

# Projektiranje energetski samodostatnog stambenog objekta

---

Ovčarik, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:867008>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika**

**PROJEKTIRANJE ENERGETSKI SAMODOSTATNOG  
STAMBENOG OBJEKTA**

**Završni rad**

**Matej Ovčarik**

**Osijek, 2024. godina.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za ocjenu završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju**

<b>Ime i prezime pristupnika:</b>	Matej Ovčarik
<b>Studij, smjer:</b>	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer
<b>Mat. br. pristupnika, god.</b>	4568, 09.10.2019.
<b>JMBAG:</b>	0165077998
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Damir Blažević
<b>Sumentor:</b>	prof. dr. sc. Tomislav Keser
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	prof. dr. sc. Damir Blažević
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Zorislav Kraus, dipl. ing. el.
<b>Naslov završnog rada:</b>	Projektiranje energetski samodostatnog stambenog objekta
<b>Znanstvena grana završnog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada:</b>	Dati opis energetski samodostatnog stambenog objekta. Izraditi pregled postojećih tehnologija obnovljivih izvora pogodnih za upotrebu na stambenim objektima. Na konkretnom primjeru stambenog objekta odrediti energetske potrebe i pokušati ih podmiriti s jednim ili više odabranih obnovljivih izvora. Analizirati podatke, mogućnosti i učinke.
<b>Datum ocjene pismenog dijela završnog rada od strane mentora:</b>	24.09.2024.
<b>Ocjena pismenog dijela završnog rada od strane mentora:</b>	Izvrstan (5)
<b>Datum obrane završnog rada:</b>	27.9.2024.
<b>Ocjena usmenog dijela završnog rada (obrane):</b>	Izvrstan (5)
<b>Ukupna ocjena završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio stručni prijediplomski studij:</b>	27.09.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 27.09.2024.

**Ime i prezime Pristupnika:**

Matej Ovčarik

**Studij:**Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer  
Elektroenergetika**Mat. br. Pristupnika, godina  
upisa:**

4568, 09.10.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

11

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Projektiranje energetske samodostatnog stambenog objekta**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Damir Blažević

i sumentora prof. dr. sc. Tomislav Keser

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
2. SUNČEVA ENERGIJA .....	2
2.1. Sunčane elektrane .....	3
2.1.1. Povijest i razvoj fotonaponskih elektrana .....	5
2.1.2. Fotonaponski efekt .....	5
2.2. Tipovi fotonaponskih ćelija i način izrade .....	6
2.3. Dizalica topline i ostale tehnologije zagrijavanja.....	7
3. PROJEKTNI ZADATAK .....	10
3.1. Novoprojektirana stambena zgrada .....	10
3.1.1. Opis stambenog objekta .....	10
3.1.2. Potrebna energija za stambeni objekt.....	12
3.1.3. Analiza lokacije građevine .....	12
3.1.4. Projektiranje i izbor fotonaponskog sustava .....	14
3.1.5. Dizalica topline .....	16
3.2. Postojeća stambena zgrada .....	16
4. ZAKLJUČAK .....	18
5. LITERATURA.....	19
6. SAŽETAK.....	21
7. ABSTRACT.....	22
8. ŽIVOTOPIS .....	23

# **1. UVOD**

U današnjem svijetu, gdje su energetske potrebe u stalnom porastu, a resursi se često ne koriste racionalno, ključno je pronaći učinkovitije i ekonomski isplativije načine korištenja energije. Društvo se suočava s izazovima poput klimatskih promjena, društveno-ekonomskih poteškoća i energetskih problema. Glavni prioriteti u energetici danas su podizanje svijesti o obnovljivim izvorima energije i promicanje njihove učinkovitije uporabe. U izgradnji kuća sve više se primjenjuju nove tehnologije kako bi se poboljšala energetska učinkovitost sustava. Grijanje i hlađenje čine najveći udio u potrošnji energije u kućanstvima, pri čemu dolazi do značajnih gubitaka tijekom pretvorbe energije. Cilj ovog rada je osmisliti samodostatnu obiteljsku kuću koja proizvodi električnu i toplinsku energiju iz obnovljivih izvora. Kuća je izgrađena u skladu sa svim važećim zakonima Republike Hrvatske, a projekt će uključivati sustav dizalice topline za grijanje i hlađenje te fotonaponske panele za proizvodnju električne energije, temeljen na poznatim podacima o objektu.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

Ovaj rad podijeljen je u dvije veće cjeline koje prikazuju glavne ciljeve ovog rada. Prva cjelina donosi opis i primjenu solarne energije te primjenu dizalice topline. Drugi dio prikazuje odabir panela za solarnu elektranu te proračun ukupne potrošnje i proizvodnje električne energije potrebne za održavanje samodostatnog stambenog objekta.

## 2. SUNČEVA ENERGIJA

Sunce je jedan od ključnih izvora energije na Zemlji i neprekidno opskrbljuje energijom. Sunčevo zračenje, čine elektromagnetski valovi različitih valnih duljina, uključujući ultraljubičasti, vidljivi i infracrveni spektar. Snaga koju Sunce šalje prema Zemlji iznosi približno  $9,5 \times 10^{25}$  W, što predstavlja ogroman i praktički neiscrpan izvor energije. Zbog Zemljine rotacije oko svoje osi i Sunca, razina sunčeva zračenja neprestano varira ovisno o položaju, godišnjem dobu i vremenskim uvjetima. Prosječna snaga zračenja na površinu okomitu na smjer zračenja kreće se od  $1307 \text{ W/m}^2$  do  $1390 \text{ W/m}^2$ , dok se u proračunima najčešće koristi solarna konstanta od  $1367,7 \text{ W/m}^2$ , koju je definirala Svjetska meteorološka organizacija 1982. godine. Važno je napomenuti da se sve vrijednosti sunčevog zračenja uzimaju kao prosječne na dnevnoj, tjednoj, mjesečnoj ili godišnjoj razini.[1]

Također, potrebno je razlikovati globalno zračenje, koje uključuje direktno, raspršeno i odbijeno zračenje na horizontalnu površinu, te insolaciju, koja predstavlja gustoću sunčevih zraka na određenoj površini u određenom vremenskom periodu. Globalno zračenje mjeri se u  $\text{W/m}^2$ , dok se insolacija izražava u  $\text{Wh/m}^2$  ili  $\text{kWh/m}^2$ . Količina energije koja dopire do Zemljine površine ovisi o broju sunčanih sati, a prosječno iznosi oko  $230 \text{ W/m}^2$  ili  $5,52 \text{ kWh/m}^2$  dnevno. Godišnja količina energije koja dospije na Zemljinu površinu iznosi približno  $109 \text{ TWh}$ , što je više od ukupnih zaliha plina i ugljena na Zemlji.[1]



