

FAZE IMPLEMENTACIJE KUĆNIH FOTONAPONSKIH SUSTAVA

Kožić, Sven

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:383347>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-06**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ MEHATRONIKA

SVEN KOŽIĆ

**FAZE IMPLEMENTACIJE KUĆNIH
FOTONAPONSKIH SUSTAVA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2025.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ MEHATRONIKA

SVEN KOŽIĆ

**FAZE IMPLEMENTACIJE KUĆNIH
FOTONAPONSKIH SUSTAVA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Filip Žugčić, mag. ing. el.

KARLOVAC, 2025.

* Ime i prezime	Sven Kožić	
OIB / JMBG		
Adresa		
Tel. / Mob./e-mail		
Matični broj studenta		
JMBAG		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> preddiplomski	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski
Naziv studija		
Godina upisa	2019.	
Datum podnošenja molbe	31.1.2025.	
Vlastoručni potpis studenta/studentice		

* Naslov teme na hrvatskom: Faze implementacije kućnih fotonaponskih sustava	
* Naslov teme na engleskom: Stages of implementation of home photovoltaic systems	
Opis zadatka: Ovaj rad sadrži proces postavljanja solarne elektrane na kuću. Navodi se potrebna dokumentacija za početak projekta, vrste sustava, kao i komponente potrebne za rad. Nadalje se govori i o budućim solarnim tehnologijama.	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

PREDGOVOR

Izjavljujem da sam ja, Sven Kožić, izradio ovaj rad samostalno koristeći znanja koja sam stekao tokom studija i navedene izvore.

Ovim putem se zahvaljujem kolegama sa veleučilišta, a ponajviše svojim roditeljima i obitelji koji su me podržavali i motivirali tijekom studija. Zahvaljujem se profesoru i mentoru Filipu Žugčiću, mag. ing. el. na stručnoj pomoći u izradi ovog rada.

SAŽETAK

Ovaj rad istražuje kako postaviti solarnu elektranu na obiteljsku kuću. Na početku rada se navodi sva potrebna dokumentacija kako bi započeli sa procesom ugradnje, kao i potrebne uvjete za sufinanciranje. Opisuju se vrste solarnih sustava, njihove karakteristike, prednosti i nedostatci.

U drugom dijelu se navode i detaljno opisuju komponente solarnih sustava, koje su njihove karakteristike i koje su njihove svrhe u sustavu. Objašnjava se utjecaji vanjskih čimbenika na rad solarnih panela kao i načini spajanja i njihove pojedine prednosti.

Završni dio opisuje postupak održavanja, kako bi se produžio vijek trajanja i dobila maksimalna moguća proizvodnja električne energije. Također će se navesti sve buduće tehnologije koje će se koristiti ili se već koriste za solarne sustave.

Ključne riječi: solarna elektrana, projekt, solarni paneli, baterije

SUMMARY

This paper explores how to install a solar power plant on a single-family house. At the beginning of the study, all the necessary documentation is listed in order to start with the installation process, as well as the necessary conditions for co-financing. The types of solar systems, their characteristics, advantages and disadvantages are described.

In the second part, the components of solar systems are listed and described in detail, what are their characteristics and what are their purposes in the system. The influence of external factors on the operation of solar panels is explained, as well as the methods of connection and their individual advantages.

The final part describes the maintenance process, in order to extend the service life and obtain the maximum possible production of electricity. Any future technologies that will be used or are already being used for solar systems will also be listed.

Keywords: solar power plant, project, solar panels, batteries

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. Dokumentacija za izradu projekta.....	2
2.1. Zadnji važeći dokaz zakonosti.....	2
2.2. Dokaz vlasništva	3
2.3. Račun za struju	5
2.4. Priključak.....	5
2.5. Projekt.....	5
2.6. Sufinanciranje.....	5
3. Trenutni i budući kapaciteti	6
4. Kalkulatori za solarne elektrane.....	7
5. Solarni energetske sustavi.....	8
5.1. Mrežni solarni (on-grid) sustavi	8
5.2. Izvanmrežni solarni sustavi	9
5.3. Hibridni solarni sustavi	10
5.4. Usporedba troškova: solarni sustavi izvan mreže u odnosu na on-grid.....	11
6. Komponente solarnog sustava	12
6.1. Solarni paneli.....	12
6.1.1. Vrste solarnih panela	13
6.1.1.1. <i>Monokristalni solarni paneli</i>	13
6.1.1.2. Polikristalni solarni paneli.....	14
6.1.1.3. Tanki film	15
6.2. Sustav montaže.....	17
6.3. Izmjenjivači (Inverteri)	19
6.3.1. Centralni Inverter.....	20
6.3.2. Mikroinverteri.....	21
6.3.3. Hibridni inverteri	21
6.4. Električna ploča (razvodna kutija).....	21
6.5. Solarne baterije	22
6.6. Regulator punjenja	23
6.6.1. Serijski regulator punjenja	24
6.6.2. MPPT	25

6.6.3. PWM	25
7. Pozicija i vanjski utjecaji na sustav	27
8. Konektori za spajanje solarnih panela	29
9. Spajanje solarnih panela	31
9.1. Serijski spoj	31
9.2. Paralelni spoj.....	33
10. Održavanje solarnih panela	35
11. Budućnost solarne tehnologije.....	36
11.1. Prozirni solarni paneli	36
11.2. Solarni crijepovi	36
11.3. Solarni paneli od pervoksita	37
11.4. Bifacijalni solarni paneli	37
11.5. Kvantne točkaste solarne ćelije	38
11.6. Organski fotonapon	38
12. ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA	40

POPIS SLIKA

Slika 1. Dokaz zakonosti legalnosti objekta	3
Slika 2. Vlasnički list	4
Slika 3. Graf snage solarnih elektrana u Hrvatskoj	6
Slika 4. Solarni sustav spojen na mrežu	9
Slika 5. Izvanmrežni solarni sustav	10
Slika 6. Hibridni solarni sustav	11
Slika 7. Monokristalni solarni panel	14
Slika 8. Polikristalni solarni panel	15
Slika 9. Tanki film	16
Slika 10. Treperi	17
Slika 11. Nosači	18
Slika 12. Tračnice	19
Slika 13. Hibridni inverter	20
Slika 14. Solarna baterija	22
Slika 15. Solarni regulator punjenja	24
Slika 16. Radna karakteristika PWM regulatora punjenja	26
Slika 17. Graf rada solarnih panela pod utjecajem sjene	27
Slika 18. Utjecaj sjene na solarne panele	28
Slika 19. MC4 konektori	29
Slika 20. Fizički prikaz solarnih panela spojenih u seriju	31
Slika 21. Shema spajanja panela u seriju	32
Slika 22. Fizički prikaz solarnih panela spojenih u paralelu	33
Slika 23. Shema spajanja panela u paralelu	34
Slika 24. Prozirni solarni paneli	36
Slika 25. Solarni crijepovi	37
Slika 26. Bifacijalni solarni paneli	38

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba solarnih sustava	11
Tablica 2. Karakteristike fotonaponskih ploča	16
Tablica 3. Specifikacije različitih tipova konektora	30

