravnosću modula, budući da kvar jednog modula ne utječe na cijeli sustav. Iako su mikro izmjenjivači skuplji po jedinici snage, njihova učinkovitost u uvjetima s promjenjivim zasjenjenjem i boljim praćenjem pojedinačnih modula čine ih korisnima u sustavima gdje su moduli postavljeni u različitim smjerovima ili pod različitim kutovima. Učinkovitost mikro izmjenjivača obično se kreće između 95% i 97%. Hibridni izmjenjivači kombiniraju funkcije standardnog izmjenjivača s mogućnostima pohrane energije u baterijama. Oni omogućavaju učinkovitu integraciju fotonaponskih sustava s baterijskim sustavima za skladištenje energije, čime se ostvaruje napajanje objekta tijekom noći ili u slučaju nestanka struje. Hibridni inverteri postaju sve popularniji zbog rasta interesa za samodostatnost i neovisnost o elektroenergetskim mrežama. [18,19]

Učinkovitost izmjenjivača definirana je omjerom izlazne izmjenične struje prema ulaznoj istosmjernoj struji, uzimajući u obzir gubitke tijekom konverzije. Suvremeni izmjenjivači postižu vrlo visoke stupnjeve učinkovitosti, pri čemu su vršni učinci invertera između 95% i 99%. Međutim, nisu jednako učinkoviti u svim radnim uvjetima, a njihova učinkovitost varira ovisno o razini opterećenja, temperaturi, kvaliteti izlazne struje te tehnologiji. Opterećenje značajno utječe na učinkovitost izmjenjivača. Maksimalnu učinkovitost postižu kada rade pri nominalnom kapacitetu, no pri niskom opterećenju (npr. tijekom oblačnih dana ili ujutro/poslijepodne) učinkovitost može pasti za nekoliko postotaka. Zbog toga su optimizirani za rad u širokom rasponu opterećenja kako bi se pospješila ukupna energetska proizvodnja kroz različite uvjete. Temperatura je još jedan važan čimbenik koji utječe na učinkovitost. Kao i kod fotonaponskih modula, izmjenjivači imaju temperaturne koeficijente koji određuju kako se njihova

učinkovitost mijenja s porastom temperature. Uobičajeni temperaturni koeficijent iznosi oko  $-0,5\%$  po  $^{\circ}\text{C}$ , što znači da povećanje temperature smanjuje učinkovitost konverzije. Kvaliteta izlazne struje važan je kriterij za ocjenu izmjenjivača, posebno kada se radi o spoju s elektroenergetskom mrežom. Izmjenjivači moraju osigurati da je izlazna struja sinkronizirana s frekvencijom mreže te da ima niske razine oscilacija kako bi se izbjegli problemi s kvalitetom napajanja. Suvremeni izmjenjivači s naprednim algoritmima modulacije osiguravaju visokokvalitetnu izmjeničnu struju s niskim izobličenjem (obično ispod  $3\%$ ). Prednosti suvremenih izmjenjivača uključuju visoku učinkovitost pretvorbe energije i mogućnost optimizacije rada fotonaponskih sustava kroz MPPT algoritme. Osim toga, izmjenjivački sustavi pružaju stabilnu i visokokvalitetnu izmjeničnu struju koja je kompatibilna s kućanskim uređajima i elektroenergetskim mrežama. Mikro i hibridni izmjenjivači pružaju dodatne pogodnosti u smislu smanjenja utjecaja zasjenjenja i omogućavanja skladištenja energije. S druge strane, nedostaci izmjenjivača uključuju visoke početne troškove, posebno kod mikro izmjenjivača, te osjetljivost na promjene temperature i opterećenja, što može utjecati na dugoročnu učinkovitost sustava. Također, imaju ograničen vijek trajanja (obično 10-15 godina), što je kraće od fotonaponskih modula, pa ih je potrebno periodično zamijeniti kako bi sustav ostao funkcionalan. [14,20]

### **3.4. Baterije**

Baterije su ključna komponenta modernih fotonaponskih (PV) sustava, osobito u aplikacijama koje zahtijevaju skladištenje energije, poput autonomnih sustava ili sustava s djelomičnim oslanjanjem na mrežu. Njihova funkcija je pohranjivanje viška električne energije proizvedene tijekom dana, koju je moguće koristiti tijekom noći ili u uvjetima kada fotonaponski moduli ne proizvode dovoljno energije. Korištenje baterija omogućava povećanu energetska samodostatnost i fleksibilnost u sustavima obnovljivih izvora energije, ali dolazi s izazovima vezanim uz učinkovitost, trošak i dugovječnost. Baterije u fotonaponskim sustavima djeluju po načelu kemijske konverzije energije. Električna energija proizvedena iz fotonaponskih modula pohranjuje se kao kemijska energija tijekom procesa punjenja, a zatim se pretvara natrag u električnu energiju tijekom pražnjenja. Taj se proces događa kroz elektrokemijske reakcije između katode, anode i elektrolita unutar baterijske ćelije. U kontekstu fotonaponskih sustava, najčešće korištene vrste baterija su olovno-

kiselinske (Pb-A), litij-ionske (Li-ion), i sve češće, napredne tehnologije poput natrij-ionskih i baterija s čvrstim elektrolitom. Elektrokemijski procesi unutar baterija definiraju kapacitet skladištenja, izražen u kilovat satima (kWh), efikasnost ciklusa (odnos isporučene energije prema pohranjenoj) i broj ciklusa punjenja-pražnjenja koje baterija može izdržati prije nego što dođe do značajnog smanjenja performansi. Tradicionalno najčešće korištena tehnologija za skladištenje energije u fotonaponskim sustavima su olovno-kiselinske baterije. One su relativno jeftine i dostupne, što ih čini dobrim rješenjem za manje fotonaponske instalacije i autonomne sustave. Njihov rad temelji se na kemijskoj reakciji između olovne ploče (anoda) i olovnog dioksida (katoda) u kiselom elektrolitu. Iako su pouzdane, olovno-kiselinske baterije imaju nekoliko ograničenja:

- Nizak stupanj učinkovitosti (tipično oko 80%) zbog visokih gubitaka tijekom punjenja i pražnjenja.
- Relativno kratak vijek trajanja (obično 500-1000 ciklusa punjenja/pražnjenja).
- Potreba za redovitim održavanjem.

Ipak, zbog niske cijene, olovno-kiselinske baterije i dalje se koriste u sustavima gdje su niska cijena i jednostavnost važniji od dugovječnosti i učinkovitosti. [1,20]

Litij-ionske baterije postaju prevladavajuća tehnologija u modernim fotonaponskim sustavima zbog svoje visoke učinkovitosti, dugog vijeka trajanja i većeg kapaciteta skladištenja. Li-ion baterije imaju elektrode od litijevih spojeva i grafita, a njihov elektrolit je obično litijeva sol otopljena u organskom otapalu. Njihove prednosti u odnosu na olovno-kiselinske baterije uključuju:

- Visoku učinkovitost ciklusa, koja obično iznosi između 90% i 95% (IEA, 2022).
- Dug vijek trajanja, s mogućnošću do 5000 ciklusa pražnjenja bez značajnog smanjenja kapaciteta.
- Veću energetska gustoću, što znači da mogu pohraniti više energije u manjem volumenu i masi.

Ove karakteristike čine litij-ionske baterije idealnima za kućanstva i komercijalne aplikacije gdje je važna dugoročna pouzdanost i učinkovitost. Međutim, jedan od njihovih glavnih nedostataka je visoka cijena, iako se očekuje da će ona s vremenom opadati zbog tehnoloških napredaka i masovne proizvodnje. [1,21]

Novo tehnologije poput natrij-ionskih i baterija s čvrstim elektrolitom istražuju se kao potencijalno rješenje za nadilaženje ograničenja postojećih tehnologija. Natrij-ionske baterije koriste natrijeve spojeve umjesto litija, čime smanjuju troškove, jer je natrij mnogo pristupačniji. Međutim, još uvijek se suočavaju s izazovima u pogledu energetske gustoće i dugovječnosti. Baterije s čvrstim elektrolitom zamjenjuju tekući elektrolit čvrstim, čime povećavaju sigurnost (manja opasnost od zapaljenja) i omogućuju veće energetske gustoće. Iako su još uvijek u fazi istraživanja i razvoja, očekuje se da će ove tehnologije značajno poboljšati performanse baterija u budućnosti.

Učinkovitost baterijskog sustava u fotonaponskim aplikacijama definira se omjerom isporučene energije tijekom pražnjenja prema pohranjenoj energiji tijekom punjenja. Učinkovitost je kritična jer određuje koliko energije se gubi tijekom skladištenja i ponovne konverzije. Litij-ionske baterije, s učinkovitostima od 90% do 95%, daleko nadmašuju olovno-kiselinske baterije koje obično imaju učinkovitost oko 80%. Još jedan važan aspekt performansi baterija je kapacitet skladištenja (izražen u kWh) i broj ciklusa punjenja-pražnjenja. Dugovječnost baterije značajno utječe na ukupnu ekonomsku isplativost fotonaponskog sustava. Olovno-kiselinske baterije mogu izdržati između 500 i 1000 ciklusa, dok litij-ionske baterije mogu doseći i do 5000 ciklusa, što im daje prednost u smislu dugoročnih troškova. Dubina pražnjenja (DoD – Depth of Discharge) je još jedan važan faktor. Olovno-kiselinske baterije obično mogu podnijeti do 50% DoD bez značajnog skraćivanja vijeka trajanja, dok litij-ionske baterije mogu izdržati i do 80% DoD, čime omogućuju pohranjivanje i korištenje više energije prije punjenja. U tablici 1 uspoređene su vrste baterija korištenih za pohranu energije s obzirom na njihove karakteristike. [1,20]

Tablica 1. Karakteristike energije i snage za baterije korištene u fotonaponskim sustavima  
Izvor: Dunn, B., Kamath, H., and Tarascon, J.-M. (2011) 'Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices'

Vrsta baterije	Raspon napona (V)	Gustoća energije (Wh/L)	Specifična energija (Wh/kg)	Specifična snaga (W/kg)	Cikličnost
Olovna kiselina	2.1 - 1.8	60 - 75	30 - 40	60 - 110	100 - 500
Nikal-kadmij	1.3 - 0.8	130 - 150	40 - 60	40 - 100	2000



Vrsta baterije	Raspon napona (V)	Gustoća energije (Wh/L)	Specifična energija (Wh/kg)	Specifična snaga (W/kg)	Cikličnost
Nikal-metal-hidrid	1.3 - 0.9	250 - 330	70 - 120	70 - 200	1000
Litij-ionska - Li(Ti/Mn)O <sub>2</sub>	4.2 - 2.5	200 - 250	120 - 160	200 - 300	300 - 1000
Litij-ionska - LiFePO <sub>4</sub>	3.5 - 2.5	120 - 150	90 - 120	200 - 300	1500 - 2000
Litij-metal-polimer	4.0 - 2.4	100 - 110	100 - 110	130 - 170	600
Natrij-sumpor	2.1 - 1.8	170 - 150	100 - 120	150 - 170	4000
Natrij-metal klorid	2.6 - 2.1	200 - 140	50 - 100	30 - 150	3000
Vanadij redoks protok	1.6 - 1.1	10 - 20	10 - 20	1 - 4	5000

Baterije pružaju ključne prednosti u fotonaponskim sustavima, posebno u kontekstu energetske samodostatnosti i rješavanja problema nepredvidivosti obnovljivih izvora energije. Njihova mogućnost pohranjivanja viška energije omogućuje ravnomjerniju raspodjelu energije tijekom dana i noći, čime smanjuju ovisnost o elektroenergetskim mrežama. Baterijski sustavi također pružaju mogućnost integracije s mrežnim sustavima, omogućujući decentralizirano napajanje (tzv. mikromreže) i povećanje fleksibilnosti u elektroenergetskim sustavima. Međutim, ključni izazovi vezani uz baterije uključuju visoke početne troškove, osobito kod litij-ionskih baterija, te ograničen vijek trajanja. Nadalje, baterijski sustavi zahtijevaju pažljivo upravljanje kako bi se maksimizirala njihova učinkovitost i spriječilo prekomjerno punjenje ili pražnjenje, što može smanjiti kapacitet skladištenja i skratiti životni vijek baterije. Ekološki utjecaj baterija također je značajna tema. Proizvodnja baterija, posebno litij-ionskih, uključuje ekstrakciju rijetkih materijala poput litija, kobalta i nikla, što može imati negativan utjecaj na okoliš i društva u regijama gdje se ti materijali rudare. Međutim, recikliranje baterija i razvoj alternativnih tehnologija poput natrij-ionskih i baterija s čvrstim

elektrolitom predstavljaju potencijalna rješenja za smanjenje ovih negativnih utjecaja. [1]

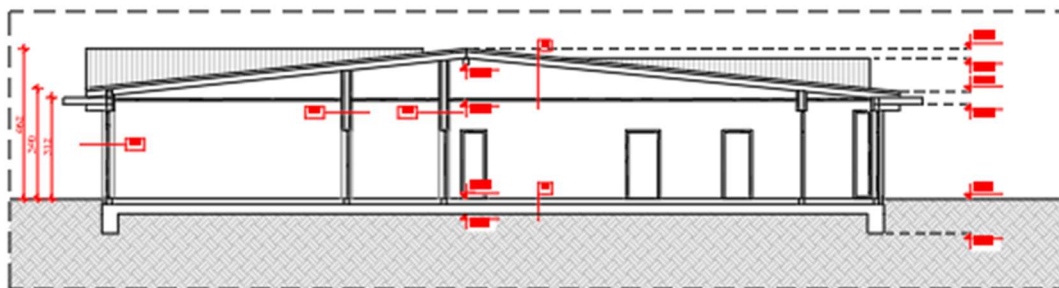
#### **4. Rezultati proračuna potrebne energije**

Proračuni potrebne energije za grijanje, pripremu potrošne tople vode i hlađenje napravljeni su pomoću softvera „KI-Expert“. KI-Expert je specijalizirani softver osmišljen za optimizaciju energetske učinkovitosti zgrada putem detaljnih toplinskih i energetskih analiza. Razvio ga je Knauf Insulation, a funkcionira simuliranjem toplinskih performansi građevinskih materijala, izračunom energetskih gubitaka te određivanjem optimalnih rješenja za izolaciju. Softver koristi napredne algoritme za procjenu faktora poput prijenosa topline, toplinskih mostova i energetskih potreba, što je ključno za projektiranje zgrada u skladu s regulativama poput zgrada gotovo nulte energije (nZEB). Primarna funkcija KI-Experta je provođenje analize toplinske vodljivosti, uključujući izračun U-vrijednosti građevinskih elemenata, što je ključno za procjenu toplinskih performansi zidova, krovova i podova. Također modelira dinamičke toplinske odgovore, što je važno za razumijevanje ponašanja zgrade u promjenjivim uvjetima okoliša. Korištenjem lokalnih klimatskih podataka, softver procjenjuje godišnju potrošnju energije i toplinska/hladna opterećenja, pružajući sveobuhvatan energetski balans za zgrade. Softver je posebno koristan za energetsko certificiranje i usklađivanje s energetskim propisima u graditeljstvu, pružajući alate za optimizaciju izbora materijala i debljina izolacije, pomažući projektantima u postizanju potrebnih standarda toplinske zaštite i uštede energije. [23]

##### **4.1. Opis predmetne građevine i lokacija**

Tlocrtna projekcija građevine je razvedeni kubus, te ista pokriva površinu od  $P=561,15 \text{ m}^2$ , maksimalnih gabarita  $24,05 \text{ m} \times 22,90 \text{ m}$ . Građevina je prostorno razvedeni kubus čistih linija i pravilnog tlocrta kojeg definira međudnos više različito orijentiranih ortogonalnih formi, bez jasno definirane longitudinalne osi zgrade. Geometrijski čist i ortogonalno razvijen tlocrt zgrade ogleda se i u njenom strogom volumenu, koji se trjemovima i ostakljenim plohamo otvara prema različitim stranama i vizurama lokacije. Katnost planirane građevine obuhvaća jednu nadzemnu etažu: prizemlje (P) a glavni i gospodarski ulaz u građevinu smješteni su na sjeverozapadnom pročelju. Svijetla visina prostorija prizemlja definirana je spuštenim stropom, te iznosi  $3,00 \text{ m}$ . Najviša





Slika 9. Presjek predmetne građevine

Predmetna građevina projektirana je sukladno primjenjivim uvjetima iz Državnog pedagoškog standarda predškolskog odgoja i naobrazbe i Zakona o predškolskom odgoju i obrazovanju, te Pravilniku o osiguranju pristupačnosti građevina osobama s invaliditetom i smanjene pokretljivosti. Sukladno navedenom, predmetna izgradnje kategorizira se kao područni dječji vrtić. Unutrašnji raspored prostorija planirane izgradnje podijeljen je u 4 cjeline prostorija koje su međusobno povezane komunikacijskim koridorima – hodnicima. Kao prostori koji su prilagođeni boravku djece planira se jedna jaslička skupina koja se sastoji od garderobe, prostora sa sanitarnim uređajima (unutar koji se nalazi prostor za trijažu) i dnevnog boravka, te jedna vrtićka skupina koja se sastoji od garderobe, prostora sa sanitarnim uređajima i dnevnog boravka. Prostorije su dimenzionirane na način da se poštuje članak 45. i 46. Državnog pedagoškog standarda predškolskog odgoja i naobrazbe. Planirani kapacitet jasličke skupine je 12 djece, dok je u vrtićkoj skupini prostor predviđen za 20 djece. Kao prostor za povremeni boravak djece (višenamjenski prostor) predviđa se izgradnja višenamjenske dvorane u sklopu koje se nalaze spremišta za rekvizite i didaktička sredstva. Prostor za djelatnike koji se sastoji od skupne sobe za obrazovne djelatnike, izolacijske sobe, sobe pedagoga/psihologa i garderobe, te gospodarski prostori koji se sastoje od distribucijske kuhinje, garderobe i sanitarija za osoblje kuhinje, spremišta raznih namjena, tehnički prostor za instalacije i prostor za odlaganje smeća, odvojeni su od prostora za stalni i povremeni boravak djece glavnim hodnikom. U prosjeku će u građevini biti zaposleno: Kuhinja: 1-2 osobe, Spremačice: 1-2 osobe, Odgajatelji: 4-5 osoba, Kućni majstor: 1 osoba. Ukupan korisni prostor građevine iznosi 367,38 m<sup>2</sup>. Popis korisnih površina unutar navedene građevine prikazan je na slici 10.