Slika 2.1. Vrijednosti srednje godišnje insolacije na okomitu plovu za područje Hrvatske [3]

U Hrvatskoj, dnevna insolacija na horizontalnoj površini prosječno iznosi između 3 kWh/m<sup>2</sup> i 4,5 kWh/m<sup>2</sup>, dok godišnja varira od 1,2 MWh/m<sup>2</sup> do 1,6 MWh/m<sup>2</sup>. To odgovara prosječnom godišnjem broju sunčanih sati, koji iznosi između 2000 i 2700 sati. Iz ovih podataka možemo zaključiti da postoji značajan potencijal za pretvaranje sunčeve energije u korisne oblike energije. Međutim, postoje izazovi u njenom korištenju i pretvorbi. Cilj je poboljšati načine pretvorbe i povećati učinkovitost. Neki od problema u pretvorbi sunčeve energije uključuju: dnevne promjene u količini sunčevog zračenja, raznolike klimatske uvjete, nesklad između intenziteta zračenja i energetske potrebe, ograničenja u skladištenju energije i pitanje ekonomske opravdanosti. U Hrvatskoj, posebice u južnim krajevima, postoji značajan potencijal za iskorištavanje sunčeve energije. U ovom radu, naglasak će biti na pretvorbi sunčeve energije u električnu i toplinsku energiju za područje Istočne Hrvatske, s fokusom na grad Osijek. [2]

## 2.1. Sunčane elektrane

Fotonaponski sustav, poznat i kao solarni energetska sustav, osmišljen je za pretvorbu sunčeve svjetlosti u električnu energiju pomoću fotonaponskih ćelija. Ovi sustavi mogu varirati u veličini i složenosti, od manjih instalacija za kućnu upotrebu do velikih solarnih elektrana koje opskrbljuju elektroenergetske mreže. Ključni dijelovi fotonaponskog sustava uključuju fotonaponske ćelije, solarne panele, invertere, sustave za skladištenje energije, kontrolere punjenja, kableske priključke i sustave zaštite. Fotonaponske ćelije, osnovni elementi sustava, najčešće su izrađene od silicija. Kada sunčeva svjetlost udari na ove ćelije, energija fotona oslobađa elektrone, stvarajući električni napon. Ćelije se povezuju u module i panele, čime se povećava površina za primanje sunčeve svjetlosti i time proizvodnja električne energije. Solarni paneli sastavljeni su od niza povezanih fotonaponskih ćelija koje omogućuju veću proizvodnju energije. PV (engl. *photovoltaics*) ćelije su zaštićene slojem stakla i okvirima od aluminijske ili čelika, što omogućuje dugotrajnost i otpornost na vremenske uvjete.[4]

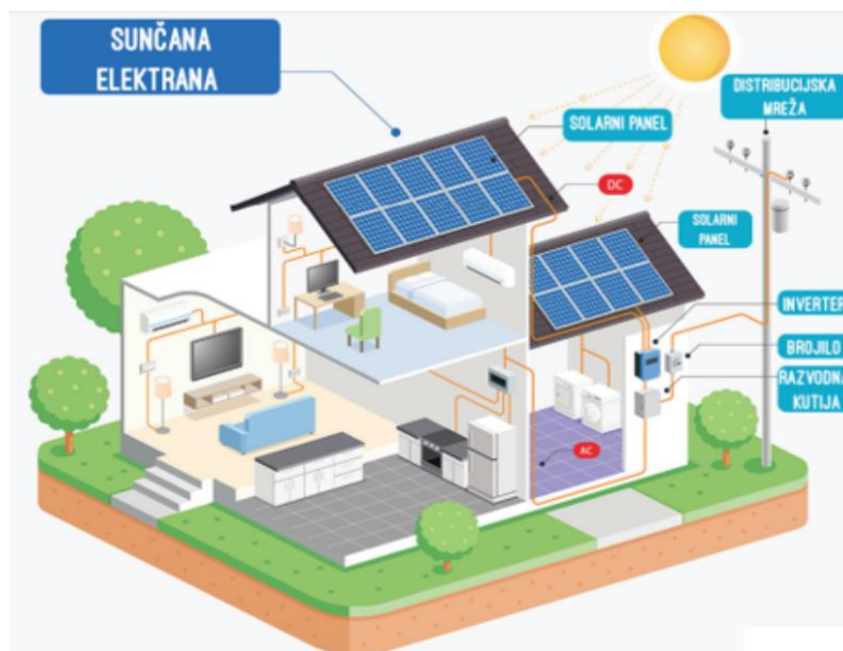
Inverteri su ključni za pretvorbu jednosmjerne struje (engl. *direct current* - DC), koju proizvode PV ćelije, u izmjeničnu struju (engl. *alternating current* - AC), pogodnu za kućanstva i elektroenergetske mreže. Mogu biti centralni za velike sustave, mikroinverteri za svaki panel pojedinačno, ili optimizatori snage koji poboljšavaju učinkovitost svakog panela. Sustav za skladištenje energije, obično u obliku baterija, pohranjuje višak proizvedene energije za upotrebu kada sunčeva svjetlost nije dostupna, kao što je noću ili tijekom oblačnih dana. Litij-ionske (engl.



*Lithium-ion*) baterije su najčešće korištene zbog svoje dugovječnosti i učinkovitosti, dok se gel baterije i drugi tipovi koriste u specifičnim aplikacijama. [6]

Kontroleri punjenja upravljaju procesom punjenja baterija, štiteći ih od prekomjernog punjenja i pražnjenja, čime se produžuje njihov vijek trajanja. MPPT (engl. *Maximum Power Point Tracking*) kontroleri su sofisticiraniji i učinkovitiji, dok su PWM (engl. *Pulse Width Modulation*) kontroleri jednostavniji i jeftiniji. Kabeli i priključci prenose električnu energiju između različitih komponenti sustava i moraju biti otporni na vremenske uvjete i električnu otpornost. Kvalitetni kabeli i priključci ključni su za učinkovitost i sigurnost sustava. Sustav za zaštitu uključuje komponente za zaštitu od električnih kvarova, prenapona, preopterećenja i kratkog spoja, uključujući osigurače, prekidače i zaštitne sklopke.