1. UVOD

Kako je potreba populacije za električnom energijom svake godine sve veća, potrebni su novi izvori i načini generiranja i opskrbljivanja stanovništva električnom energijom. Jedni od najdominantnijih izvora energije su fosilna goriva koji su iz dana u dan sve skuplji i sve ih je manje. Fosilna goriva također emitiraju štetne plinove tijekom proizvodnje što negativno utječe ne samo na okoliš nego i životnu sredinu ljudi. Kao odgovor na tu potrebu, države diljem svijeta se okreću prema obnovljivim izvorima energije. Jedan od takvih izvora energije je solarna energija. Zemlja ima potencijala da proizvede oko 200.000 puta više energije od sveukupnog trenutnog proizvodnog kapaciteta u obliku sunčeve energije. Tu energiju možemo prikupiti i pretvoriti u električnu pomoću solarnih panela. Solarna energija je veoma fleksibilan izvor i možemo ju koristiti za grijanje, dobivanje električne energije u kućama i tvornicama, napajanje različitih prijenosnih uređaja i ostalih prijevoznih sredstava.

Investicije u čistu energiju, a pogotovo solarnu su veoma porasle u zadnje vrijeme, pogotovo u zemljama koje imaju veliki broj sunčanih dana u godini, poput onih na ekvatoru. Broj investicija je porastao za čak 36% u zemljama poput Brazila, Južne Afrike i Indije. [1]

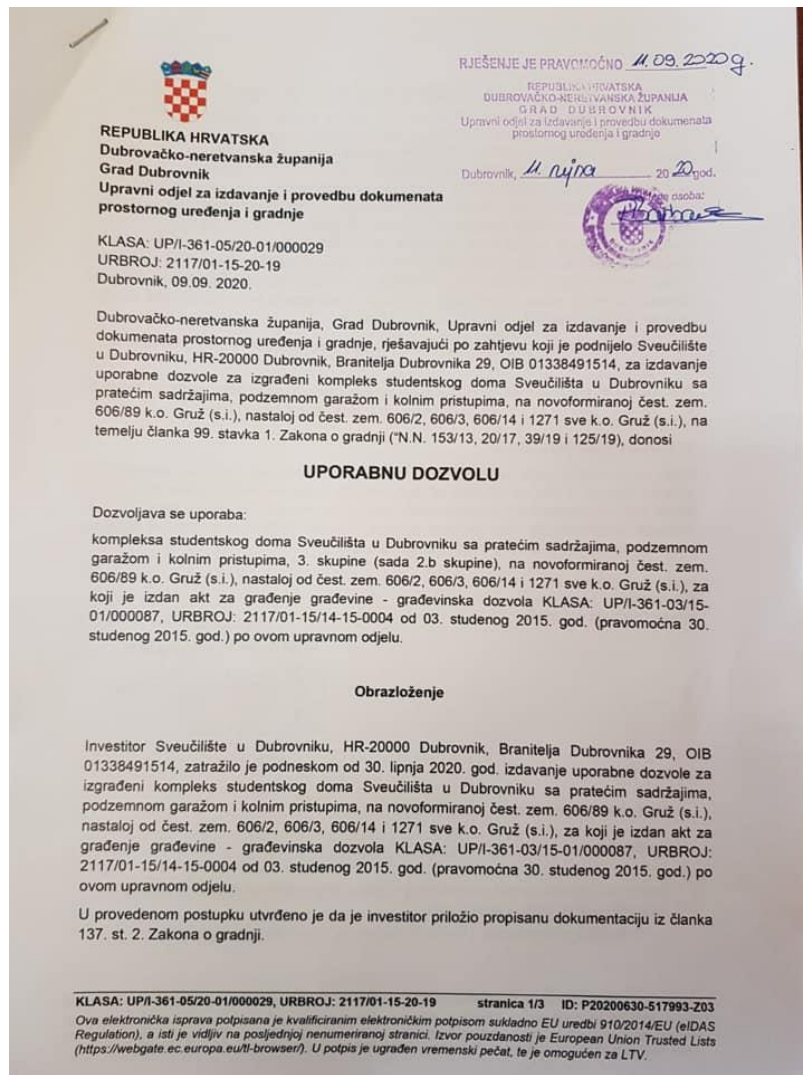
U okviru ovog razvoja, kućne solarne elektrane postaju sve popularnije i češće. Razlog tome je sve veći i jeftiniji broj tehnologija koje omogućuju izgradnju solarnog sustava, kao i sve veći broj poticaja od strane države. U ovom radu pričat ćemo o tome što je sve potrebno od dokumentacije do komponenti kako bi realizirali i izgradili vlastitu kućnu solarnu elektranu.

2. DOKUMENTACIJA ZA IZRADU PROJEKTA

- Obostrana preslika važeće osobne iskaznice (vlasnika/suvlasnika/kontakt osobe)
- Zadnji važeći dokaz zakonitosti
- Dokaz vlasništva/suvlasništva (ZK izvadak)
- Potvrda o istovjetnosti katastarskih čestica
- Odobrenje/Potvrda konzervatora (ukoliko se radi o kulturno povijesnoj cjelini)
- Računi za struju i broj obračunskog mjernog mjesta (za proteklih 12 mjeseci) + buduća potrošnja
- Informacija o vrsti priključka i snazi priključka
- Tlocrt i skica krova
- Fotodokumentacija (slike objekta i krova)

2.1. Zadnji važeći dokaz zakonitosti

Pod zadnji važeći dokaz zakonitosti se smatra uporabna dozvola. Uporabna dozvola (Slika 1.) je ključan dokument u procesu gradnje objekata koji služi kao potvrda da je objekt izgrađen po svim zakonskim propisima, tehničkim normama i u skladu s izdanom građevinskom dozvolom. Time dokazujemo da je objekt na koji se ugrađuje sunčana elektrana legalno izgrađen. Dokument nije uvijek potreban za sve projekte (npr. ako je riječ o građevini koja je starija od 1968. godine).



Slika 1. - Dokaz legalnosti objekta

Izvor: <https://www.dubrovniknet.hr/studentski-dom-dobio-uporabnu-dozvolu-useljenje-studenata-od-21-rujna/>

Važno je samo obratiti pozornost da dokument sadrži žig i broj čestice. Žig koji se nalazi u gornjem desnom kutu na slici 1, služi kao rješenje da je dokument pravomoćan ili izvršan. To je potvrda da je dokument izdao nadležni Upravni odjel. Broj čestice mora biti isti u svim dokumentima koji se prilažu.

2.2. Dokaz vlasništva

Za dokaz vlasništva prilaže se vlasnički list (Slika 2.) koji je jedan od najvažnijih dokumenata za nekretnine, jer služi kao službeni dokaz vlasništva i punomoći nad imovinom.