**PROSTORI ZA BORAVAK DJECE - VRTIČKA / JASLIČKA GRUPA**

1	garderoba	7,83 x2= 15,36 m <sup>2</sup>
2	prostor sanitarnih uređaja	12,42 x2= 24,39 m <sup>2</sup>
3	soba dnevnog boravka	60,20 x2= 120,39 m <sup>2</sup>

**VIŠENAMJENSKI PROSTORI**

4	višenamjenska dvorana	52,02 m <sup>2</sup>
5	spremište za rekvizite	3,67 m <sup>2</sup>
6	spremište za didaktička sredstva	3,67 m <sup>2</sup>

**PROSTORI ZA DJELATNIKE (odgoj.-obrazov.,zdravstveni,ostali)**

7	skupna soba za odg.obrazov.djelatnike	13,11 m <sup>2</sup>
8	zdrav. djelatnik-izolacija bolesnog djeteta	9,38 m <sup>2</sup>
9	soba pedagoga/psihologa	8,97 m <sup>2</sup>
10	garderoba za odgojitelje i ostale djelatnike	1,86 m <sup>2</sup>

**GOSPODARSKI PROSTORI**

11	kuhinja - distribucijska u područnom vrtiću	12,95 m <sup>2</sup>
12	spremište za hranu - unutar kuhinje (br.12)	
13	gard.+sanitarije osoblja kuhinje	3,39 m <sup>2</sup>
14	spremište za čisto rublje	4,28 m <sup>2</sup>
15	spremište materijala za čišćenje	1,83 m <sup>2</sup>
16	opće gospodarsko spremište	9,16 m <sup>2</sup>
17	prostor za odlaganje smeća	2,34 m <sup>2</sup>
18	tehnički prostor za instalacije	6,95 m <sup>2</sup>

**OSTALI PROSTORI**

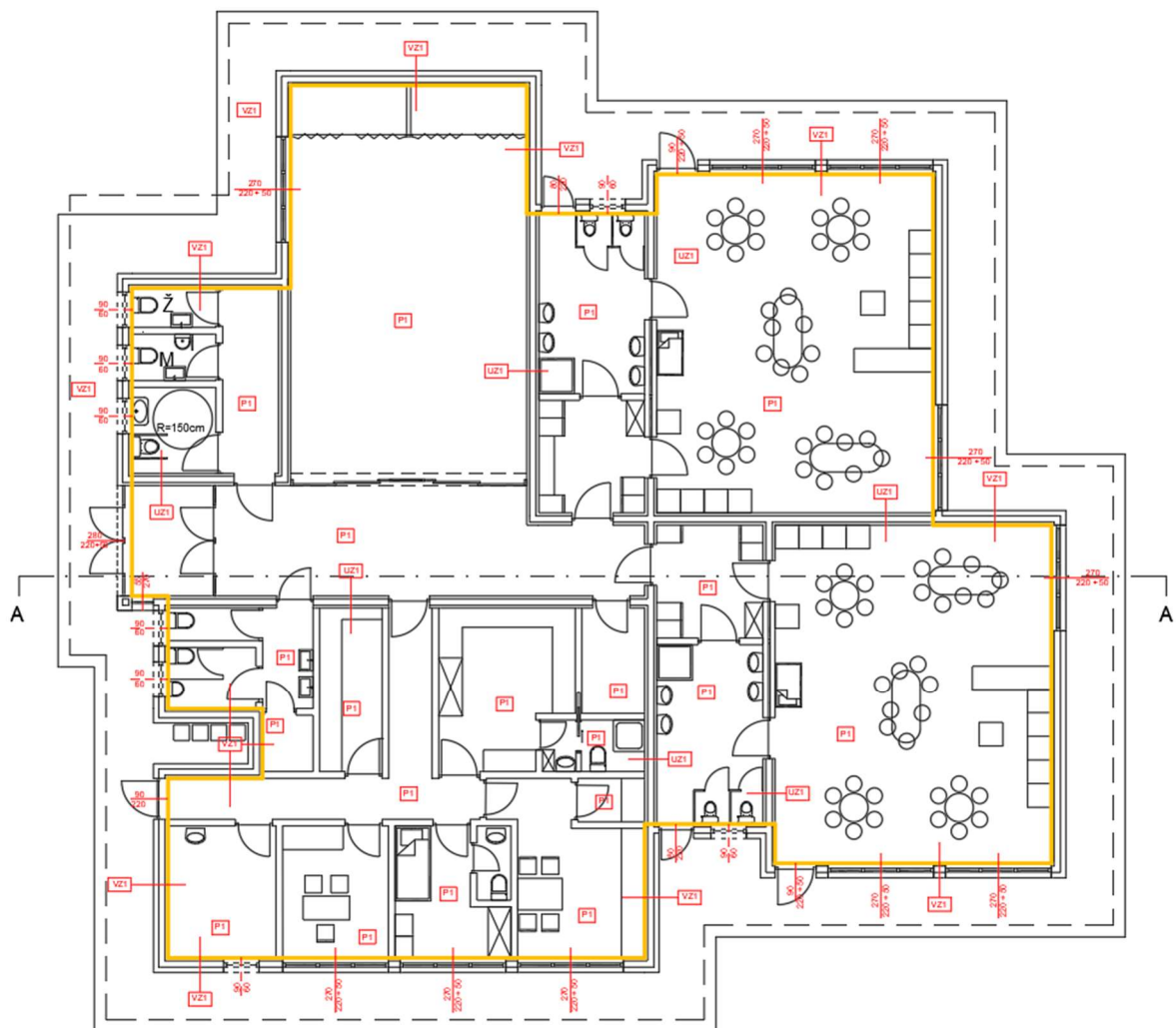
19	sanitarije za odg-obrazov i zdrav. djelatnike	9,44 m <sup>2</sup>
20	sanitarije posjetitelji + invalidi wc	17,48 m <sup>2</sup>
21	komunikacije – hodnici + vjetrobran	46,74 m <sup>2</sup>

**UKUPNA NETO POVRŠINA: 367,38 m<sup>2</sup>**

Slika 10. Popis neto površina predmetne građevine

Konstrukcija zgrade je drveni montažni sistem koji je sa temeljnom AB pločom povezan u jedinstvenu cjelinu. Nosivi sistem se sastoji od slijedećih elemenata: - temeljna AB ploča (d=30,0 cm), - gabaritni zidovi - skeletni sklopovi od drvenih stupova dimenzija 16,0x16,0 cm (2 x 8,0x16,0 cm) i 8,0x16,0 cm (povezanih rasterom horizontalnih ukruta, sa 16,0 cm kamene vune između njih, obloženih OSB ili cement-vlaknastim pločama), - unutrašnji instalacijski zidovi (drveni stupovi 16,0x16,0 cm obloženi gips-kartonskim pločama, d=31,0 cm); - nosivi drveni stupovi (lamelirani nosači), 30,0 x 30,0 cm, - nosive lamelirane grede, - rogovi, sljeme (kosi krov), - tavaloni (ravni dio krovne konstrukcije - nadstrešnice), - krovna konstrukcija (trapezni lim na potrebnim slojevima). Drveni stupovi se postavljaju na osnom razmaku od 65,0 cm. Sa unutrašnje strane zidnog sklopa, u prostoru između letvica dimenzija 3,0 x 5,0 cm, smještaju se instalacije. Sa vanjske strane zidovi su dodatno obloženi slojem termoizolacije u debljini 10,0 cm i završno obrađeni dekorativnom žbukom. Unutarnje pregrade se izvode iz gipskartonskih ploča u debljini 17,0 cm (sa prostorom za instalacije). Podovi

su izvedeni po principu plivajućih podova, čije su završne i hodne obloge definirane namjenom pojedinog prostora; to su keramičke pločice oznake protukliznosti R10 u komunikacijskim i sanitarnim prostorijama, odnosno PVC podne obloge u korisničkim prostorijama (garderobe, vježbališta). Slojevi poda na terenu se polažu na potreban hidroizolacijski sloj, a protukliznost završnih obloga u vanjskom prostoru je R11. Ostakljeni elementi pročelja su sklopovi iz aluminijskih profila. Krovne plohe zgrade su razvedene po principu dvostrešne geometrije, sa nagibom krovnih ploha od 6° do 22°, te falcanim limom kao pokrovom. Krovne plohe su položene na klasičnu drvenu konstrukciju (rogovi, sljeme). Na slici 11 prikazana je ovojnica grijane/hlađene površine predmetne građevine do su slojevi konstrukcije ovojnice navedeni su na slici 12.



Slika 11. Tlocrt predmetne građevine sa ucrtanom granicom grijane/hlađene površine

SLOJEVI KONSTRUKCIJE TOPLINSKE OVOJNICE

<b>VZ1</b>	- ukupno:	<u>37,4 cm</u>
	- gips-vlknasta ploča	1,5 cm
	- vertikalne letve / kamena vuna	6,0 / 4,0 cm
	- parna brana	
	- drvena nosiva konstrukcija / kamena vuna	16,0 / 16,0 cm
	- gips-vlknasta ploča	1,5 cm
	- disperzijsko ljepilo	
	- polistirol EPS F	10,0 cm
	- kontaktni premaz	
	- završna žbuka	2,0 cm

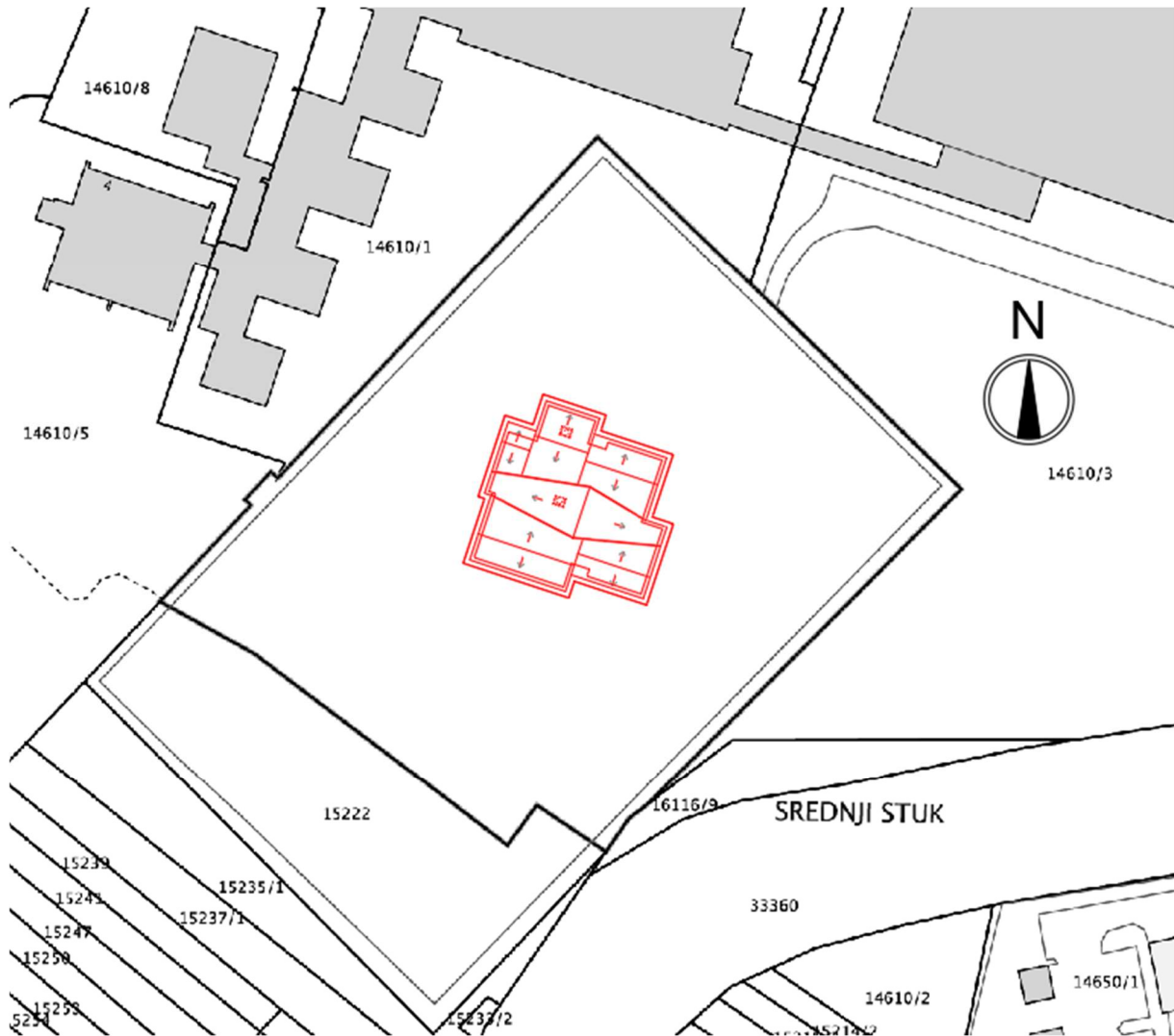
<b>P1</b>	- ukupno:	<u>47,0cm</u>
	- podna obloga	
	- cementni estrih	7,0 cm
	- zaštitni sloj (PVC)	
	- polistirol TPS T, TPT	10,0 cm
	- hidroizolacija	
	- AB temeljna ploča	30,0 cm

<b>K1</b>	- ukupno:	<u>30,75 cm</u>
	- lim	2,00 cm
	- letva	2,50 cm
	- kontra letva	2,50 cm
	- paropropusna vodonepropusna folija	
	- daščana oplata	2,50 cm
	- rogovi + termoizolacija između rogova	20,0 cm
	- neprovjetravan sloj zraka	
	- mineralna vuna	5,00 cm
	- parna brana	
	- gipskartonske ploče s podkonstrukcijom	1,25 cm

Slika 12. Slojevi konstrukcije predmetne građevine

Za provedbu istraživanja odabrane su dvije lokacije koje se značajno razlikuju u svojim klimatskim karakteristikama. U oba slučaja, analiziraju se identične građevine smještene na ovim lokacijama kako bi se procijenio utjecaj lokalnih klimatskih uvjeta na energetske potrebe objekata. Kao prva lokacija odabrane su Delnice koje su smještene u Gorskom kotaru, regiji koja pripada kontinentalnoj Hrvatskoj, s klimom obilježenom hladnim zimama i umjereno toplim ljetima. Delnice su poznate po oštroj, planinskoj klimi, s čestim snježnim padalinama i dugotrajnim periodima niskih temperatura tijekom zimskih mjeseci. Zbog ovih klimatskih karakteristika, očekuje se značajna energetska potrošnja za grijanje zgrade, osobito u zimskom razdoblju, kada temperature često padaju ispod 0°C. Energetski zahtjevi za hlađenje bit će manji zbog relativno nižih ljetnih temperatura. Potreba za pripremom potrošne tople vode ostat će stabilna kroz cijelu godinu, no blagi porast potrošnje očekuje se u zimskom periodu

