

# IDEJNO RJEŠENJE UGRADNJE SOLARNIH PANELA NA OBITELJSKU KUĆU

---

**Kopajtić, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:822086>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**TEHNIČKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva**

**Završni rad**

**IDEJNO RJEŠENJE UGRADNJE SOLARNIH PANELA NA  
OBITELJSKU KUĆU**

**Rijeka, rujan 2023.**

**Luka Kopajtić**

**0069084567**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**TEHNIČKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva**

**Završni rad**

**IDEJNO RJEŠENJE UGRADNJE SOLARNIH PANELA NA  
OBITELJSKU KUĆU**

**Mentorica: Doc.dr. sc. Dunja Legović**

**Rijeka, rujan 2023.**

**Luka Kopajtić**

**0069084567**

Rijeka, 13. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije**  
Predmet: **Zaštita okoliša**  
Grana: **2.16.01 inženjerstvo okoliša**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Luka Kopajtić (0069084567)**  
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **IDEJNO RJEŠENJE UGRADNJE SOLARNIH PANELA NA OBITELJSKU KUĆU / CONCEPTUAL SOLUTION FOR THE INSTALLATION OF SOLAR PANELS ON A FAMILY HOUSE**

### Opis zadatka:

Navesti karakteristike solarnih panela i opisati njihov način rada. Opisati načine dobivanja poticaja za ugradnju sustava i osvrnuti se na ugovor s distributerom električne energije. Prikazati projektnu dokumentaciju i razraditi korake idejnog rješenja. Analizirati čimbenike koji utječu na odabir panela. Adekvatno prikazati i komentirati idejno rješenje.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.



Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Doc. dr. sc. Dunja Legović

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

## IZJAVA

Ja Luka Kopajtić potvrđujem da sam osobno izradio završni rad pod naslovom „IDEJNO RJEŠENJE UGRADNJE SOLARNIH PANELA NA OBITELJSKU KUĆU“ pod mentorstvom doc. dr. sc. Dunje Legović kao dio programa preddiplomskog sveučilišnog studija strojarstva na Tehničkom fakultetu u Rijeci. U procesu izrade rada, koristio sam se strukturiranim pristupom u kojem sam pažljivo prikupljao relevantne informacije i analizirao ih u skladu s postavljenim ciljevima istraživanja.

Svi korišteni izvori koji su mi služili kako bi došao do relativnih podataka i odgovora na postavljena pitanja su bili pažljivo odabrani i temeljito proučavani, kako bih osigurao da su relevantni i vjerodostojni.

U izradi ovog rada, strogo sam se pridržavao akademskih standarda i smjernica, sve podatke i informacije sam pažljivo dokumentirao u skladu s pravilima propisanih od strane Tehničkog fakulteta.

Kao što je navedeno u zahtjevima za završni rad, ovaj rad je izrađen samostalno i nije korištena nikakva pomoć osim one koja je izričito navedena u popisu literature. Svi citati i reference su točno i precizno navedeni u tekstu, a svi grafikoni, tablice i slike su precizno označeni i popraćeni odgovarajućim opisima.

Spreman sam odgovoriti na sva pitanja koja se mogu pojaviti u vezi s ovim radom, te sam uvjeren da će ovaj rad pridonijeti akademskoj zajednici na najbolji mogući način.

Rijeka, rujan 2023.

Potpis autora završnog rada:

---

## ZAHVALA

Poštovana doc.dr. sc. Dunja Legović,

Ovim putem želim izraziti svoju zahvalnost na svemu što ste učinili kako biste mi pomogli u izradi mog završnog rada. Vaša podrška, savjeti i kritički osvrti bili su iznimno važni u ovom procesu. Zahvaljujući vašem stručnom znanju, iskustvu i konstantnom usmjerenju, uspio sam stvoriti kvalitetan i relevantan rad koji će mi zasigurno pomoći u daljnjem razvoju karijere.

Hvala vam što ste uvijek bili dostupni i spremni pomoći, kao i na vašem angažmanu i predanosti u radu s nama studentima. Vaše ideje i prijedlozi bili su ključni u oblikovanju mojeg rada, te sam siguran da će i drugim studentima biti od koristi u njihovim završnim radovima.

S poštovanjem,

Luka Kopajtić.

## Sadržaj

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. POVIJEST FOTONAPONSKOG EFEKTA I RAZVOJ FOTONAPONSKJE TEHNOLOGIJE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. IDEJNO RJEŠENJE UGRADNJE SOLARNIH PANELA NA OBITELJSKU KUĆU .....</b>	<b>5</b>
<b>4. GODIŠNJA POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE OBITELJSKE KUĆE .....</b>	<b>6</b>
<b>5. Vrsta priključka, tarifnog modela i veličina zakupljene snage .....</b>	<b>10</b>
<b>6. FAKTORI KOJI UTJEČU NA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE .....</b>	<b>11</b>
<b>6.1. Pozicija .....</b>	<b>11</b>
<b>6.2. Nagib krova.....</b>	<b>13</b>
<b>6.3. Orijehtacija krova .....</b>	<b>14</b>
<b>6.4. Sunčani sati obiteljske kuće.....</b>	<b>15</b>
<b>6.5. Površina krova.....</b>	<b>16</b>
<b>6.6. Materijal krova.....</b>	<b>16</b>
<b>6.7. Starost krova .....</b>	<b>18</b>
<b>6.8. Sjena .....</b>	<b>18</b>
<b>6.9. Stanje krova obiteljske kuće .....</b>	<b>20</b>
<b>7. SOLARNI PANELI .....</b>	<b>24</b>
<b>7.1. Način rada solarnih panela .....</b>	<b>24</b>
<b>7.2. Razlika jedno spojne i više spojne solarne ćelije.....</b>	<b>26</b>
<b>7.3. Podjela solarnih panela.....</b>	<b>28</b>
<b>7.4. Karakteristike solarnih panela .....</b>	<b>33</b>
<b>7.5. Odabir i dimenzioniranje solarnih panela.....</b>	<b>37</b>
<b>8. SOLARNI INVERTERI ILI IZMJENJIVAČI.....</b>	<b>42</b>
<b>8.1. Način rada izmjenjivača .....</b>	<b>42</b>
<b>8.2. Podjela solarnih izmjenjivača .....</b>	<b>43</b>
<b>8.3. Karakteristike solarnih izmjenjivača.....</b>	<b>46</b>

8.4.	Pravilan odabir invertera .....	47
8.5.	Odabir invertera.....	47
9.	ELEKTRIČNO BROJILO .....	48
10.	NOSAČI SOLARNIH PANELA .....	49
10.1.	Funkcija nosača solarnih panela .....	49
10.2.	Krovni nosača solarnih panela.....	50
10.3.	Nosači solarnih panela na tlu .....	52
10.4.	Odabir i dimenzioniranje nosača.....	54
11.	SOLARNE BATERIJE .....	61
11.1.	Način rada solarnih baterija .....	61
11.2.	Podjela solarnih baterija po korištenim materijalima .....	62
11.3.	Podjela solarnih baterija po vrsti električne energije .....	62
11.4.	Karakteristike solarnih baterija .....	63
11.5.	Odabir i dimenzioniranje solarne baterije .....	64
12.	MODELI OTKUPA I PRODAJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U MREŽU .....	65
12.1.	Kupac s vlastitom proizvodnjom i kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu.....	65
12.2.	Povlašteni proizvođač električne energije.....	70
12.3.	Usporedba i odabir modela otkupa i prodaje električne energije ....	71
13.	FINANCIJSKE I EKOLOŠKE PREDNOSTI .....	80
13.1.	Povrat i isplativost investicije.....	80
13.1.	PONIŠTENJE CO <sub>2</sub> EMISIJE .....	84
14.	ZAKLJUČAK .....	87
15.	POPIS LITERATURE .....	89
16.	POPIS SLIKA .....	93
17.	POPIS TABLICA.....	95
18.	SAŽETAK .....	96
19.	SUMMARY .....	97



## 1. UVOD

U današnjem svijetu, obiteljske kuće postaju sve važniji fokus kada je riječ o implementaciji održivih praksi i energetske učinkovitosti. U skladu s rastućim potrebama za smanjenjem potrošnje konvencionalnih izvora energije te brigu za okoliš, integracija solarnih sustava kao alternativnog izvora energije postaje ne samo razborita, već i nezaobilazna. U tom kontekstu, razmatranje idejnog rješenja solarnog sustava za obiteljsku kuću postaje ključno.

Ovaj završni rad istražuje mnoge aspekte i potencijale koji proizlaze iz integracije solarnih sustava u obiteljsku kuću. Također, analizira izazove koji se mogu pojaviti tokom implementacije, uzimajući u obzir tehničke, financijske i estetske faktore. Kroz duboko razmatranje prednosti koje solarni sustavi donose, kao i potencijalnih prepreka koje je potrebno prevazići, cilj je stvoriti sveobuhvatnu sliku o tome kako solarni sustavi mogu oblikovati energetska budućnost obiteljske kuće.

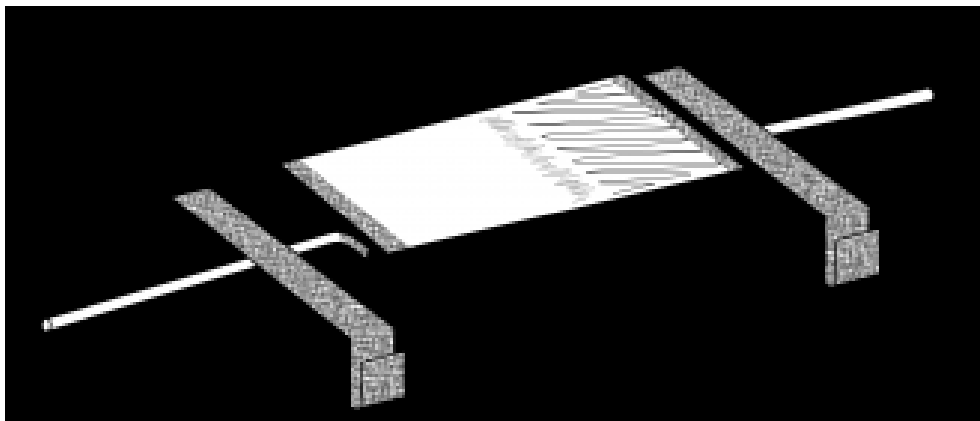
Ovo izvođenje idejnog rješenja postavlja temelje za održivu, energetska efikasna i ekološka osviještenu kuću, koja ne samo da odgovara suvremenim ekološkim standardima, već i pruža praktična rješenja koja doprinose smanjenju ekološkog otiska. Kroz ovu analizu, želimo potaknuti razmišljanje o integraciji solarnih sustava u obiteljske kuće kao ključnog koraka prema održivijoj i energetska neovisnoj budućnosti.

## **2. POVIJEST FOTONAPONSKOG EFEKTA I RAZVOJ FOTONAPONSKE TEHNOLOGIJE**

Prvo otkriće solarne ćelije označilo je početak nove metode proizvodnje energije. Proučavanje ove novonastale metode znanstvenici iteracijskim putem i konstantnim preinakama pospješuju nove napretke u području solarne energije koji traju još i danas. Povijest solarne energije priča je o inovacijama koje su započele početkom 19. stoljeća.

Godine 1839. francuski znanstvenik Edmond Becquerel otkrio je fotonaponski efekt u dobi od 19 godina. Shvatio je da se, kada su elektroni u pobuđenom stanju u vodljivom pojasu, mogu slobodno kretati kroz materijal, stvarajući tako struju. Ali to nije bilo široko priznato sve dok Einstein nije napisao članak o snazi sunca za koji je naposljetku dobio Nobelovu nagradu 1922. Prvu solarnu ploču izumio je Charles Fritts 1883. gdje je obložio tanki sloj selenija s iznimno tankim slojem zlata. Rezultirajuće ćelije imale su električnu učinkovitost pretvorbe od samo 1%. Ovaj izum doveo je do preokretne točke solarne energije koja obilježava početak potrage za proizvodnjom solarne energije.

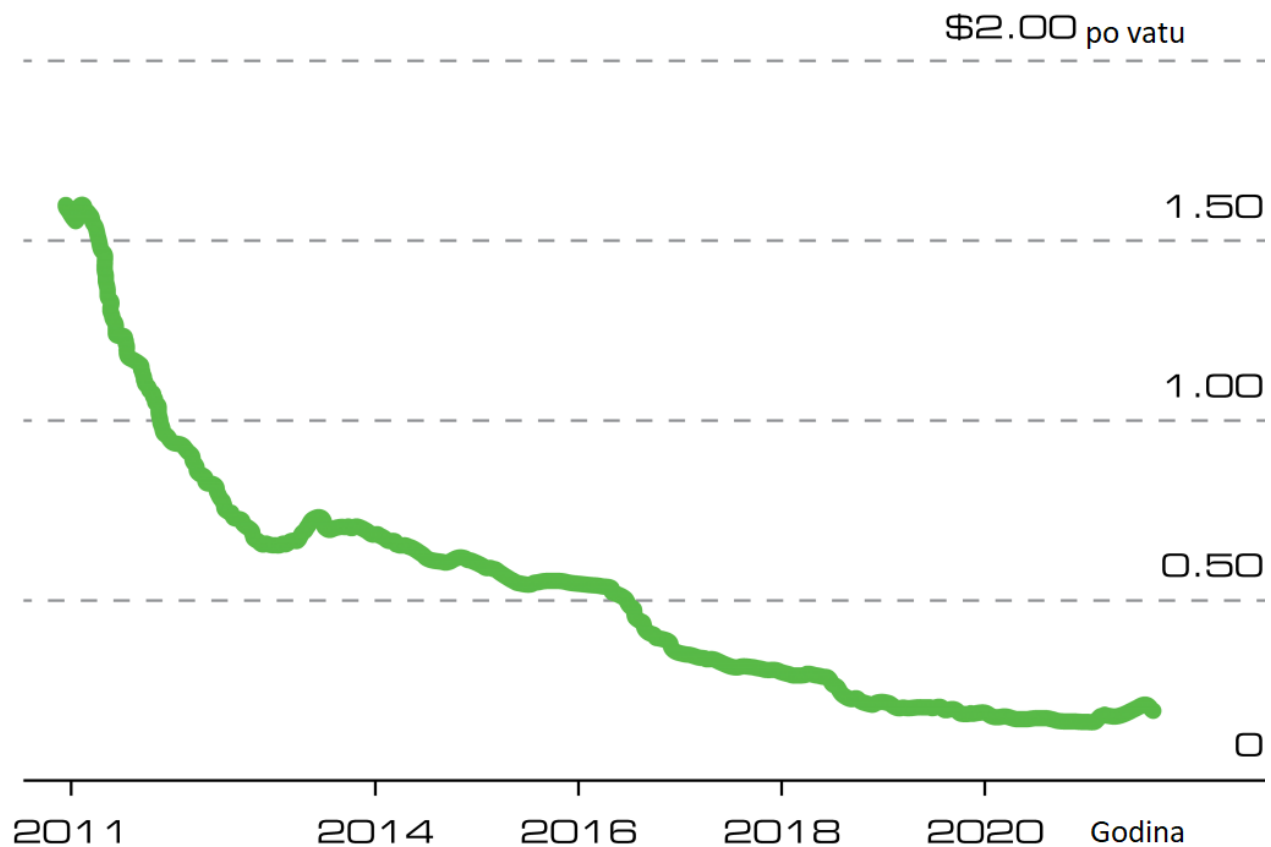
Solarna era započela je 1950. godine kada su se znanstvenici Bell Laboratorija usredotočili na fotonaponski razvoj i počeli koristiti silicij za proizvodnju solarnih ćelija. Za ovaj napredak zaslužni su Daryl Chapin, Calvin Fuller i Gerald Pearson koji su postigli učinkovitost od samo 4%. Ovaj napredak naveo je američku vladu da uloži više novca u tehnologiju solarnih ćelija. U 1960-ima i 1970-ima proizvodnja solarnih panela bila je moguća, ali glavni nedostatak je bila cijena koja je preskupa za građanstvo, ali znanstvenici su nastavili razvijati tehnologiju solarne energije kako bi smanjili troškove. S pojavom poluvodiča 1941., Russel S. Ohl opisao je proces formiranja silicijevih ingota koji je doveo do prve P-N spojne ćelije. Ohl je iz ingota izrezao dio uključujući gornji, barijerni i donji dio, te pričvrstio elektrode na gornji i donji dio, čime je postigao prvu silicijsku solarnu ćeliju. Slika (slika 2.1. Silicijska P-N ćelija) na slijedećoj strani predstavlja prvu ikada patentiranu silicijsku P-N -EMF (PN spojnu elektromotornu silu) ćeliju.



*Slika 2.1. Silicijska P-N -EMF ćelija [1]*

U 1950-ima svijet je imao manje od jednog vata proizvedene energije od strane solarnih ćelija za napajanje električne opreme. U 21. stoljeću, 50 godina neprekidnog otkrivanja i razvoja silicija i drugih fotonaponskih materijala koji još uvijek traju, danas solarni paneli opskrbljuju električnom energijom milijunima kuća, napajaju zgrade, satelite i daju čistu zelenu energiju diljem svijeta.

Globalni instalirani kapacitet solarne energije procjenjuje se na oko 728 GW i procjenjuje se da će porasti na 1645 GW 2026. godien. Solarne energija iskazuje najbrži pad troškova među energetske tehnologijama. Cijena silicijskih fotonaponskih ćelija 1950-ih bila je 76 US\$/Watt što je značajno palo na 0,20 US\$/Watt u 2021. Od 2000. cijene su značajno smanjene sve do 2019. gdje se obilježava prestanak smanjenja i početak ujednačavanja cijena. Slika (slika 2.2. Trend smanjenja troškova tehnologije) na slijedećoj strani prikazuje trend smanjenja troškova.



Slika 2.2. Trend smanjenja troškova solarne tehnologije [1]

Veće tvornice, upotreba automatizacije i učinkovitije metode proizvodnje donijeli su razvoju ekonomije, niže troškove rada i manje materijalnog otpada za solarni sektor. Prosječna cijena solarne ploče pala je za 90% od 2010. do 2020. [1]

### **3. IDEJNO RJEŠENJE UGRADNJE SOLARNIH PANELA NA OBITELJSKU KUĆU**

U ovom završnom radu prikazat ćemo idejno rješenje solarnog sustava. Idejno rješenje obuhvaća solarni sustav koji ima za cilj eliminirati troškove električne energije u kućanstvu. Glavni cilj je odabrati odgovarajuće komponente i dimenzionirati sustav kako bi se postigla ravnoteža između proizvodnje električne energije i godišnje potrošnje.

Svaka kuća posjeduje specifične karakteristike i uvjete koji utječu na dimenzioniranje i performanse solarnog sustava. Razvoj solarnog sustava za kućanstvo zahtijeva temeljitu analizu, potrebno je uzeti u obzir individualne uvjete i ograničenja svake kuće.

Instalacija solarnih panela na kuću predstavlja važan korak prema smanjenju potrošnje konvencionalne energije te pridonosi održivijem energetsom okruženju. Idejno rješenje za postavljanje solarnih panela na kuću zahtijeva pažljivo planiranje uzimajući u obzir tehničke, estetske i financijske aspekte. U nastavku će biti detaljno opisano kako se može provesti ta instalacija.

Prvo je potrebno analizirati godišnju potrošnju električne energije kako bismo odredili optimalnu veličinu solarnog sustava. Također, treba istražiti poziciju, nagib i orijentaciju krova te stanje površine krova. To će nam omogućiti pravilan izbor vrsta i dimenzija solarnih panela prema potrebama kuće. Nadalje, trebamo odabrati inverter koji će pretvarati energiju koju generiraju paneli u električnu energiju koja je upotrebljiva u kućanstvu. Na temelju prethodno navedenih parametara, dizajnirat ćemo nosače za solarni sustav.

Konačno, bitno je provjeriti da idejno rješenje zadovoljava uvjete za profitabilnu investiciju i predstavlja realistično rješenje za suočavanje s izazovima klimatskih promjena.

## 4. GODIŠNJA POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE OBITELJSKE KUĆE

Prilikom dimenzioniranja veličine solarnih elektrana, uzima se u obzir niz faktora, no ključna informacija je potreba kućanstva za električnom energijom. To uključuje prošlogodišnju potrošnju, temeljenu na izvodima računa u kilovat satima (kWh), kao i buduću potrošnju. Za precizno projektiranje solarnih elektrana, potrebno je dostaviti izvode računa za proteklih 12 mjeseci, kao i procjenu povećanja potrošnje zbog uvođenja dodatnih uređaja u kućanstvo.

Postoji nekoliko načina kako doći do izvoda računa, direktnim kontaktiranjem opskrbljivača električne energije i slanjem upita za ispis mjesečne potrošnje električne energije koju je isto moguće iščitati sa računa. Također, moguće je koristiti energetske kartice ili Obrazac zahtjeva vezan uz postojeća mjerna mjesta, koji se mogu pronaći na web stranicama HEP ODS-a, kako biste dobili izvode računa. Ukoliko imamo dodatne uređaje koji značajno povećavaju potrošnju, kao što su dizalice topline, zamrzivači, hladnjaci, klime, električni automobili i slično, važno ih je navesti prilikom projektiranja solarne elektrane. Ako se radi o novogradnji ili objektu u fazi izgradnje koji nema izvode računa za struju, trebali bismo dostaviti informacije o procjeni potrošnje u kućanstvu. Ta procjena potrošnje trebala bi biti dio elektrotehničkog projekta za objekt, odnosno kuću [2].

U slučaju ove obiteljske kuće godišnja prošla i buduća potrošnja je 5384 kilovat sati jer nema uvođenja novih uređaja, moguć je pad tokom godina zbog promjene starih uređaja s novima koji su efikasniji pa zahtijevaju manje električne energije. Godišnja potrošnja je dobivena zbrajanjem električne potrošnje više i niže tarife sa računa za struju koji se izdaje u slučaju ove kuće za svakih šest mjeseci. Podaci su označeni crvenim kvadratom (slika 4.1. Potrošnja električne energije (01.05.2022.-31.10.2022.)), slika 4.2. Potrošnja električne energije (01.11.2022.-30.04.2022.)).

<b>OBRAČUNSKE STAVKE</b>			
	količina (kWh). (mj <sup>2</sup> )	cijena EUR	iznos EUR
RVT Distribucija	1926	0,034508	66,46
RVT Distribucija	221	0,034508	7,63
RNT Distribucija	674	0,015927	10,73
RNT Distribucija	76	0,015927	1,21
Naknada za OMM Distribucija	6,00	1,540	9,24
<b>Distribucija ukupno</b>			<b>95,27</b>
RVT Prijenos	1926	0,017254	33,23
RVT Prijenos	221	0,017254	3,81
RNT Prijenos	674	0,006636	4,47
RNT Prijenos	76	0,006636	0,50
<b>Prijenos ukupno</b>			<b>42,01</b>
RVT Opskrba	1529	0,074789	114,35
RVT Opskrba	221	0,074789	16,53
RNT Opskrba	216	0,036698	7,93
RNT Opskrba	319	0,036697	11,71
RNT Opskrba	76	0,036697	2,79
RVT Opskrba > 2.500 kWh	160	0,112191	17,95
RVT Opskrba > 2.500 kWh	237	0,112184	26,59
RNT Opskrba > 2.500 kWh	56	0,055053	3,08
RNT Opskrba > 2.500 kWh	83	0,055046	4,57
Naknada za opskrbu	6,00	0,982	5,89
<b>Opskrba ukupno</b>			<b>211,39</b>
<b>Ukupan iznos za el.energiju</b>			<b>348,67</b>
Naknada za OE	1050	0,013936	14,63
Naknada za OE	1847	0,013936	25,74
Solidarna naknada	2897	0,003982	11,54
Popust za solidarnu naknadu	-2897	0,003982	-11,54

Slika 4.1. Potrošnja električne energije (01.05.2022.-31.10.2022.)

<b>KUĆANSTVO BIJELI</b>			
	količina (kWh). (mj <sup>2</sup> )	cijena kn	iznos kn
Električna energija RVT	1736	0,13000	225,68
Električna energija RNT	751	0,05000	37,55
Naknada za korištenje prijenosne mreže			263,23
Električna energija RVT	1736	0,26000	451,36
Električna energija RNT	751	0,12000	90,12
Naknada za obračunsko mjesto	6	11,60000	69,60
Naknada za korištenje distribucijske mreže			611,08
Električna energija RVT	1736	0,56350	978,24
Električna energija RNT	751	0,27650	207,65
Naknada za opskrbu	6	7,40000	44,40
<b>Opskrba električnom energijom</b>			<b>1.230,29</b>
<b>Iznos za električnu energiju</b>			<b>2.104,60</b>

Slika 4.2. Potrošnja električne energije (01.11.2022.-30.04.2023.)

Budući da su ovi računi ispisani na šest mjesečnoj razini potrebno je uzeti godišnju potrošnju i podijeliti je sa dvanaest kako bi dobili mjesečnu potrošnju pošto pretpostavljamo da nema oscilacija u potrošnjama među mjesecima jer je potrošnja električne energije kroz dane mahom konstantna (4.1.):

$$\text{Mjesečna potrošnja} = \frac{\text{Godišnja potrošnja}}{12} \quad (4.1.)$$

$$\text{Mjesečna potrošnja} = \frac{5384}{12} = 448.67 \text{ kWh}$$

Vidimo sa računa da je 3883 kilovat sati potrošeno u višoj tarifi dok je 1501 kilovat satima potrošeno u nižoj tarifi, iz toga možemo izvesti postotak potrošnje u svakoj tarifi (4.2., 4.3.):

$$\text{Postotak potrošnje u višoj tarifi} = \frac{\text{Godišnja potrošnja u višoj tarifi}}{\frac{\text{Godišnja potrošnja}}{100}} \quad (4.2.)$$

$$\text{Postotak potrošnje u višoj tarifi} = \frac{3883}{\frac{5384}{100}} = 72.12 \%$$

$$\text{Postotak potrošnje u nižoj tarifi} = \frac{\text{Godišnja potrošnja u nižoj tarifi}}{\frac{\text{Godišnja potrošnja}}{100}} \quad (4.3.)$$

$$\text{Postotak potrošnje u nižoj tarifi} = \frac{1501}{\frac{5384}{100}} = 27.88 \%$$



Sada možemo odrediti mjesečnu potrošnju električne energije u višoj i nižoj tarifi na sljedeći način (4.4., 4.5.):

***Mjesečna potrošnja u višoj tarifi***

$$= \frac{\text{Mjesečna potrošnja}}{100} * \text{Postotak potrošnje u višoj tarifi} \quad (4.4.)$$

$$\text{Mjesečna potrošnja u višoj tarifi} = \frac{448.67}{100} * 72.12 = 323.6 \text{ kWh}$$

***Mjesečna potrošnja u nižoj tarifi***

$$= \frac{\text{Mjesečna potrošnja}}{100} * \text{Postotak potrošnje u nižoj tarifi} \quad (4.5.)$$

$$\text{Mjesečna potrošnja u nižoj tarifi} = \frac{448.67}{100} * 27.88 = 125.1 \text{ kWh}$$

## 5. Vrsta priključka, tarifnog modela i veličina zakupljene snage

Ograničavajući faktor uslijed dimenzioniranja solarne elektrane predstavlja priključak. Ovisno o vrsti priključka i zakupljenoj snazi priključka određuje se sustav koji će se dimenzionirati. Priključak za električnu energiju može biti jednofazni ili trofazni. Za sustave s jednofaznim priključkom maksimalna AC snaga solarne elektrane (snaga invertera prema elektroenergetskoj mreži) može biti 3,6 kilovata, dok se DC snaga solarne elektrane (snaga fotonaponskih modula) može prilagoditi potrošnji (preporučljivo do maksimalno 5 kilovata). Kućanstava s trofaznim priključkom mogu ugraditi solarnu elektranu sukladno zakupljenoj snazi priključka.