REPUBLIKA HRVATSKA

DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA
PODRUČNI URED ZA KATASTAR SPLIT
Stanje na dan: 27.08.2018. 23:14

Katastarska općina: 329754, GORNJE SELO

Broj ZK uložka: 927

Broj zadnjeg dnevnika/Upravnog rješenja: Z-3944/2013
Aktivne plombe:

Izvadak iz BZP-a

A

Posjedovnica

PRVI ODJELJAK

Rbr.	Broj katastarske čestice	Broj D.L.	Adresa katastarske čestice/Način uporabe katastarske čestice/Način uporabe zgrade, naziv zgrade, kućni broj zgrade	Površina/m ²	PPR
1.	589	5	STOMORSKA PUT	53 53	
		UKUPNO:		53	

DRUGI ODJELJAK

Rbr.	Sadržaj upisa	Primjedba
	Zaprimljeno 09.04.2013. broj Z-3944/13	
1.1	Na temelju rješenja Republike Hrvatske, Ministarstva kulture, Uprave za zaštitu kulturne baštine, klasa: UP/I- ZABILJEŽBA 612-03/12-06/0187, Urbroj: 532-04-01-01/6-12-1, u Zagrebu, 25. srpnja 2012. godine, zabilježuje se da čest. 589, zona A. (potpuna zaštita povjernih struktura), ima svojstvo kulturnog dobra.	

B

Vlastovnica

Rbr.	Sadržaj upisa	Primjedba
1.	Suvlasnički dio: 1/2 MATKOVIĆ BLAGA UD. IVANA, KUĆINE, PUT KRUNIKA 21	
2.	Suvlasnički dio: 2/4 NOVAKOVIĆ ANTE POK. JOSIPA, OIB: 13761828121, STOMORSKA, RIVA PELEGRIN 11	

C

Teretovnica

Rbr.	Sadržaj upisa	Iznos	Primjedba
	Tereta nema!		

Potvrđuje se da ovaj izvadak odgovara stanju baze zemljišnih podataka na datum 27.08.2018.

Slika 2. – Vlasnički list

Izvor: <https://www.scribd.com/document/397391447/tt>

Vlasnički list sastoji se od tri dijela:

- Posjedovnica - sadrži podatke o samoj nekretnini, uključujući adresu, površinu zemljišta ili stambenog prostora te opis građevina na toj parceli.
- Vlastovnica - dio vlasničkog lista u kojem su navedeni podaci o vlasniku nekretnine
- Teretovnica - sadrži podatke o svim pravima i opterećenjima koja terete nekretninu (hipoteka, zalog...)

2.3. Račun za struju

Račun za struju je potreban kako bi se mogla izračunati prosječna godišnja potrošnja energije pri dizajniranju elektrane kako bi se odredila potrebna snaga. Važno je da se prikupi podatak o potrošnji za šest mjeseci, a idealno bi bilo za 12 mjeseci.

2.4. Priključak

Potreban podatak koji se treba znati je vrsta priključka (da li je jednofazan ili trofazni) i snaga priključka.

2.5. Projekt

Za početak projekta izrade potrebno je predati zahtjev za provjeru HEP-u da li je moguće započeti proces konstrukcije na objekt i suglasnost od HEP-a da je objektu sa solarnom elektranom dozvoljeno spajanje na postojeću mrežu.

2.6. Sufinanciranje

Vlada, u suradnji s Fondom za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost otvara natječaj kako bi potaknuli i pomogli privatnim osobama za instalaciju solarnih elektrana.

Stope sufinanciranja od pojedinih upravnih tijela su:

- FZOEU 40 % - 80 %
- Županija 50 % (max. 20.000,00 kn)
- Grad 50 % - 80 % (obično izrada projekta)

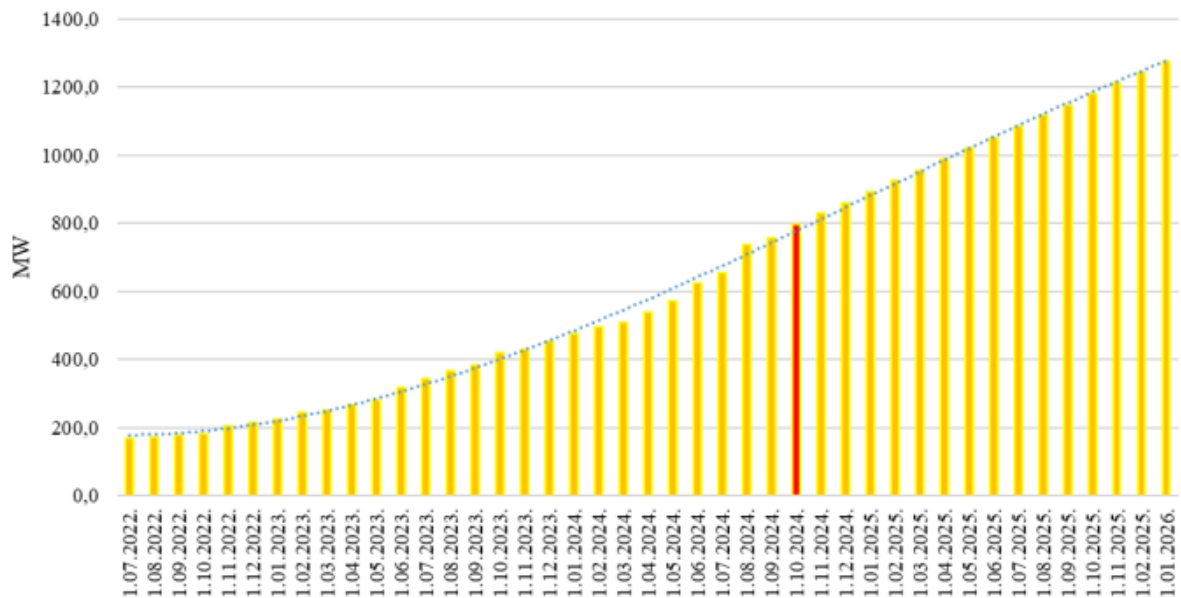
Kako bi dobili pravo na sufinanciranje, potrebni su dodatni preduvjeti:

- Prebivalište na adresi objekta
- Nema nepodmirenih i/ili nereguliranih dugovanja prema Fond-u
- 50% bruto površine namijenjeno za stanovanje
- Na objektu se nalaze najviše tri stambene jedinice ili ima građevinsku bruto površinu manju ili jednaku 600 m²
- Objekt ima važeći energetska certifikat i izvješće o energetska pregledu
- Suglasnost HEP ODS-a

3. TRENUTNI I BUDUĆI KAPACITETI

U prosjeku Hrvatska je vremenski obasjana između 2.000 i 2.700 sunčanih sati godišnje, pri čemu je jedna od zemalja sa najvišom razinom sunčevog zračenja u Europskoj uniji. Početkom 2024. godine u Hrvatskoj je bilo izgrađeno sunčanih elektrana ukupne snage od 462,5 MW. Procjenjuje se da Hrvatska ima potencijal za instalaciju do čak 7 GW sunčane energije do 2030. Godine. [3]

Slika 3. prikazuje instaliranu snagu solarnih elektrana od 1.7. 2022. do 1.10. 2024. i očekivanu snagu do kraja 2025.