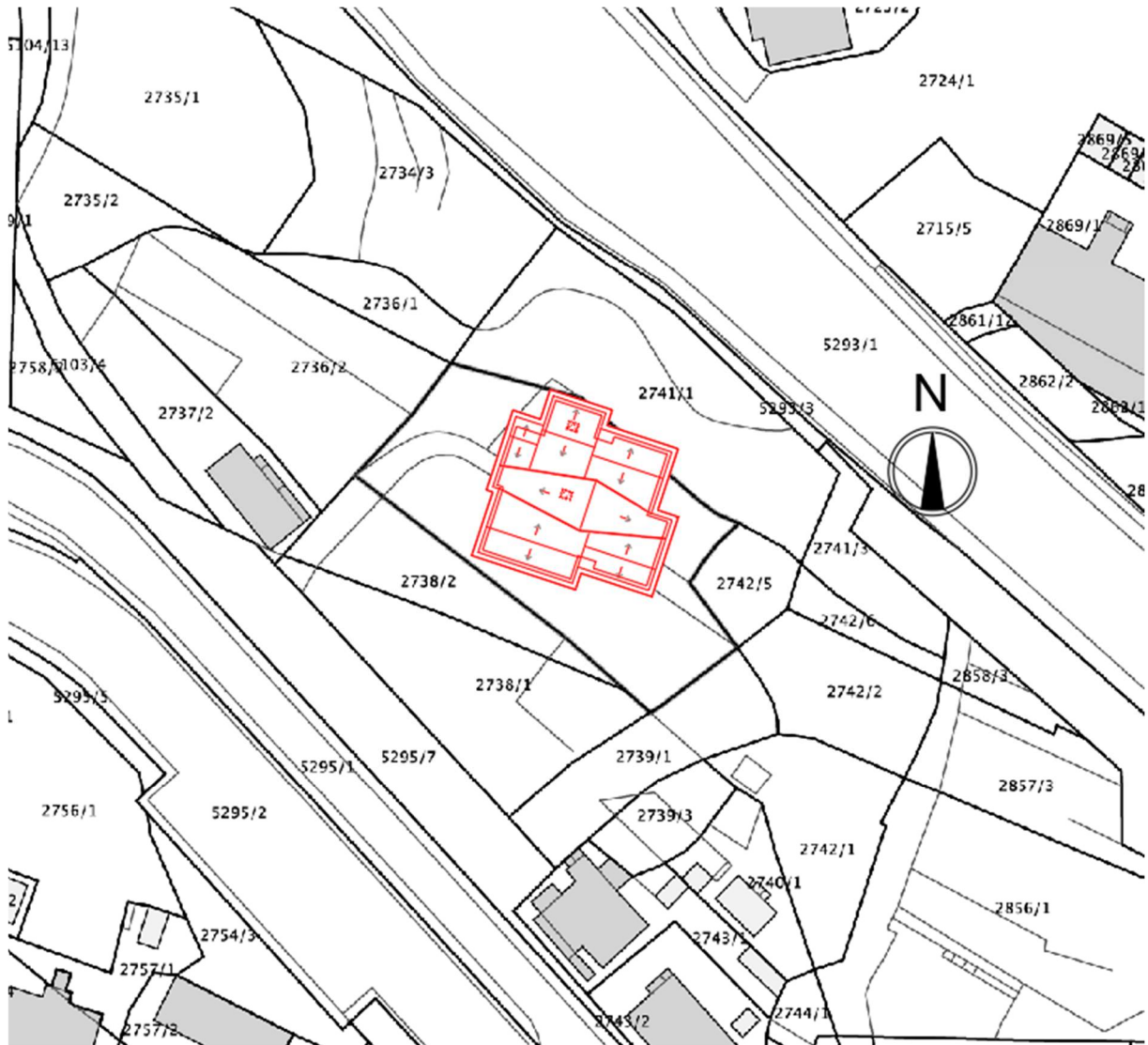
zbog povećane potrebe za grijanjem. Na slici 13 prikazana je pozicija građevine na predloženoj lokaciji s obzirom na strane svijeta.



Slika 13. Orijentacija građevine u Delnicama s obzirom na strane svijeta

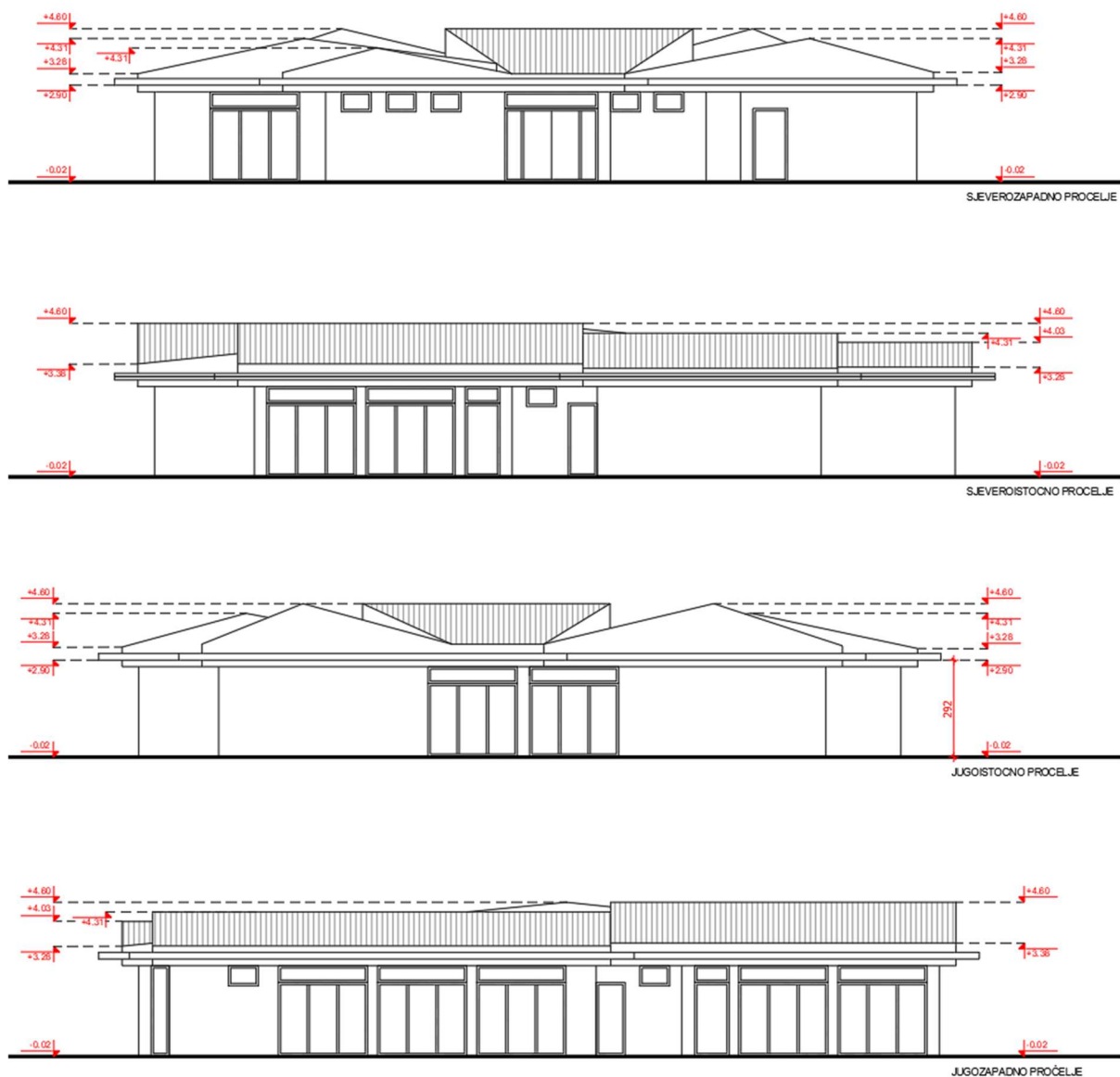
Rijeka je smještena na obali Jadranskog mora i ima tipičnu mediteransku klimu, s blagim zimama i toplim, suhim ljetima. Zimske temperature u Rijeci rijetko padaju ispod 0°C, što smanjuje potrebu za energijom za grijanje u usporedbi s kontinentalnim područjima poput Delnica. Međutim, energetske zahtjevi za hlađenje zgrade bit će veći tijekom ljetnih mjeseci, jer ljetne temperature u Rijeci često prelaze 30°C. Utjecaj morske klime može ublažiti ekstremne temperature, no energetske troškovi hlađenja ostat će značajni. Kao i u Delnicama, očekuje se da potreba za pripremom potrošne tople vode neće značajno varirati tijekom godine. Na slici 14 prikazana je pozicija građevine na predloženoj lokaciji.





Slika 14. Orijentacija građevine u Rijeci s obzirom na strane svijeta

Obje građevine imaju identičnu položaj s obzirom na strane svijeta. Orijentirane su na način da im oktogonalna os ima blagi otklon na jugozapad, odnosno sjeveroistok. Na slici 15 prikazana su pročelja predmetnih građevina.



Slika 15. Pročelja predmetne građevine

#### 4.2. Proračun potrebne energije pomoću softvera KI-Expert

Postupak započinjemo ispunjavanjem osnovnih fizikalnih parametara vezanih za građevinu te odabiremo mjerodavnu meteorološku postaju. Odabrani mjerodavni meteorološki podaci vezani za odabrane lokacije uzeti su iz meteoroloških postaja u Ogulinu (za lokaciju u Delnicama) te u Rijeci. Na slici 16 je prikazan izgled sučelja pri odabiru mjerodavnih klimatskih podataka.



Slika 16. Sučelje za odabir klimatskih podataka

Sljedeći korak je unošenje podataka vezanih za samu građevinu. Potrebno je definirati fizikalne parametre građevine kako bih se definirala kondicionirana zona. Zona je definirana kada su uneseni parametri koji određuju namjenu građevine te vrstu prostora unutar kondicionirane zone. Unošenjem tih podataka definiraju se propisane projektne temperature u sezoni grijanja i u se zoni hlađenja, te vrijeme rada mehaničkih sustava u građevini. Također je potrebno definirati ukupnu neto površinu grijane zone, bruto volumen i površinu iste, te broj i prosječnu visinu etaža kondicionirane zone. Na slici 17 prikazano sučelje kod unošenja navedenih parametara.

Svojstva	
Poštanski broj	
Mjesto	Rijeka
Katastarska čestica	/
Katastarska općina	Zamet
Nova zgrada	Da
Namjena zone	Nestambeni dio
Zgrada gotovo nulte energije	Da
Namjena nestambene zgrade	Zgrade za obrazovanje
Vrsta zgrade	Zgrade za obrazovanje
A	1347,50
Ve	1305,23
V	991,97
Ak	367,38
Ak'	367,38
Broj etaža	1
Prosječna visina etaže	3,00
Af	430,00
f0	1,03
Korisnički unos V	Ne
Bruto površina	432,55
Ukupna površina pročelja	917,50
Površina prozora	94,90
Učesće otvora	10,34
Vrsta prostora	Obrazovne zgrade
θ <sub>int,set,H</sub>	20,00
θ <sub>int,set,C</sub>	24,00
θ <sub>e,mj,max</sub>	24,30
θ <sub>e,mj,min</sub>	5,90
φ <sub>e</sub>	63,00
φ <sub>i</sub>	50,00
Vrijeme rada sustava	Vrtići
Period korištenja	08:00 - 18:00
Period korištenja mech	07:00 - 18:00
d use,tj	5,00
t d	13,00
t kor	11,00
t v,mech	13,00
V A	10,00
Način grijanja	Centralno
Način grijanja PTV	Centralno
Način hlađenja	Etažno
Vrsta obnovljive energije	Odabir u posebnom panelu...
Proračun plošne mase	Ne
m'	146,86
Masivnost konstrukcije	Srednje teška zgrada, plošna masa zidova 400 >= m' > 250 kg/m2
Cm	70950000,00
Chk:UdioObnovljiveEnergijeIspunjen	False
Opći podaci o projektu	

Slika 17. Sučelje za unos opisnih parametara predmetne građevine

Najvažniji korak u pri definiranju zone je pravilno definiranje oplošja kondicionirane zone. Oplošje ili toplinska ovojnica građevine, sastoji se od građevnih dijelova oplošja i otvora na toplinskoj ovojnici. Građevni dijelovi oplošja predstavljaju konstrukcijske dijelove građevine koji razdvajaju grijani prostor od vanjskog zraka ili tla. Definiraju se na način da se odabere vrsta građevnog dijela, te se zatim unose slojevi materijala koji tvore isti. Građevni dijelovi koji tvore toplinsku ovojnicu kondicionirane zone moraju zadovoljavati maksimalni koeficijent prolaska topline  $U_{MAX}$  (izražen u  $W/m^2K$ ) koji je propisan tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Potrebno je unesti površine svako pojedinačnog građevnog dijela s obzirom na orijentaciju građevine. Izgled sučelja prikazan je na slici 18.

Popis građevnih dijelova

Brzi unos

**Unos građevnog dijela:**

Naziv: P1 - Pod s podnim grijanjem na tlu

Vrsta:

4	Zidovi između grijanih dijelova različitih korisnika
5	Zidovi prema tlu
6	Stropovi između grijanih dijelova različitih korisnika
7	Podovi na tlu
8	Stropovi prema provjetranom tavanu
9	Stropovi prema negrijanim prostorijama
10	Stropovi iznad vanjskog zraka, iznad garaže
11	Podovi s podnim grijanjem na tlu
12	Stropovi s podnim grijanjem iznad vanjskog prostora
13	Kosi krovovi iznad grijanog prostora
14	Ravni krovovi iznad grijanog prostora

Površina: 430,00

**Građevni dijelovi**

#	Naziv	Vrsta	Agd	U	U(max)	fRsi	fRsi(max)
1	VZ1 - VANJSKI ZID	Vanjski zidovi	289,72	0,28	0,45	0,46	0,96
2	K1 - kosi krov	Kosi krovovi iznad grijanog pro...	532,88	0,16	0,30	0,54	0,96
4	P1 - Pod s podnim grijanje...	Podovi s podnim grijanjem na tlu	430,00	0,29	0,30	-	-

**Slojevi**

Rbr.	Materijal	Debljina	R
1	4.03 Keramičke pločice		2,200
2	3.19 Cementni estrih		6,000
3	EPS - podno grijanje		3,000
4	HOMESEAL LDS 100 AkuPlus pama brana		0,020
5	Knauf Insulation ploča za ravne krovove SmartRoof THERMAL		7,000
6	Knauf Insulation podna ploča NaturBoard TPT		5,000
7	5.01 Bitum. traka s uloškom stakl. voala		1,000
8	2.01 Amirani beton		30,000
9	6.04 Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)		30,000

Pomoć

Slika 18. Sučelje za definiranje građevnih dijelova predmetne građevine

Na isti način definiraju se i otvori na toplinskoj ovojnici građevine. Potrebno je unesti podatak o površini svakog pojedinačnog otvora te definirati postotak ostakljenja i materijal okvira. Potrebno je povezati odgovarajući otvor sa građevnim dijelom na kojem se isti nalazi. Sučelje za definiranje otvora prikazano je na slici 19.

Otvori

**Unos otvora:**

Naziv: 270/220+50

Aw: 7,26 Ug: 1,10 Uw: 1,60

Broj otvora:

I: 0,00 Z: 0,00 S: 0,00 J: 0,00

SI: 1,00 SZ: 2,00 JI: 5,00 JZ: 2,00

Naziv otvora	Ug1	Ug2	Ug	Uf	Uw1	Uw2	ΔR	n	Uw
270/220+50	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	10,00	1,60
90/60	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	8,00	1,60
90/220+50	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	2,00	1,60
280/220+50	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	1,00	1,60
80/220	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	2,00	1,60
90/220	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	1,00	1,60

**deklarirani otvor**

01. Osnovni podaci

Id: 1

Naziv: 270/220+50

Tip otvora: Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozračni elementi pročelja

Materijal okvira: Metal

Tip ostakljenja: Dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije (Low-E

e: 0,40

g±: 0,60

Kut nagiba: 90

Približna plošna masa: 25,00

Uf: 2,90

Ug (max): 1,40

Ug: 1,10

Uw (max): 1,80

Uw: 1,60

02. Broj otvora po strani svijeta

Istok: 0,00

Zapad: 0,00

Sjever: 0,00

Jug: 0,00

Sjevero-istok: 1,00

Sjevero-zapad: 2,00

Jugo-istok: 5,00

Jugo-zapad: 2,00

Ukupno otvora: 10,00

03. Podaci površine otvora

Dio oplošja: Da

Udio ostakljenog dijela otvora: Da

Ag: 5,81

Af: 1,45

Aw: 7,26

Σ(Aw): 72,60

Udio ostakljenja: 80,00

04. Pročelje

Dio pročelja: Da

Dio negrijanog pročelja: Ne

05. Važnost prostorije

Građevni dio: VZ1 - VANJSKI ZID

10. Zaslona

Vrsta zaslona: Naprava s vanjske strane žaluzine, rolete, kapci (škure, grije)

Slika 19. Sučelje za definiranje otvora na ovojnici grijane/hlađene površine predmetne građevine

Potrebno je definirati i korekciju koeficijenta prolaska topline na spojevima građevnih dijelova koji se nazivaju toplinski mostovi. Odabire se paušalni dodatak UMT [W/m<sup>2</sup>K] koji odgovara vrsti građevine. Ponuđene su četiri vrste paušalnih dodataka:

- UMT=0,10 [W/m<sup>2</sup>K] – paušalni dodatak kada toplinski mostovi nisu u normi,
- UMT= 0,05 [W/m<sup>2</sup>K] – paušalni dodatak kada su svi toplinski mostovi u normi (usklađeni sa prilogom D tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti),
- UMT=0,02 [W/m<sup>2</sup>K] – paušalni dodatak za toplinske mostove u niskoenergetskoj zgradi,
- UMT=0,01 [W/m<sup>2</sup>K] – paušalni dodatak za toplinske mostove u pasivnoj zgradi.