Priključak kuće je trofazni i zakupljena snaga iznosi 13.4 kilovata, kućanstvo se služi bijelim tarifnim modelom (tablica 5.1. Cijena bijelog tarifnog modela) [3].

*Tablica 6.1.1. Cijena bijelog tarifnog modela*

BIJELI TARNIFNI MODEL CIJENE			
	ELEKTRIČNA ENERGIJA	PRIJENOS	DISTRIBUCIJA
VIŠA TARIFA	0.074789 euro/kWh	0.017254 euro/kWh	0.034508 euro/kWh
NIŽA TARIFA	0.036697 euro/kWh	0.006636 euro/kWh	0.015927 euro/kWh

OPSKRBA	MJERNO MJESTO	OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE
0.982 euro/mj	1.54 euro/mj	0.013936 euro/kWh

## 6. FAKTORI KOJI UTJEČU NA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

U stvarnom svijetu, postoji niz čimbenika koji utječu na ukupnu proizvodnju energije solarnog sustava tijekom godine. Nagib, orijentacija, geografska širina, klimatski uvjeti i drugi čimbenici mogu značajno utjecati na performanse solarnog sustava. Stoga je važno razumjeti kako ovi faktori mogu utjecati na solarnu proizvodnju ako želimo smanjiti troškove električne energije putem solarnih panela. Učinkovitost solarnih ćelija određuje koliko sunčeve svjetlosti može biti pretvoreno u električnu energiju. Postoje neki ključni faktori koje treba uzeti u obzir kako bi se osigurala optimalna učinkovitost solarnih panela. Važno je napomenuti da na neke od tih faktora ne možemo utjecati jer su ograničeni položajem i geometrijom obiteljske kuće, ali oni značajno utječu na proizvodnju električne energije.

### 6.1. Pozicija

Pozicija ili položaj kuće je važan faktor jer određuje klimu i direktno utječe na broj sunčanih sati dostupnih solarnim panelima. Sunčani sati su bitni jer mjere količinu sunčeve svjetlosti koju neko područje prima. Sunčani sat se definira kao jedan sat tijekom kojeg je prosječna solarna zračenost 1000 vata po kvadratnom metru, što je ekvivalentno 1000 vat sati ili 1 kilovat sat (6.1.1.):

$$\begin{aligned} & \mathbf{1 \text{ sunčani sat}} \\ & = \mathbf{1 \text{ satu sunca na } 1000 \text{ W/m}^2 = 1000 \text{ Wh/m}^2 = 1 \text{ kWh/m}^2 \quad (6.1.1.) \end{aligned}$$

Koristeći povijesne podatke, možemo procijeniti količinu sunčeve svjetlosti koju očekujemo da će određeno mjesto primiti tijekom jednog dana i izraziti tu vrijednost u sunčevim satima. Na primjer, u Brazilu se prosječno očekuje oko 5,71 sunčanih sati dnevno. To znači da će tijekom prosječnog dana sunce emitirati 5,71 kilovat sat sunčeve svjetlosti po kvadratnom metru. Solarni

paneli obično imaju nazivnu snagu od 1000 W/m<sup>2</sup> (1 kW/m<sup>2</sup>) pa možemo očekivati da će tijekom jednog sunčanog sata 1 kW solarni sustav generirati 1 kWh električne energije, prije nego što se uzmu u obzir gubici sustava i drugi vanjski čimbenici poput okolne temperature. Poznavanje broja sunčanih sati na našoj lokaciji je korisno jer nam omogućuje jednostavnu procjenu količine energije koju solarni sustav može proizvesti. Za ilustraciju, vratimo se na primjer Brazila. Pretpostavimo da razmišljamo o postavljanju 5 kW solarnog sustava na svoj krov i želimo procijeniti koliko energije bi mogao proizvesti. Gruba procjena se može dobiti množenjem broja sunčanih sati s nazivnom snagom solarnog sustava (6.1.2.):

$$\begin{aligned} \text{procjenjeni napon po danu} &= 5 \text{ kW} * 5,71 \text{ sunčanih sati po danu} \\ &= 28,55 \text{ kWh po danu} \quad (6.1.2.) \end{aligned}$$

To bi značilo da u idealnom scenariju naš solarni sustav bi proizveo 28,55 kWh energije dnevno. Važno je napomenuti da ova procjena ne uzima u obzir faktore poput sjene, gubitaka u sustavu zbog okolne temperature i neefikasnosti komponenata. Navedenu metodu treba koristiti kao brzu i okvirnu procjenu [4,5,6].

Iako je lako pronaći informacije o sunčanim satima putem raznih online kalkulatora, također je važno spomenuti da postoje karte sunčanih sati. Na tim kartama se prikazuju mjesta s mjerama sunčanih sati, obično izražene u kWh/m<sup>2</sup> ili u broju sunčanih sati. Pri računanju proizvodnje solarnog sustava, sunčani sati bi trebali uzeti u obzir globalno horizontalno sunčevo zračenje (Global Horizontal Irradiance, skraćeno GHI) ili globalni kut sunčevog zračenja (Global Tilted Irradiance, skraćeno GTI). GTI se odnosi na kut pod kojim su solarni paneli postavljeni u odnosu na horizontalnu ravninu, što povećava točnost procjene proizvodnje solarnih panela [7].

## 6.2. Nagib krova

Nagib krova ima izravan utjecaj na proizvodnju električne energije solarnog sustava jer određuje kut pod kojim sunčeve zrake padaju na solarne panele i time utječe na njihovu efikasnost. Idealno bi bilo prilagođavati nagib panela tijekom godine kako bi se iskoristila veća sunčeva visina ljeti i niža zimi. Međutim, sustavi koji prate kretanje sunca su skuplji, zahtijevaju održavanje zbog pokretnih dijelova i mogu se montirati samo na tlu. Sustavi s fiksnim nagibom imaju optimalni kut koji će iskoristiti najviše od svake sezone. Iako nekoliko stupnjeva može imati manji utjecaj na učinkovitost tijekom jedne godine, razlika tijekom životnog vijeka sustava može biti značajna. Klimatski uvjeti i geografska lokacija solarnih modula igraju važnu ulogu pri odabiru optimalnog kuta nagiba za visoku proizvodnju energije. Kada je površina panela okomita na smjer sunčevog zračenja, proizvodnja je uvijek veće nego kada je površina postavljena pod drugim kutom. Nagib panela uzima u obzir položaj sunca tijekom godine, pa se optimalni kut nagiba može mijenjati s vremenom. Uobičajeno se odabire vrijednost nagiba koja osigurava maksimalnu prosječnu snagu primljenu tijekom godine prilikom instalacije fiksnih modula. Za maksimalnu pretvorbu svjetlosti u električnu energiju, solarni paneli moraju biti montirani pod određenim kutom kako bi bili usmjereni izravno prema suncu. Sustavi koji prate kretanje sunca omogućuju promjenu kuta nagiba tijekom godine kako bi se maksimizirala solarna energija dobivena od sunca, ali takva prilagodba nije moguća na fiksnom krovnom solarnom sustavu. Nagib krova nije tako važan kao orijentacija. Općenito, idealni kut krova za generiranje energije iznosi oko 30 stupnjeva. Previše strm krov otežava instalaciju, dok ravni krovovi omogućuju postavljanje panela pod idealnim kutom, ali zahtijevaju skuplju izvedbu zbog posebnih nosača. Kao opća smjernica, paneli bi trebali biti nagnuti pod kutom sličnim geografskoj širini na kojoj se nalazite. Na primjer, ako živite u Rijeci na 45 stupnjeva sjeverne širine, tada bi solarni paneli trebali biti okrenuti prema jugu i nagnuti pod kutom od oko 45 stupnjeva [4,5,6].

### 6.3. Orijentacija krova

Orijentacija krova igra važnu ulogu u efikasnosti proizvodnje električne energije solarnog sustava, jer određuje azimut pod kojim sunčeve zrake padaju na solarne panele. Za pravilan izračun proizvodnje fotonaponskog sustava, ključno je poznavanje solarnog zračenja u ravnini koje odgovara instalaciji solarnog sustava i putanje sunca kroz različita vremena tijekom godine. Položaj sunca određen je visinom i azimutom. Orijentacija fotonaponskog modula odnosi se na kut površine modula u odnosu na geografski jug na sjevernoj hemisferi, ili kut površine u odnosu na sjever na južnoj hemisferi. Općenito, dobra smjernica je maksimalno odstupanje od +/- 20 stupnjeva, iako to nije uvijek moguće postići. Na sjevernoj hemisferi, solarni paneli se obično postavljaju prema istinskom jugu (a na južnoj hemisferi, prema istinskom sjeveru) kako bi primili što više direktnog zračenja tijekom cijelog dana. Kut orijentacije panela temelji se samo na jednom kutu, a to je azimut panela. Solarni azimut je kut koji formira solarni meridijan i meridijan mjesta (jug na sjevernoj hemisferi i sjever na južnoj hemisferi). Taj kut je nula u podne, negativan ujutro i pozitivan poslijepodne. Važno je naglasiti da položaj modula na krovu također može značajno utjecati na proizvodnju. Najbolji smjer za postavljanje modula je prema jugu, s drugim najboljim smjerom prema zapadu, dok je treća opcija prema istoku. Krovovi usmjereni prema sjeveru u nekim slučajevima mogu pružiti dovoljno proizvodnje da opravdaju instalaciju solarnih panela, ali često se ne preporučuje orijentacija prema sjeveru. Iako nemamo kontrolu nad tim koliko prostora na krovu je dostupno prema određenom azimutu, možemo biti strateški u korištenju raspoloživog prostora kako bismo optimizirali proizvodnju našeg sustava [4,5,6].

#### 6.4. Sunčani sati obiteljske kuće

Koristeći informacije iz ovih prethodno analiziranih dijelova, možemo izračunati broj sunčanih sati za obiteljsku kuću. To ćemo postići tako da unesemo podatke o lokaciji, nagibu i orijentaciji krova u "Peak sun hours calculator" [7]. Konkretno, za našu poziciju koristimo podatke Buzdohanj 30, Halovac, Croatia, nagib krova iznosi  $23^\circ$ , a orijentacija krova je  $230^\circ$  u odnosu na sjever. Dobiveni rezultat iznosi prosječno 3.07 sunčanih sati dnevno. Nadalje, broj sunčanih sati mjesečno iznosi:

- Siječanj: 1
- Veljača: 1.38
- Ožujak: 2.55
- Travanj: 3.8
- Svibanj: 4.86
- Lipanj: 5.17
- Srpanj: 5.45
- Kolovoz: 4.87
- Rujan: 3.5
- Listopad: 2.24
- Studeni: 1.14
- Prosinac: 0.88

## **6.5. Površina krova**

Površina krova odredit će koliko solarnih panela možemo postaviti. U Hrvatskoj, prosječna veličina solarnog sustava za kuću iznosi 5 kilovata ili otprilike 12-13 panela snage 400 wata. Svaki solarni panel zahtijeva približno 1,6 kvadratnih metara prostora. Dakle, za smještaj 12 panela na krovu koji je okrenut prema jugu ili zapadu, trebat će nam otprilike 19,2 kvadratnih metra površine. Imajući dovoljno veliku površinu krova pruža nam i fleksibilnost pri instalaciji solarnog sustava kako bismo se mogli prilagoditi preprekama poput sjena od objekata poput dimnjaka, antena i slično [8].

## **6.6. Materijal krova**

Materijal krova, instalateri solarnih panela imaju mogućnost postavljanja panela na različite vrste krovne obloge, pri čemu su asfaltni šindra najčešći izbor. Međutim, panele je moguće instalirati na većinu uobičajenih krovova, uključujući pločice, metalne krovove, škrljevence pa čak i drvene šindre. Važno je napomenuti da neke vrste krovnih obloga zahtijevaju složeniju instalaciju u odnosu na druge. Stoga, ukoliko krov koristi zahtjevniji materijal, trošak instalacije solarnih panela može biti veći.

Kompozitne šindre su najčešći i često smatraju se najboljim materijalom krova na kojem se mogu instalirati solarni paneli. Ovaj materijal krova pruža širok raspon opcija za opremu i instalatere zbog svoje široke upotrebe. To rezultira smanjenom potrebom za specijaliziranom solarnom opremom i radnom snagom, što doprinosi smanjenju ukupnih troškova projekta. Kompozitne šindre su često i najpristupačniji tip krovnog materijala te dolaze u mnogo boja. Većina proizvođača nudi standardno jamstvo od 30 godina, iako se očekuje da će trajati između 15 i 25 godina, ovisno o uvjetima i održavanju. Ako je kompozitni krov stariji od 15 godina ili pokazuje znakove značajnog trošenja, preporučljivo je zamijeniti šindre prije instalacije solarnih panela, što će osigurati optimalnu podršku i trajnost panela. U svakom slučaju, kompozitne šindre se smatraju jednim od najboljih materijala za instalaciju solarnih panela.



Cigleni krov je još jedan vrlo čest tip krova koji se može naći u gotovo svakom susjedstvu. Pločice ciglenog krova mogu biti napravljene od različitih materijala, stoga je važno precizno utvrditi od kojeg materijala su vaše pločice prije nastavka procesa. Materijali za krovne pločice uključuju glinu, keramiku, metal, sintetički cedar, škriljevac i beton. Vrsta materijala može imati utjecaj na cijenu solarnog projekta. Na primjer, instalacija solarnih panela na cigleni krov može biti skuplja u usporedbi s instalacijom na betonski krov. Kada se solarni paneli postavljaju na krov s pločicama, moraju se pričvrstiti na nosače koji će podići panele iznad krova. Visina podizanja panela ovisit će o samom materijalu, a cijena također ovisi o vrsti materijala pločica.

Metalni krovovi s izbočenim spojevima su jedan od najboljih materijala krova za postavljanje solarnih panela. Ovi krovovi imaju izbočene spojeve koji olakšavaju pričvršćivanje panelnog niza, što rezultira jednostavnijom i jeftinijom instalacijom. Dodatna prednost ovog tipa krova je da nije potrebno bušiti rupe u samom krovu. Metalni krovovi su također ekološki prihvatljivi jer se često izrađuju od recikliranih materijala i imaju dug vijek trajanja od preko 30 godina. Metalni krovovi s izbočenim spojevima omogućuju postavljanje tankoslojnih i standardnih panela. Ovi krovovi također reflektiraju sunčevu svjetlost na dijelove koji nisu pokriveni panelima, što rezultira hlađenjem krova i povećanjem učinkovitosti solarnog sustava.

Kod kuća s ravnim krovom, često se koristi krov od katrana i šljunka. Ovaj tip krova sastoji se od slojeva ploča koje su pričvršćene vrućim katranom i krovnom folijom, a mogu se dodati i druge mineralne prevlake. S obzirom na ravan oblik krova, potrebno je instalirati nosače koji mogu nagibati panele pod kutom od 30 stupnjeva. Iako ovo može biti jednostavno izvedeno, instalacija na ravnom krovu od katrana i šljunka može biti skuplja u usporedbi s kosim krovom ili drugim vrstama materijala. Unatoč tome, krov od katrana i šljunka i dalje je vrlo prikladan za postavljanje solarnih panela.

Posljednji tip krova je drveni krov. Drveni krovovi su još jedan tip krova koji može imati kosu ili potpuno ravnu strukturu, ovisno o dizajnu kuće. Međutim, zbog sigurnosnih razloga, drveni krovovi nisu prikladni za instalaciju solarnih panela zbog opasnosti od požara. Stoga, drvo se ne preporučuje kao najbolji materijal za postavljanje solarnih panela.

Napredak opreme i znanja instalatera u posljednjim godinama omogućio je instalaciju solarnih panela na različite vrste krovnih materijala. Dakle, najbolji materijal za krov je onaj koji osigurava sigurnost solarnih panela tijekom njihovog dugotrajnog jamstvenog razdoblja od 25

godina ili više. Iako postoje manje prednosti jednog materijala u odnosu na drugi, ta razlika je minimalna kada se radi o povratu investicije. Stoga je važno instalirati solarni sustav što je prije moguće kako bismo počeli štedjeti novac i proizvoditi čistu energiju [9].

### **6.7. Starost krova**

Starost krova, prema istraživanju Nacionalnog udruženja građevinara, asfaltni šindri krov obično traje oko 20 godina, dok škrljevac, bakar, pločice i metalni krovovi mogu trajati 50 godina ili čak duže. Većina kućnih solarnih sustava ima jamstvo trajanja od 25 godina, ali vjerojatno će funkcionirati mnogo duže. Stoga, ako nam je krov potrebno zamijeniti unutar sljedećih 10 godina ili manje, preporučljivo je to učiniti prije instalacije solarnih panela. Iako je moguće zamijeniti krov nakon postavljanja panela, to zahtijeva uklanjanje panela i nosača, zamjenu krova, te ponovno postavljanje panela, što dodatno povećava troškove projekta [9].

### **6.8. Sjena**

Sjena ima značajan utjecaj na solarni fotonaponski sustav. Bilo da se radi o potpunoj ili djelomičnoj zasjenjenosti, to može dovesti do smanjenja proizvodnje energije i gubitka snage. Solarni paneli su sastavljeni od ćelija povezanih u seriju kako bi se postigao veći napon i odgovarajuća proizvodnja električne energije. Međutim, kada dođe do zasjenjenosti, takva struktura ima svoja ograničenja. Na primjer, kada je jedna solarna ćelija zasjenjena, struja svih ćelija u nizu ograničena je ćelijom koja proizvodi najmanju struju. Ako je jedna ćelija potpuno zasjenjena, cijeli niz praktički je zasjenjen. Kako bismo spriječili gubitak energije, u sustavu se obično koriste diode za premost. Te diode su spojene paralelno s solarnim ćelijama. Kada je jedna ćelija zasjenjena, dioda za premost omogućuje struji da prođe putem koji omogućuje ostalim povezanim ćelijama da generiraju energiju s nižim naponom. Analiza zasjenjivanja ključan je korak u fazi projektiranja ili analize solarnog energetskeg sustava. Zasjenjivanje je čest faktor na mnogim lokacijama, stoga je važno provesti analizu zasjenjivanja tijekom istraživanja terena kako bismo identificirali eventualne prepreke poput drveća ili zgrada koje

mogu blokirati sunčevu svjetlost. Postoje matematičke jednadžbe koje se koriste za izračunavanje zasjenjivanja sunca i pružanje realnih očekivanja klijentu o energiji koju solarni sustav može pružiti (6.8.1., 6.8.2., 6.8.3.):

$$h = \frac{D * \tan \alpha}{\cos(\Phi - \Psi)} \quad (6.8.1.)$$

$h, D$  – geometrija horizontalne sjene objekta

$\alpha$  – visina sunca

$\Phi$  – solarni azimut

$\Psi$  – azimut plohe panela

$$w = D * \tan(\Phi - \Psi) \quad (6.8.2.)$$

$w, D$  – geometrija vertikalne sjene objekta

$\Phi$  – solarni azimut

$\Psi$  – azimut plohe panela

$$y = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \alpha}{\cos(\Phi - \Psi)} \right) \quad (6.8.3.)$$

$y$  – kut vertikalne sjene

$w, D$  – geometrija vertikalne sjene objekta

$\Phi$  – solarni azimut

$\Psi$  – azimut plohe panela

Postoje različite vrste zasjenjivanja solarnih sustava, koje ovise o objektima koji stvaraju sjenu. Privremeno zasjenjivanje može biti uzrokovano oblacima, pticama, prašinom ili otpalim lišćem. Međutim, zasjenjivanje koje dolazi od zgrade predstavlja kritičan problem jer uključuje izravnu sjenu. Primjeri takvog zasjenjivanja mogu uključivati dimnjake, gromobrane, satelitske

antene, antene, izbočine na krovu i fasadi, promjene u strukturi zgrade, nadogradnju na krovu i slično. Zasjenjivanje iz okoline proizlazi iz okolnih objekata zgrade, kao što su stabla, grmlje, kablovi koji prolaze preko zgrada ili susjedne i udaljene zgrade koje mogu blokirati horizont. Kod sustava s montažnim nosačima na ravnim krovovima, moguće je i samozasjenjivanje modula zbog rasporeda modula u redovima. U takvim slučajevima važno je optimizirati nagib i razmak između redova modula kako bi se smanjilo zasjenjivanje. Izravno zasjenjivanje može rezultirati velikim gubicima energije jer blizina objekta koji stvara sjenu sprječava PV solarni panel da uhvati svjetlost [8,10].

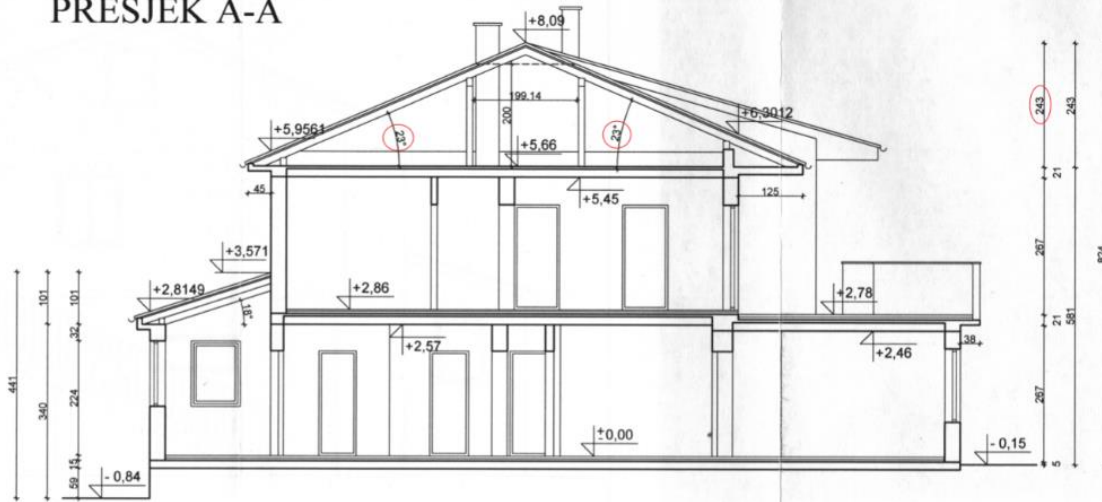
### **6.9. Stanje krova obiteljske kuće**

Stanje krova obiteljske kuće je moguće utvrditi putem parametara koje smo razmatrali u prethodnim cjelinama površina, materijal, starost i zasjena krova.

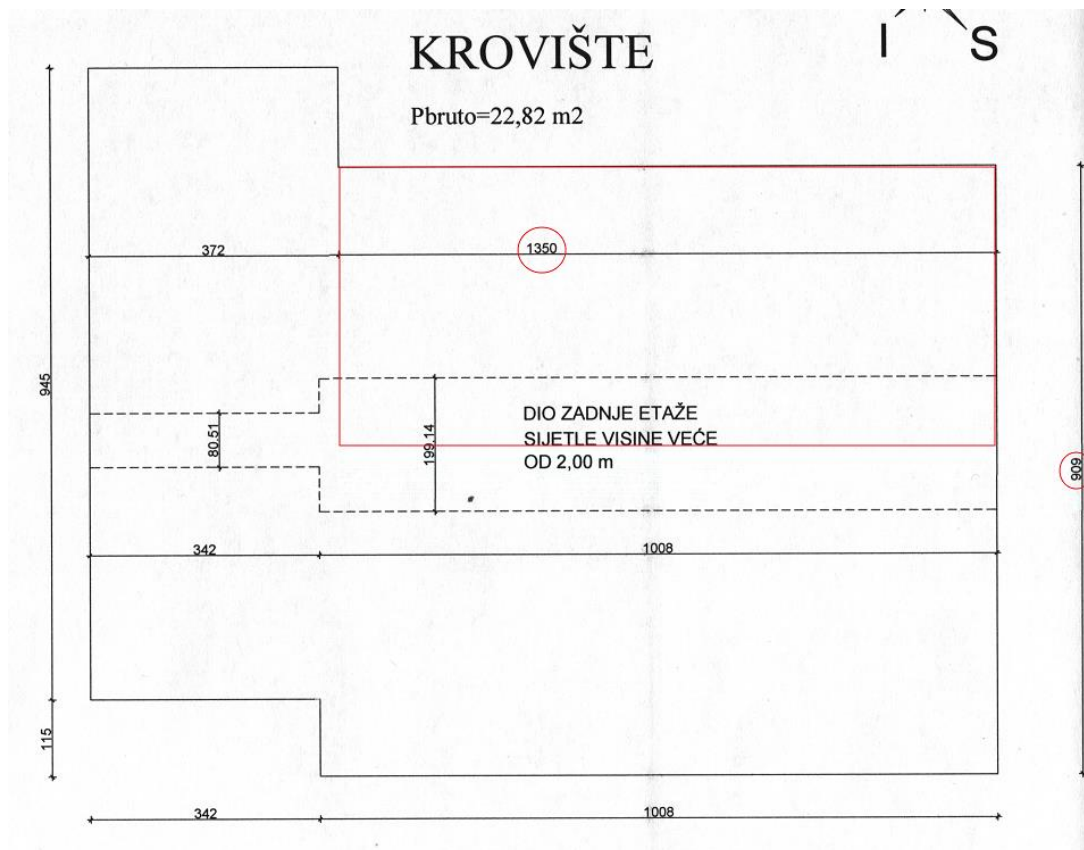
Smještanje fotonaponskih modula na površinu krova uvjetovano je dimenzijama dostupne površine krova. Za potrebe maksimalne iskoristivosti površine krova nužan je uvid u dimenzije i postojeće stanje krova.