Slika 3. – Graf snage solarnih elektrana u Hrvatskoj

Izvor: <https://hro-cigre.hr/wp-content/uploads/2024/11/16-00-Marko-Lovric-Prezentacija-CIGRE-2024.pdf>

4. KALKULATORI ZA SOLARNE ELEKTRANE

U današnje vrijeme postoje mnoge vrste kalkulatora za izračun i prikazivanje informacija poput idealnih pozicija, utjecaja trenutne lokacije objekta na proizvodnju solarne energije, pa tako i očekivane cijene za izradu. Kalkulator koji se može pronaći na web stranici tvrtke Eko-sustav d.o.o.; <https://www.eko-sustav.com/kalkulator/>, može pomoći u izračunu okvirne cijene izrade i postavljanja solarne elektrane na obiteljsku kuću.

Primjer:

Prvo unesemo željenu snagu naše elektrane u kW (kilovatima), što za prosječnu potrebu će iznositi 20 kW. Zatim prosječan broj sunčanih sati u danu, što će biti oko 6-7 sati za područje Hrvatske. Na kraju trebamo unesti cijenu kilovata po satu, što ovisi do našega dobavljača energije. [4]

Prema tim podacima okvirno dobijemo:

- cijenu solarne elektrane : 20.000 eura
- godišnju uštedu: 3.222 eura
- vremenski povrat investicije: 6 godina

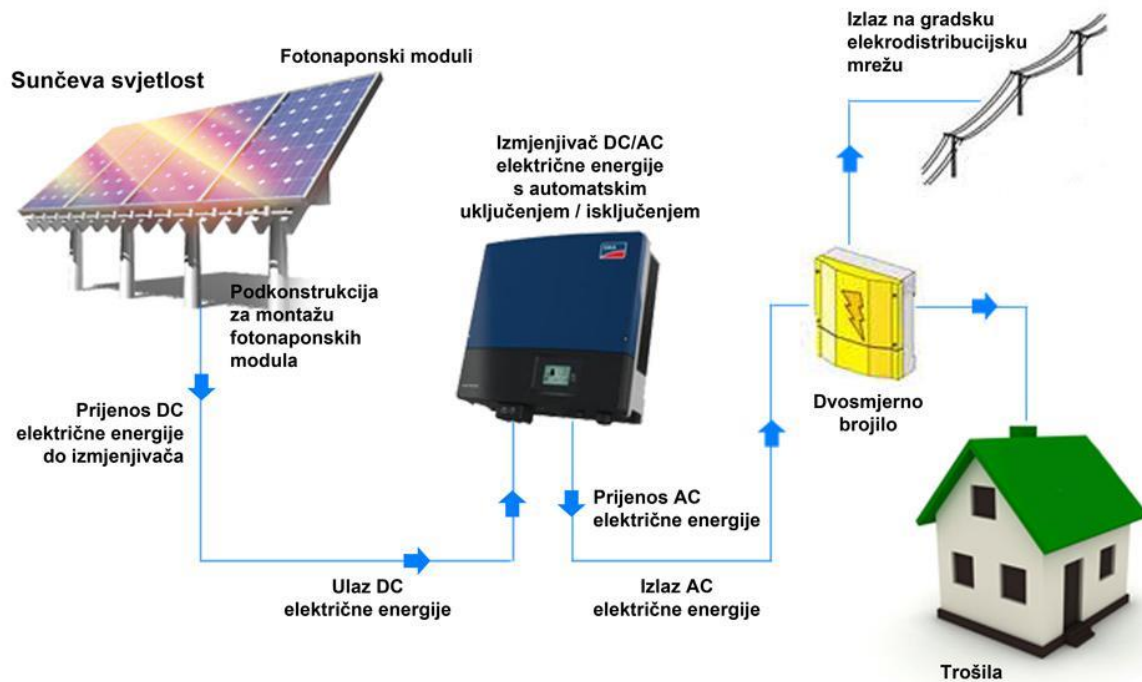
5. SOLARNI ENERGETSKI SUSTAVI

Danas postoje tri glavne vrste solarnih energetske sustava:

1. On-grid sustav - također poznat kao sustav na mreži
2. Sustav izvan mreže - poznat i kao sustav izvan mreže (off-grid)
3. Hibridni sustav - solarni sustav spojen na mrežu s baterijskim spremnikom

5.1. Mrežni solarni (on-grid) sustavi

Solarni sustavi povezani na mrežu su najčešći i najjeftiniji oblik sustava koji se koristi u kućanstvima. Ova vrsta solarnog sustava je direktno spojena na javnu mrežu. Za razliku od ostalih sustava mrežni solarni sustavi ne mogu opskrbljivati kućanstvo električnom energijom po noći ili lošem vremenu. Stoga su ovisni o energiji s kojom ih opskrbljuje javna mreža i mogu izvući potrebnu dodatnu energiju. Nasuprot tome, kada solarni paneli proizvode više električne energije nego li je potrebno za kućanstvo, taj višak vlasnici mogu izvesti nazad u javu mrežu. Sustavi povezani s mrežom privlačna su opcija za one koji žele malo uštedjeti na svojoj potrošnji, a da i dalje zadrže svoju vezu sa dobavljačem komunalnih usluga. Ovaj odnos između sustava solarnih panela i mreže omogućen je solarnim pretvaračima, koji pretvaraju istosmjernu struju (DC) koju generiraju solarni paneli u izmjeničnu struju (AC), omogućujući i korištenje u kućanstvu i kompatibilnost s mrežom.[5]