U našem slučaju odabiremo paušalni dodatak za toplinske mostove iz norme, s obzirom na dobivene informacije od nadležnog projektanta.

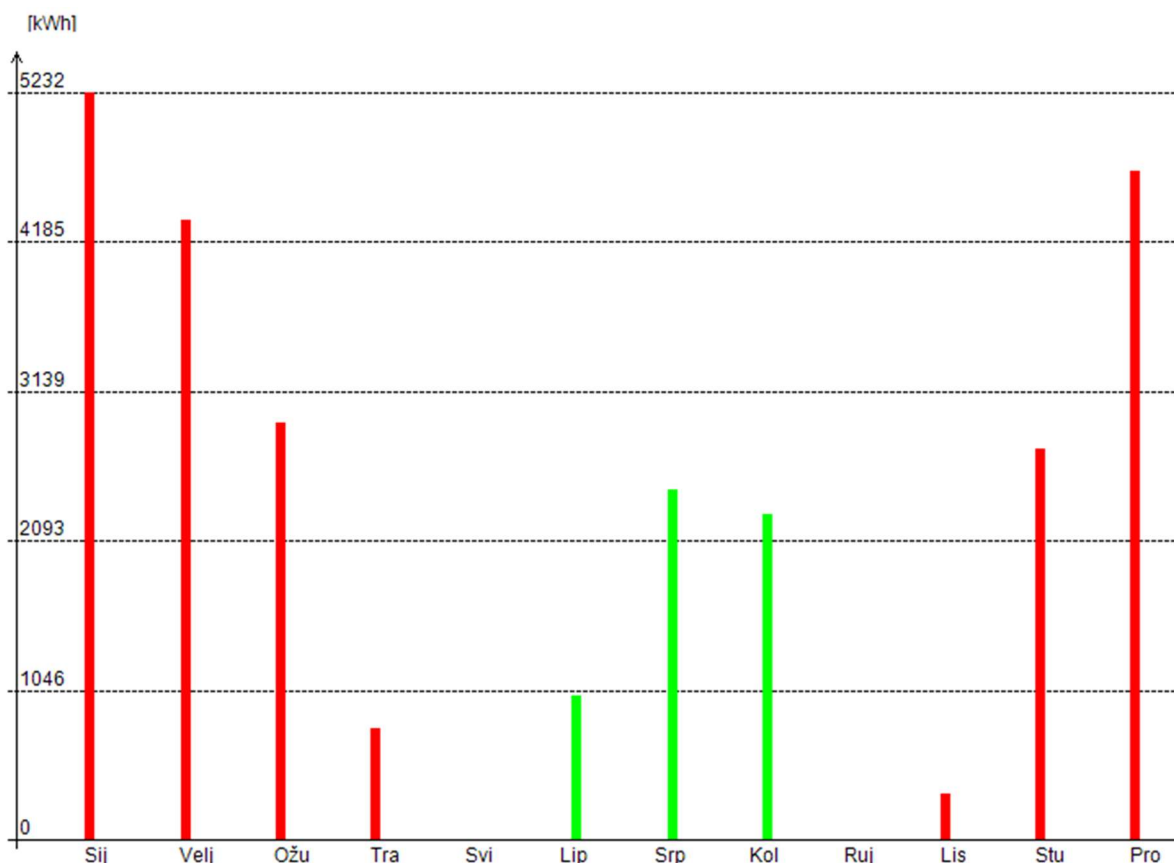
### 4.3. Rezultati proračuna potrebne energije

U tablici 2 prikazani su Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje za lokaciju građevine u Rijeci, prema poglavlju VII. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, za zgradu grijanu na temperaturu 18°C ili više.

Tablica 2. Rezultati proračuna potrebne energije za građevinu u Rijeci

Oplošje grijanog dijela zgrade	$A = 1347,50 \text{ [m}^2\text{]}$
Obujam grijanog dijela zgrade	$V_e = 1305,23 \text{ [m}^3\text{]}$
Faktor oblika zgrade	$f_o = 1,03 \text{ [m}^{-1}\text{]}$
Ploština korisne površine grijanog dijela	$A_k = 367,38 \text{ [m}^2\text{]}$
Proračunska ploština korisne površine grijanog dijela	$A_{k'} = 367,38 \text{ [m}^2\text{]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje	$Q_{H,nd} = 21038,61 \text{ [kWh/a]}$
Godišnja potrebna energija za hlađenje	$Q_{C,nd} = 5752,70 \text{ [kWh/a]}$
Ukupna isporučena energija	$E_{del} = 34392,78 \text{ [kWh/a]}$

Na dijagramu 1 vidimo prikazanu potrebnu energiju za grijanje (crvena boja) i hlađenje (zelena boja) po mjesecima.



Dijagram 1. grafički prikaz potrebne energije za grijanje i hlađenje za građevinu u Rijeci

U tablici 3 su iskazani točni iznosi u kWh potrebne energije za grijanje i hlađenje na mjesečnoj bazi.

Tablica 3. Mjesečni iznosi potrebne energije za grijanje i hlađenje za građevinu u Rijeci

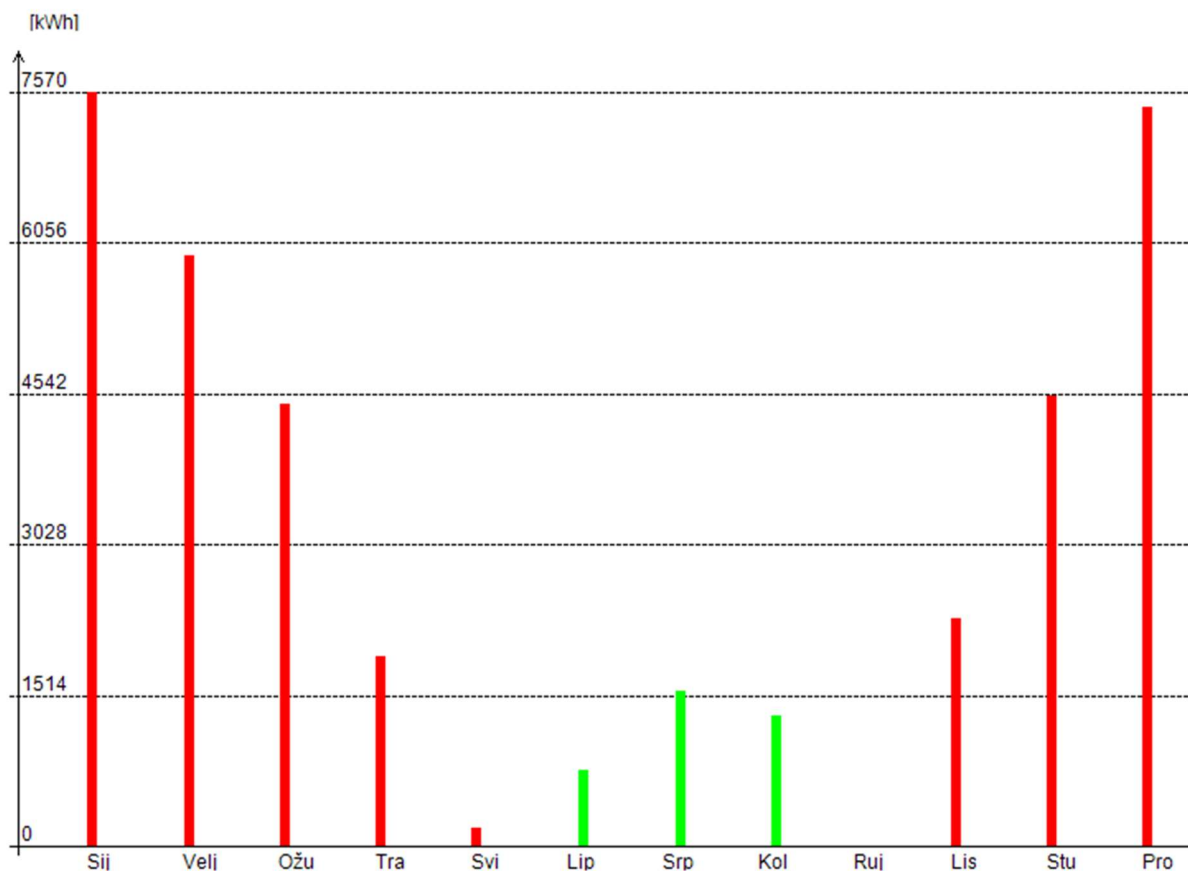
Mjeseci	Potrebna energija za grijanje	Potrebna energija za hlađenje
Siječanj	5231,54	0,00
Veljača	4339,45	0,00
Ožujak	2923,88	0,00
Travanj	788,58	0,00
Svibanj	0,00	0,00
Lipanj	0,00	1012,96
Srpanj	0,00	2459,74
Kolovoz	0,00	2280,00
Rujan	0,00	0,00
Listopad	325,64	0,00
Studeni	2739,13	0,00
Prosinac	4690,39	0,00
UKUPNO	21038,61	5752,70

U tablici 4 prikazani su rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje za lokaciju građevine u Delnicama, prema poglavlju VII. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, za zgradu grijanu na temperaturu 18°C ili više.

Tablica 4. Rezultati proračuna potrebne energije za građevinu u Delnicama

Oplošje grijanog dijela zgrade	$A = 1347,50 \text{ [m}^2\text{]}$
Obujam grijanog dijela zgrade	$V_e = 1305,23 \text{ [m}^3\text{]}$
Faktor oblika zgrade	$f_o = 1,03 \text{ [m}^{-1}\text{]}$
Ploština korisne površine grijanog dijela	$A_k = 367,38 \text{ [m}^2\text{]}$
Proračunska ploština korisne površine grijanog dijela	$A_{k'} = 367,38 \text{ [m}^2\text{]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje	$Q_{H,nd} = 34343,42 \text{ [kWh/a]}$
Godišnja potrebna energija za hlađenje	$Q_{C,nd} = 3649,20 \text{ [kWh/a]}$
Ukupna isporučena energija	$E_{del} = 45594,09 \text{ [kWh/a]}$

Na dijagramu 2 vidimo prikazanu potrebnu energiju za grijanje (crvena boja) i hlađenje (zelena boja) po mjesecima.



Dijagram 2. grafički prikaz potrebne energije za grijanje i hlađenje za građevinu u Delnicama



U tablici 5 su iskazani točni iznosi u kWh potrebne energije za grijanje i hlađenje na mjesečnoj bazi.

Tablica 5. Mjesečni iznosi potrebne energije za grijanje i hlađenje za građevinu u Delnicama

Mjeseci	Potrebna energija za grijanje	Potrebna energija za hlađenje
Siječanj	7570,31	0,00
Veljača	5945,18	0,00
Ožujak	4452,70	0,00
Travanj	1918,39	0,00
Svibanj	191,07	0,00
Lipanj	0,00	772,71
Srpanj	0,00	1562,19
Kolovoz	0,00	1314,30
Rujan	0,00	0,00
Listopad	2302,23	0,00
Studeni	4532,51	0,00
Prosinac	7431,04	0,00
UKUPNO	34343,43	3649,20

Rezultati proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje na dvjema navedenim lokacijama potvrđuju očekivane trendove vezane uz klimatske razlike između tih regija. U Gorskoj Hrvatskoj, koja je obilježena oštrom kontinentalnom klimom s hladnim zimama, utvrđena je znatno veća potrošnja energije za grijanje. Prosječne zimske temperature u ovoj regiji zahtijevaju kontinuiranu i intenzivnu upotrebu sustava grijanja. Nasuprot tome, u Primorskoj Hrvatskoj, koja ima mediteransku klimu s toplim ljetima i blagim zimama, potreba za energijom za hlađenje značajno je viša tijekom ljetnih mjeseci. Zbog viših ljetnih temperatura, zgrade u primorskim područjima zahtijevaju veće korištenje rashladnih sustava. Ukupna količina potrebne energije, kada se zbroje potrebe za grijanje, hlađenje i pripremu tople vode, veća je u Gorskoj Hrvatskoj. Glavni razlog tome je izrazito veća potrošnja energije za grijanje, koja premašuje povećanu potrebu za hlađenjem u Primorskoj Hrvatskoj, čime se potvrđuje da klimatske karakteristike regije snažno utječu na energetske potrošnje zgrada.

## **5. Modeliranje fotonaponske elektrane pomoću softvera PV SOL**

PV SOL je dinamički softverski alat namijenjen za simulaciju, dizajn i optimizaciju fotonaponskih sustava. Razvijen od strane tvrtke Valentin Software, PV SOL se koristi za analizu performansi fotonaponskih sustava, uzimajući u obzir faktore poput zasjenjenja, orijentacije modula, klimatskih uvjeta i složenih energetskih tokova. Alat omogućava korisnicima simulaciju kako klasičnih mrežno spojenih sustava, tako i onih s baterijskom pohranom, uz detaljne izračune učinkovitosti sustava i financijskih pokazatelja kao što su povrat investicije (ROI) i amortizacija. Softver nudi dvije glavne verzije: PV SOL i PV SOL premium. Standardna verzija koristi 2D analize zasjenjenja i omogućuje osnovnu konfiguraciju modula i analizu gubitaka u sustavu. Premium verzija nudi napredne funkcije poput 3D simulacija s detaljnim analizama zasjenjenja, što omogućava preciznije predviđanje utjecaja okolišnih uvjeta na performanse PV sustava. Ključne značajke PV SOL-a uključuju simulaciju baterija, integraciju punionica za električna vozila, te mogućnost izvoza izvještaja i rezultata u različitim formatima (PDF, Excel, DXF). Softver koristi podatke o klimatskim uvjetima iz baza podataka kao što su Meteororm i PVGIS, čime omogućuje detaljno modeliranje lokalnih uvjeta koji utječu na rad sustava. Korištenjem ovih podataka, korisnici mogu precizno optimizirati dimenzioniranje i energetsku proizvodnju sustava za različite vrste aplikacija, bilo da se radi o stambenim ili komercijalnim projektima. [24]

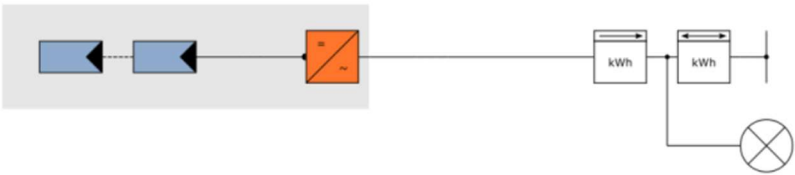
### **5.1. Postupak modeliranja fotonaponske elektrane pomoću softvera PV SOL**

Prvi korak u dizajniranju sustava je određivanje tipa elektrotehničkog sustava u kojem će se nalaziti fotonaponska elektrana. U ovom slučaju se radi o fotonaponskom sustavu unutar elektroinstalacije sa vlastitom potrošnjom koji višak proizvedene električne energije predaje u mrežu te iz iste uzima energiju kada fotonaponska elektrana ne proizvodi dovoljno energije da zadovolji potražnju sustava. Može se reći da se u ovakvom slučaju mreža koristi kao baterija. U ovom koraku također je potrebno odabrati tip dizajna građevine unutar simulacije, lokaciju građevine i parametre elektroenergetskog sustava u kojem se nalazi fotonaponska elektrana (trofazni sustav sa nazivnim naponom od 230 V). Na slici 20 prikazan je sučelje za navedeni korak.