Krov je sastavljen od tri površine, ali za naš solarni sustav biti će nam potrebna samo jedna. Ta konkretna površina i njene dimenzije jasno su naznačene crvenom bojom (slika 6.9.1. Bokocrt obiteljske kuće, 4.9.2. Tlocrt obiteljske kuće). Na slici 6.9.1. primjećujemo da je nagib krova s obje strane jednak 23 stupnja, što implicira da su priležće katete jednako velike na oba trokuta.

# PRESJEK A-A



Slika 6.1. Bokocrt obiteljske kuće



Slika 6.2. Tlocrt obiteljske kuće

U formuli koju slijedi, primijenili smo dimenziju od 909 cm koja je prikazana na slici (slika 6.9.2. Tlocrt obiteljske kuće), a podijelili smo je na pola kako bismo dobili dužinu priležeće katete trokuta. S druge strane, na slici (slika 6.9.1. Bokocrt obiteljske kuće) dostupna nam je visina trokuta koja iznosi 243 cm. Hipotenuza trokuta se izračunava prema sljedećoj formuli za pravokutni trokut (6.9.1.):

$$a = \frac{909}{2} = 454.5 \text{ cm}$$

$$b = 243 \text{ cm}$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (6.9.1.)$$

$$c = \sqrt{454.5^2 + 243^2} = 515.38 \text{ cm}$$

Zatim površinu krova dobivamo običnom formulom za pravokutnik, hipotenuza predstavlja visinu pravokutnika, a dimenzija sa slike (slika 6.9.2. Tlocrt obiteljske kuće) 1350 cm predstavlja širinu pravokutnika. Površina iznosi (6.9.2.):

$$c = 515.38 \text{ cm}$$

$$d = 1350 \text{ cm}$$

$$\text{Površina krova} = c * d$$

$$\text{Površina krova} = 515.38 * 1350 = 695763 \text{ cm}^2 = 69.58 \text{ m}^2 \quad (6.9.2.)$$

Krov u ovom slučaju je napravljen od crijepa, a proizvođači i glinenih i betonskih crijepova obično jamče za svoje proizvode 30 godina, ali često sugeriraju da je 60 godina razumno očekivano trajanje njihovog vijeka trajanja. Budući da krov ima oko 20 godina, ne smatramo da je potrebno zamijeniti ga, i dalje je u prihvatljivom stanju za instalaciju solarnog sustava. Iako postoji dimnjak i određeni dijelovi krova koji stvaraju sjenu, ta sjena neće biti relevantna za

nastavak završnog rada i neće biti potrebno njeni izračuni. Kako ćemo vidjeti u nadolazećem potpoglavlju 7.5. Odabir i dimenzioniranje solarnih panela, raspoložimo s više nego dovoljno nezasjenjenih površina na krovu koje su prikladne za postavljanje solarnog sustava.

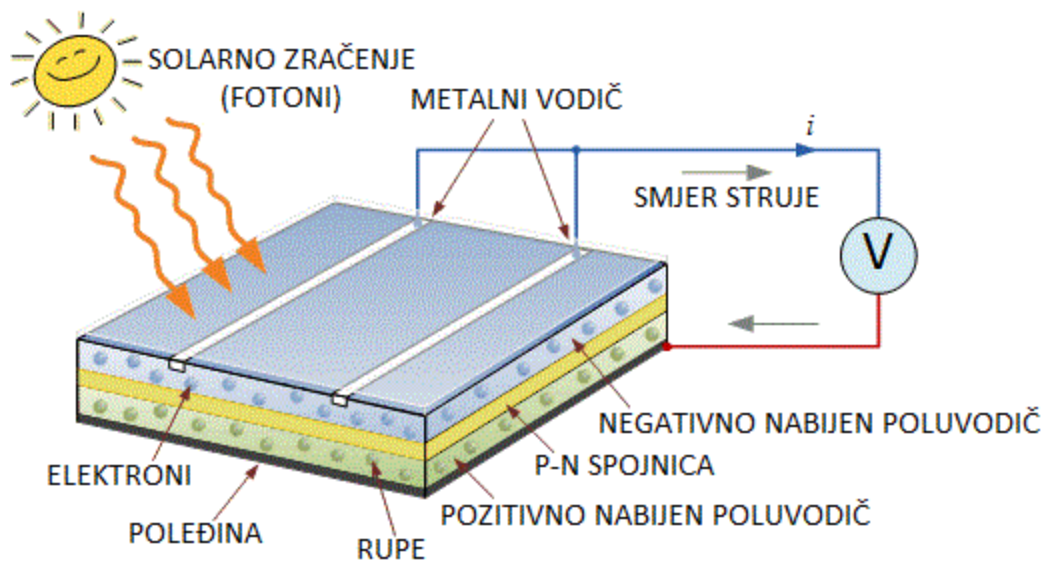
## 7. SOLARNI PANELI

### 7.1. Način rada solarnih panela

Prije nego što započnemo rješavanje završnog rada, važno je razjasniti način funkcioniranja solarnih panela. Solarni paneli koriste fotonaponsku (PV) tehnologiju. Fotonaponska tehnologija omogućuje izravnu pretvorbu svjetlosti u električnu energiju na atomskoj razini. Određeni materijali, koji iskazuju svojstvo poznato kao fotonaponski efekt, apsorbiraju fotone svjetlosti i oslobađaju elektrone. Uzimanjem tih slobodnih elektrona i njihovim usmjeravanjem stvaramo električnu energiju.

Solarne ćelije se izrađuju od istih poluvodičkih materijala koji se koriste i u mikroelektronici, kao što je silicij. Tanak poluvodički čip u solarnoj ćeliji posebno je obrađen kako bi stvorio električno polje, s pozitivnim nabojem na jednoj strani i negativnim na drugoj strani. Sunčeva svjetlost koja djeluje kao gorivo prenosivši energiju u fotonaponsku ćeliju. Kada fotonska čestica sunčeve svjetlosti udari u površinu silicijske solarne ćelije ili dopirane strukture sastavljene od npr. silicij-fosfora ili silicij-bora, fotoni od apsorbirane sunčeve svjetlosti olabave i istiskuju elektrone iz silicijevih atoma ćelije prenoseći energiju i uzbuđujući ih. Ova ekscitacija elektrona uzrokuje njihovo oslobađanje od matičnog atoma i pomiče ih na višu razinu valencije. Budući da svake sekunde milijarde fotona pogađaju stanicu, puno elektrona se oslobađa. Na kraju, pobuđeni elektron biva izbačen iz atoma dopuštajući mu da slobodno luta po poluvodičkom materijalu. Kako jedna strana PN spoja ima "nedostatak elektrona" (rupe), dok druga strana spoja ima "višak elektrona", ovi slobodni elektroni se kreću kroz spoj, stvarajući i popunjavajući rupe u ćeliji. Ta pojava kretanja elektrona i šupljina stvara električnu energiju i stvara je sve dok svjetlost pada na stanicu, to je vidljivo na slici (slika 7.1.1. Fotonaponski efekt) navedenoj na sljedećoj strani. [11]





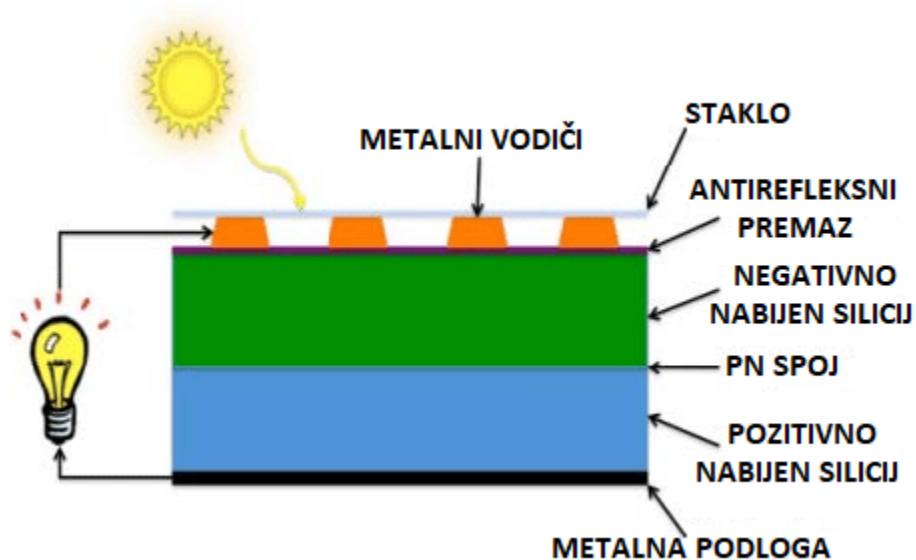
Slika 7.1. Fotonaponski efekt [11]

Fotonaponski tj. solarne paneli su skupine solarnih ćelija koje su električno povezane jedna s drugom i montirane na potpurnu strukturu ili okvir. Ovi moduli su dizajnirani za generiranje električne energije na određenom naponu. Količina električne energije koju proizvode fotonaponski moduli izravno ovisi o količini svjetlosti tj. sunčanih zraka kojima su izloženi.

Više modula može se spojiti zajedno u niz kako bi se povećala ukupna snaga sustava. Općenito, što je veća površina modula ili polja, to će se generirati veća količina električne energije. Fotonaponski moduli i nizovi proizvode izravnu struju (DC). Oni se mogu povezati u serijski ili paralelni sklop kako bi stvorili potrebnu kombinaciju napona i struje. [12]

## 7.2. Razlika jedno spojne i više spojne solarne ćelije

Današnji najčešći fotonaponski uređaji koriste jedno sučelje tj. spoj kako bi stvorili električno polje unutar poluvodiča. U fotonaponskoj ćeliji s jednim sučeljem, samo fotoni s energijom jednakom ili većom od energetske jaza mogu prenijeti dovoljno energije elektronima u valentnoj zoni da se premjeste u zonu provodljivosti. To rezultira oslobađanjem elektrona iz materijala ćelije, koji dalje putuje kroz strujni krug u obliku električne energije. Drugim riječima, fotonaponska ćelija s jednim sučeljem apsorbira samo određeni dio sunčevog spektra čija je energija iznad energetske jaze materijala, dok fotoni niže energije nisu iskorišteni. Kao što je vidljivo na dolje navedenoj slici (slika 7.2.1. Jedno spojna solarna ćelija) ova solarna ćelija ima samo jedan PN spoj stoga je to primjer jedno spojne ćelije.

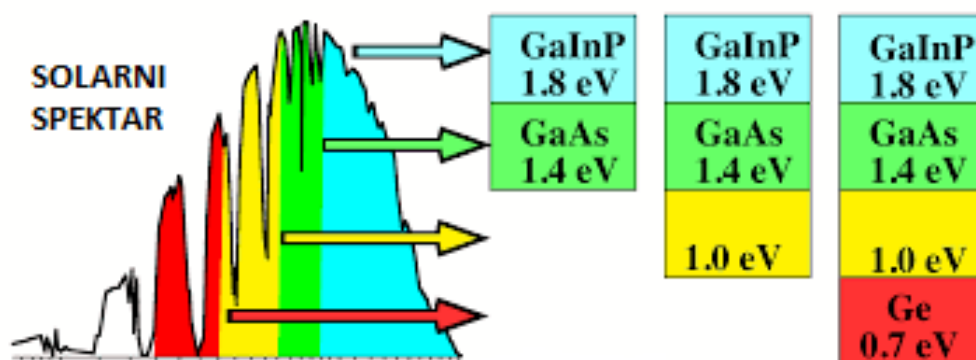


Slika 7.2. Jedno spojna solarna ćelija

Jedan način za prevladavanje ovog ograničenja je korištenje više od jedne ćelije s različitim energetske jazovima i spojevima kako bi se generirao napon. Ove ćelije poznate su kao "multijunction" stanice, također se nazivaju "kaskadne" ili "tandemske" stanice. Više spojne ćelije omogućuju postizanje veće ukupne učinkovitosti pretvorbe jer mogu pretvoriti veći dio energetske spektra svjetlosti u električnu energiju. Više spojna naprava sastoji se od niza

pojedinačnih ćelija s različitim energetske jazovima, postavljenih u silaznom poretku. Gornja ćelija hvata fotone visoke energije dok ostatak fotona prolazi kroz nju i apsorbira se od strane ćelija s nižim energetske jazom.

Većina trenutnih istraživanja usredotočena je na korištenje galij arsenida kao jedne od komponenti u više spojnim sustavima. Takve stanice su postigle učinkovitosti od oko 35% pod koncentriranim sunčevim svjetlom. Ostali materijali koji se proučavaju za više spojne sustave uključuju amorfni silicij i indij galijev fosfid. Jedan od naprednijih dizajna je invertirano metamorfni multijunction (IMM) koji je izumljen u Nacionalnom laboratoriju za obnovljive izvore energije (NREL). Trojna IMM solarna ćelija, koja predstavlja poboljšanu verziju, sada se nalazi na popisu najučinkovitijih istraživačkih solarnih ćelija. Na tom popisu se nalazi i prethodni rekord trojne IMM solarnih ćelija od 37,9%, postavljen 2013. godine od strane tvrtke Sharp Corporation iz Japana. Iako solarne ćelije s tako visokom učinkovitošću imaju visoke proizvodne troškove i trenutno se koriste uglavnom u svemirskim i vojnim programima. Na donjoj slici naveden je primjer više spojnih solarnih ćelija, prva ćelija po redu je u fazi proizvodnje, dok druge dvije ćelije predstavljaju buduće projekte koji još nisu realizirana zbog toga kao što je vidljivo na slici (slika 7.2.2. Više spojen solarna ćelija) jer je potrebno pronaći materijal koji će odgovarati energiji solarnog spektra koji je tu naveden žutom bojom. [13]

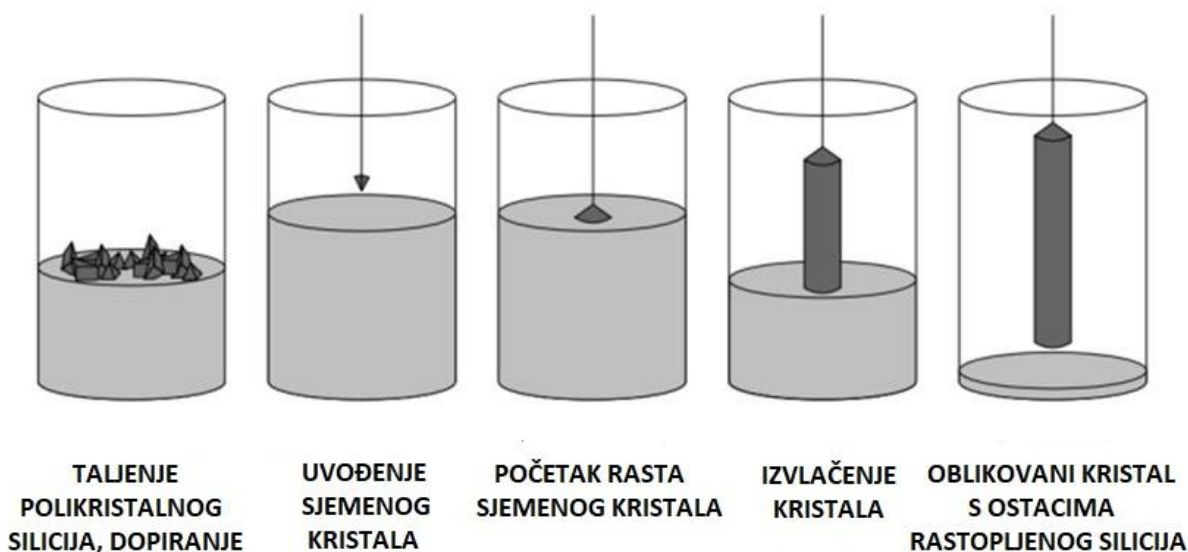


Slika 7.3. Više spojne solarne ćelije

### 7.3. Podjela solarnih panela

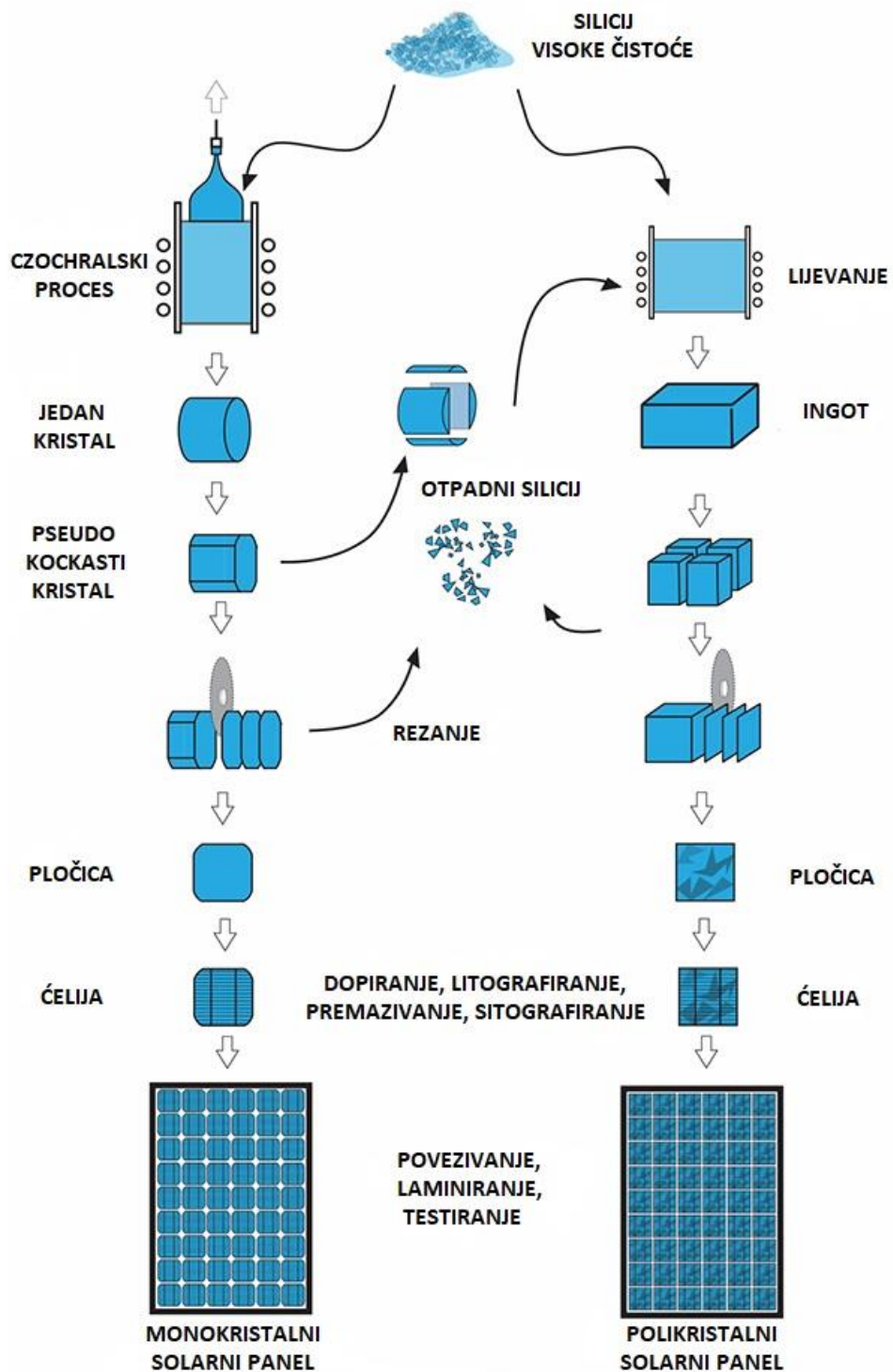
Solarni paneli dijele se na monokristalnu, polikristalnu i tankoslojnu izvedbu. Prije više od šest desetljeća, znanstvenici iz New Jerseyja su otkrili praktičnu primjenu solarnih panela od silicija, što je označilo početak njihovog razvoja. Unatoč tome, mnogi paneli se i dalje izrađuju od monokristalnog silicija, koji je bio dugi niz desetljeća najprodavaniji u industriji. Međutim, u posljednjih nekoliko godina, polikristalni silikonski paneli su postali najpopularniji izbor za stambene projekte i pretekli su monokristalne panele u prodaji. Kada potrošači biraju između monokristalnih i polikristalnih panela, često se pitaju koja je stvarna razlika između njih. Ključna razlika leži u procesu proizvodnje. I monokristalni i polikristalni paneli su izrađeni od silicija, ali proizvodnja monokristalnih panela zahtijeva složeniji postupak.

Monokristalni paneli se proizvode primjenom Czochralski postupka (slika 7.3.1. Czochralski postupak), koji je nazvan po poljskom znanstveniku koji ga je slučajno otkrio. Njegovo otkriće dogodilo se kada je nenamjerno umočio svoju olovku u otopljeni silicij u kaljenom stanju umjesto u tintu. Proces proizvodnje monokristalnih panela uključuje okretanje čvrstog kristala silicija, poznatog kao sjemenka, dok se polako izvlači iz bazena otopljenog silicija. Ovaj postupak rezultira čistim blokom silicija koji se sastoji od samo jednog kristala, zbog čega se nazivaju monokristalni paneli. Nakon toga, blok se reže u kvadrat, što rezultira gubitkom nekog dijela silicija. Kvadratni komadići silicija dalje se režu u ravnomjerno obojene pločice i sastavljaju u karakterističan uzorak monokristalnih solarnih panela.



*Slika 7.4. Czochralski postupak*

Proizvodnja polikristalnih panela, s druge strane, je relativno jednostavna. U postupku, jedna sjemenka kristala silicija i otopljeni silicij se stave u kvadratni kalup i ostave se da se stvrdnu. Silicij se hladi različitom brzinom, pri čemu vanjski dio brže hladi i stvrdnjava se prvi. To nejednako stvrdnjavanje rezultira stvaranjem mnogo različitih kristala (stoga i naziv "polikristalni"), što panelu daje blistav i višebojan izgled. Na slijedećoj strani navedena je slika (slika 7.3.2. Razlika u proizvodnji monokristalnih i polikristalnih solarnih panela) koja ilustrira razliku u proizvodnji monokristalnih i polikristalnih solarnih panela.



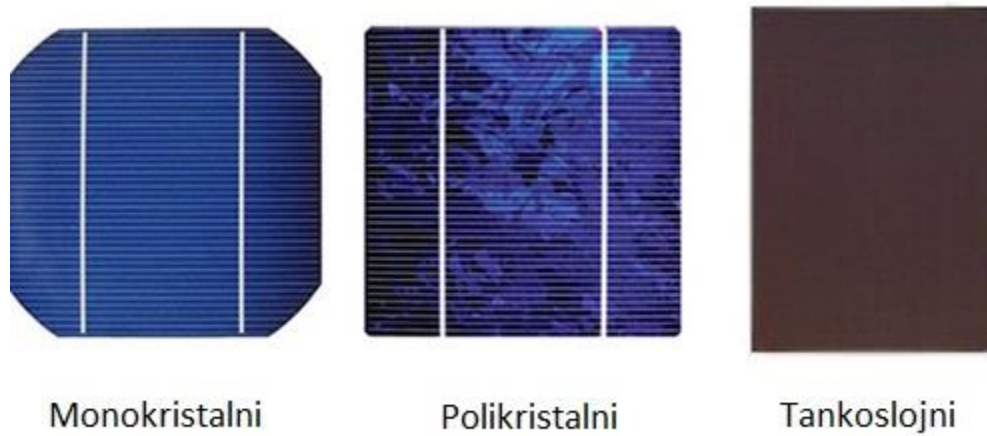
Slika 7.5. Razlika u proizvodnji monokristalnih i polikristalnih solarnih panela

Polikristalni paneli su također oko 20% jeftiniji za proizvodnju i stvaraju manje otpadnog silicija tijekom procesa. Ako se traži najniža cijena, polikristalni paneli su vjerojatno najbolji izbor. Međutim, polikristalni paneli imaju unutarnje gubitke učinkovitosti zbog neujednačene strukture na spojevima između različitih kristala, zbog niže čistoće silicija. Učinkovitost polikristalnih panela kreće se od otprilike 13% do 16%, dok je učinkovitost monokristalnih panela između 15% i 20% no ovi postoci se mijenjaju s napretkom novih tehnologija i inovacija. Da bi se proizvela ista količina energije kao s monokristalnim panelima, potrebno je mnogo veće polje polikristalnih panela, što može biti izazov za kućanstva s ograničenim prostorom na krovu. Iako su monokristalni paneli općenito skuplji, neka kućanstva mogu primijetiti da će ukupni trošak njihovog sustava biti jeftiniji nego da su koristili polikristalne panele. Budući da je potrebno više polikristalnih panela za generiranje iste količine energije, vlasnici kuća će morati uložiti više novca u troškove instalacije, opreme za postavljanje i potencijalno u invertore (ako koriste string invertore). Monokristalni paneli također bolje funkcioniraju pri višim temperaturama i u uvjetima s povećanim zasjenom, iako će biti samo marginalne razlike u učinkovitosti. Plaćanje više početne cijene za monokristalne panele može dugoročno biti najekonomičnije rješenje. S većom učinkovitošću i generiranom energijom, može se očekivati veći povrat ulaganja. [14]

Koje solarne panele odabrati ovisi o našim preferencijama i jedinstvenoj situaciji. Ako imamo ograničen prostor na krovu i želimo maksimizirati proizvodnju električne energije, monokristalni paneli su uglavnom najbolji izbor. Ako planiramo iznajmiti solarne panele i plaćati fiksnu cijenu bez obzira na proizvodnju, polikristalni paneli su odličan izbor. Na kraju dana, najbolji izbor će biti onaj koji odgovara našim specifičnim potrebama.