Slika 4. – Solarni sustav spojen na mrežu

Izvor: <https://www.solarna-elektrana.hr/>

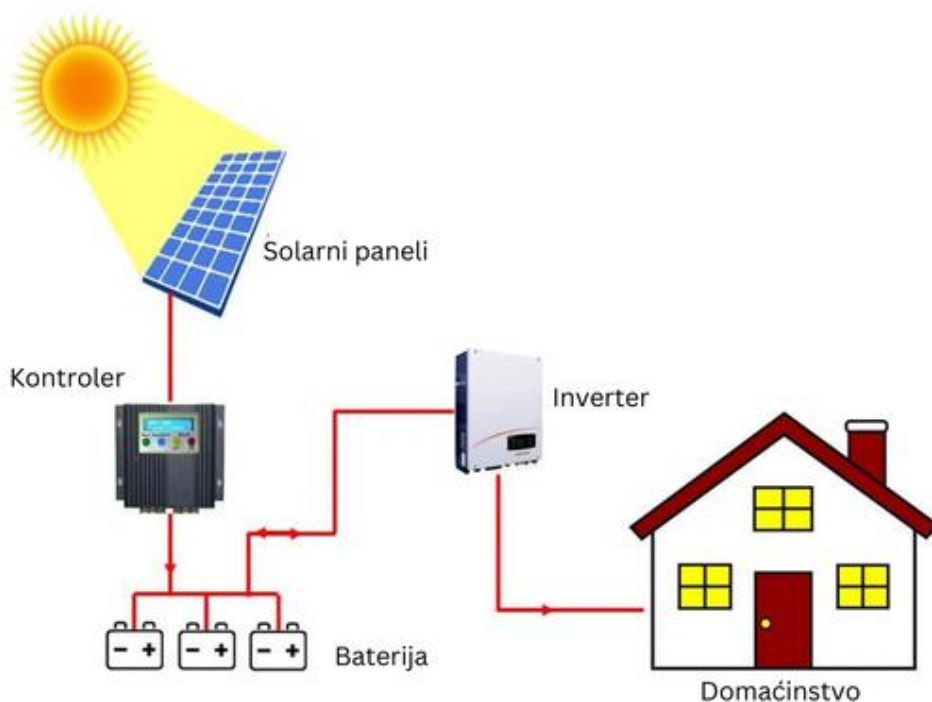
5.2. Izvanmrežni solarni sustavi

Izvanmrežni solarni sustavi su potpuno neovisni o distribucijskoj mreži, što ih čini samoodrživi izvor električne energije. Idealna su rješenja za udaljene objekte ili nerazvijena područja. Najvažnija komponenta i najveća razlika između sustava spojenih na mrežu su baterije u koje se sprema višak energije i koristi za upotrebu kada paneli ne proizvode dovoljno električne energije.

Izvanmrežni sustavi dizajnirani su za osobe koje hoće potpunu neovisnost od dobavljača usluga. Iako je ta neovisnost dosta privlačna, ona također i zahtjeva pažljivo i detaljno planiranje sistema i ponajviše ulaganje u sustave pohrane energije kako bi mogli biti osigurani sa stalnim i stabilnim izvorom energije. Osobe koje bi htjele postaviti izvanmrežni sustav u svoj dom, moraju izračunati potrebe za električnom energijom za unaprijed nekoliko dana u slučaju kvara panela ili nemogućnosti proizvodnje dovoljne količine energije.

Bitna komponenta sustava je regulator punjenja s kojim se osigurava da se baterije pune pravilnom brzinom i do odgovarajuće razine. Regulator punjenja štiti bateriju tako da

regulira količinu i brzinu protoka energije koja odlazi u bateriju i time sprječava prekomjerno punjenje i čuva bateriju od zagrijavanja. Još jedna bitna funkcija je da sprječava povratak struje natrag u solarne ploče. Regulator je također opremljen niskonaponskim rastavljačem. Rastavljač služi za prekidanje napajanja objekta u slučaju potpunog pražnjenja baterija kako bi se spriječilo oštećenje baterija prekomjernim pražnjenjem. Kada napunjenost baterije dođe do određene razine, regulator ponovno propušta struju. [6]

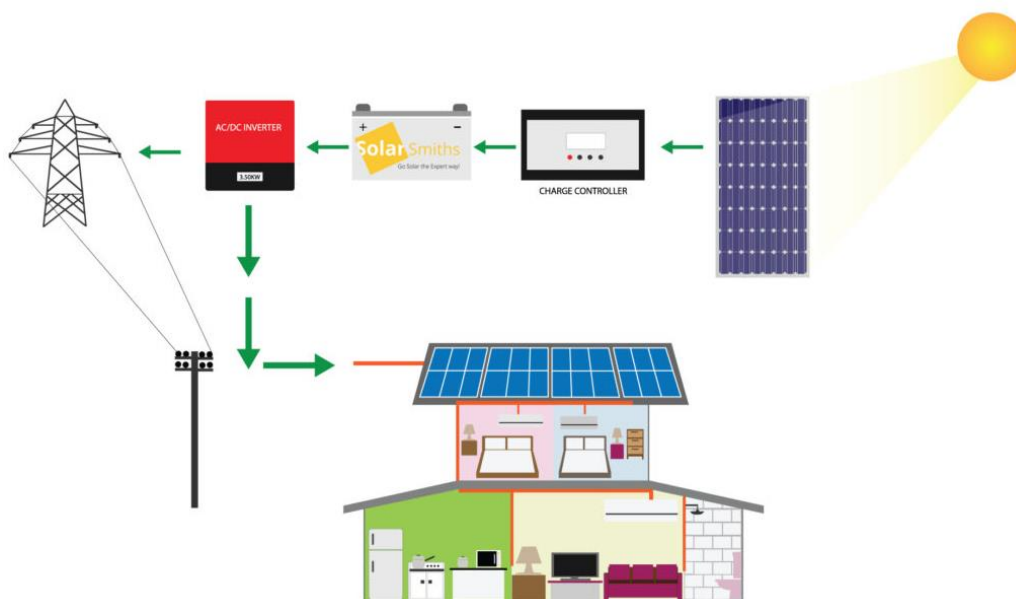


Slika 5. – Izvanmrežni solarni sustav

Izvor: <https://solarni.shop/off-grid-solarni-sistemi/>

5.3. Hibridni solarni sustavi

Hibridni solarni sustav je kombinacija sustava spojenih na mrežu i izvan mreže. Ovi sustavi su spojeni na javnu mrežu, a mogu i raditi neovisno preko baterija. Dakle, kada paneli ne proizvode dovoljnu snagu duži vremenski period, energija iz mreže može nadoknaditi potrebu objekta. Isto tako u slučaju nestanka struje iz mreže, baterije mogu opskrbljivati objekt električnom energijom. Električna energija iz panela se usmjerava na hibridni pretvarač i bateriju. Nakon što se baterija napuni, višak se preusmjerava putem mjerača u električne vodove mreže. U teoriji, rezervnu bateriju mogu puniti ili solarni paneli ili mreža. [5]



Slika 6. – Hibridni solarni sustav

Izvor: <https://baciccaagf3manual.z21.web.core.windows.net/ongrid-solar-system-diagram.html>

5.4. Usporedba troškova: solarni sustavi izvan mreže u odnosu na on-grid

Mrežni solarni sustavi obično su jeftiniji za instaliranje jer ne zahtijevaju skladištenje baterija ili drugu dodatnu opremu. Dok početno ulaganje za postavljanje na mreži može biti niže, rješenja izvan mreže mogu dovesti do značajnih dugoročnih solarnih ušteda eliminirajući oslanjanje na komunalna poduzeća.

Solarne baterije su još uvijek skupe - više od 13.000 eura za jednu bateriju kapaciteta 19,2 kWh. [7] (Usporedbe radi, prosječni dom koristi oko 20 kWh dnevno.) Dakle, nekoliko baterija lako udvostruči ili čak utrostruči cijenu prosječnog solarnog sustava. Prilikom odlučivanja između dvije vrste solarnih sustava važno je odvagati početne troškove u odnosu na potencijalne dugoročne financijske koristi.