Prednosti fotonaponskog sustava uključuju obnovljivost, ekološku prihvatljivost, ekonomičnost i nisku potrebu za održavanjem. Solarni sustavi koriste sunčevu svjetlost kao neiscrpan izvor energije, smanjuju emisije stakleničkih plinova i doprinosi očuvanju okoliša, te smanjuju troškove električne energije kroz proizvodnju vlastite energije. Nakon instalacije, sustav zahtijeva minimalno održavanje, čime se dodatno povećava njegova isplativost. [7]



**Slika 2.2.** *Grid-tied sunčana elektrana*[9]

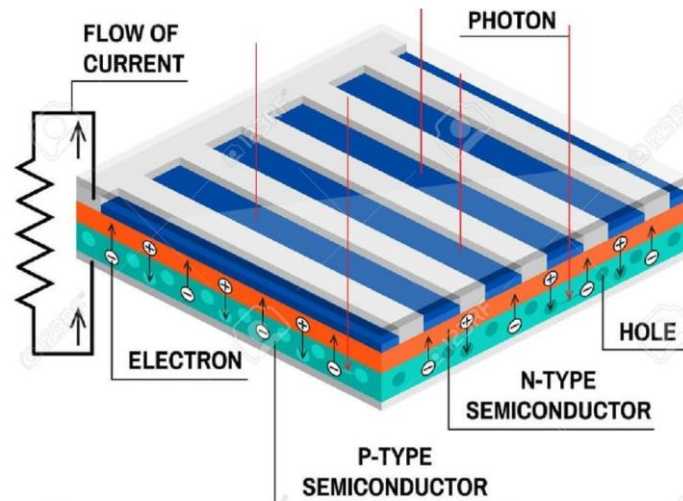
### **2.1.1. Povijest i razvoj fotonaponskih elektrana**

Povijest fotonaponskih elektrana započinje otkrićem fotonaponskog efekta sredinom 19. stoljeća. Francuski fizičar Alexandre-Edmond Becquerel 1839. godine prvi je otkrio da određeni materijali, kada su izloženi sunčevoj svjetlosti, mogu stvarati električnu struju. Iako je ovo otkriće bilo ključno, tek je u 20. stoljeću došlo do značajnijeg razvoja fotonaponskih tehnologija. Prvi praktični primjer fotonaponske ćelije razvio je Bell Labs 1954. godine. Ove ćelije, izrađene od silicija, mogle su pretvarati oko 6% sunčeve svjetlosti u električnu energiju, što je predstavljalo veliki napredak. U početku, fotonaponske ćelije su se koristile u svemirskim programima za napajanje satelita zbog visoke cijene proizvodnje. S vremenom, kako su se tehnologije razvijale i troškovi proizvodnje smanjivali, fotonaponske elektrane počele su se koristiti i za komercijalnu proizvodnju električne energije. Tijekom 1970-ih i 1980-ih godina, s povećanim interesom za obnovljive izvore energije, počinje šira primjena fotonaponskih sustava. Danas su fotonaponske elektrane postale ključni dio globalnog energetskeg sektora, a stalni tehnološki napredak omogućuje sve veću učinkovitost i smanjenje troškova. Fotovoltaika se sve više koristi u velikim komercijalnim projektima, ali i u manjim, individualnim sustavima za kućanstva, čime doprinosi održivoj proizvodnji energije i smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima.[10]

### **2.1.2. Fotonaponski efekt**

Fotonaponski efekt je proces u kojem se svjetlost pretvara u električni napon. Ovaj efekt je posebno značajan u poluvodičkim materijalima, koji se prema svojim električnim svojstvima dijele na vodiče, poluvodiče i izolatore. Dok su poluvodiči izolatori pri vrlo niskim temperaturama, oni postaju provodnici kada temperatura raste, zahvaljujući porastu broja nositelja naboja. Poluvodiči se razlikuju u ovisnosti o vrsti nositelja naboja: N-tip poluvodiča ima elektrone kao glavne nositelje naboja, dok P-tip poluvodiča ima "šupljine", nedostatke elektrona, kao glavne nositelje naboja. Silicij (Si) je najvažniji materijal u ovoj kategoriji i koristi se u više od 95% elektroničkih komponenti, poput dioda i integriranih krugova. U procesu stvaranja N-tipa poluvodiča, silicij se dopira elementima iz 15. skupine periodičkog sustava, poput fosfora (P) ili arsena (As), što dodaje višak elektrona u kristalnu strukturu. Ovi slobodni elektroni postaju nositelji naboja. Nasuprot tome, P-tip poluvodiča nastaje dopiranjem silicija elementima iz 13. skupine, kao što je bor (B), što stvara "šupljine" zbog nedostatka jednog elektrona, čime se stvaraju nositelji pozitivnih naboja.

Kombinacija N-tipa i P-tipa poluvodiča stvara PN-spoj, ključan za razumijevanje fotonaponskog efekta. Ovaj spoj stvara električno polje koje omogućuje razdvajanje slobodnih elektrona i šupljina kada fotoni udare na spoj. Energija fotona oslobađa elektrone koji se kreću prema negativnoj strani spoja, dok se šupljine nakupljaju na pozitivnoj strani, čime se generira tok istosmjerne struje.[5]



Slika 2.3. Fotonaponski efekt [12]

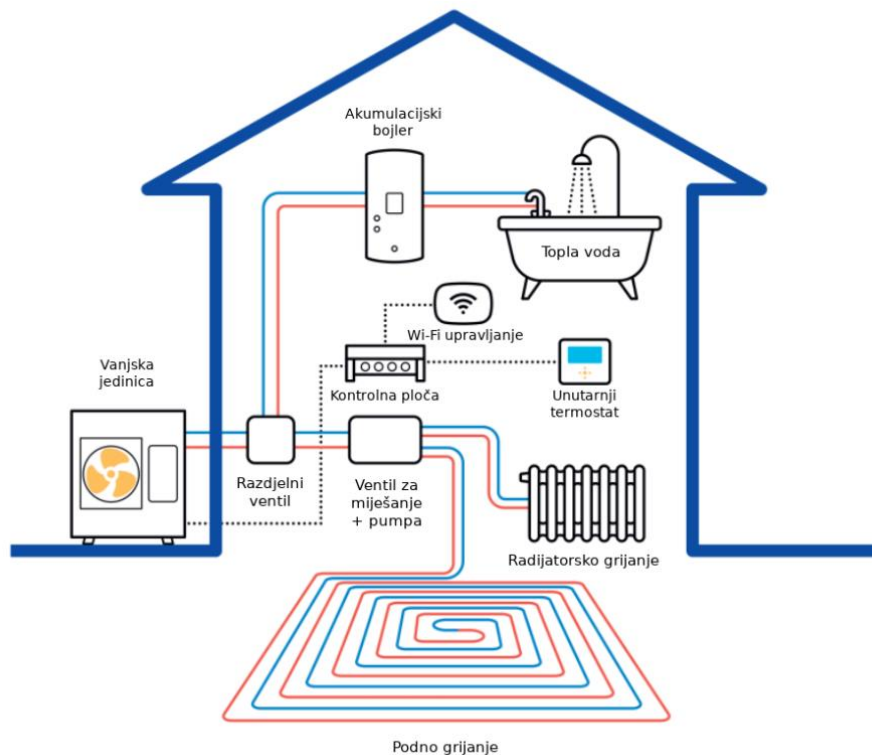
## 2.2. Tipovi fotonaponskih ćelija i način izrade