U suprotnosti s monokristalnim i polikristalnim solarnim panelima, tankoslojni solarni paneli su tanji, fleksibilniji i imaju nizak profil. To je zbog činjenice da su stanice unutar panela otprilike 350 puta tanje od kristalnih pločica koje se koriste u monokristalnim i polikristalnim solarnim panelima. Proizvodnja tankoslojnih solarnih panela uključuje upotrebu slojeva poluvodičkih materijala kao što su silicij, kadmij telurid i bakar indij galij selenid. Poluvodički sloj smješten je između prozirnih vodljivih slojeva, a na vrhu se nalazi sloj stakla koji pomaže u prikupljanju sunčeve svjetlosti. Važno je napomenuti da, iako se silicij ponekad koristi u proizvodnji tankoslojnih solarnih panela, to nije isti čvrsti silicij koji se koristi u kristalnim

pločicama. Umjesto toga, koristi se nekristalinični oblik silicija. U usporedbi s kristalnim panelima, tankoslojni solarni paneli obično imaju nižu učinkovitost i snagu. S učinkovitošću između 10 i 13 posto, rijetko se koriste u kućanstvima i zbog tog razloga mi ih nećemo koristiti u ovom završnom radu. Međutim, zbog svoje male težine, mogu se koristiti u većim projektima poput komercijalnih ili zaštićenih zgrada. [15]



*Slika 7.6. Razlika monokristalne, polikristalne i tankoslojne solarne ćelije*



#### **7.4. Karakteristike solarnih panela**

Kod odabira solarnih panela, važno je uzeti u obzir mnoge druge faktore. Solarni paneli nisu univerzalni proizvod i njihov odabir ovisi o specifičnoj primjeni. Svaki solarni sustav za kućanstvo prilagođava se specifičnim zahtjevima. Na primjer, skupi panel visoke učinkovitosti može se jednako dobro pokazati kao standardni, ekonomični panel u određenim uvjetima. Visoka cijena ne znači uvijek bolju performansu. Postoji mnogo varijabli koje treba uzeti u obzir prilikom projektiranja solarnog sustava za kućanstvo. To može uključivati nagib krova, vrstu krova, prisutnost stabala u blizini, starost kuće i slično. Svaki tip panela ponaša se drugačije u različitim uvjetima. Stoga je važno pažljivo razmotriti ove varijable kako bi definirali naš jedinstven slučaj. Prilikom odabira solarnih panela potrebno je znati njegove karakteristike koje se nalaze u njegovoj podatkovnoj tablici (slika 7.4.1. Sunpower 420-440W Residential AC datasheet) te moramo pronaći solarni panel s karakteristikama koje odgovaraju našem slučaju.

DC Power Data					
	SPR-M440-H-AC	SPR-M435-H-AC	SPR-M430-H-AC	SPR-M425-H-AC	SPR-M420-H-AC
Nom. Power <sup>6</sup> (P <sub>nom</sub> ) W	440	435	430	425	420
Power Tolerance	+5/-0%				
Module Efficiency	22.8%	22.5%	22.3%	22.0%	21.7%
Temp. Coef. (Power)	-0.29% / °C				
Shade Tolerance	Integrated module-level max. power point tracking				

Tested Operating Conditions	
Operating Temp.	-40° F to +185°F (-40°C to +85°C)
Max. Ambient Temp.	122°F (50°C)
Max. Test Load <sup>8</sup>	Wind: 125 psf, 6000 Pa, 611 kg/m <sup>2</sup> back Snow: 187 psf, 9000 Pa, 917 kg/m <sup>2</sup> front
Max. Design Load	Wind: 75 psf, 3600 Pa, 367 kg/m <sup>2</sup> back Snow: 125 psf, 6000 Pa, 611 kg/m <sup>2</sup> front
Impact Resistance	1 inch (25 mm) diameter hail at 52 mph (23 m/s)

Mechanical Data	
Solar Cells	66 Maxeon Gen 6
Front Glass	High-transmission tempered glass with anti-reflective coating
Environmental Rating	Outdoor rated
Frame	Class 1 black anodized (highest AAMA rating)
Weight	48 lb (21.8 kg)
Recommended Max. Module Spacing	1.3 in. (33 mm)

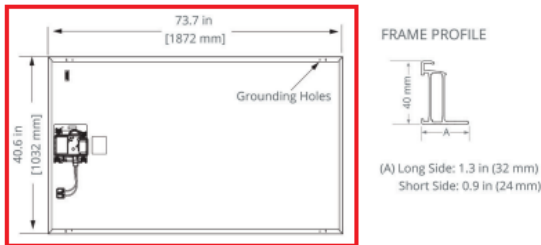
1 Based on datasheet review of websites of top 20 manufacturers per Wood Mackenzie US PV Leaderboard Q3 2021.  
 2 Maxeon 435 W, 22.5% efficient, compared to a Conventional Panel on same-sized arrays (260 W, 16% efficient, approx. 1.6 m<sup>2</sup>), 7.9% more energy per watt (based on PVsyst pan files for avg. US climate), 0.5%/yr slower degradation rate (Jordan, et. al. "Robust PV Degradation Methodology and Application,"PVSC 2018).  
 3 Voltage range can be extended beyond nominal if required by the utility.  
 4 Limits may vary. Refer to local requirements to define the number of microinverters per branch in your area.  
 5 Factory set to IEEE 1547a-2014 default settings, CA Rule 21 default settings profile set during commissioning.  
 6 Standard Test Conditions (1000 W/m<sup>2</sup> irradiance, AM 1.5, 25°C). All DC voltage is fully contained within the module.  
 7 UL Listed as PVRSE and conforms with NEC 2014 and NEC 2017 690.12; and C22.1-2015 Rule 64-218 Rapid Shutdown of PV Systems, for AC and DC conductors; when installed according to manufacturer's instructions.  
 8 Please read the safety and installation instructions for more information regarding load ratings and mounting configurations.

See [www.sunpower.com/company](http://www.sunpower.com/company) for more reference information.  
 Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

©2022 SunPower Corporation. All rights reserved. SUNPOWER, the SUNPOWER logo, EQUINOX and MYSUNPOWER are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation in the U.S. MAXEON is a registered trademark of Maxeon Solar Technologies, Ltd. For more information visit [www.maxeon.com/legal](http://www.maxeon.com/legal).

Warranties, Certifications, and Compliance	
Warranties	<ul style="list-style-type: none"> <li>25-year limited power warranty</li> <li>25-year limited product warranty</li> </ul>
Certifications and Compliance	<ul style="list-style-type: none"> <li>UL 1741 / IEEE-1547</li> <li>UL 1741 AC Module (Type 2 fire rated)</li> <li>UL 61730</li> <li>UL 62109-1 / IEC 62109-2</li> <li>FCC Part 15 Class B</li> <li>ICES-0003 Class B</li> <li>CAN/CSA-C22.2 NO. 107.1-01</li> <li>CA Rule 21 (UL 1741 SA)<sup>5</sup> (includes Volt/Var and Reactive Power Priority)</li> <li>UL Listed PV Rapid Shutdown Equipment<sup>7</sup></li> </ul> <p>Enables installation in accordance with:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NEC 690.6 (AC module)</li> <li>NEC 690.12 Rapid Shutdown (inside and outside the array)</li> <li>NEC 690.15 AC Connectors, 690.33(A)-(E)(1)</li> </ul> <p>When used with AC module Q Cables and accessories (UL 6703 and UL 2238)<sup>7</sup>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rated for load break disconnect</li> </ul>
PID Test	1000 V; IEC 62804

Packaging Configuration	
Modules per pallet	25
Packaging box dimensions	75.4 × 42.2 × 48.0 in. (1915 × 1072 × 1220 mm)
Pallet gross weight	1300.7 lb (590 kg)
Pallets per container	32
Net weight per container	41,623 lb (18,880 kg)



Please read the safety and installation instructions for details.



539973 RevB  
 January 2022

Slika 7.7. Sunpower 420-440W Residential AC datasheet [16]

Na gornjoj slici naveden je datasheet od Sunpower 420-440W Residential AC solarnog panela, podaci u crvenim kvadratima će nam služiti kao glavne smjernice pri odabiru solarnih panela za ovaj završni rad, a ti podaci su snaga proizvodnje, garancija i dimenzije solarnog panela [16].

Snaga solarnog panela je mjerna jedinica koja odražava potencijalni električni izlaz pod idealnim uvjetima (usmjerena solarna energija od 1kWh direktno na površinu solarnog panela pri

temperaturi od 25 ° C). Što je veća snaga panela, to je veći potencijal za proizvodnju električne energije. Paneli s većom snagom su idealni za manje prostore koji zahtijevaju veću proizvodnju energije. Međutim, takvi paneli često dolaze s višom cijenom. Stoga, nije uvijek najbolje ulagati u panele veće snage ako to nije potrebno. Također, važno je napomenuti da paneli veće snage često imaju veće dimenzije, što može ograničiti broj panela koji se mogu smjestiti na određeni prostor, čime se smanjuje prednost veće snage.

Proizvodna garancija se odnosi na pokriće solarnog panela u slučaju greške u proizvodnji. Tipično, solarni paneli imaju dug vijek trajanja. Većina proizvodnih jamstava traje od 10 do 25 godina i pokriva probleme poput proizvodnih grešaka, prijevremenog starenja i slično. Drugi važan aspekt je garancija performansi panela. Tijekom vremena, paneli mogu postepeno izgubiti malu količinu učinkovitosti svake godine. Taj gubitak obično iznosi manje od jedan posto (obično između 0,4% do 0,7%). Garancija performansi osigurava da se naši paneli neće degradirati brže od tog postotka. U osnovi, jamči da će naši paneli tijekom svog vijeka trajanja zadržati zadovoljavajuće razine performansi. Ove garancije obično traju oko 20-25 godina.

Dimenzije solarnog panela su ključne jer određuju njegovu površinu, a ta informacija je važna jer snaga solarnog panela je relativna. Na primjer, jedan solarni panel može imati veću snagu od drugog, ali ako usporedimo njihove dimenzije, primijetit ćemo da je površinski veći. Zbog toga je važno usporediti panele na temelju snage koju proizvode u idealnim uvjetima po jednom kvadratnom metru. Možda ćemo otkriti da druga opcija solarnog panela zapravo ima veću proizvodnju energije po kvadratnom metru. Veličina snage po kvadratnom metru je ključni parametar za kuće s ograničenim krovom.

Podaci označeni narančastim kvadratima predstavljaju informacije o efikasnosti proizvodnje solarnog panela i njezinoj promjeni ovisno o temperaturi. Ti podaci su izuzetno važni u područjima s visokim dnevnim temperaturama.

Učinkovitost panela predstavlja sposobnost pretvaranja sunčeve svjetlosti u električnu energiju. Iako je to važan faktor, moderni solarni paneli općenito imaju visoku učinkovitost, obično oko 20%. Razlike u učinkovitosti među panelima su obično zanemarive u usporedbi s povećanjem troškova. Jedino u situacijama kada je dostupan prostor ograničen, ta razlika u učinkovitosti može biti značajan faktor ako želimo maksimizirati proizvodnju električne energije.

Temperaturni koeficijent je mjera koja opisuje utjecaj temperature na učinkovitost solarnog panela. Izražava postotno smanjenje izlaza panela za svaki stupanj Celzijusa porasta temperature iznad referentne temperature, obično 25°C. Na primjer, ako solarni panel ima temperaturni koeficijent od -0.37% / °C, to znači da će se njegova učinkovitost smanjiti za 0.37% za svaki stupanj Celzijusa poviše od 25°C, a za svaki stupanj niže od 25°C će se njegova efikasnost povećati za 0.37%. Niži temperaturni koeficijent ukazuje na manji negativni utjecaj temperature na učinkovitost panela. Poznavanje temperaturnog koeficijenta omogućuje nam bolje razumijevanje stvarne učinkovitosti solarnog panela u različitim temperaturnim uvjetima, posebno u područjima s visokim dnevnim temperaturama.

U zelenom kvadratu se nalaze podaci koji su bitni za kuće smještene u područjima s ekstremnim klimatskim uvjetima. Ti podaci definiraju raspon radne temperature koji je važan za područja s izuzetno niskim ili visokim temperaturama. Također, ti podaci obuhvaćaju maksimalnu silu pritiska i otpornost na udarce, što je izuzetno važno za područja s obilnim snijegom i čestim tučama. [17,18]

Sada kada smo ustanovili da solarni paneli funkcioniraju na temelju fotonaponskog efekta i generiraju slobodne elektrone koji putuju kroz solarnu ćeliju duž žica ruba panela prema razvodnoj kutiji kao istosmjerna struja, koja se zatim pretvara u izmjeničnu struju (AC) pomoću pretvarača i može se koristiti za napajanje kuća, zgrada ili se može slati u električnu mrežu, ovisno o ugovoru s distributerom električne energije. Većina kućnih solarnih sustava je povezana na mrežu, što znači da su solarni paneli, električna mreža kuće i lokalna javna električna mreža povezani putem glavne električne razvodne ploče. Ova vrsta povezivanja omogućuje kući da se napaja solarnom energijom tijekom dana, dok se noću koristi električna energija iz mreže. Osim toga, omogućuje solarnom sustavu da pošalje višak energije u lokalnu mrežu te napaja druge sustave, kao što su kuće susjeda. Kućni solarni sustavi s baterijskim spremištima rade na sličan način kao i gore opisani sustavi, s tim da se višak električne energije umjesto slanja u mrežu prvo pohranjuje u baterije u domu ili garaži. Povezivanje solarnih panela i baterija posebno je korisno za off-grid solarne sustave (sustavi koji su ostvarili potpunu energetska neovisnost), održavanje rezervne električne energije tijekom prekida napajanja i osiguranje 100% čiste i obnovljive energije za kuću.

## 7.5. Odabir i dimenzioniranje solarnih panela

U blizini obiteljske kuće smješten je Solarshop Rijeka [19], što nam omogućuje da sve potrebne komponente nabavimo iz ponude tog navedenog dućana. Među vodećim brandovima solarnih panela ističu se SunPower, REC, Panasonic, Q CELLS, Aptos, AXITEC, Silfab, Solaria, Mission Solar, CertainTeed, Canadian Solar i Jinko Solar. Na internetskoj stranici Solarshopa Rijeka dostupni su samo SunPower [20], Q CELLS [21] i Jinko Solar [22] proizvodi.

Od svakog navedenog branda, odabiremo najbolji solarni panel prema cijeni i karakteristikama koje su specificirane u potpoglavlju 5.4. Karakteristike solarnih panela. Detalji karakteristika panela prikazani su u sljedećoj tablici (tablica 7.5.1. Karakteristike zadanih solarnih panela).

Tablica 7.5.1. Karakteristike zadanih solarnih panela

BRAND	MODEL	SNAGA	GARANCIJA	DIMENZIJE	CIJENA
SunPower	M Series 440 W	440W	25 god	1872x1032x40 mm	204.06 eura
Q CELLS	BLK MLG10+ 410W	410W	25 god	1879x1045x32 mm	231.2 eura
Jinko Solar	JKM460N-60HL4	460W	12 god	1903x1134x30 mm	198.19 eura

Postavit ćemo tri kriterija, vat po cijeni od jednog eura, vat po jednom metru kvadratnom i garancija. Rezultate ćemo dobit preko zadanih formula (7.5.1., 7.5.2.):

Vat/euro:

$$\text{vat/euro} = \frac{\text{snaga}}{\text{cijena}} \quad (7.5.1.)$$

$$\text{SunPower} = \frac{440}{204.06} = 2.16 \text{ W/euro}$$

$$\text{Q CELLS} = \frac{410}{231.2} = 1.77 \text{ W/euro}$$

$$Jinko Solar = \frac{460}{198.19} = 2.32 \text{ W/euro}$$

Vat/m<sup>2</sup>:

$$vat/m^2 = \frac{snaga}{visina * širina} \quad (7.5.2.)$$

$$SunPower = \frac{440}{1.872 * 1.032} = 227.75 \text{ W/m}^2$$

$$Q CELLS = \frac{410}{1.879 * 1.045} = 208.8 \text{ W/m}^2$$

$$SunPower = \frac{460}{1.903 * 1.134} = 213.16 \text{ W/m}^2$$

SunPower M Series 440 W je vodeći solarni panel u posljednjoj kategoriji i dijeli prvo mjesto po garanciji s q cells-om. Stoga ćemo odabrati SunPower M Series 440 W solarni panel zbog tog razloga.

Pri dimenzioniranju solarnih panela razmatramo dimenzioniranje cijelog solarnog sustava, što uključuje određivanje optimalne veličine sustava. Da bismo izračunali veličinu solarnog sustava, potrebne su nam dvije ključne informacije: broj sunčanih sati i godišnja potrošnja obiteljske kuće. S obzirom na to da smo već prethodno utvrdili te informacije, veličinu sustava izračunavamo na sljedeći način.

U prvom koraku, formiramo umnožak prosječnog mjesečnog broja sunčanih sati s brojem dana u tom mjesecu, te snage odabranog solarnog panela (7.5.3.):

$$\text{Proizvodnja električne energije jednog solarno panela za navedeni mjesec} = \text{Prosječni mjesečni broj sunčanih sati} * \text{Broj dana navedenog mjeseca} * \text{Snaga izabranog solarnog panela} \quad (7.5.3.)$$

Dobivamo sljedeće rezultate sa svaki pojedinačni mjesec, rezultati su podijeljeni sa tisuću kako bi pretvorili vat sate u kilovat sate:

- Siječanj: 13.64 *kWh*
- Veljača: 17.0016 *kWh*
- Ožujak: 34.782 *kWh*
- Travanj: 50.16 *kWh*
- Svibanj: 66.2094 *kWh*
- Lipanj: 68.224 *kWh*
- Srpanj: 71.94 *kWh*
- Kolovoz: 66.4268 *kWh*
- Rujan: 47.74 *kWh*
- Listopad: 29.568 *kWh*
- Studeni: 15.048 *kWh*
- Prosinac: 12.0032 *kWh*

Dobiveni rezultati predstavljaju proizvodnju električne energije jednog solarnog panela po mjesecima. Kako bismo dobili ukupnu godišnju proizvodnju tog solarnog panela, trebamo sve te mjesečne rezultate zbrojiti. Zbroj tih mjesečnih vrijednosti daje nam godišnju proizvodnju navedenog solarnog panela. Konkretno, ukupna godišnja proizvodnja iznosi 492.844 kilovat sati.

Kako bismo utvrdili broj potrebnih solarnih panela, trebamo podijeliti godišnju potrošnju električne energije s godišnjom proizvodnjom jednog solarnog panela. Dobiveni rezultat trebamo zaokružiti na prvi veći cijeli broj kako bismo dobili stvaran broj solarnih panela potrebnih za pokrivanje godišnje potrošnje (7.5.4.):

$$\begin{aligned} & \textit{Broj solarnih panela} \\ & = \frac{\textit{Godišnja potrošnja električne energije obiteljske kuće}}{\textit{Godišnja proizvodnja el en jednog solarnog panela}} \quad (7.5.4.) \end{aligned}$$

$$\textit{Broj solarnih panela} = \frac{5384}{492.844} = 11 \textit{ Solarnih panela}$$

Snaga ili veličina sustava se dobije množenjem broja solarnih panela i snage solarnog panela (7.5.5.). Kako bi rezultat dobili u kilovat satima potrebno ga je podijeliti sa tisuću:

$$\textit{Snaga sustava} = \textit{Broj solarnih panela} * \textit{Snaga solarnog panela} \quad (7.5.5.)$$

$$\textit{Snaga sustava} = \frac{11 * 440}{1000} = 4.84 \textit{ kW}$$

Izlazna snaga našeg solarnog sustava iznosi 4.84 kilovata, odnosno imamo solarni sustav snage 4.84 kilovata. Kao što je već ranije spomenuto, imamo više nego dovoljno nezasjenjene površine za ovaj solarni sustav. Međutim, kako bismo to potvrdili, sada je nužno provesti proračun (7.5.6.):

$$\begin{aligned} & \textit{Površina solarnih panela} \\ & = \textit{Visina panela} * \textit{Širina panela} * \textit{Broj solarnih panela} \quad (7.5.6.) \end{aligned}$$

$$\textit{Površina solarnih panela} = \frac{1872 * 1032 * 11}{1000^2} = 21.25 \textit{ m}^2$$



Površina solarnih panela ne predstavlja stvarnu površinu solarnog sustava već površinu koju zauzimaju solarni paneli bez nosača. Pravu površinu solarnog sustava ćemo dobiti u nadolazećem potpoglavlju 10.4. Odabir i dimenzioniranje nosača gdje ćemo dimenzionirati nosače.

Cijena solarnih panela iznosi (7.5.7.):

***Cijena solarnih panela***

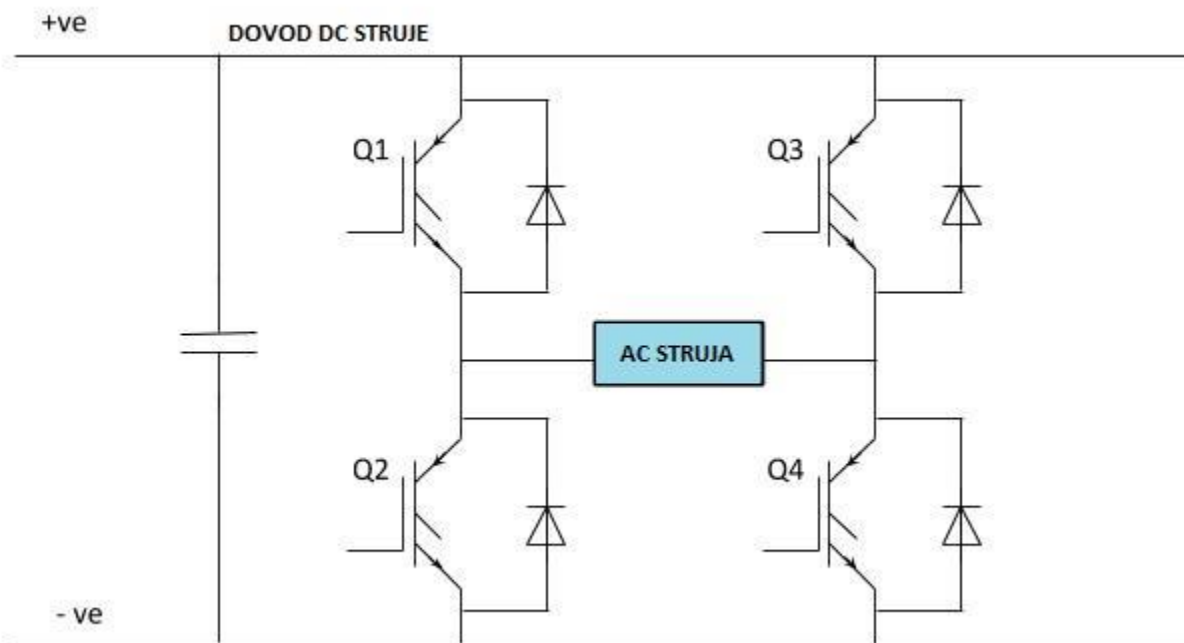
***= Cijena jednog panela \* Broj solarnih panela (7.5.7.)***

***Cijena solarnih panela = 204.06 \* 11 = 2244.66 euro***

## 8. SOLARNI INVERTERI ILI IZMJENJIVAČI

### 8.1. Način rada izmjenjivača

Inverteri su električni uređaji koji reguliraju protok električne energije. U osnovi, imzjenjivač ostvaruje pretvorbu istosmjerne struje u izmjeničnu struju tako što vrlo brzo mijenja smjer istosmjernog ulaza naprijed natrag to postiže uz pomoć tranzistora. Otvaranjem tranzistora Q1 i Q4 i istovremenim zatvaranjem Q2 i Q3 omogućuje se protok u jednom smjeru, a zatim zatvaranjem Q1 i Q4 i istovremenim otvaranjem Q2 i Q3 omogućuje se protok u drugom smjeru (slika 8.1.1. Shema invertera). Naglim promjenama smjera repliciramo izmjeničnu struju i kao rezultat DC ulaz postaje AC izlaz. [23]



Slika 8.1. Shema invertera [23]

## 8.2. Podjela solarnih izmjenjivača

Izmjenjivači su ključni dijelovi solarnih sustava. Postoje tri glavne opcije izmjenjivača: centralni izmjenjivači (string inverteri), mikroizmjenjivači (microinverter) i optimizatori snage.

Standardni izmjenjivači (slika 8.2.1. Standardni izmjenjivač) pretvaraju istosmjernu struju koju grupa solarnih panela (nazvana string) proizvodi u korisnu izmjeničnu struju. Kućanski string inverteri s naponom od 240V AC obično dolaze s proizvođačkim jamstvom od otprilike 10 godina. String izmjenjivač predstavlja jedan centralni izmjenjivač i optimalno funkcionira kada nema zasjenjenosti od obližnjih stabala ili velikih dimnjaka na solarnom nizu. Također je idealan kada su svi solarni paneli usmjereni prema istom smjeru. Standardni izmjenjivači su standardna opcija u industriji i najekonomičniji su izbor, ali ne u svakom slučaju. Prednosti standardnih izmjenjivača su niska cijena i dobro djelovanje u uvjetima bez sjene. Međutim, nedostaci standardnih izmjenjivača uključuju smanjenje ukupne proizvodnje energije ako je jedan panel oštećen ili zasjenjen, nemogućnost praćenja pojedinačnih panela te suboptimalnu učinkovitost ako su paneli postavljeni u različitim smjerovima. Ako je potrebno nadodati koji solarni panel zbog povećane potrebe za energijom koja prelazi zadani napon invertera potrebno je instalirati još jedan centralni izmjenjivač kako bi se pokrio dodatni napon solarnog sustava.



*Slika 8.2. Standardni izmjenjivač [24]*

Mikroizmenjivači (slika 8.2.2. Mikroizmjenjivač) su male jedinice smještene u svakom pojedinačnom solarnom panelu koje pretvaraju istosmjernu energiju u izmjeničnu struju. Većina mikroizmenjivača se instalira na terenu, dok neki dolaze integrirani na panelu od strane proizvođača. Ova tehnologija omogućuje da svaki panel funkcionira neovisno o susjednim panelima. Čak i ako je jedan panel zasjenjen granom drveta veći dio dana, ostali paneli mogu i dalje raditi s punim kapacitetom. Bilo kakav pad u učinkovitosti utječe samo na taj pojedinačni panel. Mikroizmenjivači također omogućuju praćenje performansi svakog panela, što je korisno za otkrivanje problema i popravak prije nego što utječu na ukupnu produktivnost sustava. Iako su mikroizmenjivači obično skuplji od standardnih izmenjivača, dugoročno mogu rezultirati većom proizvodnjom energije iz solarnog sustava. Također je lakše i jeftinije povećati potrošnju energije dodavanjem više solarnih panela i mikroizmenjivača nego instaliranjem dodatnog centralnog izmenjivača. Popularni brandovi mikroizmenjivača uključuju Enphase, Chilicon, APS, ABB, SMA i SunPower. Prednosti mikroizmenjivača uključuju održavanje ukupnog napona sustava čak i pri zasjenjivanju od obližnjih stabala, praćenje pojedinačnih panela, lakše povećanje potrošnje energije te bolja prilagodljivost na krovovima s panelima usmjerenima u različitim smjerovima. Nedostaci mikroizmenjivača uključuju višu početnu cijenu, manje potrebne ako su svi paneli orijentirani na istu stranu i nisu izloženi sjeni.