Tablica 1. – Usporedba solarnih sustava Izvor: Autor

Sunčev sustav	Početna financijska investicija	Razdoblje povrata	Energetska neovisnost	Skladištenje baterije
On-Grid	700-1000 €/kW	6-9 godina	Ne	Ne
Izvan mreže	1000-1500 €/kW	10-15 godina	Da	Da
Hibridni	900-1400 €/kW	7-12 godina	Da	Da

6. KOMPONENTE SOLARNOG SUSTAVA

Različiti dijelovi fotonaponskog sustava neznatno se razlikuju ovisno o tome jesu li fotonaponski objekti spojeni na mrežu ili sustavi izvan mreže. Glavne komponente kućnih solarnih sustava jesu:

- Solarni paneli
- Sustav montaže
- Inverter
- Ožičenje i vodovi
- Razvodna kutija
- Solarne baterije (za sustav izvan mreže)
- Kontroler punjenja (za sustave izvan mreže)

6.1. Solarni paneli

Solarni paneli pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju kroz proces fotonaponskog efekta. Solarni fotonaponski paneli se sastoje od pozitivnog i negativnog tankog filma silicija koji je postavljen pod tanak dio stakla. Kako fotoni sunčeve svjetlosti dopiju do ovih ćelija, oni izbacuju elektrone iz silicija. Negativno naelektrizirani slobodni elektroni se privlače na jednu stranu silicijske ćelije pri čemu se stvara električni napon koji se može sakupljati i usmjeravati. Ova struja se prikuplja ožičenjem pojedinih solarnih panela kako bi se formirao solarni fotonaponski niz. Ovisno o veličini instalacije, više žica solarnih fotonaponskih kablova završava u jednoj električnoj kutiji. Električna energija koja se proizvodi izlazi iz panela u obliku istosmjerne struje i mora se pretvoriti u izmjeničnu struju kako bi bila korisna za daljnju uporabu kućanskih uređaja.

Solarni paneli sastoje se od mnogo malih solarnih ćelija spojenih zajedno. Jedna ćelija može proizvesti snagu od 0,1 do 2 vata što nije dovoljno za uporabu. Kako bi se proizvela korisna izlazna energija serijski se ćelije spajaju u modul čija snaga može iznositi od 3 do 300 vata.

Kod kućnih solarnih sustava paneli se postavljaju na krovove okrenute prema jugu ili bez puno hlada kako bi se dobio najbolji izlaz snage, ali i druge orijentacije mogu pružiti optimalan potencijal. U sustavu se ne smije podcijeniti koliko zasjena utječe na učinkovitost panela. Ako je u sustavu samo i jedan panel zatamnjen, proizvodnja energije može biti smanjena i za više od polovine.

Većina panela ima učinkovitost između 15% i 22%, no s razvojem novih tehnologija ta učinkovitost se iz godine u godinu povećava. Jedni od najboljih panela mogu dostići učinkovitost i do 24%, što uvelike poboljšava korisnost po kvadratnom metru.

Solarni paneli pune veličine dolaze u dvije standardizirane veličine:

Ploče sa 60 ćelija i 120 ćelija veličine su oko 112 x 168, plus ili minus centimetara, ovisno o proizvođaču. Ploče od 60 ćelija sadrže 10 redova od po 6 ćelija. Ploče od 120 ćelija iste su veličine i konfiguracije, ali su ćelije prepolovljene, što malo povećava učinkovitost ploče.

Ploče sa 72 ćelije i 144 ćelije su veličine oko 102 x 200 cm, opet s malim varijacijama ovisno o proizvođaču. Ploče sa 72 ćelije sadrže 12 redova od po 6 ćelija. Ploče sa 144 ćelije istog su oblika, ali s polusječnim ćelijama.

Solarne ćelije u panelu obično su spojene u seriju. To znači da se volti svake solarne ćelije zbrajaju kako bi stvorili ukupni izlazni napon. Stoga je napon panela sa većim brojem ćelija viši i dati će više vata nego solarni paneli sa manjim brojem ćelija.

Veći solarni paneli su oko 30 cm viši i 3.5 kilograma teži, što ih može malo otežati za nošenje tijekom instalacije. [9]

6.1.1. Vrste solarnih panela

Postoji mnogo različitih tipova panela, ali tri vrste solarnih panela koji se najviše koriste su: monokristalni, polikristalni i tanki film, svaki s različitim karakteristikama i tipovima izvedbe.

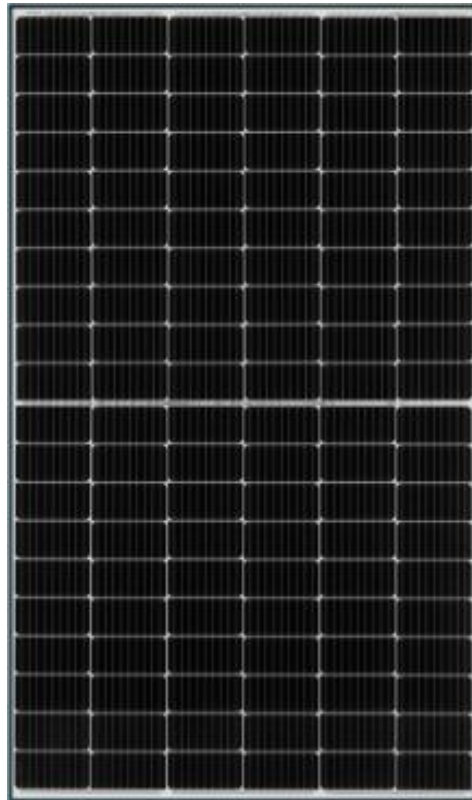
6.1.1.1. Monokristalni solarni paneli

Monokristalne solarne ćelije izrađene su od jednog čistog kristala silicija koji se umeće u rastaljeni silicij i polako izvlači. Rastaljeni silicij se stvrdne u kristalnu ljustku koja se naziva ingot koja se zatim reže na tanke pojedinačne solarne ćelije. Za izradu ploče koristi se više ćelija – što je veći broj ćelija, veća je ploča. [10]

Ćelije imaju kvadratni oblik i pri montiranju na ploču između njih postoje praznine. Pozadina panela je obično crne ili srebrne boje i također imaju crni ili srebrni okvir.

Proizvodnja panela je veoma energetski zahtjevna i proizvodi veliku količinu otpada silicija koja može iznositi i do 50%. Većina tih otpadaka se može dalje reciklirati i upotrijebiti za izradu polikristalnih panela.

Monokristalne ploče imaju svoju crnu boju zbog načina na koji sunčeva svjetlost radi interakciju sa kristalom silicija. Ploče su također dodatno tretirane antirefleksivnim premazom koji uklanja njihovu sivkastu boju i čini ih još tamnijima.