## System Type, Climate and Grid

Type of System

3D, Grid-connected PV System with Electrical Appliances



Type of Design

Use 3D Design

Time step of simulation

1 Hour (faster simulation)  
 1 Minute (more precise simulation)

Climate Data

Country: Croatia Location: Ogulin (2001-2020, Meteornorm 8.2)

Latitude	45° 15' 35" (45,26°)	Annual sum of global irradiation	1248 kWh/m <sup>2</sup>
Longitude	15° 13' 48" (15,23°)	Annual Average Temperature	11,7 °C
Time zone	UTC+1		
Time Period	2001 - 2020		
Source	Meteornorm 8.2		

Simulation Parameters

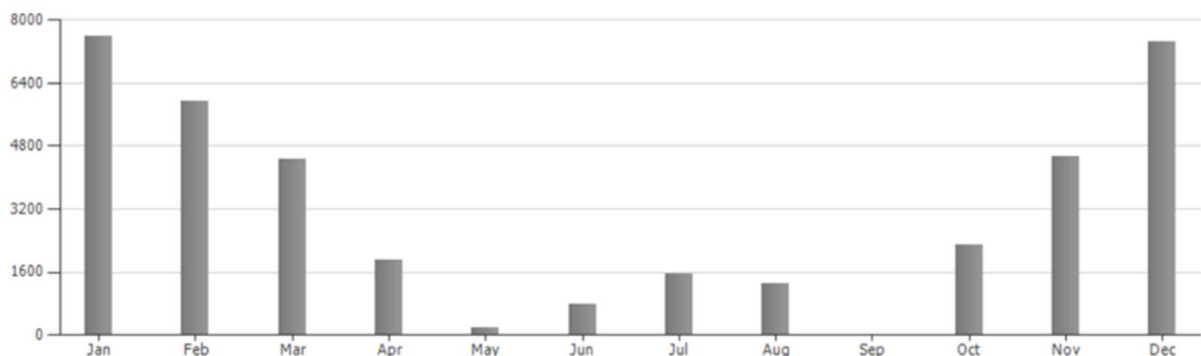
AC Mains

Enter

Voltage (N-L1)	230 V
Number of Phases	3-phase
cos φ	1
Maximum Feed-in Power Clipping	No

Slika 20. Prikaz sučelja softvera PV SOL premium

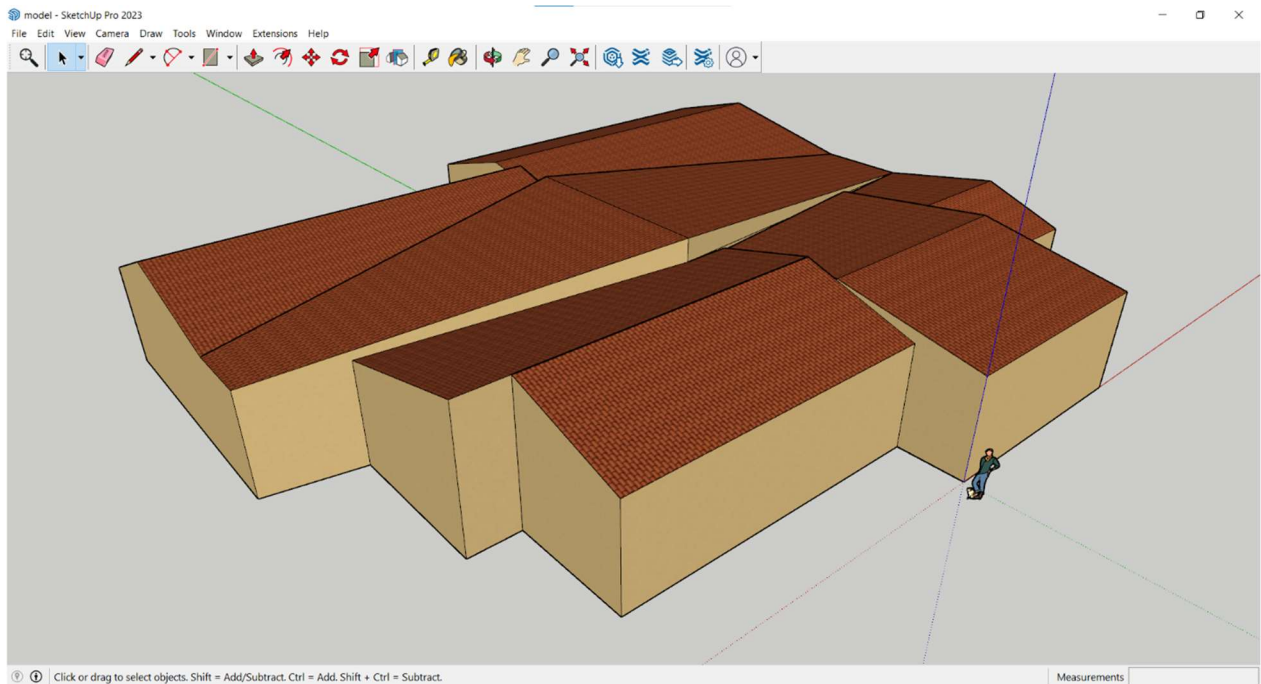
Nakon što su se definirale osnovne značajke elektrane, u slijedećem koraku definira se godišnja potrošnja građevine. PV\*SOL Premium nam omogućava da ručno unošnje potrošnje za svaki mjesec te mogućnost odabira dnevnog profila potrošnje energije. Električna energija kod predmetne građevine koristi se od ponedjeljka do petka u periodu od 7:00 do 18:00. U godišnju potrošnju spada energija potrebna za grijanje, hlađenje i rasvjetu prostora. Unesenu godišnju potrošnju možemo vidjeti prikazanu na dijagramu 3. Izražena je u kWh po mjesecu.



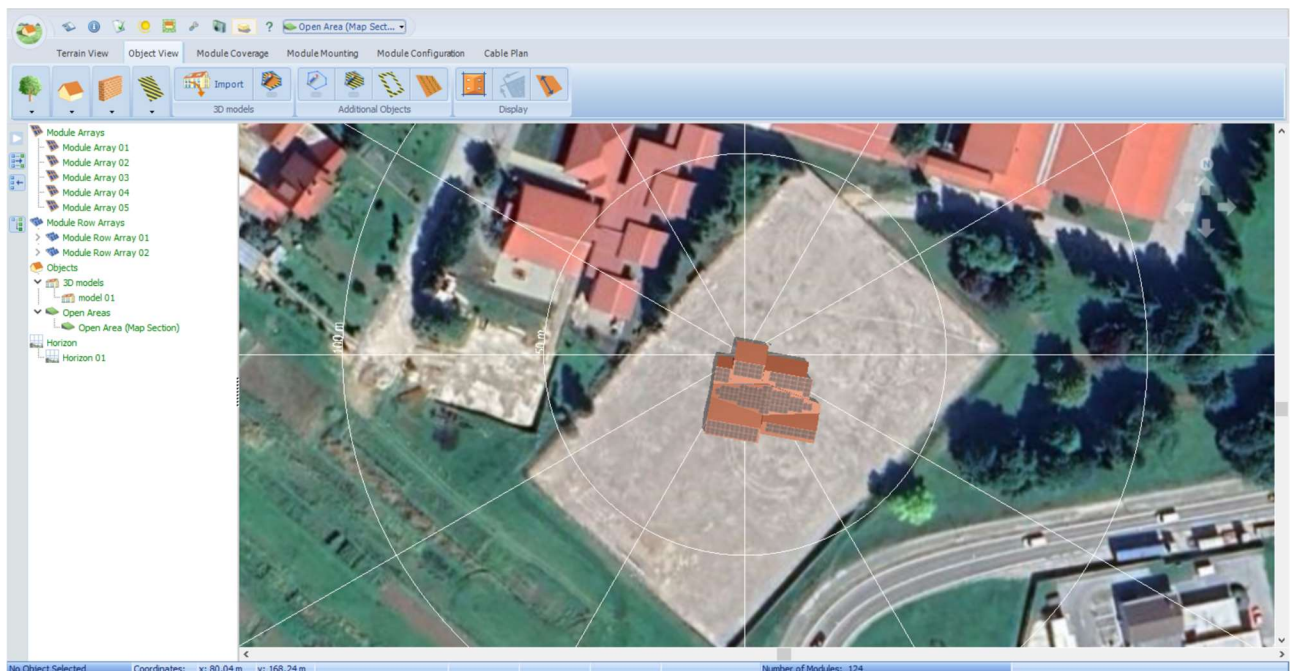
Dijagram 3. Godišnja potrošnja potrebne energije po mjesecima izražena u kWh

Treći korak je 3D modeliranje građevine za koje je korišten softver SketchUp. Simulacijski softver PV SOL premium ima mogućnost da se 3D model može direktno iz softvera za modeliranje uvesti u simulacijski softver, što štedi vrijeme i povećava točnost same simulacije. Nakon uvoza 3d modela isti je potrebno orijentirati s obzirom

na već odabranu poziciju. Na slikama 21 i 22 prikazana su sučelja pri modeliranju u softveru SketchUp i pozicioniranje modela građevine u softveru PV SOL.



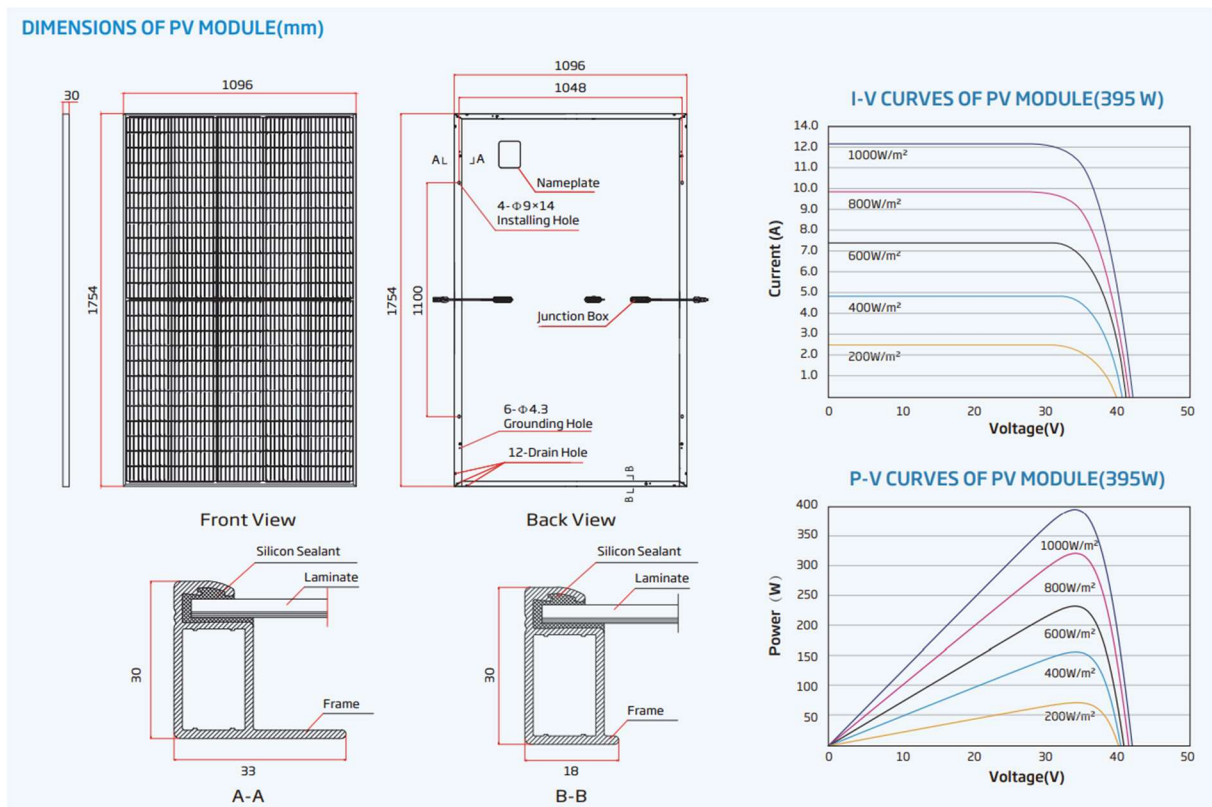
Slika 21. Modeliranje građevine u softveru SketchUp



Slika 22. Orijentacija uvezenog 3D modela na odabranoj lokaciji u softveru PV SOL

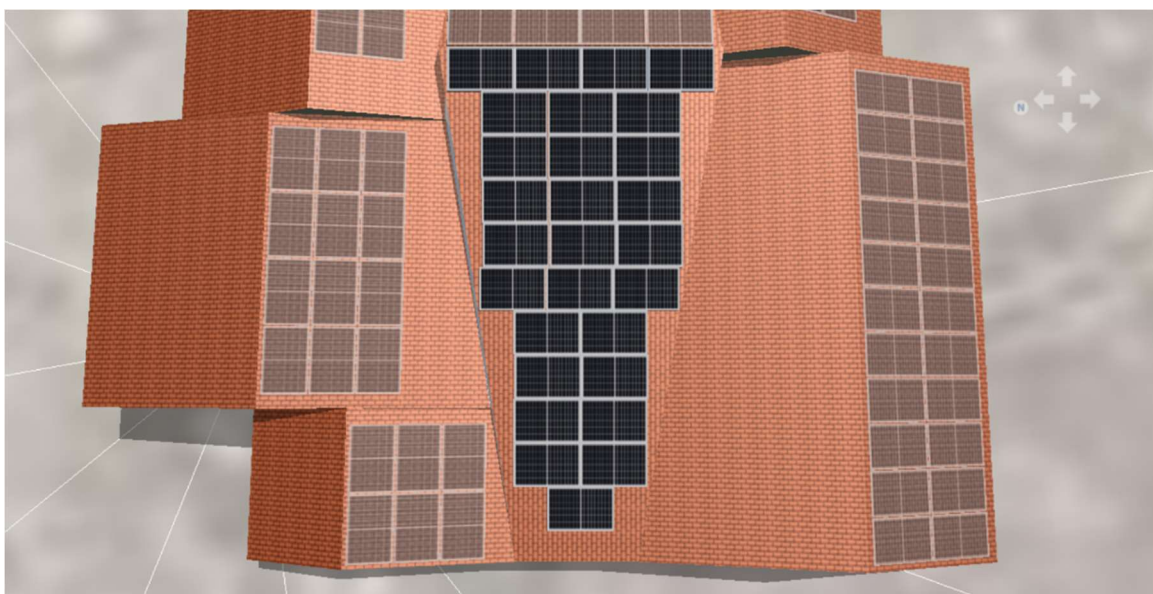
Nakon što je građevina pozicionirana na željene koordinate te joj je određena orijentacija, slijedi postavljanje fotonaponskih modula na krovšte objekta. Program sadrži bazu podataka sa ogromnim brojem fotonaponskih modula dostupnih na tržištu. Modul se odabire s obzirom na cijenu, dimenzije, snagu i kvalitetu. Odabran je

fotonaponski modul proizvođača Trina, model Vertex S sa snagom od 400 W. Na slici 23 prikazan je tehnički list odabranog fotonaponskog modula.



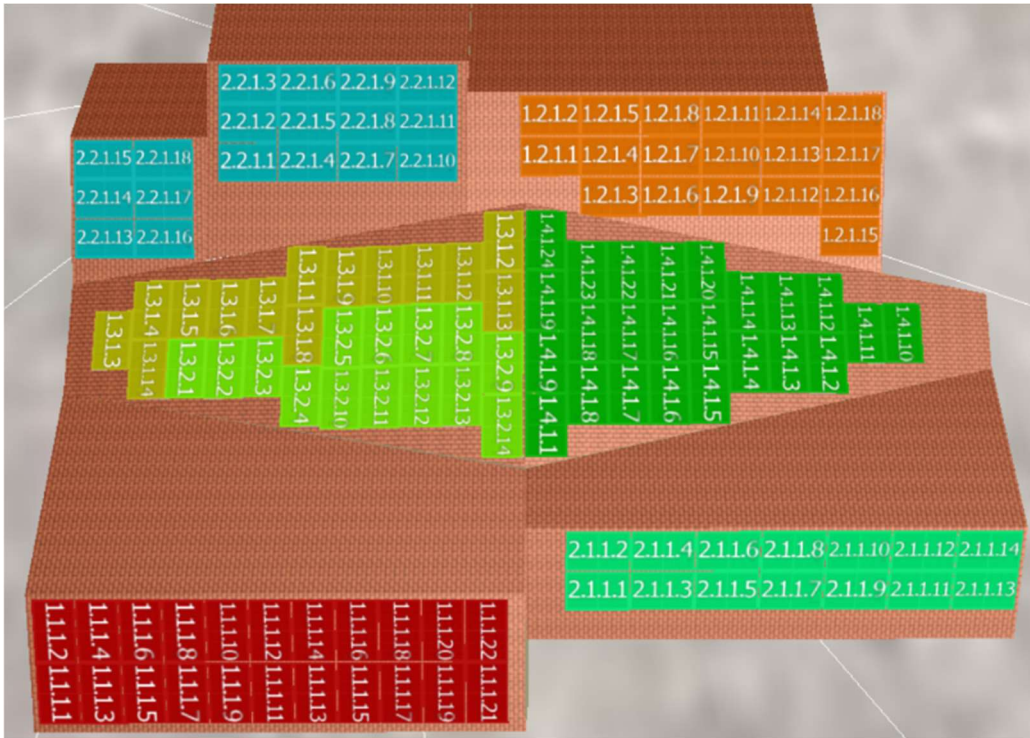
Slika 23. Tehnički list odabranog fotonaponskog modula

Nakon odabira fotonaponskog modula iz baze podataka, isti se pomoću programskog alata pozicionira na krov predmetne građevine. Odabrani su dijelovi krovišta orijentirana prema jugu, istoku i zapadu, kako bi dobili optimalnu proizvodnju tokom dana. Na slici 24 prikazano sučelje za pozicioniranje fotonaponskih modula.