*Slika 8.3. Mikroizmjenjivač [24]*

Optimizatori snage (slika 8.2.3. Optimizator snage) su elektronički uređaji koji se koriste u solarnim sustavima kako bi optimizirali napon i snagu svakog pojedinačnog solarnog panela. Oni rade kao DC-DC pretvarači te stalno mjere maksimalne snage točke praćenja (Maximum Power Point ili MPP) za svaki panel. Optimizatori prenose informacije o performansama putem nadzornog sustava kako bi olakšali praćenje i održavanje sustava. Ova tehnologija omogućuje fleksibilan dizajn solarnog sustava s različitim orijentacijama, nagibima i vrstama panela u istom nizu. Budući da su optimizatori povezani s istosmjernom strujom, solarni sustavi koji ih koriste često su kompatibilni s pohranom energije u istosmjernoj struji ili baterijskim rješenjima poput Tesla Powerwall. Glavna prednost korištenja optimizatora snage je praćenje maksimalne snage na razini svakog pojedinačnog panela (panel-level Maximum Power Point Tracker ili MPPT). To rezultira povećanim energetske učinkom solarnog sustava, posebno u uvjetima promjenjive ili široke sjene. Optimizatori snage se nalaze između standardnih pretvarača i mikroizmenjivača, kako po načinu funkcioniranja, tako i po cijeni. Umjesto da mijenjaju istosmjernu struju u izmjeničnu na samom mjestu, optimizatori snage optimiziraju struju prije nego je pošalju centralnom pretvaraču. Ovo je efikasnije od standardnih pretvarača jer smanjenje proizvodnje s jednog panela ne utječe na cijeli sustav, ali je istovremeno ekonomičnije od instalacije mikroizmenjivača. Prednosti optimizatora snage uključuju veću učinkovitost u odnosu na string pretvarače, nižu cijenu u usporedbi s mikroizmenjivačima i mogućnost praćenja pojedinačnih panela. Međutim, nedostaci optimizatora snage uključuju višu početnu cijenu, nepotrebni su ako su svi paneli okrenuti prema istom smjeru i nisu izloženi sjeni. Konačni odabir pretvarača ovisi o obliku i veličini krova, prisutnosti obližnjeg drveća, potrebnoj količini energije i proračunu. [24,25,26]



*Slika 8.4. Optimizator snage [25]*

### 8.3. Karakteristike solarnih izmjenjivača

Kada biramo solarni izmjenjivač, važno je obratiti pažnju i na druge čimbenike tj. karakteristike kao što su jamstvo, radna temperatura i učinkovitost. Većina izmjenjivača dolazi s jamstvom koje obično traje između 5 i 10 godina, iako neka proizvođači mogu ponuditi i produljena jamstva do 25 godina.

Poput većine elektroničke opreme, izmjenjivači najbolje funkcioniraju kada su dobro rashlađeni. Radna temperatura označava siguran raspon temperature u kojem izmjenjivač nastoji održavati svoje performanse. Tijekom svog rada, pretvarači prirodno stvaraju određenu količinu topline. Budući da su često postavljeni na otvorenom, izloženi su širokom rasponu temperatura koje se ne mogu uvijek kontrolirati. Nisu uvijek dostupni idealni uvjeti, a ponekad će izmjenjivač morati raditi pod većim opterećenjem nego inače. Stoga, prilikom odabira izmjenjivača, važno je da ima veći raspon radne temperature, što znači da može podnijeti više topline, kako bi osigurao optimalno djelovanje izmjenjivača.

Efikasnost izmjenjivača je postotak koji nam pokazuje koliki dio ulazne istosmjerne struje se pretvara u korisnu izmjeničnu struju. Nijedan izmjenjivač nije potpuno efikasan, iako neki mogu doseći visoke vrijednosti u povoljnim uvjetima. Prilikom pretvaranja iz istosmjerne u izmjeničnu struju, dio snage se gubi u obliku topline. Učinkovitost invertora je važan faktor pri odabiru izmjenjivača. Kod solarnih izmjenjivača, postoje dvije vrijednosti učinkovitosti koje treba uzeti u obzir optimalna učinkovitost (peak efficiency) i uvjetna učinkovitost (weighted efficiency).

Optimalna učinkovitost nam govori o najboljoj mogućoj učinkovitosti izmjenjivača pri optimalnim uvjetima. Važno je imati tu informaciju, iako je bitno napomenuti da izmjenjivač neće uvijek postići tu razinu u svakom trenutku. Na nekim danima može doseći optimalnu učinkovitost samo tijekom nekoliko sati ili je možda uopće neće doseći.

Uvjetna učinkovitost uzima u obzir varijable kao što su razina ulazne istosmjerne energije, što nam pruža precizniji pokazatelj razine učinkovitosti izmjenjivača tijekom dana, s obzirom na utjecaj sunčeve svjetlosti, temperature i drugih okolišnih faktora. Također treba uzeti u obzir i druge faktore koji mogu utjecati na ekonomičnost projekta, poput cijene izmjenjivača, servisiranja i dostupnih funkcija nadzora. [27]

#### **8.4. Pravilan odabir invertera**

Svaki pojedini pretvarač ima maksimalnu snagu (na razini kuće izražen u W ili kW). Kada solarna energija isporučuje izravnu struju koja premašuje maksimalnu snagu pretvarača (ono što pretvarač može podnijeti), rezultirajuća snaga se „odreže“. Važno je uzeti u obzir maksimalnu izlaznu energiju solarnih panela i odabrati pretvarač pravilne veličine, modela i tipa kako bismo izbjegli prekomjerno odrezivanje. Normalno je da je veličina istosmjernog električnog sustava otprilike 1,2 puta veća od maksimalne snage izmjeničnog električnog sustava pretvarača. Na primjer solarni niz fotonaponskih panela snage 12 kW sparen s pretvaračem snage 10 kW ima omjer DC:AC ili "Omjer opterećenja invertora" od 1,2. Kada se uzmu u obzir uvjeti u stvarnom svijetu koji utječu na izlaznu snagu, može biti razumno dimenzionirati solarni niz nešto veći od maksimalne snage pretvarača, budući da će takav sustav imati vrlo malo "dana ograničene snage" ili slučajeva odrezivanja. [27]

#### **8.5. Odabir invertera**

Pri odabiru invertera bi se oslanjali na karakteristike navedene u podpoglavlju 5.3. Karakteristike solarnih izmjenjivača, ujedno je važno i paziti na uvjet u podpoglavlju 5.4. Pravilan odabir invertera koji glasi da omjer snage solarnog sustava i invertera može maksimalno bit 1.2/1. U svakom slučaju ciljali bi na mikroinverter umjesto centralnog invertera jer pospješuje 5 do 15 posto veću izlaznu snagu u odnosu na standardni pretvarač zbog razloga navedenih u potpoglavlju 5.2. Podjela solarnih izmjenjivača, iako su skuplji više se isplate kroz njihov vijek trajanja. Međutim to ovdje neće biti potrebno jer SunPower M Series 440 W solarni panel ima tvornički ugrađen mikroinverter, to je još jedan od razloga zašto je odabran u ovom završnom radu.

## 9. ELEKTRIČNO BROJILO

Električno brojilo je instrument koji se koristi za bilježenje i praćenje električne energije koja se isporučuje korisniku iz mreže, te se također prati energija koja se predaje u mrežu kada je brojilo povezan sa solarnim panelima. Električno brojilo se koriste u svim domaćinstvima, institucijama, ustanovama i tvrtkama koje koriste električnu energiju. Sva obračunavanja i naplate električne energije temelje se na očitanjima brojila. Svi korisnici električne energije u Hrvatskoj koriste određeni tarifni model (jednotarifno, višetarifno, samonaplatno), na temelju kojeg se mjesečno obračunava potrošnja struje. Vlasnici solarnih elektrana koriste dvosmjerno brojilo kako bi se ispravno evidentirala primljena i predana energija. Na temelju ovih mjerenja izrađuju se mjesečni računi, a količina primljene i predane energije ovisi o proizvodnji elektrane i potrošnji električne energije u kućanstvu u trenucima proizvodnje (samopotrošnja) ili kada elektrana ne proizvodi električnu energiju. [28]

Pametno brojilo, koje je primjer napredne tehnologije, predstavlja novu generaciju brojila za mjerenje električne energije (i plina) koja zamjenjuje zastarjele analogne modele. Ova inovativna vrsta brojila omogućuje točno mjerenje potrošnje energije korisnika u stvarnom vremenu te automatsko slanje tih podataka odabranom dobavljaču energije ili izravno vlasniku solarne elektrane. Ovaj napredak također eliminira potrebu za procjenom potrošnje i omogućuje korisnicima da plaćaju samo za stvarno potrošenu energiju tijekom godine. S obzirom na to da korisnici imaju uvid u trenutnu potrošnju vlastito proizvedene solarne energije, mogu je iskoristiti kada je proizvodnja najviša. Ovo omogućuje korisnicima da upravljaju svojom potrošnjom i postignu energetska učinkovitost u stvarnom vremenu. [29]



## **10.NOSAČI SOLARNIH PANELA**

### **10.1. Funkcija nosača solarnih panela**

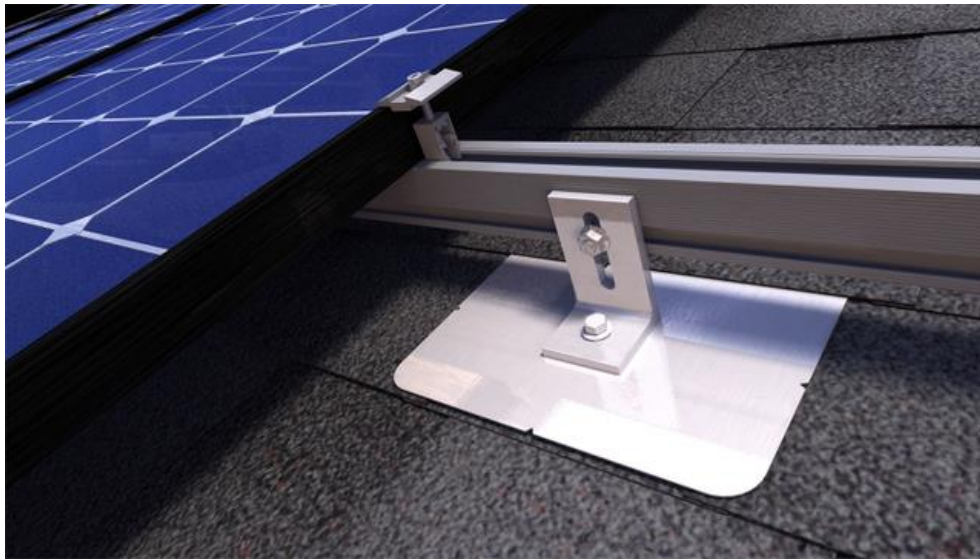
Nosači solarnih panela su uobičajeni element gotovo svakog solarnog niza panela. Iako se pojavljuju nove tehnologije solarnih panela koje ne zahtijevaju takve nosive sustave, poput Lumeta solarnog modula u razvoju, većina panela na tržištu i već instaliranih panela i dalje zahtijeva nosače koji služe za pričvršćivanje panela na površinu. Ovi sustavi također mogu pomoći u optimizaciji proizvodnje energije panela određivanjem optimalnog kuta i smjera. Vrsta nosača solarnih panela koja će biti potrebna ovisit će o specifičnoj površini na koju se paneli postavljaju. Općenito, svrha nosača je osigurati da se solarni paneli postave na pravo mjesto kako bi bili izloženi maksimalnoj količini sunčeve svjetlosti. Obično se preporučuje kut od 30 stupnjeva i orijentacija prema jugu ili jugozapadu. Nosivi sustavi solarnih panela za tlo ili ravni krov mogu se potpuno prilagoditi kako bi omogućili efikasno pozicioniranje panela prema tim parametrima. Prilikom razmatranja solarnih panela za kućne sustave, važno je uzeti u obzir raspored krova i vrstu materijala krova jer oni imaju veliki utjecaj na nosače i postavljanje solarnog niza. Prilagođavanje sustava u potpunosti povećava trošak. Svrha nosača solarnih panela je osigurati stabilnu i sigurnu instalaciju solarnih panela. Solarni nosači prilično su standardni i gotovo su uvijek neophodna komponenta pri dizajniranju solarnog sustava. Nosača solarnih panela dijelimo ovisi o mjestu instalacije, koristimo različite nosače za postavljanje na zemljištu ili na krovu kuće vlasnika no dijelimo ih po izvedbi konstrukcija nosača koje ovise o raznim parametrima kao što su materijal, orijentacija, nagib krova itd..

## 10.2. Krovni nosača solarnih panela

Najčešće korištena metoda montaže je klasični krovni nosač. Ovi nosači, koji prodiru kroz krovnu konstrukciju, koriste se od samih početaka korištenja solarnih sustava. Instalateri pažljivo buše rupe, osiguravaju i pričvršćuju nosače na krov kako bi se solarni paneli mogli jednostavno pričvrstiti na njih. Važno je osigurati dobro brtvljenje rupa kako bi se spriječilo propuštanje vode tijekom loših vremenskih uvjeta. Većina instalatera solarnih sustava uključuje jamstva protiv curenja kako bi osigurali klijente od potencijalnih problema. Krovni nosači su jednostavni sustavi koji se pričvršćuju na vrh krovnih površina pomoću vijaka ili drugih mehanizama za pričvršćivanje, omogućujući laku montažu solarnih panela. Postoji mnogo različitih oblika krovnih nosača. Neki pokušavaju minimizirati broj bušenja na krovu, dok se drugi fokusiraju na estetiku. Vodeće tvrtke poput IronRidge-a [30] i Unirac-a [31] nude nosače za solarne panele koji prodiru kroz tradicionalne krovove sastavljene od kompozitnih materijala ili asfalta. Ove tvrtke obično koriste specijalizirane komponente za stezanje ili pričvršćenje solarne panele na nosači sustav.

Sljedeća kategorija nosača solarnih panela namijenjena je površinama na kojima nije moguće bušenje. Ako vaš dom ima poseban krov, kao što su španjolske ili glinene pločice ili krov od metala, prodiranje solarnih panela može biti neprikladno. To bi moglo oštetiti pločice ili uzrokovati probleme s metalnim krovom. Quickmount PV [30] (slika 10.2.1. Quickmount PV nosač) nudi odlično rješenje za oba ova tipa krovova. Metalni nosači u obliku pločica pružaju stabilnu bazu za nosivi sustav. Ti metalni elementi zamjenjuju određene dijelove krova kako bi se stvorila platforma za montažu solarnih panela, dok se originalna krovna površina zadržava. SnapNRack [32] (slika 10.2.2. SnapNRack Nosač) nudi izvrsne montažne sustave za metalne krovove s izbočenim šavovima, koji ne zahtijevaju bušenje. Pomoću stezaljki, instalateri jednostavno mogu pričvrstiti sustav na metalni krov. Za krovove s crijepom, moguće je dodati poseban nosač ili zamijeniti manji dio postojećih crijepova metalnim pločicama. Metalne pločice su dizajnirane tako da se solarni paneli lako mogu pričvrstiti pomoću stezaljki, vijaka i slično. Kod metalnih krovova, rješenje za montažu solarnih panela ovisi o tome jesu li krovne površine izrađene od metalnih pločica ili imaju izbočene metalne spojeve. Metalni krovovi s pločicama su trajni, ali prilično osjetljivi i često nemaju dovoljno strukturalne čvrstoće za montažu solarnih

panela. To može značiti djelomično zamjenu krova ili poboljšanje konstrukcije kako bi se podržao solarni sustav, što dodatno povećava troškove. Metalni krovovi s izbočenim metalnim spojevima obično su strukturalno pogodni za montažu solarnih panela, a nosači se mogu jednostavno pričvrstiti na izbočene metalne spojeve stezanjem. [33]



*Slika 10.1. Quickmount PV nosač [30]*



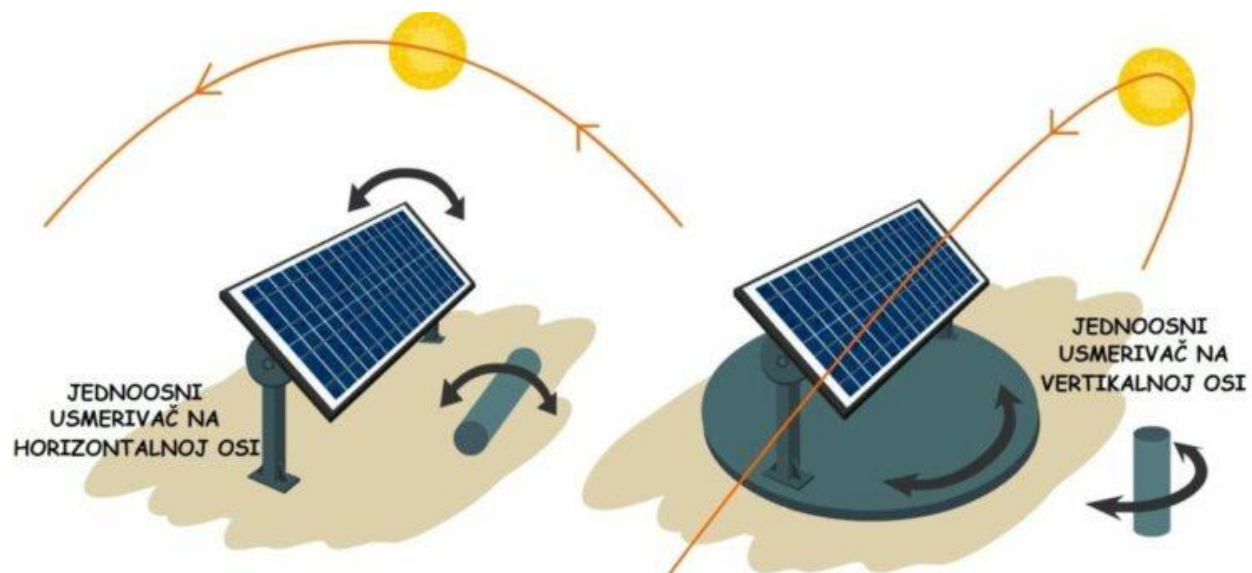
*Slika 10.2. SnapNRack Nosač [32]*

### 10.3. Nosači solarnih panela na tlu

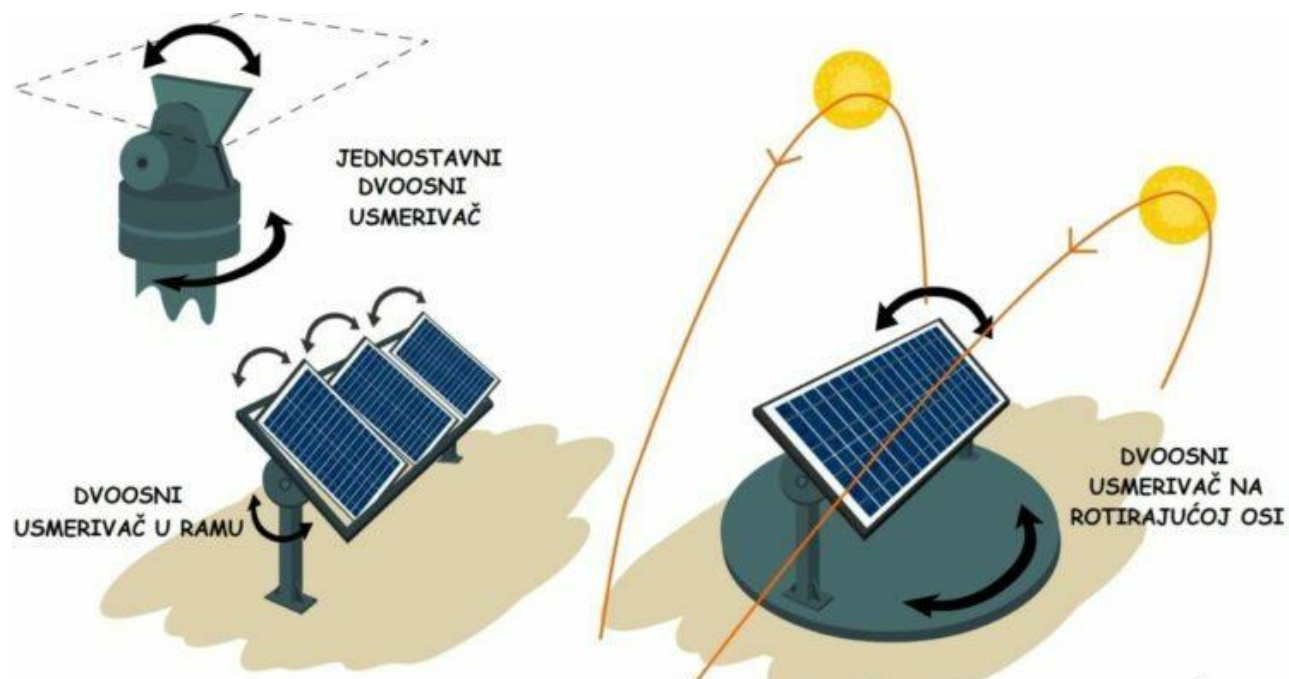
Sustavi solarnih panela postavljeni na tlu imaju različite vrste nosača u usporedbi s onima koji se koriste za krovne panele. Ipak, glavni cilj je osigurati maksimalnu izloženost panela sunčevoj svjetlosti. Za one koji imaju neprikladne krovove, instalacija solarnih panela na tlu može biti jeftinija i učinkovitija opcija. Solarni nizovi panela postavljeni na tlu pružaju veću fleksibilnost u pogledu pozicioniranja i integracije. Značajna prednost solarnih nizova panela na tlu je mogućnost korištenja dinamičkog sustava montaže koji omogućuje podešavanje kuta panela kako bi se postigla maksimalna izloženost sunčevom svjetlu. Ovo omogućuje bolju proizvodnju električne energije jer su paneli uvijek u optimalnom položaju. Također, možemo koristiti različite nosače i druge komponente koje nam pružaju veliku fleksibilnost u dizajniranju solarnog sustava kako bismo postigli željeni kapacitet proizvodnje koji odgovara našem specifičnom slučaju.

Solarni usmjerivači, ili sustavi praćenja Sunca, su još jedna od vrsta nosača koji omogućuju solarnim panelima da slijede putanje kretanja Sunca poput suncokreta kako bi povećali proizvodnju solarne energije. Uobičajeno se koriste s autonomnim ili izdvojenim sustavima, no nedavno su se pojavili i solarni usmjerivači za mrežne sustave. Ovi sustavi praćenja povezani su s nosačima solarnih panela, omogućujući im pokretanje i usmjeravanje prema Sunčevom položaju. Način kretanja solarnog sustava za praćenje ovisi o vrsti sustava. Trenutno postoje ručni, pasivni i aktivni usmjerivači na tržištu. Ručni usmjerivači zahtijevaju ručno podešavanje panela kako bi pratili Sunce, što je često nepraktično. Pasivni usmjerivači koriste tekućinu s niskom temperaturom vrenja koja isparava pod utjecajem sunčeve svjetlosti. To stvara neuravnoteženost u sustavu nagiba, što dovodi do naginjanja panela prema sunčevim zrakama. Aktivni usmjerivači koriste motore ili hidraulične cilindre kako bi promijenili položaj panela prema Sunčevom položaju. Međutim, nedostatak ove metode je da pokretni dijelovi unutar motora mogu lako otkazati, što može rezultirati većim troškovima održavanja tijekom vijeka trajanja sustava. Solarni usmjerivači mogu se podijeliti prema smjeru kretanja na jednoosne solarne usmjerivače (slika 10.3.1. Jednoosni solarni usmjerivač) koji prate Sunce dok se kreće od istoka prema zapadu i mogu povećati proizvodnju energije za 25% do 35% i na dvoosne solarne usmjerivače (slika 10.3.2. Dvoosni solarni usmjerivač) koji prate Sunce kako se kreće od istoka

prema zapadu i od sjevera prema jugu, što može povećati proizvodnju energije za otprilike 40%.  
[29, 33]



Slika 10.3. Jednoosni solarni usmjerivač [29]



Slika 10.4. Dvoosni solarni usmjerivač [29]

## 10.4. Odabir i dimenzioniranje nosača

Kao što je prethodno navedeno u okolini obiteljske kuće se nalazi Solarshop Rijeka gdje smo odabrali konstrukciju elektrane za crijep, u katalogu ALU konstrukcije za solarne elektrane se nalaze sve specifikacije potrebnih dijelova [34] (slika 10.4.1. Konstrukcija nosača iz kataloga).



Slika 10.5. Konstrukcija nosača iz kataloga [34]

Prije nego što započnemo s proračunom nosača potrebno je napomenuti da će solarni sustav bit sastavljen od dva niza, gornji niz će biti sastavljen od šest solarnih panela dok će donji niz bit sastavljen od pet. Krajnje kopče kao što im samo ime govore su elementi solarnog nosača koji služe za pričvršćenje solarnih panela sa šinama na rubu samog niza, pošto je pravilo da se za svaki solarni niz koriste dva reda šina to znači da će na svakom rubu bit po dvije krajnje kopče (10.4.1.):

$$\mathbf{Broj\ krajnjih\ kopči = Broj\ nizova * 4 \quad (10.4.1.)}$$

$$\mathbf{Broj\ krajnjih\ kopči = 2 * 4 = 8}$$

Broj krajnjih kopči gornjeg i donjeg reda nam je potreban u kasnijem proračunu i on iznosi četiri za jedan i drugi niz.