Slika 7. – Monokristalni solarni panel

Izvor: <https://www.raisunpower.com/products/540w-monocrystal-solar-panels/>

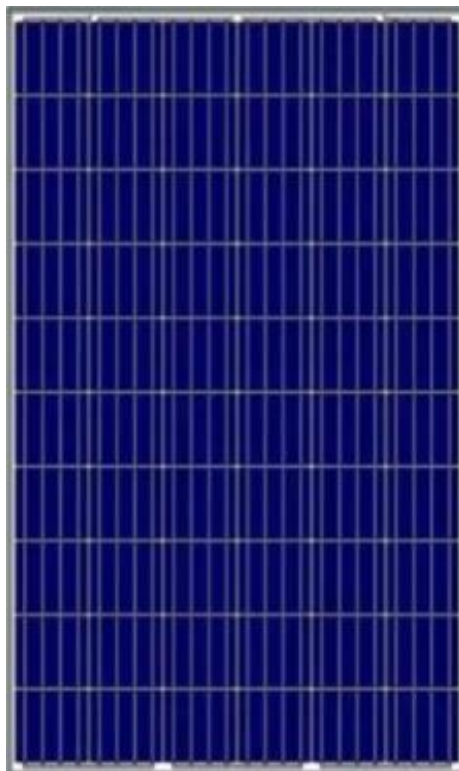
6.1.1.2. Polikristalni solarni paneli

Polikristalne solarne ćelije su jedan od najstarijih vrsti solarnih panela, ali su i manje učinkovite od monokristalnih panela. Kao i monokristalne, polikristalne ćelije se izrađuju od silicija, ali ne od jednog cijelog kristala nego topljenjem više dijelova kristala što čini proces izrade jeftiniji i jednostavniji.

U biti, fragmenti kristala silicija se zajedno tope i stavljaju u rastaljeni silicij. Umjesto ekstrakcije kristala kao što se radi u monokristalnom procesu, rastaljeni silicij ostavlja se da se ohladi u četvrtastom kalupu. Stvrdnuti silicij se zatim reže na tanke solarne pločice,

koje se sastavljaju u solarnu ploču. Tijekom ovog procesa proizvodnje stvara se minimalan otpad. [10]

Polikristalni solarni paneli (Slika 8.) imaju svoj plavi izgled radi načina na koji sunce stupa u kontakt sa fragmentima silicija koji podsjećaju na mozaik. Kao i kod monokristalnih ćelija, one su kvadratne, ali između njih nema praznina pri postavljanju na ploču. Pozadine panela su bijele ili srebrne, a okviri većinom srebrni. Radi procesa kojim se proizvode postoji velika razlika u izgledu i manje su estetski privlačne za razliku od ostalih panela. Također njihova učinkovitost je manja od monokristalnih panela, iznoseći samo 14,5%.



Slika 8. – Polikristalni solarni panel

Izvor: <https://solar-energy.technology/photovoltaics/elements/photovoltaic-panel/types>

6.1.1.3. Tanki film

Paneli s tankim filmom su jedni od najjeftinijih, ali zato i najmanje učinkoviti od ostalih vrsta solarnih panela. Mogu biti izrađene od različitih vrsti materijala, najčešće od kadmij telurida. Za razliku od monokristalnih i polikristalnih ploča, tankoslojne ploče, kao što im i ime govori, su veoma tanke što ih čini veoma fleksibilnima. Također mogu biti samoljepljive čime ne zahtijevaju posebnu montažu.



Slika 9. – Tanki film

Izvor: <https://solar-energy.technology/photovoltaics/elements/photovoltaic-panel/types>

U tablici su prikazane karakteristike od triju navedenih solarnih panela:

Tablica 2. – Karakteristike fotonaponskih ploča [11]

Vrsta solarne ploče	Prosječna učinkovitost	Uobičajeni životni vijek (godine)	Ključna prednost	Ključni nedostatak
Polikristalni	13-16%	25-30	Jeftiniji od monokristalnog	Manje učinkovit od monokristalnog
Monokristalni	18-24%	25-40	Najučinkovitija dostupna vrsta	Skuplji od polikristalnog
Tanki film	7-13%	10-20	Najfleksibilnija opcija	Niska izlazna snaga

6.2. Sustav montaže

Pružaju potreban okvir za sigurno pričvršćivanje solarnih panela na krovove ili sisteme postavljene na zemlju, osiguravajući stabilnost, izdržljivost i optimalnu izloženost sunčevoj svjetlosti.

Nisu svi sustavi nosača isti, ali postoji nekoliko komponenti u većini konstrukcija solarnih nosača:

- Treperi

Prilikom postavljanja nosača na krov potrebno je izbušiti rupe koje mogu procuriti ako nisu kvalitetno pokriveno. Treperi su tanke pravokutne aluminijske pločice na koje se montiraju nosači koji ih i učvršćuju za gredu. Za krovove izrađene od crijepa, metala, gume ili drveta koji su često nepravilnog oblika moraju se napraviti posebno dizajnirani treperi koji će odgovarati tom jedinstvenom obliku.



Slika 10. – Treperi

Izvor: <https://www.energysage.com/solar/solar-racking-overview/>

- Nosači

Sustavi solarnih panela pričvršćeni su na krov nosačima. Nosači se ponekad nazivaju "noge" i obično se pričvršćuju na krov pomoću vijka kroz treper i u gredu, osiguravajući cijeli sustav. Postoje mnoge vrste nosača koji se koriste u različitim sustavima regala.

Izvođači radova trebaju prvo pristupiti tavanu ili donjoj strani krova tijekom prvih izvedba radova kako bi se uvjerali da su grede strukturalno netaknute i da su odgovarajuće raspoređene za smještaj nosača za sustav solarnih ploča. [12]



Slika 11. – Nosači

Izvor: <https://www.energysage.com/solar/solar-racking-overview/>

- Tračnice

Nosači drže tračnice, dio solarnog regala na koji se postavljaju solarni paneli. To su često dugačke aluminijske tračnice postavljene okomito ili vodoravno na krovnu ravninu. Postoji nekoliko alternativnih tračnica za standardne tračnice, kao što su tračnice bez tračnica ili zajedničke tračnice. Dodatna prednost tračnica je da pružaju čist prostor za postavljanje ožičenja sustava solarnih panela, pomažući u smanjenju nereda i poboljšanju sigurnosti i estetike instalacije. [12]



Slika 12. – Tračnice

Izvor: <https://www.energysage.com/solar/solar-racking-overview/>

- Stezaljke

Kako bi solarni paneli bili pričvršćeni na stalku, instalateri koriste stezaljke koje povezuju solarne module s tračnicama ispod. Instalateri će često koristiti i središnje i krajnje stezaljke na instalaciji. Srednje stezaljke nalaze se između solarnih panela i oni su na mjestu s dvije strane, dok se krajnje stezaljke nalaze na krajevima cijelog sustava i obično su veće. [12]

6.3. Izmjenjivači (Inverteri)

Inverteri su elektroničke komponente, neophodne za rad solarnog sustava. Pretvaraju istosmjernu struju koju proizvode solarni paneli u izmjeničnu kako bi se električna energija mogla koristiti za potrebe objekta. Osnovno se dijele za potrebe sustava spojenih na mrežu i izvan mreže, a postoji više vrsta invertera:

- Centralni inverter
- Mikroinverter
- Hibridni inverter

Mrežni solarni pretvarač spojen je izravno na javnu električnu mrežu. Radi u sinkronizaciji sa mrežom i ako paneli proizvode višak energije, taj višak se šalje u mrežu.