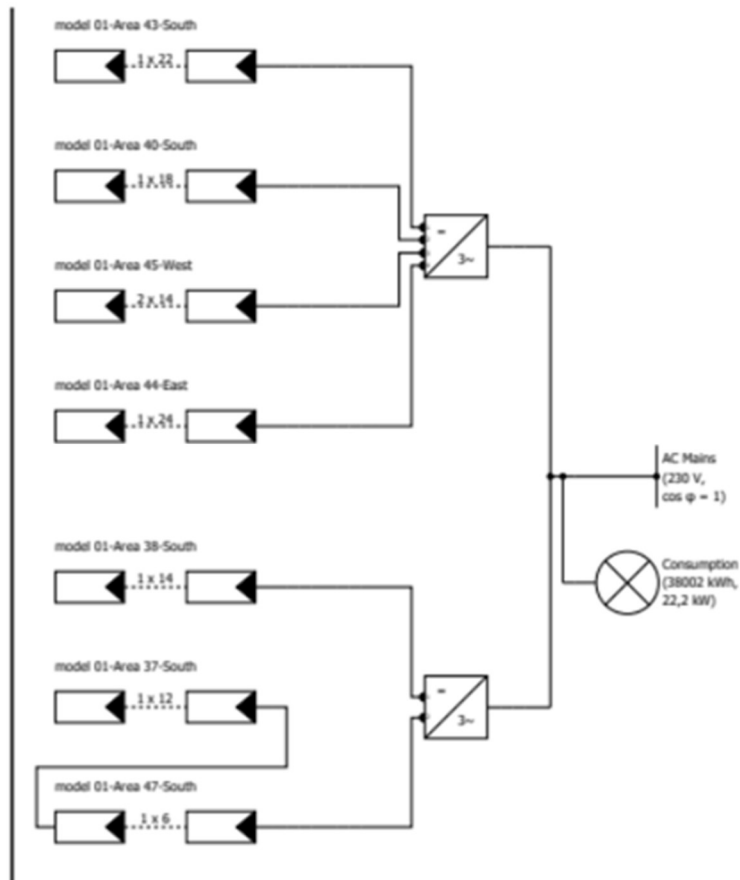
Slika 24. Pozicioniranje fotonaponskih modula na krovšte predmetne građevine

Nakon pozicioniranja modula potrebno je napraviti konfiguraciju fotonaponskog sustava u smislu odabira izmjenjivača i rasporeda panela u nizove. Naime električna energija na izlazu iz fotonaponskih modula je u DC obliku, izmjenjivač je elektronički sklop koji će istosmjerni napon dobiven spajanjem fotonaponskih modula u seriju pretvoriti u izmjenični napon koji se može iskoristiti u objektu ili predati u elektroenergetsku mrežu. Izmjenjivač se odabire s obzirom na snagu elektrane i raznolikost nagiba polja fotonaponskih modula. Svaki izmjenjivač ima ograničen broj istosmjernih ulaza, a broj modula spojenih u seriju na svaki od ulaza definiran je od strane nazivnog napona modula i maksimalnog napona istosmjernog ulaza izmjenjivača. Istosmjerni ulazi na izmjenjivačima grupirani su u MPPT-e (Maximum Power Point Tracking) svaki od MPPT-a ima nekoliko istosmjernih ulaza koji sadrže po jedan niz fotonaponskih modula. Svi nizovi na istoimenom MPPT-u moraju biti jednakog broja fotonaponskih modula i jednakog nagiba, u suprotnom će niz s više panela i boljim nagibom biti ograničen sa nizom s manje panela i lošijim nagibom. S obzirom na snagu elektrane i broj različitih nagiba odabiru se 2 izmjenjivača austrijskog proizvođača Fronius International modeli su Fronius Verto 33.3 i Fronius Symo 12.5-3M. Fronius Verto 33.3 ima nazivnu snagu od 33,3 kW i 4 MPPT-a od kojih svaki ima po 2 istosmjerna ulaza. Fronius Symo 12.5-3M ima nazivnu snagu od 12,5 kW i 2 MPPT-a koja sadrže po 3 istosmjerna ulaza. Sustav se sastoji od 124 fotonaponska modula čija ukupna vršna snaga iznosi 49,6 kWp dok kombinirana snaga oba izmjenjivača iznosi 45,8 kW. Svi elektrotehnički proračuni odrađeni su unutar softvera PV SOL koji kroz simulaciju potvrđuje da je sustav ispravno konfiguriran, odnosno da je broj panela u nizovima ispravno odabran te da su zadovoljeni svi strujno-naponski uvjeti. U slučaju da uvjeti nisu zadovoljeni softver ne dozvoljava da se pokrene simulacija. Na slici 25 prikazana je konfiguracija i raspored fotonaponskih modula. Prvi broj u oznaci modula označava izmjenjivač, drugi broj označava MPPT, treći broj označava istosmjerni ulaz, a četvrti broj označava modul. Npr. 1.2.1.5. označava modul broj 5 spojen na prvi ulaz drugog MPPT-a na izmjenjivaču br. 1.



Slika 25. Konfiguracija i raspored fotonaponskih modula

Nakon što je sustav ispravno konfiguriran simulacija je izradila gotovu elektrotehničku shemu sustava.



Slika 26. Elektrotehnička shema fotonaponskog sustava

Zadnji korak je unos financijskih parametara za financijsku analizu. Potrebno je ustanoviti cijenu kWh u smjeru preuzimanja iz mreže. Pretpostavljamo da je priključno mjerno mjesto kategorizirano kao poduzetništvo s priključnom snagom većom od 20 kW, što prema tablici X preuzetoj stranica HEP-a spada pod tarifni model „Crveni“. [25]

Tablica 6. Tarifni modeli za kategoriju poduzetništvo  
Izvor: <https://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/tarifne-stavke-cijene-1578/1578>

Kategorija/ naponska razina		Tarifni model	Tarifni element			
			Radna energija			Naknada za opskrbu
			JT	VT	NT	
			[EUR/kWh]	[EUR/kWh]	[EUR/kWh]	[EUR/m]
		Tarifne stavke				
Poduzetništvo	Visoki napon	Bijeli	-	0,145400	0,085600	4,645
	Srednji napon	Bijeli	-	0,138200	0,081300	4,645
	Niski napon	Plavi	0,134500	-	-	4,645
		Bijeli	-	0,154900	0,091100	4,645
		Crveni	-	0,135000	0,079400	4,645
		Žuti (javna rasvjeta)	0,105300	-	-	0,000

Kako bih financijska analiza bila potpuna potrebno je odrediti cijenu kWh u smjeru predaje u mrežu. Ista se određuje prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji kojim su dane dvije formule.

$$C_i = 0,9 * PKC_i \quad (10),$$

ili

$$C_i = 0,9 * PKC_i * E_{pi}/E_{ii} \quad (11)$$

Gdje su :

- $E_{pi}$  – Ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca, izražena u kWh.
- $E_{ii}$  – Ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane kupca, izražena u kWh.
- $PKC_i$  – Prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu energiju, izražena u EUR/kWh.

Prva formula se koristi ako je količina preuzete energije iz mreže veća ili jednaka količini isporučene energije, dok se druga koristi u suprotnom slučaju. [26]



S obzirom na navedene formule, odabire se obračunsko razdoblje kada vrijedi  $E_{pi} > E_{ii}$ . Kako bih se odredila varijabla  $PK_{Ci}$  uzima se prosjek iznosa iz tablice 6 koji iznosi  $(0,135 + 0,0794) / 2 = 0,1072$  €/kWh. Nakon što varijablu  $PK_{Ci}$  ubacimo u mjerodavnu formulu dobivamo rezultat  $C_i = 0,09648$  €.

Za simuliranu fotonaponsku elektranu pretpostavlja se cijena investicije od 1.000,00 €/kWh, dok se za razdoblje amortizacije promatra period od 20 godina. Cijenu električne energije u smjeru predaje u mrežu unosi se pod stavku „Feed-in Tariff“, u smjeru preuzimanja iz mreže pod „From-grid Tariff“. Na slici 27 prikazano je sučelje za unos podataka za financijsku analizu simulirane fotonaponske elektrane. Nakon ovog koraka pokreće se simulacija fotonaponske elektrane.

Slika 27. Sučelje za unos podataka za financijsku analizu simulirane fotonaponske elektrane

## 5.2. Prikaz rezultata simulacije fotonaponskih elektrana

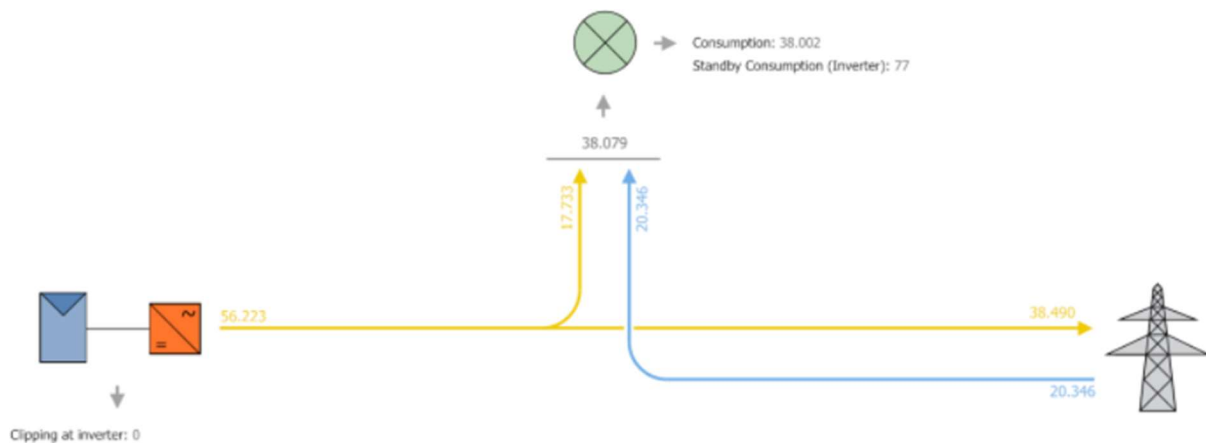
Nakon dovršene simulacije za lokaciju u Delnicama dobiveni su sljedeći rezultati:

- Spec. godišnji prinos: 1117,12 kWh/kWp
- Smanjenje prinosa zbog zasjenjenja: 1,3 %
- Energija FN generatora (AC mreža): 55486 kWh/Godina
- Vlastita potrošnja: 18756 kWh/Godina
- Izvoz u mrežu: 36731 kWh/Godina
- Vlastita potrošnja: 33,7 %

Sljedeći rezultati prikazuju podatke vezane za pokrivenost potrebne energije građevine za grijanje i hlađenje, potrebne energije za instaliranu rasvjetu i uređaje, te rad invertera sustava na godišnjoj razini.

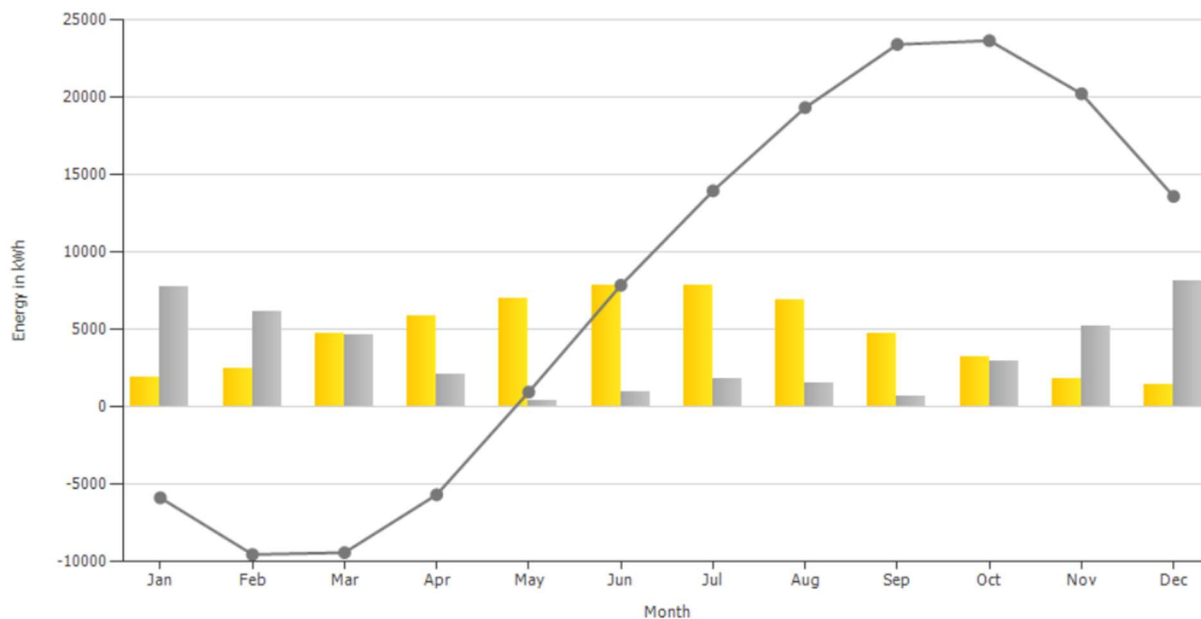
- Potrebna energija: 41839 kWh/Godina
- Potrošnja u stanju pripravnosti (inverter): 77 kWh/Godina
- Ukupna potrošnja: 41916 kWh/Godina
- Pokriveno FN energijom: 18756 kWh/Godina
- Pokriveno iz mreže: 23161 kWh/Godina
- Udio solarne energije: 44,7 %

Rezultati su jasnije prikazani kroz sljedeću sliku 28 koja prikazuje shematski prikaz energetske bilance simuliranog fotonaponskog sustava.



Slika 28. Shematski prikaz energetske bilance fotonaponske elektrane u Delnicama

Dijagram 4 koji prikazuje godišnju potrošnju i proizvodnju energije na mjesečnoj bazi izražene u kWh. U sivoj boji prikazan je potrebna energija za grijanje, hlađenje, rasvjetu i instalirane uređaje, dok je u žutoj boji prikazana proizvodnja energije pomoću fotonaponskog sustava. Aproximirana sinusoida prikazuje trend ukupne godišnje energije na lokaciji.



Dijagram 4. Godišnju potrošnju i proizvodnju energije na mjesečnoj bazi za lokaciju u Delnicama

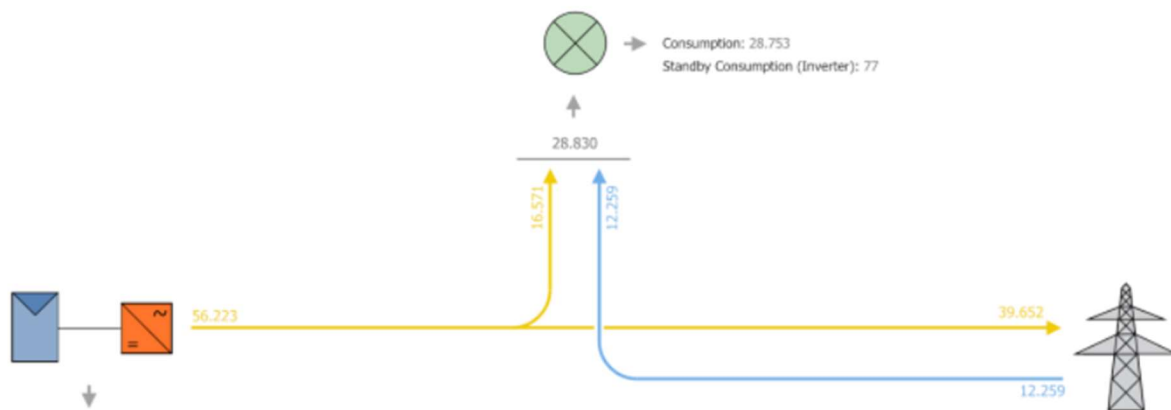
Nakon dovršene simulacije za lokaciju u Rijeci dobiveni su sljedeći rezultati:

- Spec. godišnji prinos: 1131,97 kWh/kWp
- Smanjenje prinosa zbog zasjenjenja: 2,5 %
- Energija FN generatora (AC mreža): 56223 kWh/Godina
- Vlastita potrošnja: 16571 kWh/Godina
- Izvoz u mrežu: 39652 kWh/Godina
- Vlastita potrošnja: 29,4 %

Sljedeći rezultati prikazuju podatke vezane za pokrivenost potrebne energije građevine za grijanje i hlađenje, potrebne energije za instaliranu rasvjetu i uređaje, te rad invertera sustava na godišnjoj razini.