Fotonaponske ćelije, ključna komponenta solarnih panela, razlikuju se prema vrsti materijala i načinu izrade, što ih svrstava u nekoliko glavnih kategorija. Prva kategorija su monokristalne fotonaponske ćelije, koje se izrađuju od jednog kristala silicija. Prepoznatljive su po tamnoplavoj boji i visokoj učinkovitosti, zahvaljujući visokom stupnju čistoće silicija. Njihova izrada uključuje proces kristalizacije, gdje se silicij topi, izlijeva u cilindrične oblike, a zatim reže na tanke ploče. Ploče se dopiraju borom i fosforom kako bi se stvorili P-tip i N-tip poluvodiča, te se dodatno obrađuju kako bi se povećala učinkovitost, uključujući primjenu antirefleksnih premaza. Prednost ovih ćelija je njihova visoka učinkovitost i dug vijek trajanja, ali su skuplje zbog složenog procesa proizvodnje. Polikristalne fotonaponske ćelije druga su kategorija. Izrađene su od silicija koji sadrži više malih kristala, što ih čini nešto manje učinkovitima od monokristalnih ćelija. Njihova plava boja također ih razlikuje, a proces izrade uključuje topljenje silicija i izlivanje u kalupe. Nakon toga slijedi rezanje ploča i dopiranje, kao kod monokristalnih ćelija. Njihova glavna prednost je niža cijena proizvodnje, no imaju manju učinkovitost i nešto kraći vijek trajanja.

Tankoslojni fotonaponski materijali, poput kadmijum-telurida (CdTe), amorfno silicija (a-Si) ili cuprum-indij-galijum-selenida (CIGS), koriste vrlo tanke slojeve fotonaponskog materijala. Ove ćelije su fleksibilne i mogu se primijeniti na različitim površinama. Proces proizvodnje uključuje nanošenje tankih slojeva materijala na podlogu pomoću tehnika kao što su raspršenje (engl. *sputtering*) ili kemijski depozit iz pare. Iako su fleksibilne, imaju manju učinkovitost i kraći životni vijek u usporedbi s kristalnim silicijem. Organski fotonaponski materijali predstavljaju noviju tehnologiju koja koristi organske molekule za generiranje električne energije. Ovi materijali istražuju se zbog mogućnosti jeftine i fleksibilne proizvodnje. Proces izrade uključuje tiskanje i premazivanje organskih materijala na podlogu, s naknadnom obradom kako bi se omogućila potrebna električna svojstva. Prednost ove tehnologije je niska cijena i fleksibilnost, no trenutno imaju nižu učinkovitost i kraći vijek trajanja. [13]

### **2.3. Dizalica topline i ostale tehnologije zagrijavanja**

Dizalica topline predstavlja energetski učinkovit sustav za grijanje, hlađenje i pripremu tople vode u stambenim objektima, koristeći obnovljive izvore energije iz zraka, tla ili vode. Princip rada dizalice topline temelji se na prijenosu toplinske energije iz vanjskih izvora prema unutrašnjosti kuće ili obrnuto, ovisno o potrebama. Ovaj proces zahtijeva mali udio električne energije kako bi se toplina iz okoliša prenijela u prostor ili iz njega, što omogućuje značajne energetske uštede. Postoji nekoliko vrsta dizalica topline, a najčešće su zrak-zrak, zrak-voda, voda-voda i tlo-voda. Dizalice tipa zrak-zrak prenose toplinu iz vanjskog zraka i koriste je za grijanje unutarnjeg prostora putem zraka. Iako su ove dizalice manje učinkovite pri vrlo niskim vanjskim temperaturama, često su najpristupačniji izbor za ugradnju. S druge strane, dizalice zrak-voda koriste energiju vanjskog zraka za zagrijavanje vode koja se koristi za centralno grijanje ili opskrbu toplom vodom. Ove su dizalice svestranije i prilagodljivije različitim sustavima grijanja. Dizalice tipa voda-voda koriste energiju iz podzemnih ili površinskih voda, a odlikuju se visokom efikasnošću. Ipak, njihova instalacija zahtijeva pristup izvoru vode, što može povećati troškove. Geotermalne dizalice, poznate i kao tlo-voda, koriste toplinsku energiju iz tla, koje zadržava konstantnu temperaturu tijekom godine. Zbog toga su vrlo učinkovite, no njihova instalacija zahtijeva dodatne troškove zbog iskopa. [18]



**Slika 2.3.1.** *Primjer dizalice topline u stambenom objektu [14]*

Solarne tehnologije za grijanje vode koriste energiju Sunca kako bi zagrijale vodu koja se koristi za različite svrhe, poput domaće potrošnje, grijanja bazena ili industrijskih procesa. Ove tehnologije nude ekološki prihvatljivo i isplativo rješenje za smanjenje troškova energije i ovisnosti o fosilnim gorivima.