Srednje kopče su elementi solarnog nosača slični krajnjim kopčama samo se oni u nizu koriste za povezivanje dvaju solarnih panela međusobno i koriste se pri povezivanju solarnih panela sa šinama time ime srednje kopče. Broj solarnih panela umanjimo za jedan kako bi dobili broj srednjih pozicija, to je potrebno odraditi za svaki red, sumu srednjih pozicija pomnožimo sa dva i time dobijemo broj srednjih kopči (10.4.2.):

***Broj srednjih kopči***

$$= \sum_{i=1}^{i=n} (\mathbf{Broj\ solarnih\ panela\ u\ n - tom\ nizu - 1}) * 2 \quad (10.4.2.)$$

$$\mathbf{Broj\ srednjih\ kopči = \sum_{i=1}^{i=n} (6 - 1 + 5 - 1) * 2 = 18}$$

Izračunat ćemo broj srednjih kopči za svaki red posebno jer nam je potreban za kasniji proračun dužine šine:

$$\text{Broj srednjih kopči gornjeg reda} = (6 - 1) * 2 = 10$$

$$\text{Broj srednjih kopči donjeg reda} = (5 - 1) * 2 = 8$$

Držači su elementi solarnog nosača koji služe za pričvršćenje šina za krov. Da bi se osigurala konstrukcijska čvrstoća potrebno je postaviti dva držača ispod solarnih panela koje se nalaze na rubu i po dva držača za svaki neparnih solarni panel, kako je prvi niz sastavljen od šest solarnih panela da bi održali simetriju sila naprezanja postaviti ćemo osam držača, po dva za prvi i krajnji i po dva za treći i četvrti solarni panel:

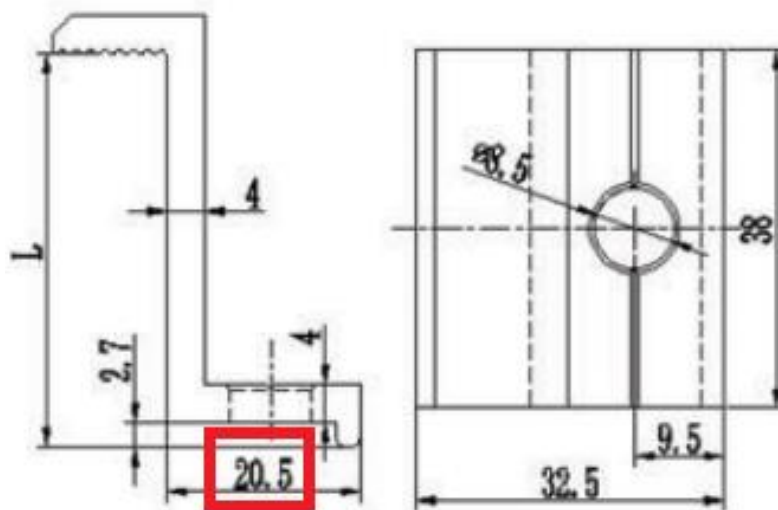
$$\text{Broj držača gornjeg solarnog niza} = 8$$

Za drugi niz postaviti ćemo šest držača, četiri rubna i dva ispod trećeg panela:

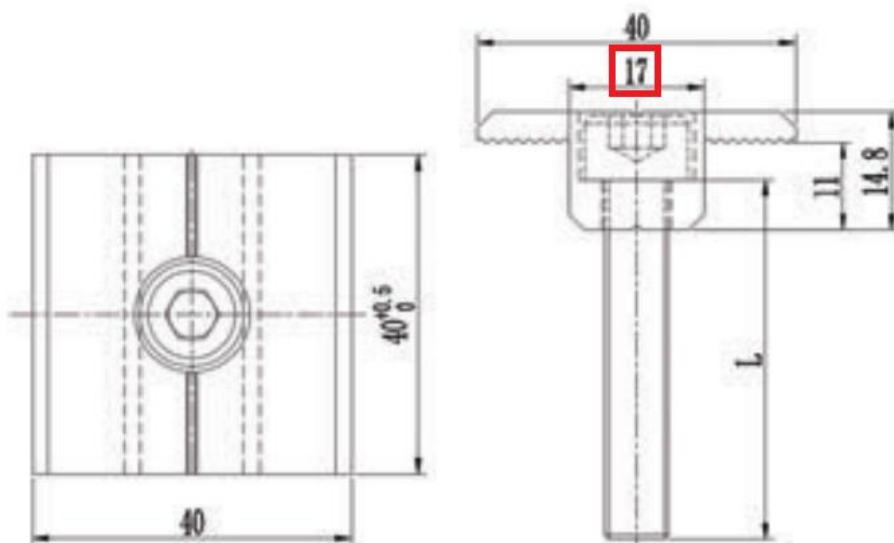
$$\text{Broj držača donjeg solarnog niza} = 6$$



Kako bi to sve povezali u jednu cjelinu nazvanu nosačem potrebne su nam šine. Šine su elementi solarnog nosača koji služe kao poveznica svih ostalih komponenti, šina je povezana kukama za krov, a solarnih paneli su povezani kopčama za šinu, dimenzije kopči su naveden na slikama i označene su crvenom bojom (slika 10.4.2. Shema krajnje kopče, slika 10.4.3. Shema srednje kopče).



Slika 10.6. Shema krajnje kopče



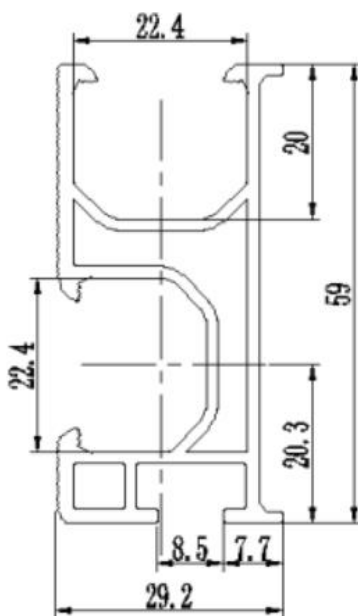
Slika 10.7. Shema srednje kopče

Proračun dužine šina se izvodi na sljedeći način i potrebno ih je izračunati za svaki niz posebno, zaokružiti na prvi veći cijeli broj, ostale dimenzije šina se nalaze na slici (slika 10.4.4. Shema šine) (10.4.3.):

$$\begin{aligned}
 \text{Dužina šina} = & 2 * (\text{Broj solarnih panela u nizu} * \text{Širina panela} \\
 & + \frac{\text{Broj srednjih kopči u nizu}}{2} * \text{Širina srednje kopče} \\
 & + \frac{\text{Broj krajnjih kopči u nizu}}{2} * \text{Širina krajnje kopče}) \quad (10.4.3.)
 \end{aligned}$$

$$\text{Dužina šina gornjeg niza} = 2 * \left( 6 * \frac{1032}{1000} + \frac{10}{2} * \frac{17}{100} + \frac{4}{2} * \frac{20.5}{100} \right) = 14.904 = 15m$$

$$\text{Dužina šina donjeg niza} = 2 * \left( 6 * \frac{1032}{1000} + \frac{8}{2} * \frac{17}{100} + \frac{4}{2} * \frac{20.5}{100} \right) = 14.564 = 15 m$$



Slika 10.8. Shema šine

Odabrani konektor je MC4 T-3 [35], njegova funkcija je da poveže tri solarna panela tj njihove izlaze i kreira jedan krajnji izlaz. Da bi dobili broj konektora potrebno je broj solarnih panela podijeliti sa tri i zaokružiti na prvi veći cijeli broj (10.4.4.):

$$\mathbf{Broj\ konektora = \frac{Broj\ solarnih\ panela}{3}} \quad (10.4.4.)$$

$$\mathbf{Broj\ konektora = \frac{11}{3} = 3.67 = 4}$$

Krajnje izlaze je sad potrebno povezati šest milimetarski solarnim kabelom [36] koji odvodi električnu energiju proizvedenu od solarnih panela do dvosmjernog brojila. Dvosmjerno brojilo se nalazi na vanjskom zidu prizemlja odma ispod solarnog sustava, pošto je visina kuće 10-ak metara dužina solarnog kabela će biti dužina šina podijeljena sa dva, plus visina kuće i plus dva metra da budemo sa sigurnije strane (10.4.5.):

$$\mathbf{Dužina\ kabela = \sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{Dužina\ šina\ n - top\ niza}{2} \right) + Visina\ kuće + 2} \quad (10.4.5.)$$

$$\mathbf{Dužina\ kabela = \sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{15 + 15}{2} \right) + 10 + 2 = 27\ m}$$

Cijene su dobivene sa stranice SolarShopa-a Rijeka [37], cijena solarnog nosača iznosi (10.4.6.):

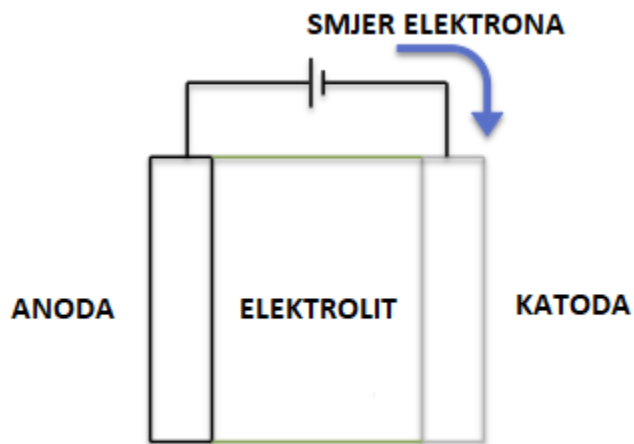
$$\begin{aligned}
 & \textbf{Cijena solarnog nosača} \\
 & = \textbf{Broj krajnjih kopči} * \textbf{Cijena krajnje kopče} + \textbf{Broj srednjih kopči} \\
 & * \textbf{Cijena srednje kopče} + \sum_{i=1}^{i=n} (\textbf{Broj } n - \textbf{tog držača}) * \textbf{Cijena držača} \\
 & + \sum_{i=1}^{i=m} (\textbf{Dužina šina } m - \textbf{topg niza}) * \textbf{Cijena šina} + \textbf{Broj konektora} \\
 & * \textbf{Cijena konektora} + \textbf{Dužina kabela} \\
 & * \textbf{Cijena kabela} \qquad \qquad \qquad \textbf{(10.4.6.)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \textbf{Cijena solarnog nosača} \\
 & = 8 * 1 + 18 * 1 + \sum_{i=1}^{i=n} (8 + 6) * 5.97 \\
 & + \sum_{i=1}^{i=m} (15 + 15) * 4.65 + 4 * 15.76 + 27 * 1.13 = 342.59 \textbf{ eura}
 \end{aligned}$$

## 11.SOLARNE BATERIJE

### 11.1. Način rada solarnih baterija

Baterije rade na principu pohrane električne energije i njenog oslobađanja kroz elektrokemijske procese. Osnovna struktura baterije uključuje pozitivnu elektrodu (katodu), negativnu elektrodu (anodu) i elektrolit koji služi kao medij za prijenos naboja. Kada baterija nije u upotrebi, pozitivna i negativna elektroda su u kemijskom ravnotežnom stanju. Kada spojimo vanjski krug na bateriju, elektroni počinju kretati iz negativne elektrode prema pozitivnoj elektrodi, dok se istovremeno odvija kemijska reakcija u elektrolitu. Ova kemijska reakcija uzrokuje premještanje naboja između elektroda i stvaranje električne struje. Tijekom punjenja baterije, električna energija se koristi za obrnuti proces. Elektroni se vraćaju na negativnu elektrodu, dok se kemijska reakcija odvija u elektrolitu kako bi se obnovio početni kemijski sastav elektroda, kao što možemo vidjeti na slici (slika. 11.1.1. Shema baterije). [38]



Slika 11.1. Shema baterije

### **11.2. Podjela solarnih baterija po korištenim materijalima**

Dva tipa baterijske kemije su litij-ionske i olovo-kiselinske baterije. Kao što im nazivi sugeriraju, litij-ionske baterije su izrađene od metala litija, dok su olovo-kiselinske baterije izrađene od olova. Obje baterije rade tako što pohranjuju naboje i oslobađaju elektrone putem elektrokemijskih procesa. Litij-ionske baterije rade tako što ispuštaju pozitivne i negativne ione iz materijala litija između elektroda. Olovo-kiselinske baterije rade na sličan način, samo s drugim materijalom. U većini slučajeva, tehnologija litij-ionskih baterija je superiorna u odnosu na olovo-kiselinske zbog svoje pouzdanosti i učinkovitosti, među i ostalim karakteristikama. Međutim, u slučajevima malih sustava za pohranu izvan mreže koji se ne koriste redovito, jeftinija opcija je olovo-kiselinska baterija. [39]

### **11.3. Podjela solarnih baterija po vrsti električne energije**

Postoje AC i DC baterije. AC baterije su one koje mogu prihvatiti izmjeničnu struju i koriste ugrađeni pretvarač kako bi je pretvorile u istosmjernu struju koja puni bateriju. Kada baterija napaja kuću, pretvarač pretvara istosmjernu struju iz baterije natrag u izmjeničnu struju koja se koristi u domaćinstvu. Većina modernih solarnih baterija, kao što je Tesla Powerwall, su AC baterije. Prednost AC baterija je njihova kompatibilnost s različitim solarnim sustavima, jer mogu prihvatiti izlaz iz bilo kojeg sustava. To ih čini fleksibilnima i pogodnima za nadogradnju postojećih solarnih sustava. S druge strane, DC baterije poput LG Chem nemaju ugrađeni pretvarač. Moraju se direktno puniti iz izmjenične struje, za što je potreban poseban pretvarač. Kada baterija napaja kuću, istosmjerna struja se prenosi iz baterije u vanjski solarni pretvarač koji je pretvara u izmjeničnu struju. Prednost DC baterija je veća povratna učinkovitost. Svaki put kada se energija preokrene iz istosmjerne u izmjeničnu struju (ili obrnuto), gubi se otprilike 5% energije kao toplina. Korištenjem DC baterija koje manje puta inverziraju snagu, gubitak energije je manji. Također, DC baterije imaju tendenciju biti jeftinije jer ne zahtijevaju dodatni inverterski hardver. [40]

#### **11.4. Karakteristike solarnih baterija**

Kapacitet baterije je mjera koliko energije može biti pohranjeno (i kasnije ispražnjeno) od strane baterije. Iako se kapacitet može razlikovati između modela i proizvođača baterija, litij-ionska tehnologija je dokazano pokazala znatno veću gustoću energije u usporedbi s olovnim akumulatorima. To znači da se veća količina energije može pohraniti u litij-ionsku bateriju koristeći isti fizički prostor. Zbog mogućnosti pohrane više energije u litij-ionskoj tehnologiji, može se isprazniti više energije, što omogućava napajanje većeg broja uređaja tijekom dužeg vremenskog razdoblja.

Dubina pražnjenja baterije je postotak baterije koji se može sigurno isprazniti od energije bez oštećenja baterije. Dok je normalno koristiti 85 posto ili više ukupnog kapaciteta litij-ionske baterije u jednom ciklusu, olovnim akumulatorima ne bi trebalo isprazniti više od otprilike 50 posto, jer to negativno utječe na vijek trajanja baterije. Veća dubina pražnjenja moguća s litij-ionskom tehnologijom znači da litij-ionske baterije imaju još veći učinkoviti kapacitet od olovnih akumulatora, posebno uzimajući u obzir veću gustoću energije kod litij-ionske tehnologije koja je spomenuta gore.

Baš kao i učinkovitost solarnih panela, i učinkovitost baterija je važna mjera koju treba uzeti u obzir prilikom usporedbe različitih opcija. Većina litij-ionskih baterija ima učinkovitost od 95 posto ili više, što znači da 95 posto ili više energije pohranjene u litij-ionskoj bateriji može zapravo biti korišteno. S druge strane, olovnim akumulatorima se postiže učinkovitost bliža 80 do 85 posto. Baterije s većom učinkovitošću se pune brže, a slično kao i dubina pražnjenja, poboljšana učinkovitost znači veći učinkoviti kapacitet baterije.

Baterije s vremenom gube na učinkovitosti i degradiraju se, slično kao i solarni paneli. Svaki put kada se baterija isprazni kako bi napajala kuću ili uređaje, a zatim se ponovno puni solarnom energijom ili iz mreže, to se smatra jednim "ciklusom". Broj ciklusa varira u različitim istraživanjima, no litij-ionske baterije obično imaju dulji životni vijek od olovnih akumulatora, što rezultira duljim ukupnim trajanjem i većom učinkovitošću litij-ionskih proizvoda. [39]

## 11.5. Odabir i dimenzioniranje solarne baterije

U svakom slučaju, preferirali bismo litij-ionske baterije, jer njihove prednosti znatno nadmašuju olovo-kiselinske baterije. Iako su skuplje, dugotrajnije svojevrsno opravdavaju taj viši trošak. Proračun dimenzija solarne baterije obavlja se prema sljedećoj formuli, dnevna potrošnja u vat satima množi se sa sedam kako bismo dobili tjednu potrošnju, koju zatim udvostručujemo kako bismo dobili odgovarajući kapacitet baterije. Tu dobivenu vrijednost treba podijeliti s dvanaest kako bismo vat sate preveli u amper sate, što je standardna mjerna jedinica pri izboru baterija (11.5.1.):

$$\text{Veličina solarne baterije} = \frac{\text{Dnevna potrošnja} * 7 * 2}{12} \quad (11.5.1.)$$

No, u okviru ovog istraživanja nećemo se baviti proračunima niti odabirom baterija, jer će tu ulogu preuzeti elektroenergetska mreža. Električna energija koju generira solarni sustav može se prodati mreži ili koristiti za potrebe kućanstva. Ova energija većinom se proizvodi tijekom ranog dijela dana, kada većina ljudi radi ili je u školi. Kako smo prethodno naveli, ta energija će vjerojatno biti ili prodana ili, u slučaju uporabe baterija, spremljena i iskorištena tijekom kasnijeg dijela dana, kada je proizvodnja solarnog sustava svedena na minimum. Na ovaj način postiže se sličan efekt kao kod prodaje električne energije distributeru po višoj tarifi tijekom prvog dijela dana i kupovine po nižoj tarifi tijekom kasnijeg dijela dana. Razlika je u tome što se u prvom slučaju dodaju troškovi baterija, zbog čega u ovom istraživanju nećemo koristiti bateriju.



## **12. MODELI OTKUPA I PRODAJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U MREŽU**

### **12.1. Kupac s vlastitom proizvodnjom i kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu**

Kupac s vlastitom proizvodnjom je pojedinac ili organizacija koji već koristi ili planira koristiti elektranu u vlastitom postrojenju za zadovoljavanje svojih energetske potrebe. Ovaj kupac ima mogućnost da višak električne energije proizvedene u vlastitoj elektrani preda u elektroenergetsku mrežu. Kupac s vlastitom proizvodnjom može sklopiti ugovore o opskrbi i otkupu električne energije s različitim sudionicima na tržištu.

Kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu odnosi se na kućanstva koja su priključena na električnu mrežu, ali imaju vlastito postrojenje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora ili visokoučinkovite kogeneracije. Ovi kupci imaju mogućnost da prenesu višak proizvedene energije u mrežu i sklone ugovor o otkupu s opskrbljivačem. Nakon što dobiju status korisnika postrojenja za samoopskrbu, bilo prilikom stalnog priključenja elektrane ili kasnije, važno je da održe taj status ispunjavanjem uvjeta. Jedan od tih uvjeta je da količina električne energije koju su prenijeli u mrežu tijekom kalendarske godine bude manja ili jednaka količini električne energije koju su preuzeli iz mreže.

Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/21), postoji obveza opskrbljivača električne energije da preuzmu viškove električne energije od kupaca s vlastitom proizvodnjom ili korisnika postrojenja za samoopskrbu. Ova obveza regulirana je ugovorom o opskrbi krajnjeg kupca, koji također regulira otkup električne energije. Prema članku 51. spomenutog Zakona, opskrbljivači električne energije moraju preuzeti viškove električne energije od kupaca s vlastitom proizvodnjom ili korisnika postrojenja za samoopskrbu koji su dužni ispuniti sljedeće uvjete:

- Imaju status povlaštenog proizvođača električne energije,
- Ostvarili su pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu,

- Ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ne prelazi 500 kw,
- Priključna snaga u smjeru isporuke električne energije u mrežu ne prelazi priključnu snagu kao kupca,
- Isporučuje električnu energiju preko istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg i kupuje,
- Vodi podatke o proizvedenoj i isporučenoj električnoj energiji.

Opskrbljivač električne energije izdaje račun krajnjem kupcu kategorije kućanstva za svako obračunsko razdoblje. Račun se sastoji od razlike između preuzete i isporučene električne energije u višoj dnevnoj tarifi te razlike između isporučene i preuzete električne energije u nižoj dnevnoj tarifi, ako je krajnji kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu. Te količine električne energije služe kao osnova za obračun naknade za korištenje mreže i naknade za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju. Ponekad se može dogoditi da krajnji kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu ima višak proizvedene električne energije u višoj ili nižoj dnevnoj tarifi. Taj višak proizvodnje energije predstavlja količinu energije koja je proizvedena iznad potrošnje na obračunskom mjernom mjestu. Ako opskrbljivač utvrdi da je korisnik postrojenja za samoopskrbu u prethodnoj kalendarskoj godini isporučio više električne energije u mrežu nego što je preuzeo iz nje, tada se smatra da je krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom u tekućoj kalendarskoj godini. Ovo za kupca ima sljedeće značenje:

- promjena statusa iz statusa kupca korisnika postrojenja za samoopskrbu u status kupca s vlastitom proizvodnjom s 1. siječnja tekuće godine,
- promjena načina obračuna i cijene predanih viškova električne energije,
- isplata novčane protuvrijednosti viškova električne energije na žiro-račun kupca uz uvjet da HEP Elektri za navedeno ispostavi račun,
- obveza upisa u Registar poreznih obveznika.

Nakon isteka kalendarske godine u kojoj je krajnji kupac izgubio status korisnika postrojenja za samoopskrbu na određenom obračunskom mjernom mjestu, postoji mogućnost da kupac

zatraži ponovnu dodjelu statusa kupca korisnika postrojenja za samoopskrbu. Kako bi se to postiglo, kupac treba podnijeti Zahtjev HEP Elektri, koji će potom proslijediti zahtjev operatoru distribucijskog sustava radi promjene statusa. Nakon što HEP Elektra primi odgovor od operatora distribucijskog sustava o zahtjevu, kupac će biti obaviješten o rješenju podnesenog Zahtjeva.

U oba scenarija, korisnik koristi energiju koju proizvodi solarni sustav za vlastite potrebe i višak energije isporučuje u elektroenergetsku mrežu. Međutim, postoji razlika u otkupnoj cijeni električne energije. Iako se ta cijena određuje putem ugovora s opskrbljivačem, možemo se koristiti sljedećim formulama kao smjericama:

- Otkupna cijena kupca s vlastitom proizvodnjom (12.1.1., 12.1.2)

Vrijedi za  $E_{pi} > E_{ii}$

$$C_i = 0,9 * PKC_i \quad (12.1.1.)$$

Vrijedi za  $E_{pi} < E_{ii}$

$$C_i = 0,9 * PKC_i * \frac{E_{pi}}{E_{ii}} \quad (12.1.2.)$$

- Otkupna cijena kupca korisnika s postrojenjem za samoopskrbu (12.1.3., 12.1.4.)

$$C_{iVT} = 0,8 * C_{pVT} \quad (12.1.3.)$$

$$C_{iNT} = 0,8 * C_{pNT} \quad (12.1.4.)$$

*E<sub>pi</sub>* - ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh

*E<sub>ii</sub>* - ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh

*C<sub>i</sub>* - vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom

*PKC<sub>i</sub>* - prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja, izražena u euro/kWh.

*C<sub>pVT</sub>* - cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u euro/kWh

*C<sub>pNT</sub>* - cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u euro/kWh

*C<sub>iVT</sub>* - cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u euro/kWh

*C<sub>iNT</sub>* - cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u euro/kWh.

Druga ključna razlika leži u konceptu "netiranja". Netiranje je prisutno samo u okviru modela korisnika s postrojenjem za samoopskrbu. Ova praksa se primjenjuje tijekom ljetnih mjeseci kada postoji višak proizvedene električne energije. Višak energije se prenosi u sljedeći mjesec kao novčana nadoknada, koja iznosi najmanje 80% cijene energije koju kućanstvo obično plaća. U tom slučaju, kućanstvo ne plaća račun za potrošenu energiju. Stavka koja čini najmanje 80% cijene odabrane tarife električne energije, a koju korisnik prima kao nadoknadu, je iznos energije koji je isporučen u mrežu (razlika između preuzete i isporučene energije) u višoj tarifi (VT) i nižoj tarifi (NT), odnosno jedinstvenoj tarifi (JT). Novčana nadoknada se akumulira (sabira) sve do jesenskih ili zimskih mjeseci kada dođe do manjka proizvodnje iz solarnog sustava. Tada se iz ukupno akumulirane nadoknade (bonus) umanjuje račun za električnu energiju koja je preuzeta

iz mreže. Glavni cilj ovog modela je potaknuti kućanstva da zadovolje svoje energetske potrebe iz vlastitog solarnog sustava. Iz tog razloga, zakon propisuje da količina energije koju korisnik isporučuje u mrežu mora biti manja ili jednaka količini energije koju korisnik preuzima iz mreže tijekom kalendarske godine. Bitno je pažljivo planirati snagu solarnog postrojenja kako bi odgovarala trenutnim ili planiranim potrebama kućanstva. Na taj način korisnik će ispunjavati uvjete povoljnog modela obračuna. U suprotnom, kućanstvo će biti prebačeno u drugi, manje povoljan model. Ako je solarno postrojenje pravilno dimenzionirano, može donijeti uštedu od 80% ili čak 90% na godišnjem računu za električnu energiju kućanstva. Unatoč ispravnoj dimenzioniranosti, važno je pratiti podatke o potrošnji i proizvodnji električne energije jer postoji mogućnost da se potrošnja smanji u određenim razdobljima, što dovodi do neiskorištenja proizvedene energije. Potrošnja električne energije mora biti usklađena s proizvodnjom, pa se višak energije može iskoristiti putem drugih uređaja. Kućanstva mogu odabrati između jednotarifnog obračuna (jedinствена тарифа, JT) i dvotarifnog obračuna (niža тарифа, NT i viša тарифа, VT), čak i kada su u kategoriji korisnika postrojenja za samoopskrbu. Koja vrsta obračuna je povoljnija može se odrediti usporedbom krivulje potrošnje i proizvodnje. Ako je potrošnja energije u kućanstvu značajna (više od 40%) tijekom niže tarife (noću) i ne može se promijeniti navike potrošnje, kućanstvo bi trebalo razmotriti prelazak na jednotarifni obračun. Unatoč tome, razlika u ukupnoj uštedi između jednotarifnog i dvotarifnog obračuna obično je vrlo mala. Također je važno napomenuti da opskrbljivači mogu ponuditi bolje uvjete od zakonskih propisa. Na primjer, opskrbljivač može ponuditi veću naknadu za viškove energije na kraju mjeseca, koja premašuje minimalno propisani iznos od 80% cijene električne energije koju kućanstvo plaća. Osim toga, opskrbljivač može povećati nadoknadu za preuzetu energiju za iznos mrežarine koju kućanstvo plaća, no specifičnosti ovise o uvjetima dogovorenim s odabranim opskrbljivačem.