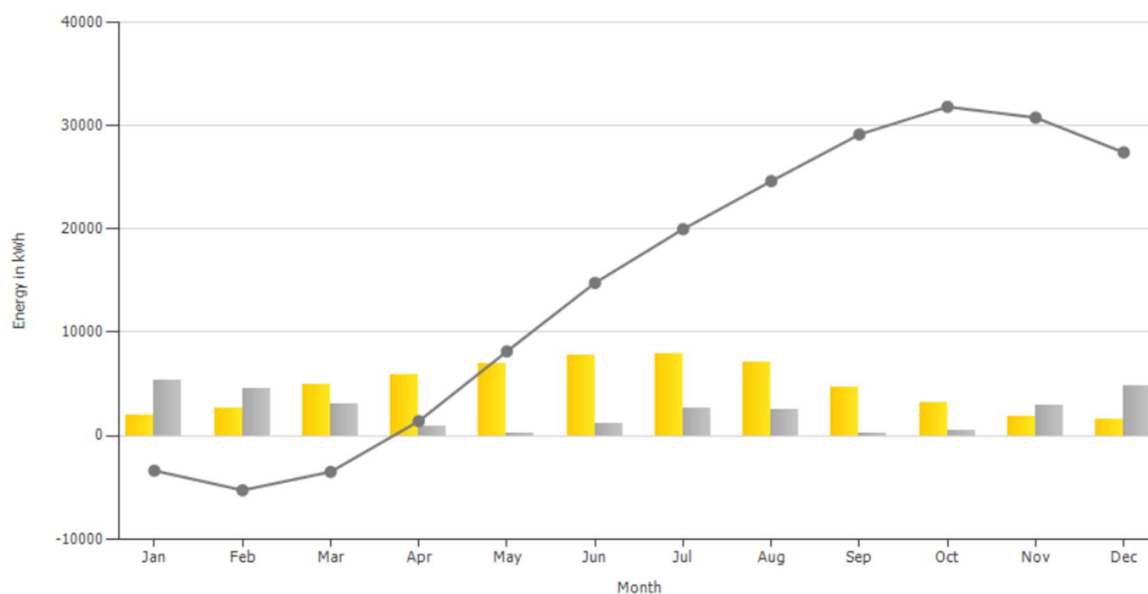
- Potrebna energija: 28753 kWh/Godina
- Potrošnja u stanju pripravnosti (inverter): 77 kWh/Godina
- Ukupna potrošnja: 28830 kWh/Godina
- Pokriveno FN energijom: 16571 kWh/Godina
- Pokriveno iz mreže: 12259 kWh/Godina
- Udio solarne energije: 57,5 %

Rezultati su jasnije prikazani kroz sliku 29 koja prikazuje shematski prikaz energetske bilance simuliranog fotonaponskog sustava.



Slika 29. Shematski prikaz energetske bilance fotonaponske elektrane u Rijeci

Dijagram 5 koji prikazuje godišnju potrošnju i proizvodnju energije na mjesečnoj bazi. U sivoj boji prikazan je potrebna energija za grijanje, hlađenje, rasvjetu i instalirane uređaje, dok je u žutoj boji prikazana proizvodnja energije pomoću fotonaponskog sustava. Aproximirana sinusoida prikazuje trend ukupne godišnje energije na lokaciji.



Dijagram 5. Godišnju potrošnju i proizvodnju energije na mjesečnoj bazi za lokaciju u Rijeci

### 5.2.1. Analiza dobivenih rezultata na lokaciji Delnice

Sezonska Promjenjivost: Proizvodnja energije fotonaponskog sustava značajno varira tijekom godine. Najveći prinos je zabilježen u razdoblju od svibnja do kolovoza, kada se najviše koristi sunčeva energija. Suprotno tome, zimi je proizvodnja značajno niža.

Potrošnja energije za grijanje, hlađenje, rasvjetu i uređaje je visoka u hladnijim mjesecima (posebno u siječnju i prosincu), što odgovara sezonskom povećanju potrošnje za grijanje. U toplijim mjesecima, potrošnja je nešto niža, osim u srpnju i kolovozu kada raste zbog potrebe za hlađenjem. Najveći nesrazmjer između proizvodnje i potrošnje energije primijećen je u zimskim mjesecima, kada je proizvodnja energije fotonaponskog sustava niska, a potrošnja visoka. Tijekom ljetnih mjeseci dolazi do viška proizvedene energije, što rezultira većim izvozom u mrežu. Iz prikazanih podataka, udio solarne energije u ukupnoj potrošnji iznosi 44,7%, što sugerira da fotonaponski sustav značajno doprinosi smanjenju potražnje za energijom iz mreže. Ukupno 18,756 kWh godišnje pokriva vlastitu potrošnju pomoću energije iz fotonaponskog sustava, dok je ostatak od 23,161 kWh pokriven iz mreže. Godišnji Energetski Prinos i Gubici: Specifični godišnji prinos sustava je 1117.12 kWh/kWp s gubicima zbog zasjenjenja od 1.3%. Ovo je važno za razumijevanje potencijala i učinkovitosti sustava u stvarnim uvjetima.

Analiza pokazuje da je fotonaponski sustav u Delnicama dobro optimiziran za maksimalnu proizvodnju tijekom sunčanih mjeseci, no postoji sezonska neravnoteža između potrošnje i proizvodnje koja može zahtijevati dodatne strategije za pohranu energije ili upravljanje opterećenjem kako bi se smanjila ovisnost o vanjskoj mreži tijekom zimskih mjeseci.

### *5.2.2. Analiza dobivenih rezultata na lokaciji Rijeka*

Proizvodnja energije fotonaponskog sustava znatno varira tijekom godine, s maksimalnim prinosom u razdoblju od svibnja do kolovoza. To se poklapa s vremenom najveće sunčeve insolacije. Tijekom zimskih mjeseci (prosinac, siječanj) proizvodnja energije drastično opada zbog smanjenja količine sunčevog zračenja. Potrošnja energije za grijanje, hlađenje, rasvjetu i uređaje je visoka u hladnijim mjesecima, posebice u prosincu i siječnju. Tijekom proljeća i ljeta potrošnja opada, osim u srpnju i kolovozu kada je potrebna energija za hlađenje. Tijekom zimskih mjeseci, kada je potrošnja energije visoka, a proizvodnja FN sustava niska, veći dio potrebne energije dolazi iz mreže. Nasuprot tome, tijekom proljetnih i ljetnih mjeseci dolazi do viška proizvedene energije koja se izvozi u mrežu. Na temelju podataka, izvoz u mrežu iznosi 39,652 kWh godišnje, dok je vlastita potrošnja 16,571 kWh. Udio solarne energije u ukupnoj potrošnji iznosi 57,5%, što ukazuje na visoku učinkovitost FN sustava u

pokrivanju energetske potrebe. Ukupno 16,571 kWh energije pokriva vlastita potrošnja FN sustava, dok je preostalih 12,259 kWh pokriveno iz mreže. Specifični godišnji prinos sustava iznosi 1,131.97 kWh/kWp uz gubitke zbog zasjenjenja od 2,5%. Ovi gubici utječu na ukupnu učinkovitost FN sustava, ali su relativno mali.

Simulacija fotonaponskog sustava na lokaciji u Rijeci pokazuje da je sustav optimalno dizajniran za ljetne uvjete visoke insolacije, s udjelom solarne energije od 57,5% u ukupnoj potrošnji. Međutim, tijekom zimskih mjeseci dolazi do značajnog smanjenja proizvodnje, što zahtijeva dodatne strategije za pohranu ili uvoz energije kako bi se nadoknadila razlika između proizvodnje i potrošnje.

FN elektrana u Rijeci pokazuje bolje ukupne performanse u smislu specifičnog godišnjeg prinosa, manjeg sezonskog nesrazmjera, većeg udjela solarne energije u ukupnoj potrošnji, te veće količine izvoza energije u mrežu. S druge strane, FN sustav u Delnicama ima veći udio vlastite potrošnje FN energije, ali pokazuje veće sezonske nesrazmjere, što bi moglo zahtijevati dodatne mjere kao što su sustavi za pohranu energije ili bolje strategije upravljanja opterećenjem kako bi se smanjila ovisnost o vanjskoj mreži tijekom zimskih mjeseci.

Rezultati ukazuju na to da je lokacija u Rijeci bolje prilagođena za FN instalacije s obzirom na veću prosječnu proizvodnju i stabilniji sezonski profil, dok Delnice mogu zahtijevati dodatnu optimizaciju kako bi postigle sličnu razinu učinkovitosti.

## 6. Analiza rezultata ekonomske uštede i smanjenja CO2

### 6.1. Analiza ekonomske isplativosti uvođenja fotonaponske elektrane u Delnicama

Potrošnja prije uvođenja fotonaponske elektrane dobiveni putem proračuna u softveru KI-Expert, a temelje se na godišnjoj potrebnoj energiji za grijanje, hlađenje, rasvjetu i pogon uređaja. Cijena 0,135 €/kWh preuzeta je od HEP-a prema tarifnom modelu za poduzetništva i sa pretpostavkom da se potrošnja odvija u dnevnom ciklusu. Potrošnja je prikazana u tablici 7.

Tablica 7. Godišnja cijena potrebne energije na lokaciji u Delnicama

Godišnja potrošnja	Jedinica mjere	Cijena [€]	Ukupna cijena [€]
45594,09	kWh	0,135	6155,20

Dobiveni iznos predstavlja trenutne troškove za električnu energiju koji bi se znatno smanjili nakon implementacije PV elektrane, jer će se dio energije proizvoditi na licu mjesta, a višak će se izvoziti u mrežu.

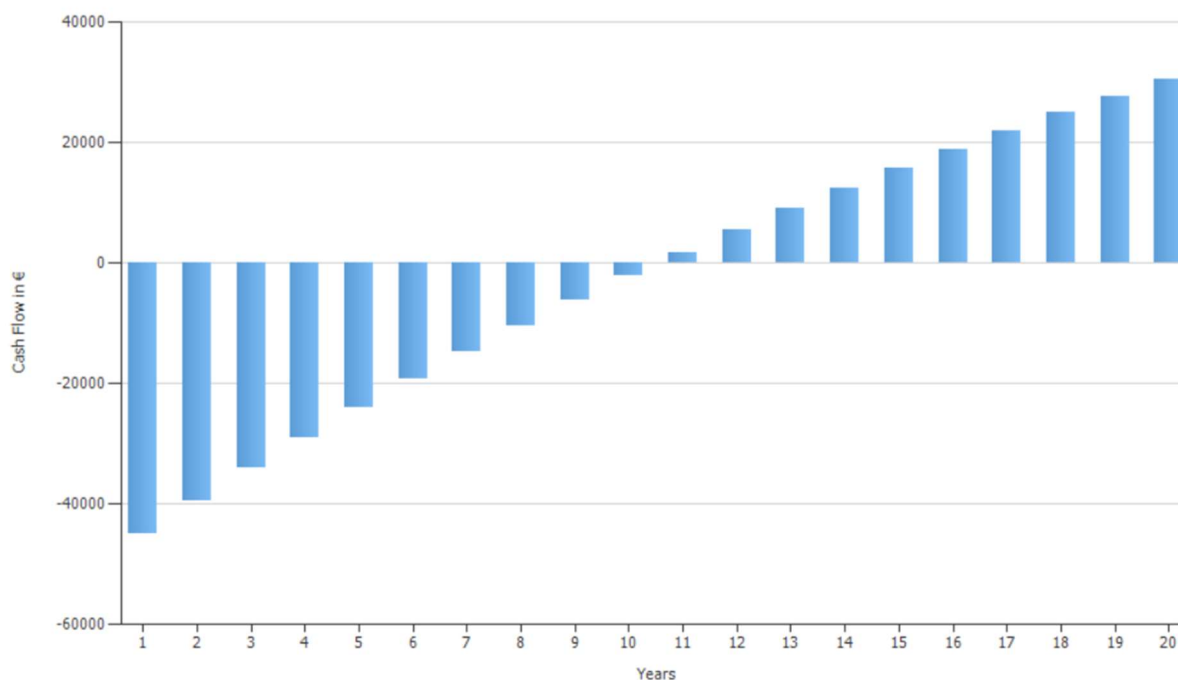
Podatci dobiveni simulacijom ekonomske isplativosti u softveru PV SOL mogu biti protumačeni su u nastavku.

Uzimajući u obzir pretpostavku da je cijena investicije 1000 €/kWp, što je navedeno i u priloženim podacima, ukupna investicija iznosi 49.600 €. Ova procjena temelji se na instaliranju FN sustava kapaciteta 49,6 kWp. Također, nema troškova održavanja, što pojednostavljuje procjenu, iako u stvarnom scenariju moguće su varijacije u tim stavkama.

Na temelju prikazanih podataka, interna stopa povrata (IRR) je 11,01%, što ukazuje na solidnu investiciju u kontekstu energetske projekata. Amortizacija sustava predviđa se na 10,6 godina, što znači da će nakon tog razdoblja investicija biti potpuno otplaćena, a daljnja proizvodnja električne energije generira čist profit. Ovaj period je važan jer ukazuje na trenutak kada investicija postaje isplativa.

Akumulirani novčani tok iznosi 30.397,55 € u analiziranom razdoblju od 20 godina, što pokazuje pozitivan financijski rezultat tijekom životnog vijeka sustava. Električna energija iz fotonaponske elektrane proizvodi se po trošku od 0,0718 €/kWh, što je vrlo konkurentno u usporedbi s trenutnim cijenama električne energije na tržištu.

U prvoj godini, ukupna uplata od strane elektrodistribucije za višak energije iznosi 2412,04 €, dok uštede iznose 2521,56 €. Ova razlika proizlazi iz činjenice da PV elektrana ne može pokriti ukupnu godišnju potrošnju, već određeni dio energije i dalje mora biti kupljen iz mreže, ali se smanjuje značajni dio troškova za električnu energiju. Uz novčane tokove i iznose koji proizlaze iz izvoza energije u mrežu po feed-in tarifi od 0,0965 €/kWh, sustav postaje isplativ nakon nešto više od 10 godina, što je u skladu s amortizacijskim periodom navedenim u priloženim podacima. Ovaj period vraćanja investicije je prihvatljiv u kontekstu dugoročnih infrastrukturnih projekata, a predviđene uštede nakon amortizacije sustava dodatno doprinose ukupnoj isplativosti. Isplativost fotonaponskog sustava u Delnicama možemo vidjeti grafički prikazano u dijagramu 6.



Dijagram 6. Grafički prikaz perioda povrata investicije za lokaciju u Delnicama

Investicija u fotonaponsku elektranu u Delnicama se čini isplativom, s amortizacijskim razdobljem od 10,6 godina i IRR-om od 11,01%. Trošak proizvodnje energije od 0,0718 €/kWh je znatno ispod trenutnih tržišnih cijena električne energije, što dodatno doprinosi financijskoj atraktivnosti projekta. Međutim, treba uzeti u obzir potencijalne dodatne troškove održavanja i moguće fluktuacije tržišnih cijena električne energije koje mogu utjecati na konačni rezultat.

## 6.2. Analiza ekonomske isplativosti uvođenja fotonaponske elektrane u Rijeci

Potrošnja prije uvođenja fotonaponske elektrane dobivena je na isti način kao i ona u Delnicama te je prikazana u tablici 8.

Tablica 8. Godišnja cijena potrebne energije na lokaciji u Rijeci

Godišnja potrošnja	Jedinica mjere	Cijena [€]	Ukupna cijena [€]
34392,78	kWh	0,135	4643,03

Uzimajući u obzir pretpostavku da je cijena investicije 1000 €/kWp, ukupna investicija iznosi 49.600 €, što odgovara instaliranju FN sustava kapaciteta 49,6 kWp. Ova procjena uključuje troškove povezane s instalacijom sustava, no nije navedeno



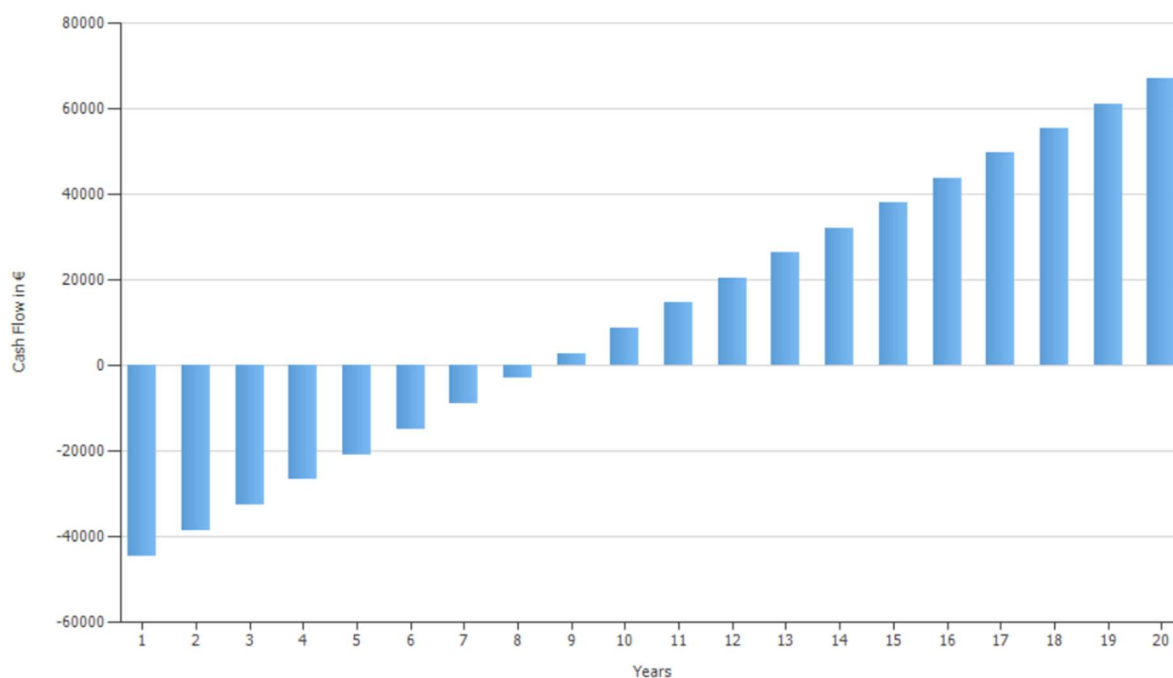
postojanje subvencija ili drugih financijskih poticaja koji bi mogli smanjiti ukupni iznos investicije. Također, podaci ne sadrže troškove održavanja, što je ključno za dugoročnu održivost sustava, iako ti troškovi mogu varirati ovisno o tehnologiji i lokaciji. S prikazanim IRR-om (internom stopom povrata) od 10,93%, projekt pokazuje solidan povrat investicije. Takva vrijednost IRR-a signalizira da je projekt u pozitivnoj zoni isplativosti, a ova stopa povrata je posebno konkurentna u usporedbi s konvencionalnim ulaganjima u energetiku.