Jedna od glavnih tehnologija su solarni toplinski kolektori, koji koriste Sunčevu energiju za zagrijavanje tekućine. Ova tekućina zatim prenosi toplinu na vodu koja se koristi. Postoje različite vrste solarnih kolektora, uključujući pločaste kolektore i vakuumske cijevi. Pločasti kolektori sastoje se od ravnih ploča koje apsorbiraju Sunčevu svjetlost i prenose toplinu kroz tekućinu koja cirkulira unutar njih. Ovi kolektori su često korišteni zbog svoje relativno niske cijene i jednostavne instalacije, a najprikladniji su za umjerene klime. S druge strane, vakuumske cijevi koriste niz cijevi koje su vakuumski izolirane kako bi smanjile gubitke topline. Svaka cijev ima unutarnju apsorbirajuću ploču koja pretvara Sunčevu energiju u toplinu, a ove cijevi su učinkovitije u hladnijim klimatskim uvjetima zbog svoje bolje izolacije. [20]

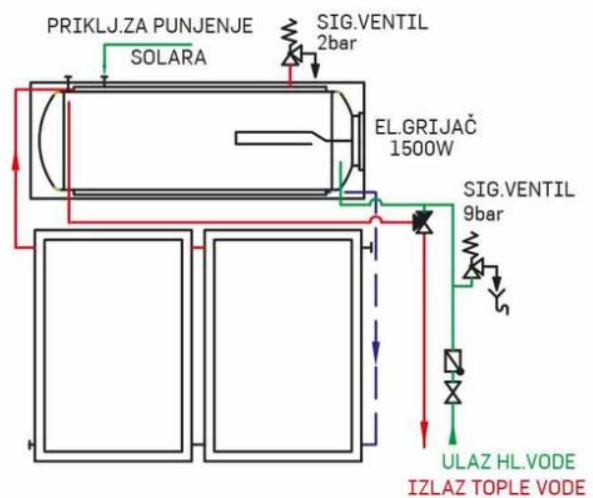


**Slika 2.3.2.** *Vakuumski kolektor* [15]



**Slika 2.3.3.** *Pločasti kolektor* [16]

Solarni bojleri su sustavi koji koriste solarne kolektore za grijanje vode koja se pohranjuje u spremniku. Ovi sustavi su namijenjeni pripremi tople vode za kućanstva ili druge primjene. Često uključuju dodatne grijače koji se aktiviraju kada solarna energija nije dovoljna za postizanje potrebne temperature. [19]



**Slika 2.3.4.** *Pločasti kolektor sa solarnim bojlerom*[17]

### **3. PROJEKTNI ZADATAK**

Glavni cilj ovog projekta je dizajnirati energetska neovisnu kuću. Kao osnova projekta koristit će se postojeća novoizgrađena kuća, koja je sagrađena u skladu sa svim važećim propisima [26] i standardima u Republici Hrvatskoj. Projektni zadatak uključuje osmišljavanje sustava koji će koristiti sunčevu energiju za pokrivanje ukupne dnevne potrošnje energije i odabir dizalice topline koju ćemo koristiti za potrebe grijanja i hlađenja stambenog objekta. Procjena potrebne količine energije temelji se na prosječnim vrijednostima potrošnje rasvjete i kućanskih aparata, dok su za potrebe grijanja i hlađenja korišteni podaci zasnovani na stvarnoj potrošnji.

Problem s kojim se susrećemo je projektiranje, dizajniranje i dimenzioniranje elektrane u 2 slučaja:

1. Novo projektirana stambena zgrada kada je potrebno dimenzionirati elektranu bez uvida u stvarnu potrošnju već samo na osnovu procijenjenih podataka o budućoj potrošnji za grijanje, hlađenje i PTV
2. Postojeća stambena zgrada kada je potrebno dimenzionirati elektranu na osnovu unaprijed poznatih podataka o potrošnji i proizvodnji električne energije.

#### **3.1. Novoprojektirana stambena zgrada**

Za navedeni slučaj ne postoje podaci o stvarnoj potrošnji niti o navikama stanara pa su uzeti podaci iz projektne dokumentacije objekta odnosno Projekta racionalne uporabe energije i toplinske zaštite, koji je sastavni dio dokumentacije za ishodenje građevinske dozvole u skladu s važećim zakonskim projektima RH. [22,23,24] Osim toga, na osnovu tih podataka određena je potrebna instalirana snaga fotonaponske elektrane, pomoću odgovarajućeg alata za procjenu proizvodnje, kao što je PVGIS ili slično.

##### **3.1.1. Opis stambenog objekta**

Prizemni stambeni objekt površine oko 170 m<sup>2</sup> izgrađen je prema suvremenim standardima s naglaskom na energetska učinkovitost i održivost. Zidovi su izolirani slojem od 15 cm, strop s 20 cm, a pod s 15 cm izolacije, čime se smanjuje gubitak topline i povećava energetska učinkovitost. Prozori s trostrukim staklom pružaju dodatnu izolaciju i smanjuju vanjsku buku, čime se poboljšava udobnost u prostoru. Objekt posjeduje energetska certifikat B, što potvrđuje njegovu

visoku učinkovitost te smanjenje troškova energije i negativnog utjecaja na okoliš. Sustav podnog grijanja i hlađenja koristi dizalicu topline snage 12 kW therm, koja osigurava ugodnu temperaturu uz minimalnu potrošnju energije..

Pored informacija o samoj lokaciji i arhitekturi kuće, za izradu energetskog proračuna izuzetno su važni podaci koji se odnose na energetske potrebe objekta, kao i na trenutnu potrošnju energije. Ovi podaci omogućuju precizniju procjenu učinkovitosti kuće te identificiranje potencijalnih mjesta za optimizaciju potrošnje. Podaci o kući prikupljeni su na temelju stvarnih mjerenja potrošnje energije unutar razdoblja od jedne godine, što pruža pouzdanu osnovu za izračun energetskih zahtjeva i budućih potreba (tablica 3.1.).

**Tablica 3.1.** *Prikaz tehničkih podataka kuće potrebnih za procjenu energetskih potreba*

Oplošje grijanog dijela zgrade A (m <sup>2</sup> )	<b>480,30</b>
Obujam grijanog dijela zgrade V <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> )	<b>411,00</b>
Faktor oblika zgrade f <sub>o</sub> (m <sup>-1</sup> )	<b>1,17</b>
Ploština korisne površine zgrade A <sub>k</sub> (m <sup>2</sup> )	<b>147</b>
Način grijanja	<b>Dizalica topline zrak-voda Nisko temperaturno podno grijanje/hlađenje</b>

Predmetna građevina se nalazi u 2. zoni globalnoga Sunčevog zračenja sa srednjom mjesečnom temperaturom vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade  $\Theta_{e,mj,min} \leq 3\text{°C}$  i unutarnjom temperaturom  $\Theta_i \geq 18\text{°C}$ .



### 3.1.2. Potrebna energija za stambeni objekt

Koristit će se podaci iz projektne dokumentacije objekta odnosno Projekta racionalne uporabe energije i toplinske zaštite Budući da se grijanje i hlađenje objekta vrši putem dizalice topline, stambeni objekt koristi isključivo električnu energiju.