Ukoliko kućanstvo preda u mrežu više energije nego što je preuzelo iz mreže tijekom kalendarske godine, prelazi se na drugi model obračuna poznat kao "krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom". Taj model se uobičajeno primjenjuje na vlasnike solarne elektrane iz drugih kategorija, kao što je poduzetništvo. U ovom modelu, sva višak proizvedene energije koja se ne iskoristi na objektu se otkupljuje od korisnika od strane opskrbljivača po minimalnoj cijeni od 90% cijene energije koju korisnik plaća. U tom slučaju, nema "netiranja" unutar iste tarife ili u istom mjesecu kao što je to slučaj u modelu "korisnik postrojenja za samoopskrbu". Umjesto toga, usporedba proizvodnje i potrošnje se obavlja u 15-minutnim intervalima. U ovom modelu,

ključno je precizno odrediti snagu elektrane koja će pratiti profil potrošnje objekta ili prilagoditi potrošnju kako bi se energija iskoristila u trenutku kada je proizvedena. Na taj način korisnik maksimizira svoje uštede. Važno je napomenuti da ovaj model obračuna jako ovisi o profilu potrošnje i ušteda koju ostvaruje kućanstvo može biti značajno manja u usporedbi s modelom "korisnik postrojenja za samoopskrbu". Kućanstvo koje je prešlo na model "krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom" ima mogućnost zatražiti povratak u povoljniji model "korisnik postrojenja za samoopskrbu" u sljedećoj godini, pod uvjetom da ispunjava zahtjev da je predana energija manja ili jednaka energiji koju je preuzelo iz mreže tijekom kalendarske godine. [41, 42, 43]

## **12.2. Povlašteni proizvođač električne energije**

Povlašteni proizvođač električne energije je subjekt ili pravna/fizička osoba koja proizvodi električnu energiju na visokoučinkovit način iz obnovljivih izvora energije ili istodobno proizvodi električnu i toplinsku energiju koristeći otpad ili obnovljive izvore energije. Taj proizvodni proces mora biti gospodarski primjeren i usklađen sa zaštitom okoliša. Povlašteni status proizvođača električne energije dodjeljuje se sukladno odredbama Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji. [44]

Poticajna cijena otkupa električne energije se određuje iz tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (slika 12.1. Poticajne cijene iz tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije), cijena je izražena u kunama. [45]

Grupa proizvodnih postrojenja	C
a. sunčane elektrane	
a.1. integrirane sunčane elektrane instalirane snage do uključivo 10 kW	1,91
a.2. integrirane sunčane elektrane instalirane snage veće od 10 kW do uključivo 30 kW	1,70

*Slika 12.1. Poticajne cijene iz tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije [45]*

### 12.3. Usporedba i odabir modela otkupa i prodaje električne energije

Najznačajnija razlika leži u prodajnoj cijeni, koju ćemo sada analizirati koristeći formule navedene u prethodnim potpoglavljima 12.1. Kupac s vlastitom proizvodnjom i kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu te 12.2. Povlašteni proizvođač električne energije.

Prvo ćemo usporediti model kupca s vlastitom proizvodnjom i kupca korisnika postrojenja za samoopskrbu. Kao što se može primijetiti iz formula (12.1.2., 12.1.3., 12.1.4.), faktor 0.9 je veći od faktora 0.8, no ovo nam samostalno ne daje potpuni uvid. Nakon što usporedimo i druge elemente koristeći izraze (12.1.2., 12.1.3., 12.1.4.), postaje jasno da to nije nužno istina:

$$C_i = 0,9 * PKC_i * E_{pi}/E_{ii}$$

$$C_{iVT} = 0,8 * C_{pVT}$$

$$C_{iNT} = 0,8 * C_{pNT}$$

Potrebno je usporediti ostale elemente prosječnu jediničnu cijenu električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja ( $PKCi$ ), cijenu ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife ( $CpVT$ ) i cijenu ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife ( $CpNT$ ):

$$Ci = 0,9 * PKCi * Epi/Eii$$

$$CiVT = 0,8 * CpVT$$

$$CiNT = 0,8 * CpNT$$

prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja iznosi (12.3.1.):

**$PKCi$**

$$= \frac{\text{Mjesečna potrošnja u višoj tarifi} * CpVT + \text{Mjesečna potrošnja u nižoj tarifi} * CpNT}{\text{Mjesečna potrošnja}}$$

(12.3.1.)

$$PKCi = \frac{323.6 * 0.074789 + 125.1 * 0.036697}{448.67} = 0.064 \text{ euro/kWh}$$



Cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife ( $CpVT$ ) i cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife ( $CpNT$ ) iznose:

$$**$CpVT = 0.074789 \text{ euro/kWh}$**$$

$$**$CpNT = 0.036697 \text{ euro/kWh}$**$$

bitno je naglasiti da se većina električne energije proizvede u prvoj polovici dana stoga cijenu ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife ( $CpNT$ ) nećemo koristiti za danje proračune jer je električna energija prodana distributeru pod višom tarifom.

Cijena jednog kilovat sata za kupca s vlastitim postrojenjem i kupca korisnika postrojenja za samoopskrbu iznosi:

$$**$Ci = 0,9 * PKCi * Epi/Eii$**$$

$$**$Ci = 0,9 * 0.064 * Epi/Eii = 0.0576 * Epi/Eii \text{ euro/kWh}$**$$

$$**$CiVT = 0,8 * CpVT$**$$

$$**$CiVT = 0,8 * 0.074789 = 0.06 \text{ euro/kWh}$**$$

U ovom trenutku možemo donijeti zaključak da je model kupca korisnika postrojenja za samoopskrbu ekonomski povoljniji, čak i uz minimalnu razliku. Ova razlika postaje još značajnija kada uzmemo u obzir da se cijena modela kupca s vlastitom proizvodnjom dodatno smanjuje množenjem razlike između preuzete i isporučene električne energije. To je moguće jer je jasno da je taj broj manji od jedan, što proizlazi iz uvjeta eliminacije iz prethodno povoljnijeg modela gdje je količina isporučene godišnje energije veća od preuzete godišnje električne energije.

Cijena povlaštenog proizvođača se dobije pretvorbom poticajne cijene u euro po kilovat satu:

$$\text{Cijena električne energije povlaštenog proizvođača} = \frac{\text{Poticajna cijena}}{7.5345}$$

$$\begin{aligned} \text{Cijena električne energije povlaštenog proizvođača} &= \frac{1.91}{7.5345} \\ &= 0.2535 \text{ eura/kWh} \end{aligned}$$

Dolazimo do zaključka da je status povlaštenog proizvođača električne energije najoptimalniji model. Kako bismo ovu prednost bolje ilustrirali, izračunat ćemo godišnju uštedu ili čak potencijalnu dobit, kao što ćemo vidjeti u slučaju povlaštenog proizvođača.

Korištena formula za izvođenje godišnjeg računa svih modela izvedena je dolje izrazom (12.3.2.):

***Mjesečna potrošnja***

***= Cijena preuzete energije***

***– Cijena isporučene energije (12.3.2.)***

Važno je napomenuti da postoji razlika u izvođenju računa ako je razlika cijena pozitivna ili negativna, tj. ovisi o tome da li je preuzeta energija veća od ispraćene energije ili obratno. U slučaju gdje je veća preuzeta energija od isporučene formula za cijenu računa izgleda ovako (12.3.3.):

***Cijena električne energije***

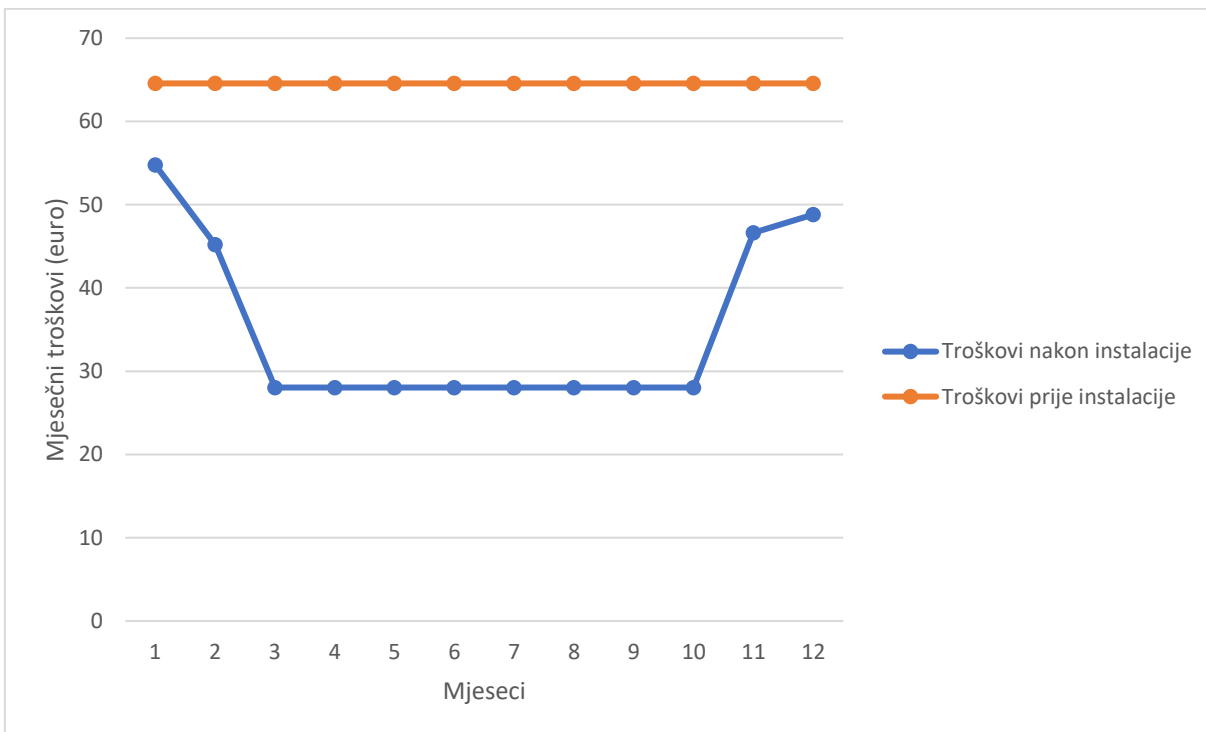
$$\begin{aligned} &= \text{Količina preuzete energije} \\ & * \text{Cijena električne energije više/niže tarife} \\ & * \text{Prijenos električne energije više/niže tarife} \\ & * \text{Distribucija električne energije više/niže tarife} \\ & * \text{Naknada obnovljivih izvora energije} + \text{Naknada opskrbe} \\ & + \text{Naknada mjernog mjesta} \end{aligned} \quad (12.3.3.)$$

Dok se u slučaju gdje je preuzeta energija manja od isporučene ne plaća prijenos, distribucija električne energije i naknada za obnovljive izvore energije (12.3.4.):

***Cijena električne energije***

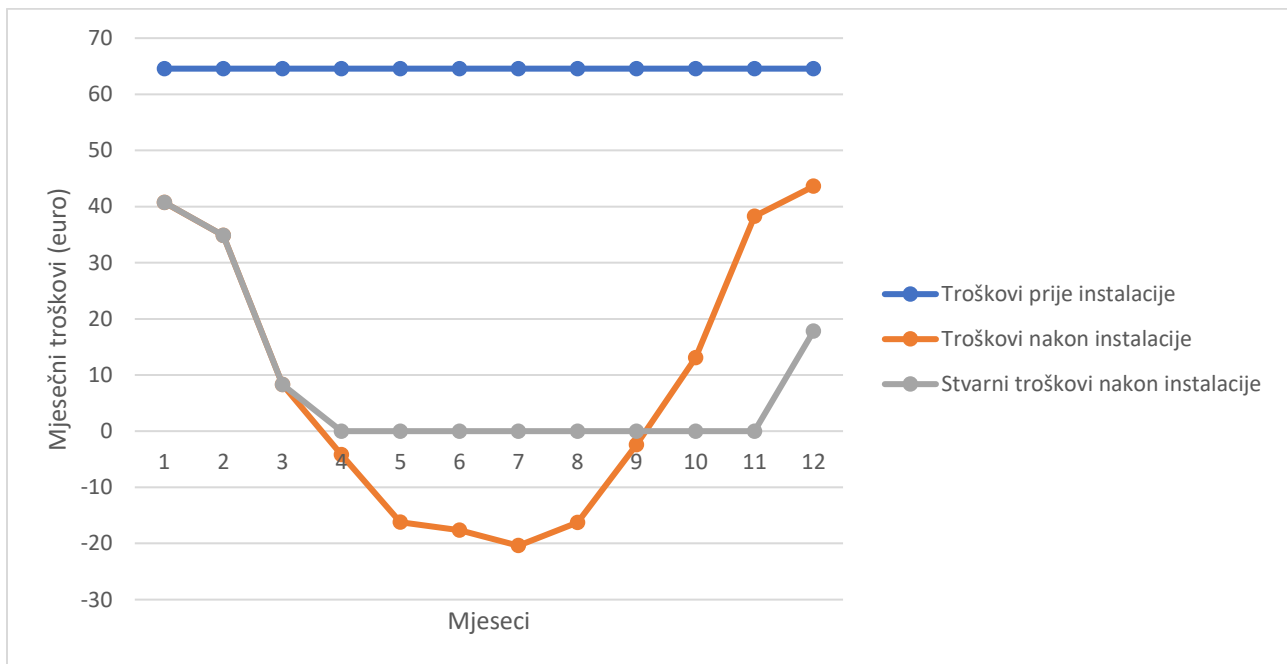
$$\begin{aligned} &= \text{Količina preuzete energije} \\ & * \text{Cijena električne energije više/niže tarife} + \text{Naknada opskrbe} \\ & + \text{Naknada mjernog mjesta} \end{aligned} \quad (12.3.4.)$$

Rezultate ćemo prikazati grafičkim putem. Model kupca s vlastitom proizvodnjom (slika 12.3.1. Grafički prikaz iznosa računa za električnu energiju modela kupca s vlastitom proizvodnjom), narančasta linija predstavlja troškove za struju po mjesecima prije instalacije dotičnog solarnog sustava, a plava linija predstavlja mjesečne troškove poslije instalacije za dati model.



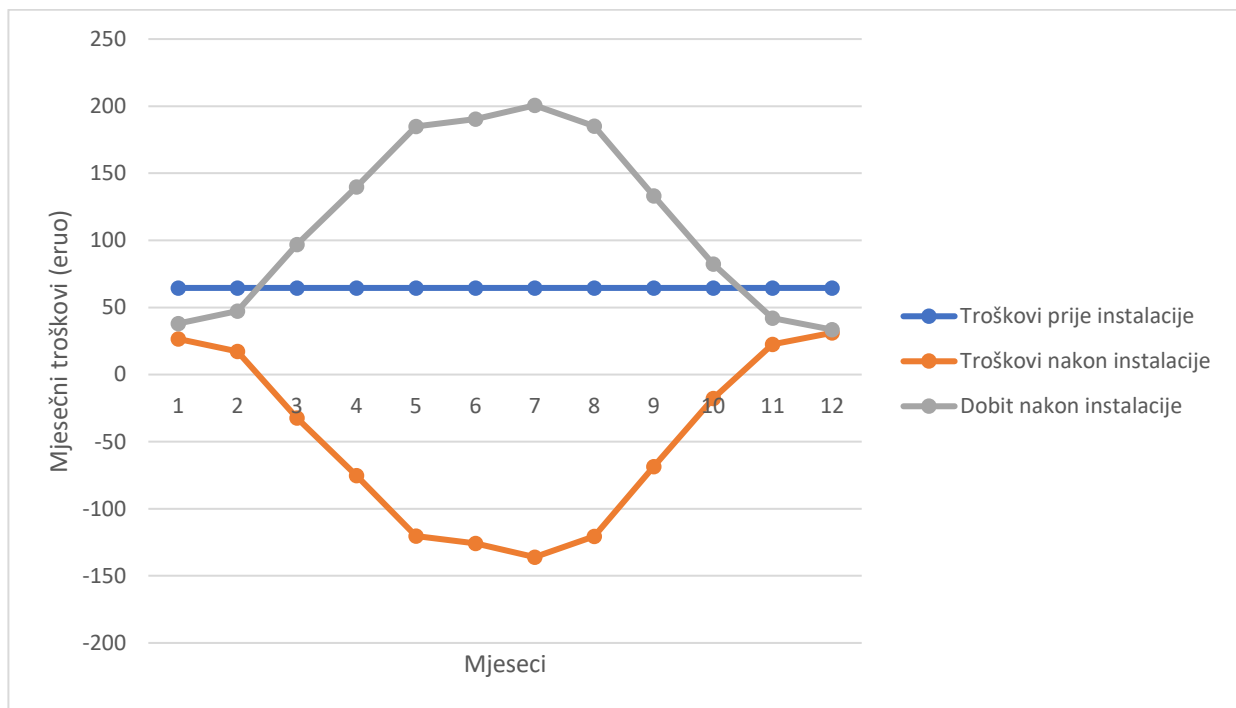
*Slika 12.2. Grafički prikaz iznosa računa za električnu energiju modela kupca s vlastitom proizvodnjom*

Prikaz modela kupca korisnika postrojenja za samoopskrbu prikazan je na slici (slika 12.3.2. Grafički prikaz ukupnih računa za električnu energiju modela kupca korisnika postrojenje za samoopskrbu). Plava linija označava troškove prije instalacije solarnog sustava, dok narančasta linija označava troškove nakon instalacije. U ovom modelu račun ne može pasti ispod nule, što znači da distributer neće isplaćivati nadoknadu u mjesecima gdje je proizvodnja električne energije veća od potrošnje. Radi toga, uključena je i siva linija koja prikazuje stvarne troškove nakon instalacije solarnog sustava. Primjećujemo da su u mjesecima gdje je račun nula na sivoj liniji, a negativan na narančastoj liniji, ti preostali iznosi se pribrajaju sljedećim mjesecima kada je proizvodnja manja od potrošnje, odnosno kada je narančasta linija ponovno pozitivna. Zbog toga siva linija pokazuje da je račun ponovno nula eura u desetom i jedanaestom mjesecu.



*Slika 12.3. Grafički prikaz iznosa računa za električnu energiju modela kupca korisnika postrojenja za samoopskrbu*

Povlašteni proizvođač (slika 12.3.3. Grafički prikaz iznosa računa za električnu energiju povlaštenog proizvođača električne energije), Plava linija označava troškove prije instalacije, dok narančasta linija označava troškove nakon instalacije. U ovom slučaju, račun koji plaćamo ostaje isti kao i prije instalacije. Međutim, siva linija na grafu prikazuje dobit nakon instalacije solarnog sustava. Kada tu dobit oduzmemo od troškova, dobivamo narančastu liniju. U njoj, negativan predznak ukazuje na dobit, odnosno prihod od prodane električne energije, kojeg isplaćuje distributer s kojim imamo ugovor o otkupu električne energije.



Slika 12.4. Grafički prikaz iznosa računa za električnu energiju povlaštenog proizvođača električne energije

Očigledan pobjednik je povlašteni proizvođač. Iako je povlašteni proizvođač prema pravilima porezne uprave obvezan plaćati porez na dohodak ako ostvari ukupan godišnji prihod veći od četverostrukog iznosa osnovice osobnog odbitka koja iznosi 331.821 eura, u ovom slučaju to ne umanjuje njegovu dobit. Naime, u odnosu na ukupan godišnji račun za struju od 774,78 eura, prihod od solarnog sustava od 1099,44 eura predstavlja povećanje od 42%. Kada je riječ o modelu kupca s vlastitom proizvodnjom, račun za struju smanjuje se za 45,83%, odnosno iznosi 419,69 eura. Kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu ostvaruje veću uštedu u odnosu na kupca s vlastitom proizvodnjom, sa smanjenjem računa od čak 86,87%, što ga dovodi na 101,7 eura.

## 13. FINANCIJSKE I EKOLOŠKE PREDNOSTI

### 13.1. Povrat i isplativost investicije

Potrebno je prvo definirati dva koncepta, internu stopu prinosa (internal rate of return, IRR) i neto sadašnju vrijednost (net present value, NPV), kroz koje ćemo procijeniti povratnost i isplativost investicije.

Interna stopa prinosa je stopa diskonta koja čini neto sadašnju vrijednost budućih novčanih tokova jednaku nuli. U osnovi, IRR je stopa koja omogućava ravnotežu između ulaganja u projekt i povrata tog ulaganja tijekom vremena. Veća vrijednost IRR-a ukazuje na bolju investiciju jer znači veći očekivani povrat.

Neto sadašnja vrijednost je metoda procjene financijske isplativosti projekta. NPV uzima u obzir vremensku vrijednost novca, tj. da je novac danas vrijedniji od novca u budućnosti. NPV se računa kao zbroj sadašnje vrijednosti svih budućih novčanih tokova minus početna investicija. Pozitivan NPV ukazuje na pozitivan povrat projekta, dok negativan NPV ukazuje na gubitak. [46,47]



Da bi se izračunao IRR, potrebno je koristiti iterativni proces sve dok se ne pronade vrijednost NPV-a koja je dovoljno blizu nule da se može smatrati nulom. Formula za internu stopu prinosa koja se koristi u tom procesu je sljedeća (13.1.):

$$0 = NPV = \sum_{i=0}^{i=n} \frac{CF_n}{(1 + IRR)^n} \quad (13.1.)$$

$CF_0$  - Početna investicija

$CF_1, CF_2, CF_3, \dots, CF_n$  - Protok novca

$i$  - period u kojem se prati kretanje investicije

$n$  - period  $i$  podijeljen u segmente (dane, mjeseci, godine)

Kod izračuna interne stope prinosa, početna investicija obuhvaća sve troškove solarnog sustava, uključujući i ručni rad, koji ovdje iznosi približno tisuću eura (13.2.):

$$\begin{aligned} \text{Investicija} &= \text{Cijena solarnih panela} + \text{Cijena nosača} \\ &+ \text{Cijena ručnog rada} \quad (13.2.) \end{aligned}$$

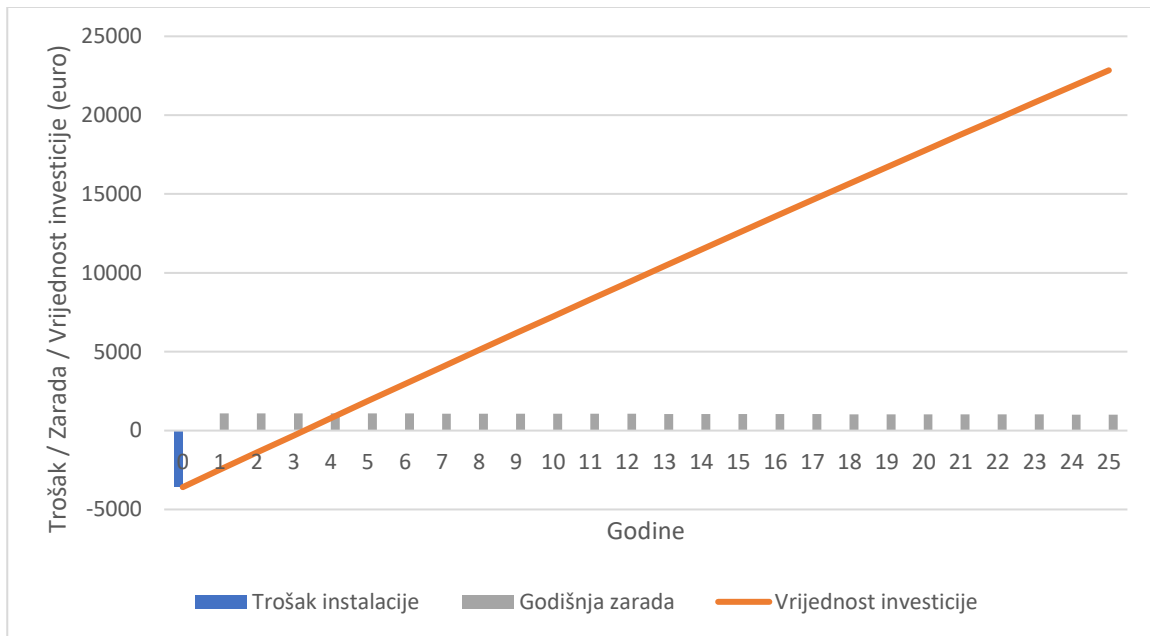
$$\text{Investicija} = 2244.66 + 342.59 + 1000 = 3587.25 \text{ eura}$$

Protok novca predstavlja godišnju dobit ostvarenu putem solarnog sustava, umanjenu za porez na dohodak i eventualne godišnje održavajuće troškove. U ovom slučaju održavanje nije potrebno jer solarni sustav nema pokretne dijelove i ne zahtijeva čišćenje zahvaljujući prirodnom ispiranju kišom. SunPower solarni paneli garantiraju minimalnu učinkovitost od 92 posto nakon 25 godina, što znači da se u najnepovoljnijem scenariju godišnja isplativost smanjuje za 0.32 posto. Ovo treba uzeti u obzir pri izračunu godišnje dobiti. Prva godišnja zarada iznosi 1099.44 eura, a svaka sljedeća godina se dobiva prema zadanom izrazu (13.3.):

$$CF_n = CF_1 - \frac{CF_1}{100} * 0.32 * n \quad (13.3.)$$

Nosači i kabeli čine jednostavnije i robusnije komponente. Stoga možemo pretpostaviti da imaju dulji vijek trajanja u odnosu na same solarni panele. Zbog toga je razdoblje praćenja investicije jednako trajanju garancije za solarne panele, koja iznosi dvadeset i pet godina.

Za precizniju odredbu vrijednosti interne stope prinosa, koristit ćemo funkciju IRR unutar programa Excel. Dobivena vrijednost je trideset posto, što implicira da će investicija postati isplativa početkom treće godine, što je vidljivo na prikazu našeg grafa (slika 13.1. Grafički prikaz kretanja investicije tijekom 25 godina). Plavi stupac predstavlja instalacijske troškove, stoga je linija instalacije na početku negativna. No, do početka treće godine, vrijednost investicije dolazi do nule, što znači da sve što dolazi nakon te točke predstavlja dobit. Sivi stupci prikazuju godišnji tok dobiti tijekom navedenog razdoblja.