Amortizacijski period iznosi 8,5 godina, što znači da će sustav pokriti početnu investiciju unutar tog razdoblja, a nakon toga će generirati čisti profit. Vrijednost od 66.877,74 € predstavlja akumulirani novčani tok kroz 20 godina trajanja sustava, što dodatno potvrđuje isplativost investicije. Još jedan ključan pokazatelj je trošak proizvodnje električne energije od 0,049 €/kWh, koji je znatno niži od trenutnih tržišnih cijena električne energije, što ovu tehnologiju čini vrlo konkurentnom.

U prvoj godini, PV sustav ostvaruje uplatu od 2832,95 € od strane elektrodistribucije za višak energije izvezen u mrežu. Uz to, uštede u potrošnji energije iznose 2226,69 €. Ove vrijednosti jasno pokazuju financijski utjecaj FN sustava na godišnje troškove energije, jer ukupni godišnji iznos (5059,64 €) premašuje početne troškove za energiju (4643,03 €). Ovaj pozitivan trend potvrđuje ekonomski potencijal FN sustava.

Prema feed-in tarifi od 0,0965 €/kWh, sustav će nastaviti generirati prihode prodajom viška energije u mrežu, što značajno doprinosi ukupnoj isplativosti projekta. Na temelju ovih podataka, FN elektrana postaje isplativa nakon 8,5 godina, što je u skladu s prikazanim amortizacijskim periodom. Isplativost fotonaponskog sustava u Rijeci možemo vidjeti grafički prikazanu u dijagramu 7.

Dijagram 7. Grafički prikaz perioda povrata investicije za lokaciju u Rijeci



Na temelju prikazanih podataka, uvođenje fotonaponske elektrane na lokaciji u Rijeci pokazuje se isplativim projektom, s relativno kratkim amortizacijskim periodom od 8,5 godina i stabilnom internom stopom povrata od 10,93%. Troškovi proizvodnje električne energije od 0,049 €/kWh dodatno potvrđuju financijsku održivost projekta, jer su znatno niži od tržišnih cijena električne energije. Ukupna procjena ukazuje na to da FN sustav neće samo smanjiti troškove za energiju već će i generirati prihod kroz višak energije prodan mreži.

Usporedba ekonomske isplativosti uvođenja fotonaponskih sustava u Delnicama i Rijeci temelji se na ključnim financijskim parametrima kao što su stopa povrata investicije, amortizacijski period i ukupni novčani tok kroz životni vijek sustava.

Fotonaponski sustav u Delnicama pokazuje nešto višu internu stopu povrata (IRR) od 11,01% u usporedbi s 10,93% u Rijeci. Iako je razlika marginalna, sustav u Delnicama teoretski nudi nešto viši povrat na ulaganje. S druge strane, amortizacijski period u Delnicama iznosi 10,6 godina, dok je u Rijeci kraći i iznosi 8,5 godina, što sugerira brži povrat investicije u Rijeci.

Akumulirani novčani tok tijekom procijenjenih 20 godina također pokazuje razliku. Sustav u Rijeci generira znatno veći ukupni novčani tok (66.877,74 €) u usporedbi s Delnicama (30.397,55 €). To ukazuje na veći ukupni profit od fotonaponskog sustava

u Rijeci, što je povezano s boljim uvjetima za proizvodnju energije i povoljnijim tarifnim uvjetima.

Troškovi proizvodnje električne energije su znatno niži u Rijeci (0,049 €/kWh) u usporedbi s Delnicama (0,0718 €/kWh), što ukazuje na veću ekonomsku učinkovitost sustava u Rijeci.

Iako oba sustava predstavljaju isplative investicije, fotonaponska elektrana u Rijeci pokazuje se financijski atraktivnijom zbog kraćeg amortizacijskog perioda, nižih troškova proizvodnje energije i većeg ukupnog novčanog toka. S druge strane, sustav u Delnicama također pruža solidan povrat, ali s nešto dužim razdobljem povrata i manjim ukupnim prihodima.

### 6.3. Analiza utjecaja uvođenja fotonaponske elektrane na emisiju CO<sub>2</sub>

Analiza smanjenja godišnje emisije CO<sub>2</sub> u kontekstu uvođenja fotonaponske elektrane na lokaciji Delnice temelji se na usporedbi emisija prije i nakon implementacije fotonaponskog sustava. Prije uvođenja fotonaponske elektrane, godišnja emisija CO<sub>2</sub> proračunata je pomoću softverskog alata KI-Expert. Godišnji iznos dobiven je množenjem ukupne potrebne energije za grijanje, hlađenje, rasvjetu i pogon uređaja s relevantnim faktorom emisije CO<sub>2</sub> za električnu energiju, te je prikazan u tablici 9.

Tablica 9. Godišnja emisija CO<sub>2</sub> na lokaciji Delnice

Ukupna potrebna energija [kWh]	Faktor CO <sub>2</sub> [kg/kWh]	Godišnja emisija CO <sub>2</sub> [kg]
45594,09	0,2348	10705,95

Faktor emisije CO<sub>2</sub> za električnu energiju varira ovisno o energetskej miksu pojedine zemlje i tehnologijama koje se koriste za proizvodnju električne energije. Uobičajeno se u EU, uključujući Hrvatsku, koristi prosječan faktor emisije u rasponu od 0,3 do 0,5 kg CO<sub>2</sub> po kWh električne energije, ovisno o udjelu fosilnih goriva u proizvodnji energije.

Nakon uvođenja fotonaponske elektrane, proračun emisija izveden pomoću softverske simulacije PV SOL pokazuje značajno smanjenje emisija, s rezultatima koji pokazuju uštedu od 26.042 kg CO<sub>2</sub> godišnje. Ova vrijednost predstavlja emisiju koja je izbjegnuta zahvaljujući proizvodnji električne energije iz fotonaponskog sustava, koja zamjenjuje energiju iz fosilnih goriva u nacionalnoj mreži. Fotonaponski sustavi, kao

izvor obnovljive energije, direktno smanjuju emisije CO<sub>2</sub> jer ne koriste fosilna goriva tijekom proizvodnje električne energije.

Smanjenje emisija u ovom slučaju rezultat je optimizacije potrošnje energije i proizvodnje čiste energije kroz fotonaponsku tehnologiju. Time se umanjuje potreba za električnom energijom iz mreže, čime se smanjuje ukupan ugljični otisak zgrade.

Prije uvođenja fotonaponske elektrane na lokaciji Rijeka, godišnja emisija CO<sub>2</sub> izračunata je pomoću softvera KI-Expert, koji je proračunao emisiju od 8.075,77 kg CO<sub>2</sub> godišnje. Ova vrijednost rezultat je množenja ukupne energetske potrošnje objekta za grijanje, hlađenje, rasvjetu i pogon uređaja s faktorom emisije CO<sub>2</sub> specifičnim za električnu energiju. Ista je prikazana u Tablici 10.

Tablica 10. Godišnja emisija CO<sub>2</sub> na lokaciji Rijeka

Ukupna potrebna energija [kWh]	Faktor CO <sub>2</sub> [kg/kWh]	Godišnja emisija CO <sub>2</sub> [kg]
34392,78	0,2348	8075,77

Nakon uvođenja fotonaponske elektrane, simulacija provedena pomoću softvera PV SOL prikazuje godišnje smanjenje emisije CO<sub>2</sub> od 26.388 kg. Ovaj rezultat sugerira značajno smanjenje emisije CO<sub>2</sub> zahvaljujući proizvodnji električne energije iz fotonaponskog sustava, koji djelomično ili u potpunosti pokriva energetske potrošnje objekta te smanjuje potrebu za električnom energijom iz mreže, čime se izbjegava korištenje fosilnih goriva.

Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> u oba slučaja rezultat je korištenja solarne energije koja ne generira izravne emisije stakleničkih plinova. Prije uvođenja fotonaponskih elektrana, električna energija korištena na obje lokacije dolazila je iz mješavine izvora koja uključuje fosilna goriva, a koja uzrokuju emisije CO<sub>2</sub> tijekom proizvodnje energije. Uspostavom fotonaponskih sustava, smanjuje se ovisnost o električnoj energiji iz mreže, te se time smanjuje potreba za energijom proizvedenom iz ugljena, nafte ili plina. Oba slučaja pokazuju ključnu ulogu fotonaponskih sustava u dekarbonizaciji energetskih sustava, pri čemu su rezultati u Delnicama i Rijeci gotovo identični u pogledu količine CO<sub>2</sub> koja se izbjegava godišnje. Iako je početna emisija CO<sub>2</sub> prije instalacije sustava bila viša u Delnicama, što može biti posljedica većih energetskih potreba, postotak smanjenja emisija u oba slučaja iznosi više od 100%, što ukazuje na višak proizvedene solarne energije u odnosu na potrebe objekta.

## 7. Zaključak

Cilj ovog rada je pružiti sveobuhvatnu analizu i usporedbu utjecaja male fotonaponske elektrane na potrošnju energije dviju identičnih građevina smještenih u različitim klimatskim zonama – u primorskom i gorskom krajoliku. Kroz detaljnu evaluaciju promjena u potrošnji električne energije, performansi fotonaponskog sustava, kao i kroz ekonomske i ekološke analize, rad identificira ključne čimbenike koji utječu na učinkovitost i isplativost ovog sustava u specifičnim klimatskim uvjetima.

Doprinos rada ogleda se u komparativnoj analizi koja će omogućiti uvid u optimalne uvjete za implementaciju fotonaponskih sustava u zgradarstvu, te pružiti smjernice za njihovo učinkovito korištenje, s ciljem povećanja energetske učinkovitosti i održivosti zgrada. Ovaj rad može pomoći stručnjacima iz područja građevinarstva, energetike i obnovljivih izvora energije u donošenju odluka o prilagodbi fotonaponskih sustava različitim klimatskim uvjetima. Također je koristan za donošenje politika u području energetske učinkovitosti i zaštite okoliša, kao i studentima tehničkih i prirodoslovnih znanosti koji se bave održivim razvojem.

Rezultati analize utjecaja fotonaponskih elektrana na energetske učinkovitost u različitim klimatskim uvjetima na primjeru Gorske i Primorske Hrvatske pokazuju značajne razlike u potrebama za energijom ovisno o specifičnostima klime svake regije. U Gorskoj Hrvatskoj, gdje prevladava oštra kontinentalna klima s hladnim zimama, zabilježena je znatno veća potrošnja energije za grijanje. Nasuprot tome, u Primorskoj Hrvatskoj, s mediteranskom klimom i toplim ljetima, potrošnja energije za hlađenje tijekom ljeta je dominantna. Ove razlike potvrđuju da klimatske karakteristike regije snažno utječu na ukupnu energetske potrošnju zgrada.

Što se tiče učinkovitosti fotonaponskih sustava, elektrana u Rijeci pokazuje bolje ukupne performanse u smislu specifičnog godišnjeg prinosa, stabilnijeg sezonskog profila te većeg udjela solarne energije u ukupnoj potrošnji. Ovaj sustav je financijski profitabilniji zbog kraćeg amortizacijskog perioda i većeg ukupnog novčanog toka. S druge strane, FN sustav u Delnicama ima veći udio vlastite potrošnje FN energije, ali bog većih sezonskih nesrazmjera u količini potrebne i proizvedene energije potrebne su dodatne mjere poput uvođenja sustava za pohranu energije ili naprednih strategija upravljanja opterećenjem kako bi se optimizirala učinkovitost i smanjila ovisnost o vanjskoj mreži tijekom zimskih mjeseci.

Oba sustava pridonose smanjenju emisija CO<sub>2</sub> jer solarna energija ne generira izravne emisije stakleničkih plinova. Uspostavom fotonaponskih sustava u obje lokacije, značajno se smanjuje ovisnost o električnoj energiji iz fosilnih izvora, što doprinosi dekarbonizaciji energetske sustava. Iako je početna emisija CO<sub>2</sub> bila viša u Delnicama zbog većih energetske potreba, postotak smanjenja emisija u oba slučaja prelazi 100%, što ukazuje na višak proizvedene solarne energije u odnosu na potrebe objekta. Sveukupno, rezultati ove studije sugeriraju da je lokacija u Rijeci bolje prilagođena za FN instalacije zbog veće prosječne proizvodnje energije i stabilnijeg sezonskog profila, dok Delnice zahtijevaju dodatnu optimizaciju kako bi se postigla slična razina učinkovitosti. Međutim, oba sustava potvrđuju važnost fotonaponskih elektrana kao ključne komponente u tranziciji prema održivim energetske rješenjima.

## 8. Literatura

- [1] IEA. (2020). Energy Efficiency 2020. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>
- [2] Hrs Borković, Željka ; Zidar, Margareta ; Petrić, Hrvoje ; Perović, Matko ; Prebeg, Filip ; Jurić, Željko Energetska učinkovitost u zgradarstvu: vodič za sudionike u projektiranju, gradnji, rekonstrukciji i održavanju zgrada / Željka Hrs Borković (ur.). Zagreb: Energetski institut Hrvoje Požar i HEP Toplinarstvo d.o.o. Zagreb, 2007.
- [3] Priručnik za energetska certificiranje zgrada - dio 1 / Pavković, Branimir ; Zanki, Vlasta (ur.) Zagreb: Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP), 2010
- [4] Franjić, T. (2016). 'Građevinske mjere povećanja energetske učinkovitosti obiteljske kuće', Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:700352>
- [5] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama-pročišćeni tekst -(NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, NN 102/20)]
- [6] HRN EN 12831:2004: Sustavi grijanja u građevinama - Postupak proračuna normiranoga toplinskog opterećenja (EN 12831:2003)
- [7] HRN EN 15316-1:2008: Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - 1. dio: Općenito (EN 15316-1:2007)
- [8] VDI 2078
- [9] Bell Labs, 1954. The Creation of the First Solar Cell.,<https://www.bell-labs.com/>
- [10] S. A. Kalogirou, Solar Energy Engineering, 2013.
- [11] A. Smets, K. Jager, I. Olindo, M. Zeman i R. Swaaij, Solar Energy : The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems, Cambridge, United Kingdom: UIT Cambridge LTD, 2016.
- [12] Državni hidrometeorološki zavod, 2024. Klima Hrvatske, <https://meteo.>
- [13] Machín A, Márquez F. Advancements in Photovoltaic Cell Materials: Silicon, Organic, and Perovskite Solar Cells. Materials. 2024; <https://doi.org/10.3390/ma17051165>
- [14] Fraunhofer ISE (2023) Photovoltaics Report. Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.

- [15] Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N. and Hao, X. (2023) 'Solar cell efficiency tables (Version 61)', Progress in Photovoltaics: Research and Applications.
- [16] Shockley, W. and Queisser, H. J. (1961) 'Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells', Journal of Applied Physics.
- [17] Esram, T., and Chapman, P. L. (2007) 'Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques', IEEE Transactions on Energy Conversion,.
- [18] Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., and Vitelli, M. (2005) 'Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method', IEEE Transactions on Power Electronics.
- [19] De Keizer, A., Klumpers, B., Sloopweg, J. G., Sloopweg, J. G. (2012) 'Advanced PV inverter control providing voltage support and active power filtering under grid faults', IEEE Transactions on Sustainable Energy.
- [20] Calise, F., d'Accadia, M. D., Vicidomini, M. (2013) 'A novel hybrid polygeneration system supplying energy and desalinated water by renewable sources: Modelling vs. experimental results', Energy Conversion and Management.
- [21] González, M., Martínez, A., Abella, M., and Andrés, D. (2016) 'Efficiency and reliability comparisons between lithium-ion and lead-acid batteries', Renewable and Sustainable Energy Reviews
- [22] Dunn, B., Kamath, H., and Tarascon, J.-M. (2011) 'Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices', Science
- [23] Knauf Insulation. (n.d.) KI Expert Plus - Računalni program za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama. Dostupno na: <https://www.stedimoenergiju.com>
- [24] Valentin Software GmbH. (n.d.) PVSOL – Plan and design better pv systems with professional solar software\*. Dostupno na: <https://pvsol.software>
- [25] <https://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/tarifni-modeli-1548/1548>
- [26] <https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom-kategorija-kucanstvo/uvjeti-otkupa-za-kupce-s-vlastitom-proizvodnjom/1632>