**Tablica 3.2.** *Prikaz procjene potrebne energije na osnovu podataka iz projektne dokumentacije*

mjesec	grijanje	hlađenje	Potrbrna energija za PTV
Siječanj	1935	0	154
Veljača	1410	0	154
Ožujak	854	0	154
Travanj	152	0	154
Svibanj	0	57	154
Lipanj	0	386	154
Srpanj	0	595	154
Kolovoz	0	545	154
Rujan	0	0	154
Listopad	344	0	154
Studeni	974	0	154
Prosinac	1755	0	154
ukupno	7425	1583	1848
<b>Ukupno godišnje</b>	<b>10855(kWh)</b>		

### 3.1.3. Analiza lokacije građevine

U analizi lokacije građevine korištenjem javnog PVGIS web servisa na adresi [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/) možemo procjeniti proizvodnju električne energije iz fotonaponske elektrane na konkretnoj lokaciji i da bi zadovoljili potrebe za energijom od 10856 pokrećemo PVGIS simulaciju i za 26 panela pojedinačne snage 415W raspoređene na krovnoj plohi

objekta u istok/zapad orijentaciji dobivamo predviđenu godišnju proizvodnju u iznosu od 11454kWh. i s tom predviđenom potrošnjom bi trebali zadovoljiti godišnje potrebe električne energije. Također su uključeni gubici uzrokovani refleksijom, kao i neizbježni gubici u kabelima i inverteru. Nakon unosa relevantnih podataka za konkretni objekt, proračun pokazuje sljedeće rezultate: gubici zbog vanjske temperature iznose -7,4 %, gubici refleksijom površina iznose -3,37 %, dok preostali gubici, uključujući one u kablovima, spojevima i inverteru, iznose 10 %. Ukupni očekivani gubici u cijelom fotonaponskom sustavu iznose -18,64 %, što omogućuje jasniji pregled stvarne proizvodnje energije i potencijalnih gubitaka sustava.

**Tablica 3.3.** *Teorijski prikaz proizvodnje električne energije*

<b>Fixed system: inclination=10°</b>	
<b>Azimuth 16°</b>	
	<b>Em(kWh)</b>
Siječanj	326
Veljača	464
Ožujak	901
Travanj	1252
Svibanj	1456
Lipanj	1542
Srpanj	1633
Kolovoz	1445
Rujan	1031
Listopad	735
Studeni	401
Prosinac	268
<b>Ukupno godišnje</b>	<b>11454 (kWh)</b>

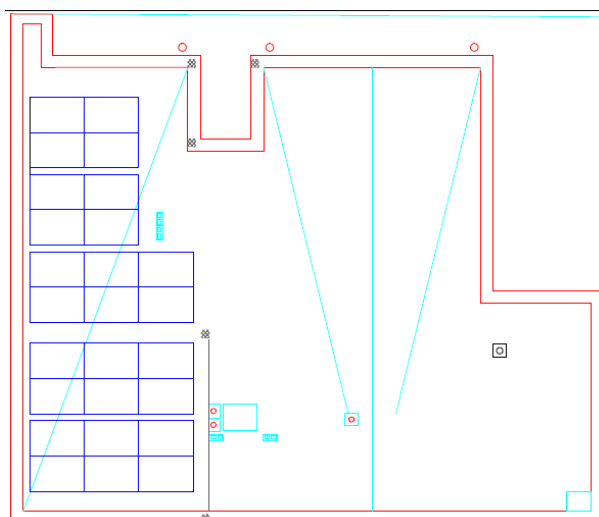
Moguća godišnja proizvodnja postrojenja na zadanoj lokaciji uz orijentaciju krova prema jugoistoku, te uzevši u obzir očekivane gubitke kao što su utjecaj temperature, refleksije površine, gubici u kabelima, iznosi 11454 kWh.

### 3.1.4. Projektiranje i izbor fotonaponskog sustava

S obzirom na podatke o potrošnji i potrebama kuće za energijom, te podacima o potencijalnoj proizvodnji energije na krov kuće postavljeno je postrojenje od 10.79 kWp. Na slici 3.1. prikazano je 26 postavljenih panela čija je snaga 415W. Ostali tehnički podatci kao što su primjerice nazivni napon, nazivna struja i drugo prikazani su u tablici 3.4. Osim navedenog, postavljen je i inverter nazivne izlazne snage 10 kW (tablica 3.5.).

**Tablica 3.4.** Tehnički podatci odabranog fotonaponskog modula

Tehnički podatci fotonaponskog modula	
PV modul	Triton A-HCM415/108
Tip ćelija	mono crystalline
Broj ćelija	108
Učinkovitost modula	21,25 %
Radna temperatura	od -40°C do +85°C
Snaga P (W)	415 Wp (s tolerancijom od 0 do ~ +5W)
Nazivni napon (Vmpp)	31,36 V
Nazivna struja (Impp)	13,13 A
Napon otvorenog kruga (Voc)	31,61 A
Struja kratkog spoja (Isc)	14,02 A
Mak. Napon sistema	1500 V (IEC)
Temperaturni koeficijenti: (Pmax)	0,35 % / °C
Voc	-0,27 % / °C
Isc	+0,04 % / °C
Dimenzije	1722mm x 1134mm x35mm
Težina	21 kg



**Slika 3.1.** Tlocrt krovnih ploha s pozicijama fotonaponskih modula

**Tablica 3.5.** Tehnički podaci invertera

Tehnički podaci invertera	
PV modul	MOD 10000TL-X
Stupanj zaštite	IP 66
Potrošnja (noćna)	< 1 W
Hlađenje	prirodno
Radna temperatura okoline	od -25°C do +60°C
Max. efikasnost (PV-grid)	98,6 %
Europska efikasnost ( $\eta_{EU}$ )	98,2 %
Dimenzije	425mm×387mm×178mm
Težina	10,8 kg
<b>Ulazni podaci (DC)</b>	<b>Izlazni podaci (AC)</b>
Broj MPP trakera: 2	Max. izlazna snaga: 10000 W / 11000 VA
Max. ulazna struja: 13.5 A	Max. izlazna struja: 16,7 A
Max. struja kratkog spoja po stringu: 16.9 A	Izlazni napon: 230/400 V
Min. napon starta: 160 V	Frekvencija: 50 / 60 Hz
Nominalni napon: 580 V	Ukupna harmonička izobličenja: < 3%
Radni napon: 140 - 1000 V	
Broj DC priključaka: 2	
Max. ulazna snaga 15000 kWp	

Pretvarač, odnosno inverter, je uređaj koji omogućuje pretvorbu električne energije proizvedene u fotonaponskim modulima u oblik prikladan za prijenos putem distribucijske mreže. Istosmjerni napon i struja iz fotonaponskih modula pretvaraju se pomoću pretvarača u izmjenične vrijednosti, koje su pogodne za priključivanje na distribucijsku mrežu (Tablica 3.5.).