Slika 13.1. Grafički prikaz kretanja investicije tokom 25 godina

Isplativost investicije možemo dobiti i računskim putem, podijelivši trošak investicije sa godišnjim prihodom ( $CF_I$ ) (13.4.):

$$\text{Godina isplaćenja investicije} = \frac{\text{Investicija}}{\text{Godišnji prihod}} \quad (13.4.)$$

$$\text{Godina isplaćenja investicije} = \frac{3587.25}{1099.44} = 3.26 \text{ god}$$

### 13.1. PONIŠTENJE CO<sub>2</sub> EMISIJE

Za proizvodnju jednog solarnog panela ispušteno je pedeset grama CO<sub>2</sub> emisije po kilovat satu proizvedenom u njegovom životnom vijeku [48], tj. za izračunavanje CO<sub>2</sub> emisije našeg solarnog sustava koristit ćemo se sljedećom formulom (14.1.):

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{ emisija solarnog sustava} \\ & = \text{Godišnja proizvodnja električne energije} \\ & * \text{Životni vijek trajanja solarnog sustava} * 50 \quad (14.1.) \end{aligned}$$

Godišnju proizvodnju smo definirali u potpoglavlju 7.5. Odabir i dimenzioniranje solarnih panela i iznosi 5421.28 kWh, životni vijek trajanja je definiran garancijom solarnih panela i iznosi 25 godina:

$$\text{CO}_2 \text{ emisija solarnog sustava} = 5421.28 * 25 * 50 = 6776600 \text{ g} = 6776.6 \text{ kg}$$

Za proizvodnju, transport i montiranje solarnog sustava emitirano je 6776.6 kilograma CO<sub>2</sub>. Dok je za proizvodnju jednog kilovat sata električne energije u Hrvatskoj ispušteno 576 grama CO<sub>2</sub> emisije [49]. Koristeći te informacije i predviđene formule, moguće je izračunati godišnju zamjenu emisije CO<sub>2</sub> zahvaljujući zelenoj energiji koja se generira putem solarnog sustava (14.2.):

$$\text{Zelena energija} = \text{Godišnja proizvodnja električne energije} * 576 \quad (14.2.)$$

$$\text{Zelena energija} = 5421.28 * 576 = 3122.657.28 \text{ g} = 3122.66 \text{ kg}$$

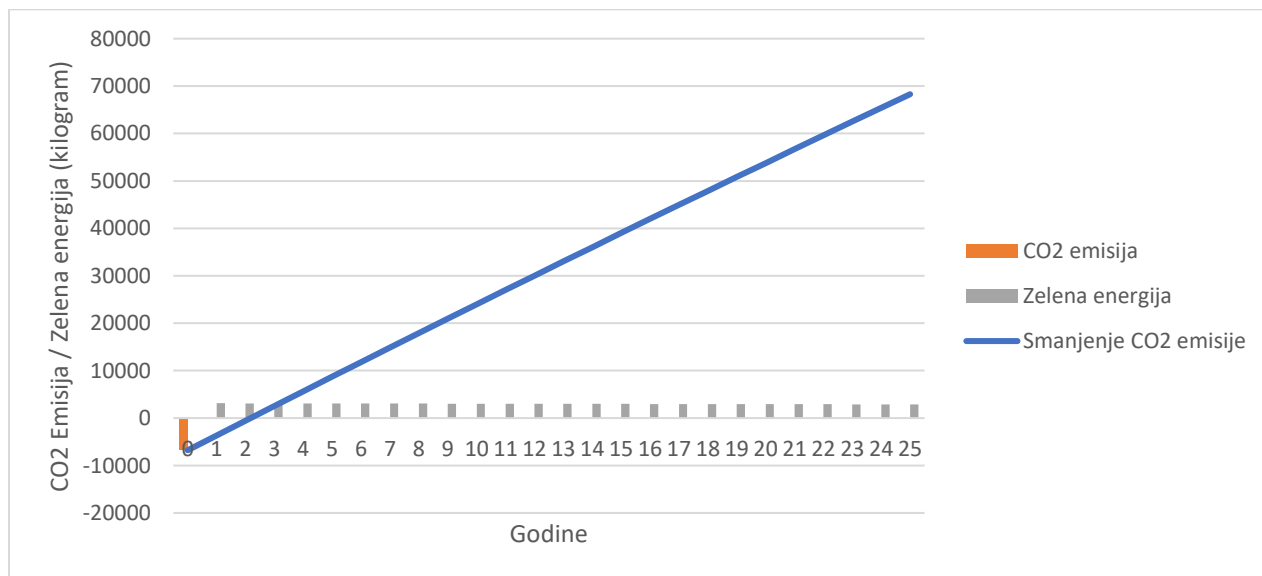
Kada CO<sub>2</sub> emisiju solarnog sustava podijelimo s proizvedenom zelenom energijom, dobit ćemo vremenski okvir za neutralizaciju karbonskog otiska solarnog sustava (14.3.):

**Godina neutraliziranja karbonskog otiska solarnog sustava**

$$= \frac{\text{CO}_2 \text{ emisija solarnog sustava}}{\text{Zelena energija}} \quad (14.3.)$$

$$\text{Godina neutraliziranja karbonskog otiska solarnog sustava} = \frac{6776.6}{3122.66} = 2.17 \text{ god}$$

Kao što možemo vidjeti i na grafu (slika 14.1. Grafički prikaz smanjenja CO<sub>2</sub> emisije tokom 25 godina) kada plava linija dosegne nulu postiže se CO<sub>2</sub> neutralnost solarnog sustava koja se ostvaruje početkom druge godine nakon instalacije. Narančasti stupci označavaju emisiju štetnih plinova proizašlih iz proizvodnje, transporta i instalacije solarnog sustava, dok sivi stupci predstavljaju količinu čiste zelene energije koja se proizvodi svake godine tijekom trajanja sustava. To je ekvivalent smanjenja CO<sub>2</sub> emisije za tu količinu, izraženo u kilogramima.



Slika 13.2. Grafički prikaz smanjenja CO<sub>2</sub> emisije tokom 25 godina

Kao što je već prethodno navedeno efikasnost solarnih panela pada iz godine u godinu za 0.32 posto stoga je to potrebno uzeti u obzir pri računanju zelene energije tokom godina sljedećom formulom (14.4.):

$$\mathbf{Zelena\ energija}_n = \mathbf{Zelena\ energija}_1 - \frac{\mathbf{Zelena\ energija}_1}{100} * 0.32 * n \quad \mathbf{(14.4.)}$$

Indeks  $n$  predstavlja godinu u kojoj je proizvedena zelena energija nakon instalacije solarnog sustava, zelena energija označena indeksom jedan je umanjenje CO<sub>2</sub> emisije koje smo već izračunali i iznosi 3122.66 kilograma.

## 14. ZAKLJUČAK

Analiza solarne energije i njezina primjena kroz solarni sustav duboko potvrđuje njezinu vitalnu ulogu u suvremenom energetsom krajoliku. Solarni sustavi se ističu kao ključno rješenje za postizanje održive energijske budućnosti iz više perspektiva.

Prvo, financijska isplativost solarnih sustava, kako je detaljno prikazano, pokazuje da ulaganje u solarnu energiju ne samo da je ekološki odgovorno, već donosi i značajan povrat na ulaganje. Ova financijska isplativost proizlazi iz temeljitih analiza koje su uzete u obzir, kao što su interne stope prinosa (IRR) i neto sadašnja vrijednost (NPV).

Analiza interne stope prinosa (IRR) od 30% pruža investitorima snažan poticaj, ukazujući na to da se ulaganje može očekivati da se isplati u relativno kratkom roku. Ova stopa reflektira ravnotežu između ulaganja u solarni sustav i očekivanog povrata koji će investitori ostvariti tijekom vremena. Visoka IRR od 30% jasno sugerira da će investitori ostvariti značajan povrat na svoje ulaganje.

Također, neto sadašnja vrijednost (NPV) dodatno podržava pozitivnu sliku financijske isplativosti. Računajući u obzir vremensku vrijednost novca i sve buduće novčane tokove, pozitivan NPV ukazuje na to da se ukupni prihodi od solarnog sustava nadmašuju troškove investicije. Ovo pruža dodatnu sigurnost investitorima, jer pozitivan NPV sugerira da će investicija donijeti više vrijednosti nego što će koštati.

Kombinacija visoke interne stope prinosa i pozitivnog neto sadašnjeg vrijednosti čini investiranje u solarni sustav privlačnim s oba aspekta: financijskim i ekološkim. Ova analitička dubina pruža investitorima pouzdanu perspektivu, potiče razvoj zelene energetike i potvrđuje da solarni sustavi nisu samo odgovorni prema okolišu, već i prema financijskoj dobiti. Drugo, ekološka komponenta solarnih sustava je neosporna. Smanjenje emisije CO<sub>2</sub> kroz korištenje zelene energije pokazuje angažman prema borbi protiv klimatskih promjena. Brza neutralizacija karbonskog otiska solarnog sustava, kao i kontinuirano smanjenje emisija tijekom vremena, pružaju jasnu sliku o održivosti i pozitivnom utjecaju na okoliš.

Međutim, treba rješavati i nesporazume koji ponekad prate solarnu energiju. Neki ljudi, u svojim stigmatičnim razmišljanjima, tvrde da količina CO<sub>2</sub> emisije povezana s proizvodnjom,

transportom i instalacijom solarnih panela može poništiti njihove koristi za okoliš. No, ključno je sagledati cjelokupnu sliku. Iako inicijalna emisija postoji, ona često brzo postaje zanemariva naspram ukupnih ušteda u emisijama CO<sub>2</sub> koje donose solarni sustavi dugotrajnom eksploatacijom.

Vrijedi napomenuti da solarni paneli generiraju električnu energiju iz obnovljivog izvora (sunčeve svjetlosti) bez stvaranja štetnih emisija. Iako zahtijevaju određeno vrijeme za povrat energetskog i ekološkog ulaganja, dugoročno gledano, solarni sustavi višestruko nadmašuju početnu emisiju CO<sub>2</sub>.

Stoga, osim ekoloških koristi, potrebno je shvatiti i razriješiti stigmatu koja može narušiti percepciju solarnih sustava. Njihov dugotrajan doprinos smanjenju emisija CO<sub>2</sub> i promicanju održive energetike čini ih ključnim faktorom u borbi protiv klimatskih promjena, unatoč početnim nesporazumima.

Treće, solarni sustavi su tehnološki zreli i pristupačni. Njihova dugotrajnost, niska održavanja te stalni napredak u tehnologiji solarnih panela čine ih atraktivnom opcijom za kućanstva, industriju i javne objekte. Povećana dostupnost i pad cijena solarnih panela dodatno olakšavaju širenje solarnih sustava.

Za kraj, solarni sustavi ne samo da donose ekonomske koristi, već i aktivno doprinose borbi protiv klimatskih promjena. Njihova sveprisutnost i mogućnost da stvore pozitivan utjecaj na društvo i okoliš čine ih ključnom komponentom prelaska na održivu energetska budućnost.



## 15. POPIS LITERATURE

- [1] AESOLAR, „HISTORY AND THE DEVELOPMENT OF PHOTOVOLTAICS“, [History and the Development of Photovoltaics - AESOLAR \(ae-solar.com\)](#), 20.4.2023.
- [2] HEP „Električna energija“, [HEP grupa - Električna energija](#), 20.4.2023.
- [3] HEP, „Tarifni modeli“, [HEP ODS - Tarifni modeli](#), 20.4.2023.
- [4] tracesoftware, „WHICH ARE THE FACTORS THAT AFFECT SOLAR PANELS' EFFICIENCY?“, [Which are the factors that affect solar panels' efficiency? | Trace Software \(trace-software.com\)](#), 20.4.2023.
- [5] Solar learning centar, „4 Factors That Can Affect Solar Panel Production“, [4 Factors That Can Affect Solar Panel Production | Solar.com](#), 20.4.2023.
- [6] dynamicslr, „7 Factors that Impact Your Solar Panel system efficiency“, [7 Factors that Impact Your Solar Panel System Efficiency | Dynamic SLR](#), 20.4.2023.
- [7] Footprint hero, „Peak Sun Hours Calculator (with Map)“, [Peak Sun Hours Calculator \(with Map\) - Footprint Hero](#), 20.4.2023.
- [8] Solar learning centar, „What Is the Best Roof Design for Solar Panels and What If Mine's Not Perfect?“, [What Is the Best Roof Design for Solar Panels and What If Mine's Not Perfect? | Solar.com](#), 20.4.2023.
- [9] Solar learning centar, „The Best Roof Materials for Solar Panels – 5 Common Materials“, [The Best Roof Materials for Solar Panels - 5 Common Materials | Solar.com](#), 20.4.2023.
- [10] tracesoftware, „THE EFFECTS OF SOLAR SHADINGS ON THE PERFORMANCE OF PV PANELS“, [The effects of solar shadings on the performance of PV panels | Trace Software \(trace-software.com\)](#), 20.4.2023.
- [11] ALTERNATIVE ENERGY, „Photovoltaics Turning Photons into Electrons“, [Photovoltaics Turn Photons into Electrons \(alternative-energy-tutorials.com\)](#), 20.4.2023.

- [12] ENERGY EDUCATION, „Photovoltaic effect“, [Photovoltaic effect - Energy Education](#), 20.4.2023.
- [13] NASA SCIENCE, „How do Photovoltaics Work?“, [How do Photovoltaics Work? | Science Mission Directorate \(nasa.gov\)](#), 21.4.2023.
- [14] Solar learning centar, „Monocrystalline Solar Panels vs Polycrystalline Solar Panels“, [Monocrystalline Solar Panels vs Polycrystalline Solar Panels | Solar.com](#), 21.4.2023.
- [15] Solar Reviews, „Types of solar panels: which one is the best choice?“, [Types of Solar Panels: Which One Is the Best Choice? \(solarreviews.com\)](#), 21.4.2023.
- [16] SUNPOWER, „m-series-440-435-430-425-420-h-ac-datasheet-539973-revd.pdf“, [M-Series Residential | M440 | M435 | M430 | M425 | M420 | SunPower](#), 20.4.2023.
- [17] Solar learning centar, „2021’s Best Home Solar Mounting Systems“, [2021's Best Home Solar Mounting Systems | Solar.com](#), 24.4.2023.
- [18] Na sunčanoj strani, „Kako napredne tehnologije pomažu radu solarne elektrane?“, [Kako napredne tehnologije pomažu radu solarne elektrane? \(nasuncanojstrani.hr\)](#), 24.4.2023.
- [19] SolarShop, „Solarni paneli MONO 5W-800W“, [Solarni paneli MONO 5W-800W: Solar Shop \(solarno.hr\)](#), 20.4.2023.
- [20] SolarShop, „Sunpower 440W“, [SUNPOWER solarni panel 440W: Solar Shop \(solarno.hr\)](#), 20.4.2023.
- [21] SolarShop, „Q Cells Peak DUO G10 410W Half Cell“, [Q Cells Peak DUO G10 410W Half Cell: Solar Shop \(solarno.hr\)](#), 20.4.2023.
- [22] SolarShop, „Jinko 460W TIGER solarni paneli“, [Jinko 460W TIGER solarni paneli: Solar Shop \(solarno.hr\)](#), 20.4.2023.
- [23] myElectricalEngineering, „How D.C. to A.C. Inverters Work“, [How D.C. to A.C. Inverters Work \(myelectrical.com\)](#), 21.4.2023.
- [24] Solar learning centar, „Microinverter vs String Inverter: Which is Right For Your Solar System?“, [Microinverter vs String Inverter: Which is Right For Your Solar System? | Solar.com](#), 22.4.2023.

- [25] Solar learning centar, „What is a Power Optimizer?“, [What is a Power Optimizer? | Solar.com](#), 22.4.2023.
- [26] Na sunčanoj strani, „Inverteri ili izmjenjivači“, [Kako radi solarna elektrana? - Inverteri ili izmjenjivači \(nasuncanojstrani.hr\)](#), 22.4.2023.
- [27] Solar learning centar, „Solar Inverters: Types, Pros and Cons“, [Solar Inverters: Types, Pros and Cons | Solar.com](#), 22.4.2023.
- [28] Na sunčanoj strani, „Električno brojilo“, [Kako radi solarna elektrana? - Električno brojilo \(nasuncanojstrani.hr\)](#), 23.4.2023.
- [29] Na sunčanoj strani, „Kako napredne tehnologije pomažu radu solarne elektrane?“, [Kako napredne tehnologije pomažu radu solarne elektrane? \(nasuncanojstrani.hr\)](#), 23.4.2023.
- [30] IRONRIDGE, „Flush Mount System for Pitched Roofs“, [IronRidge Flush Mount – Solar Racking System for Pitched Roofs](#)“, 23.4.2023.
- [31] UNIRAC, „WORLD-CLASS PV MOUNTING AND SOLAR SOLUTIONS ARE MADE HERE. POWERED BY A TEAM WITH INNOVATION AT ITS HEART.“, [HOME - Unirac](#), 21.4.2023.
- [32] SOLAR ELECTRIC SUPPLY, INC, „SnapNrack Standing Seam System“, [SnapNrack Standing Seam System - Solar Panel Metal Roof Mount \(solarelectricsupply.com\)](#), 21.4.2023.
- [33] Solar learning centar, „2021’s Best Home Solar Mounting Systems“, [2021's Best Home Solar Mounting Systems | Solar.com](#), 21.4.2023.
- [34] SolarShop, „ALU Konstrukcija“, [Konstrukcija za elektrane Crijep: Solar Shop \(solarno.hr\)](#), 24.4.2023.
- [35] SolarShop, „KONEKTOR MC 4 -T3“, [Konektor MC4 T-3: Solar Shop \(solarno.hr\)](#), 25.4.2023.
- [36] SolarShop, „Solarni kabel 6mm PV 1000m kolut“, [Solarni kabel 6mm PV 1000m kolut: Solar Shop \(solarno.hr\)](#), 25.4.2023.
- [37] SolarShop, „Konstrukcija za Solarne Elektrane“, [Konstrukcija za Solarne Elektrane: Solar Shop \(solarno.hr\)](#), 25.4.2023.

- [38] U.S. Energy Information Administration, „Electricity explained, Batteries, circuits, and transformers“, [Batteries, circuits, and transformers - U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#)“, 27.4.2023.
- [39] Energysage, „Lead acid vs lithium-ion battery comparison“, [Lithium-ion vs. Lead Acid Batteries: How Do They Compare? | EnergySage](#), 27.4.2023.
- [40] SOLAR LEARNING CENTER, „How do solar batteries work?“, [How Do Solar Batteries Work for Your Home? | Solar.com](#), 27.4.2023.
- [41] NARODNE NOVINE, „Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji“, [Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji \(nn.hr\)](#), 2.5.2023.
- [42] HEP, „Kupac s vlastitom proizvodnjom“, [HEP ODS - Kupac s vlastitom proizvodnjom](#), 2.5.2023.
- [43] HEP, „Kupac s vlastitom proizvodnjom - kategorija kućanstvo“, [HEP ELEKTRA d.o.o. - Kupac s vlastitom proizvodnjom - kategorija kućanstvo](#), 2.5.2023.
- [44] HEP, „Kako steći status povlaštenog proizvođača?“, [HEP ODS - Kako steći status povlaštenog proizvođača?](#), 2.5.2023.
- [45] NARODNE NOVINE, „Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije“, [Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije \(nn.hr\)](#), 2.5.2023.
- [46] Investopedia, „Internal Rate of Return (IRR) Rule: Definition and Example“, [Internal Rate of Return \(IRR\) Rule: Definition and Example \(investopedia.com\)](#), 4.5.2023.
- [47] Republic of solar, „NPV, IRR and Payback Period“, [What is NPV, IRR and Payback Period in Solar Industry? \(thesolarlabs.com\)](#), 4.5.2023.
- [48] solaris renewables, „What Is the Carbon Footprint of Solar Panel Manufacturing?“, [What Is the Carbon Footprint of Solar Panel Manufacturing? \(solarisrenewables.com\)](#), 5.5.2023.
- [49] HEP, „Izvori energije“, [HEP Opskrba d.o.o. - Izvori energije](#), 5.5.2023.

## 16. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Silicijska P-N -EMF ćelija [1].....	3
Slika 2.2. Trend smanjenja troškova solarne tehnologije [1].....	4
Slika 4.1. Potrošnja električne energije (01.05.2022.-31.10.2022.) .....	7
Slika 4.2. Potrošnja električne energije (01.11.2022.-30.04.2023.).....	7
Slika 6.1. Bokocrt obiteljske kuće.....	21
Slika 6.2. Tlocrt obiteljske kuće.....	21
Slika 7.1. Fotonaponski efekt [11].....	25
Slika 7.2. Jedno spojna solarna ćelija .....	26
Slika 7.3. Više spojne solarne ćelije .....	27
Slika 7.4. Czochralski postupak.....	29
Slika 7.5. Razlika u proizvodnji monokristalnih i polikristalnih solarnih panela .....	30
Slika 7.6. Razlika monokristalne, polikristalne i tankoslojne solarne ćelije ....	32
Slika 7.7. Sunpower 420-440W Residential AC datasheet [16] .....	34
Slika 8.1. Shema invertera [23] .....	42
Slika 8.2. Standardni izmjenjivač [24] .....	43
Slika 8.3. Mikroizmjenjivač [24].....	44
Slika 8.4. Optimizator snage [25].....	45
Slika 10.1. Quickmount PV nosač [30].....	51
Slika 10.2. SnapNRack Nosač [32] .....	51
Slika 10.3. Jednoosni solarni usmjerivač [29] .....	53
Slika 10.4. Dvoosni solarni usmjerivač [29].....	53
Slika 10.5. Konstrukcija nosača iz kataloga [34] .....	54
Slika 10.6. Shema krajnje kopče.....	57
Slika 10.7. Shema srednje kopče.....	57
Slika 10.8. Shema šine.....	58
Slika 11.1. Shema baterije .....	61
Slika 12.1. Poticajne cijene iz tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije [45] .....	71
Slika 12.2. Grafički prikaz iznosa računa za električnu energiju modela kupca s vlastitom proizvodnjom .....	76
Slika 12.3. Grafički prikaz iznosa računa za električnu energiju modela kupca korisnika postrojenja za samoopskrbu .....	77

<b>Slika 12.4. Grafički prikaz iznosa računa za električnu energiju povlaštenog proizvođača električne energije .....</b>	<b>78</b>
<b>Slika 13.1. Grafički prikaz kretanja investicije tokom 25 godina.....</b>	<b>83</b>
<b>Slika 13.2. Grafički prikaz smanjenja CO<sub>2</sub> emisije tokom 25 godina .....</b>	<b>85</b>

## **17. POPIS TABLICA**

<b>Tablica 6.1.1. Cijena bijelog tarifnog modela.....</b>	<b>10</b>
<b>Tablica 7.5.1. Karakteristike zadanih solarnih panela.....</b>	<b>37</b>

## 18. SAŽETAK

U ovom istraživanju detaljno su razmotreni ključni aspekti primjene solarnih sustava kao održivog izvora energije primjenom idejnog rješenja. Analiza je započela odabirom solarnih panela, gdje je koristila sunčevu insolaciju i karakteristike panela za precizno dimenzioniranje. Odabir izmjenjivača (invertera) također je istražen, s naglaskom na odnos snage solarnog sustava i invertera. Izvedena je konstrukcija solarnog sustava i njene dimenzije.

Financijska analiza je ključna u prosuđivanju isplativosti. Usredotočujući se na modele otkupa električne energije proizvedene solarnim sustavom, razlikovani su scenariji kupca s vlastitom proizvodnjom, kupca korisnika postrojenja za samoopskrbu i povlaštenog proizvođača putem grafičkog prikaza koji nam ukazuje na ključne razlike između modela.

Kroz metode interne stope prinosa (IRR) i neto sadašnje vrijednosti (NPV), ocijenjena je ekonomska održivost investicije. Prikazani su i grafikoni koji ilustriraju postupno smanjenje troškova s vremenom te usporedbe između različitih modela kupaca.

Analiza utjecaja na okoliš bila je ključan dio istraživanja. Emisija CO<sub>2</sub> pri proizvodnji i instalaciji sustava procijenjena je te uspoređena s emisijom električne energije iz konvencionalnih izvora. Ovdje je istaknuto smanjenje emisije CO<sub>2</sub> putem proizvodnje zelene energije i proračunato vrijeme potrebno za neutralizaciju karbonskog otiska solarnog sustava.

Ovo istraživanje pruža dubok uvid u tehničke, financijske i ekološke aspekte primjene solarnih sustava kao održive alternative u energetske sektoru. Promišljeni pristup dimenzioniranju, ekonomska analiza i analiza utjecaja na okoliš zajedno doprinose razumijevanju sveobuhvatnih prednosti i izazova korištenja solarnih sustava u modernim energetske tranzicijama.

Ključne riječi: solarna energija, električna energija, solarni panel, solarni pretvarač, solarni nosač, solarna baterija, ekološki otisak, održivost, investicija



## 19. SUMMARY

This study extensively explores the key aspects of implementing solar systems as a sustainable energy source through conceptual design. The analysis begins with the selection of solar panels, utilizing solar insolation and panel characteristics for precise dimensioning. The choice of inverters is also examined, emphasizing the relationship between the solar system's power and the inverter. The construction of the solar system and its dimensions are outlined.

Financial analysis is crucial for assessing cost-effectiveness. Focusing on models of purchasing electricity generated by the solar system, scenarios are differentiated for buyers with self-production, users of self-supply facilities, and privileged producers, depicted through graphical representation highlighting key differences between models.

Through the methods of Internal Rate of Return (IRR) and Net Present Value (NPV), the economic sustainability of the investment is evaluated. Graphs illustrating gradual cost reduction over time and comparisons between different buyer models are provided.

Environmental impact analysis is a pivotal part of this research. CO<sub>2</sub> emissions during the production and installation of the system are estimated and compared with emissions from conventional energy sources. The reduction of CO<sub>2</sub> emissions through green energy production is emphasized, and the time required for carbon footprint neutrality of the solar system is calculated.

This study offers profound insights into the technical, financial, and ecological aspects of applying solar systems as a sustainable alternative in the energy sector. A thoughtful approach to dimensioning, economic analysis, and environmental impact analysis collectively contribute to understanding the comprehensive benefits and challenges of utilizing solar systems in modern energy transitions.

Keywords: solar energy, electrical energy, solar panel, solar inverter, solar mount, solar battery, ecological footprint, sustainability, investment.