### **3.1.5. Dizalica topline**

Dizalicom topline snage 12 kW therm je osigurano grijanje i hlađenje stambenog objekta. Vrsta dizalice topline, koja je izabrana za ovaj stambeni objekt, je zrak-voda. Navedeni tip dizalice topline apsorbira toplinu iz zraka, čak i pri niskim vanjskim temperaturama te pomoću kompresora podiže temperaturu i prenosi je u sustav podnog grijanja pomoću radnog medija koji je u ovom slučaju voda.

## **3.2. Postojeća stambena zgrada**

Podaci o potrošnji stambenog objekta temelje se na stvarnoj potrošnji u prethodnih godinu dana. Ukupna potrošnja postojećeg stambenog objekta, što uključuje ukupnu potrošnju energije od opskrbljivača i ukupnu potrošnju energije iz samoopskrbe, je ukupno 11661 kWh (Tablica 3.6.). Iz tablice 3.6. vidljivo je i da su najveće energetske potrebe stambenog objekta u mjesecu siječnju, a najmanja ukupna potrošnja u mjesecu rujnu. Iz tablice 3.7. vidljivo je da potrošnja električne energije tijekom zimskih mjeseci pokazuje blagi porast, što se može objasniti činjenicom da se u tim mjesecima više vremena provodi unutar objekta. Povećana potrošnja također je povezana s radom dizalice topline, koja tada intenzivnije zagrijava cijeli stambeni prostor. Uz to, električna energija koristi se i za svakodnevne potrebe poput rada kućanskih aparata, rasvjete te hlađenja u toplijim mjesecima. Na temelju podataka iz tablice 3.7. vidljivo je da je odabir sunčane elektrane pogodan za postizanje energetske samodostatnosti u slučaju novoprojektiranog stambenog objekta, s podacima iz projektne dokumentacije objekta, kao i u slučaju postojećeg stambenog objekta sa stvarnim prikazom potrošnje električne energije.

**Tablica 3.6. Ukupna potrošnja postojećeg stambenog objekta**

Ukupna potrošnja objekta (HEP + Samoopskrba)	
Energetske potrebe zgrade	
	E(kWh)
Siječanj	1253
Veljača	1025
Ožujak	1234
Travanj	952
Svibanj	850
Lipanj	996
Srpanj	1310
Kolovoz	1188
Rujan	449
Listopad	530
Studeni	765
Prosinac	1109
<b>Ukupno godišnje</b>	<b>11661 (kWh)</b>

**Tablica 3.7. Ukupna potrošena i proizvedena električna energije za obje stambene zgrade**

Podaci o utrošku električne energije	Instalirana snaga elektrane je 10.79kWp 13 panela +13 panela konstrukcija za ravni krov East-West K2D-Dome												
Period:	9/23	10/23	11/23	12/23	1/24	2/24	3/24	4/24	5/24	6/24	7/24	8/24	Ukupno:
Preuzeto od HEP-a: [kWh]	229	354	606	958	1035	646	656	316	208	363	550	422	6343
<b>Proizvodnja elektrane: [kWh]</b>													
<b>Stvarna proizvodnja</b>	<b>856</b>	<b>548</b>	<b>380</b>	<b>179</b>	<b>266</b>	<b>533</b>	<b>969</b>	<b>1378</b>	<b>1593</b>	<b>1671</b>	<b>1786</b>	<b>1561</b>	<b>11720</b>
Predani višak u mrežu: [kWh]	636	272	81	28	48	154	351	742	951	878	884	765	5790
Iskorišteno za za samoopskrbu:	220	176	159	151	218	379	578	636	642	633	760	766	5318
<b>2* Ukupna potrošnja objekta (HEP + Samoopskrba) Energetske potrebe zgrade</b>	<b>449</b>	<b>530</b>	<b>765</b>	<b>1109</b>	<b>1253</b>	<b>1025</b>	<b>1234</b>	<b>952</b>	<b>850</b>	<b>996</b>	<b>1310</b>	<b>1188</b>	<b>11661</b>
1* ukupna teorijska potrošnja novoizgrađenog objekta	154	498	1128	1909	2089	1564	1008	306	211	540	749	699	10855
<b>Procijenjena proizvodnja elektrane PVGis</b>													0
Istočna strana	515	367	200	234	163	232	450	626	728	751	816	722	
Zapadna strana	516	368	201	234	163	232	451	627	728	751	817	723	
<b>Ukupno:</b>	<b>1031</b>	<b>735</b>	<b>401</b>	<b>268</b>	<b>326</b>	<b>464</b>	<b>901</b>	<b>1252</b>	<b>1456</b>	<b>1542</b>	<b>1633</b>	<b>1445</b>	<b>11454</b>

## 4. ZAKLJUČAK

Prilikom projektiranja, dizajniranja i dimenzioniranja kapaciteta sunčane elektrane potrebno je voditi računa o stvarnim potrebama objekta. Ukoliko je riječ o novoprojektiranom objektu za koji ne postoje stvarni podaci o potrošnji energije koriste se podatci iz projektno-tehničke dokumentacije koja služi za ishodaenje građevinske dozvole. Gradnja stambenih objekata u Republici Hrvatskoj strogo je regulirana djelatnost te je zakonodavno propisan opseg, sadržaj i struke koje su dužne izraditi projektnu dokumentaciju u svrhu ishodaenja građevinske i uporabne dozvole. Projekt racionalne upotrebe i toplinske zaštite dokument je koji sadrži važne podatke kao što su izračun energije potrebne za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode. Važno je za naglasiti da se stvarni utrošak energije može razlikovati od projektiranog zbog različitih navika i ponašanja korisnika stambenog objekta. Navedeni podaci služe za dimenzioniranje kapaciteta i proizvodnje sunčane elektrane, kako bi proizvedena energija bili veća ili jednaka utrošenoj energiji. Nakon određivanja energetske potrebe, procjena kapaciteta i proizvodnje provodi se uz pomoć nekoliko različitih alata, a jedan od njih je javni servis PVGIS, financiran od strane Europske komisije. Postojeći objekt, za koji postoje podaci o utrošku energije, moguće je učiniti samodostatnim uz pomoć podataka o utrošku energije. Sukladno navedenom, u radu je analizirana i postojeća stambena građevina koja kao izvor energije za grijanje i hlađenje koristi dizalicu topline (napajanje električnom energijom) te je time značajno pojednostavljeno postizanje samodostatnosti. Stoga, za dimenzioniranje sunčane elektrane koja proizvodi više ili jednako energije, nego što su potrebe objekta, dovoljno je poznavati podatke o utrošku električne energije za ukupne potrebe građevine, kao što su primjerice grijanje, hlađenje, PTV i kućanski uređaji. U ovom radu izvršena je analiza samodostatnosti s energetskeg aspekta. Financijski aspekt ovisi prvenstveno o tarifnom modelu korisnika, načinu obračuna i plaćanja viškova predane energije od strane opskrbljivača. Financijska analiza samodostatnosti nije bila predmet ovog rada te je to otvorena tema za daljnju razradu i analizu.

## 5. LITERATURA

- [1] Majdandžić, Lj. (2011). Energetski sustavi i obnovljivi izvori energije. Energetika marketing.
- [2] Majdandžić, Lj. (2010). Fotonaponski sustavi, Tehnička škola Ruđera Boškovića i Srednja škola Oroslavlje, Zagreb.
- [3] <https://globalsolaratlas.info/downloads>
- [4] Kalogirou, S. (2009). Solarna energija: principi i primjene. Školska knjiga.
- [5] Pilić, Z., & Matanović, D. (2008). Energetika i okoliš. Fakultet elektrotehnike i računarstva.
- [6] Green, M. A. (2013). Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications. University of New South Wales.
- [7] Luque, A., & Hegedus, S. (2011). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering (2nd ed.). Wiley.
- [8] Nelson, J. (2003). The Physics of Solar Cells. Imperial College Press.
- [9] <https://nasuncanjojstrani.hr/oprema/>
- [10] Twidell, J., & Weir, T. (2015). Renewable Energy Resources (3rd ed.). Routledge
- [11] Razzaq, S., & Anjum, Z. M. (2017). Solar Photovoltaic Energy: From Fundamentals to Applications. Springer.
- [12] <https://www.renovablesverdes.com/hr/fotonaponski-efekt/>
- [13] Mousazadeh, H., & Rouhi, N. (2016). Solar Cell Technologies: Advances and Applications. Springer.
- [14] <https://www.termo-salon.hr/dizalica-topline.html>
- [15] <https://termometal.hr/cijevni-vakuumski-solarni-kolektor-bosch-solar-8000-tv-vk-120-2-sa-6-cijevi-bez-reflektirajuće-cpc-podloge-proizvod-4739/>
- [16] <https://toplo-i-hladno.hr/2016/04/16/solarni-plocasti-kolektori-vaillant/>
- [17] <https://www.fero-term.hr/product/terma-200abl237-14-1500-w.html>
- [18] Henning, H.-M., & Palzer, A. (2015). Heating and Cooling with Focus on Increased Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Reduction. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.
- [19] Cuce, E., & Cuce, P. M. (2016). Solar Collectors: Efficiency Assessment with Different Materials. Elsevier.
- [20] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2022). Renewables 2022 Global Status Report. REN21.
- [21] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [22] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18)



[23] Tehnički propis za prozore i vrata (NN 69/06)

[24] Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 03/07)

[25] Zakon o gradnji (NN 153/13 , 20/17, 39/19)

## 6. SAŽETAK

Projektiranjem energetske samodostatnog stambenog objekta analiziraju se izazovi i mogućnosti primjene solarne energije i drugih tehnologija za postizanje energetske neovisnosti. S obzirom na sve veće energetske potrebe i utjecaj klimatskih promjena, energetska samodostatnost postaje ključni cilj. Najistaknutija je potreba za učinkovitijim korištenjem obnovljivih izvora energije, s posebnim naglaskom na solarnu energiju i dizalice topline. Cilj ovog rada je dizajnirati sustav za energetske neovisni stambeni objekt koji koristi solarne panele za proizvodnju električne energije i dizalicu topline za grijanje i hlađenje objekta. Stambeni objekt je projektiran prema važećim zakonima i standardima u Hrvatskoj, s naglaskom na energetske učinkovit dizajn i održivost. U radu je analizirana potrošnja energije te je projektiran fotonaponski sustav za pokrivanje energetske potrebe. Korišteni su alati kao što je PVGIS za procjenu proizvodnje energije iz solarnih panela. Analizirani su i stvarni podaci o potrošnji i proizvodnji električne energije za postojeći objekt, što omogućava optimizaciju sustava. Na temelju rezultata zaključeno je da je moguće postići energetske neovisnost pravilnim dimenzioniranjem i projektiranjem sustava za obnovljive izvore energije, a budući aspekti ovog projekta mogli bi se usmjeriti na daljnja istraživanja i unapređenje postojećih metoda za povećanje učinkovitosti fotonaponskih sustava i dizalice topline.

**Ključne riječi:** energetske samodostatni stambeni objekt, fotonaponski sustav, sunčana elektrana, električna energija, dizalice topline

## 7. ABSTRACT

The design of an energy self-sufficient residential building analyzes the challenges and possibilities of using solar energy and other technologies to achieve energy independence. Given the growing energy demands and the impact of climate change, energy self-sufficiency has become a key goal. The most prominent need is for more efficient use of renewable energy sources, with a focus on solar energy and heat pumps. The aim of this paper is to design a system for an energy-independent residential building that utilizes solar panels to generate electricity and a heat pump for heating and cooling. The residential building is designed according to the applicable laws and standards in Croatia, with an emphasis on energy-efficient design and sustainability. The paper analyzes energy consumption and designs a photovoltaic system to meet the energy needs. Tools such as PVGIS were used to estimate the energy production from the solar panels. Actual data on energy consumption and production for the existing building were also analyzed, allowing for system optimization. Based on the results, it was concluded that energy independence can be achieved with proper sizing and design of renewable energy systems. Future aspects of this project could focus on further research and improvement of existing methods to enhance the efficiency of photovoltaic systems and heat pumps.

**Keywords:** energy self-sufficient residential building, photovoltaic system, solar power plant, electrical energy, heat pump

## **8. ŽIVOTOPIS**

Matej Ovčarik rođen je 17. kolovoza 1999. u Osijeku. Osnovnu Školu Josipa Kozarca pohađao je u Josipovcu Punitovačkom. Elektrotehničku i Prometnu školu u Osijeku upisuje 2014. godine i uspješno završava 2018. godine. Stručni prijediplomski studij Elektrotehnike, smjer elektroenergetika na Fakultetu elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku upisuje 2019. godine. U slobodno vrijeme bavi se borilačkim vještinama i član je Hrvatske kickboxing reprezentacije za koju je osvajao medalje na svjetskom i europskom prvenstvu 2021. i 2022. godine. Također je licencirani Instruktor KRAV maga sustava samoobrane.