Solarni pretvarači izvan mreže spojeni su izravno na bateriju. Tijekom dana pretvaraju električnu energiju u izmjeničnu i šalju je dalje za potrebe objekta, a višak energije preusmjeravaju i pohranjuju u baterije. [13]



Slika 13. – Hibridni inverter

Izvor: <https://fox-power.com/hybrid-solar-inverter/>

6.3.1. Centralni Inverter

String inverter, ili centralni inverter su uređaji koji povezuju jednu ili više skupina fotonaponskih modula povezanih u seriju i transformira veliku količinu energije odjednom. Stoga se nalaze u većim solarnim sustavima koji proizvode veću količinu istosmjerne električne energije.

U solarnom sustavu sa strujnim inverterom svi paneli su smješteni u samo jedan centralni inverter. Prikuplja električnu energiju iz cijelog fotonaponskog polja, pretvara ju u izmjeničnu i šalje u upotrebu. Prednosti su im jednostavna ugradnja koja jednostavno samo zahtjeva spajanje panela direktno na inverter i jeftina cijena. [14]

6.3.2. Mikroinverteri

Mikroinverteri su male jedinice koje se ugrađuju na svaku pojedinu solarnu ploču. Za razliku od centralnog invertera, mikroinverteri odmah na krovu transformiraju istosmjernu struju panela u izmjeničnu na razini svake pojedinačne ploče. Tim načinom svaka ploča daje maksimalni izvor energije neovisno o ostalim panelima spojenim na te ploče. Ako paneli pored sebe imaju zasjenu poput grane, svi ostali paneli mogu raditi punim kapacitetom pogotovo ako su ploče spojene u seriju o čemu će se više pričati poslije. Svaki pad performansi utječe samo na jednu ploču.

Pametni mikroinverteri imaju mogućnost praćenja performansi svakog pojedinog panela. To omogućuje brzo uočavanje problema s pojedinim panelom i time brzo otklanjanje kvara. Ova vrsta pretvarača može biti skuplja od pretvarača nizova, ali se s vremenom može isplatiti dobivanjem više energije iz cjelokupnog sustava.

Mikroinverteri imaju višu početnu cijenu, ali će se taj trošak vratiti brže, jer su efikasniji za 5-15% od centralnih izmjenjivača. Također su jeftiniji, lakši i brži za postavljanje što dodatno smanjuje troškove instalacije. [15]

6.3.3. Hibridni inverteri

Hibridni inverteri kombiniraju funkcije solarnih invertera i uređaja za pohranu energije (baterije). Omogućuju da energija koja se proizvede tijekom dana bude pohranjena u baterijama za kasniju upotrebu, kao što je noću kada solarni paneli ne proizvode energiju. [15]

Hibridni inverter mogu pretvarati električnu energiju izravno od solarnih panela i baterija ili mreže prije nego što je ta energija upotrebljena od strane objekta.

6.4. Električna ploča (razvodna kutija)

Električna ploča, ili razvodna kutija, distribuira električnu energiju iz solarnog sustava u različite krugove u kući ili zgradi. Također uključuje sigurnosne značajke, kao što su prekidači strujnog kruga, koji štite sustav od električnih preopterećenja. U slučaju sustava vezanog na mrežu, panel povezuje solarni sustav s lokalnom električnom mrežom. [16]

6.5. Solarne baterije

Solarne baterije služe za pohranu električne energije koju proizvode solarni paneli. Neophodan su element u sustavima izvan mreže, jer je to jedini izvor energije kada paneli ne proizvode struju i također se koriste u hibridnim sustavima. Tokom dana kada solarni paneli proizvode najviše energije, višak koji se ne potroši u domu, skladišti se u baterije. U hibridnim sustavima koriste se kada energija koju omogućava javna mreža nije dostatna ili je u potpunosti prekinuta. Baterije su najskuplji dio solarnog sustava i zahtijevaju dodatne komponente, među najvažnijima je regulator punjenja.



Slika 14. – Solarna baterija

Izvor: <https://fox-power.com/hybrid-solar-inverter/>

Postoje četiri glavne vrste baterija koje se koriste u solarnim sustavima:

- Olovo-kiselinske baterije

Najstarija i još uvijek najpouzdanija vrsta baterije. Ne mogu pohraniti puno energije po kilogramu težine, pa stoga nemaju veliku korisnost. Njihova isplativost i pouzdanost ih još uvijek čini konkurentnima na tržištu ponajviše za kućne primjene.

- Litij – ionske baterije

Jedne su među najnovijim vrstama baterija, ali zbog svoje učinkovitosti postale su i među najpopularnijim. Imaju mogućnost pohranjivanja veće količine energije po kilogramu što ih čini lakšima i učinkovitijima. Uz veću kvalitetu i duži vijek trajanja, također su i skuplje od ostalih opcija.

- Nikal – kadmijeve baterije

Nisu toliko popularne u stambenoj primjeni, najviše se koriste u zrakoplovnoj i ostalim tipovima industrija zbog svoje izdržljivosti, male količine održavanja i mogućnosti rada na ekstremnim temperaturama. Kadmij je veoma otrovan element, stoga se treba odlagati i reciklirati s oprezom.

- Protočne baterije

Najnovija tehnologija na tržištu koja koristi tekućinu elektrolita koja teče između dvije komore unutar baterije. Imaju visoku učinkovitost, ali poput olovnih baterija kapacitet skladištenja im je jako nizak. Taj mali kapacitet skladištenja čini baterije velikima i nepraktičnima za stambenu upotrebu, ali su idealni za veće prostore i primjene. Najskuplja su vrsta baterije. [18]

6.6. Regulator punjenja

Solarni regulator punjenja je električna komponenta koje služi za regulaciju istosmjerne struje koja dolazi izravno iz panela i puni baterije. Također sprječava povrat energije nazad u panele. Solarni paneli proizvode električnu energiju u različitim količinama ovisno o intenzitetu sunčeve svjetlosti, koji može varirati tijekom dana.

Ako je baterija spojena izravno na stezaljke solarnih panela, tada će se neprestano puniti. Napokon, potpuno napunjena baterija i dalje će primati struju, što će dovesti do porasta napona za nekoliko volti. Kao rezultat toga, baterija se puni, temperatura elektrolita raste, a ta temperatura doseže takve vrijednosti da elektrolit kipi, dolazi do naglog ispuštanja para iz limenki akumulatora. Kao rezultat, elektrolit može potpuno ispariti, a limenke se isušiti. Naravno, to dramatično smanjuje resurse njenih performansi. [19]

Regulatori punjenja prate i prikazuju razinu napunjenosti baterije, ali i također imaju opciju nadzirati potrošnju energije. U ovisnosti o brzini i količini pražnjenja baterije, regulator kontrolira i brzinu kojom se baterije pune i prazne.



Slika 15. – Solarni regulator punjenja

Izvor: azimuthsolar.ca

6.6.1. Serijski regulator punjenja

Serijski regulator radi na principu uključivanje/isključivanje. Kada baterija dosegne određenu granicu pražnjenja, regulator propušta svu struju iz panela dok se baterija u potpunosti ne napuni i zatim potpuno prekida dovod energije.

U trenutku kada se baterija napuni, regulator punjenja otvara strujni krug kako bi prekinuo dovod električne energije, a u slučaju kada se baterija isprazni, regulator zatvara strujni krug i ponovo omogućuje punjenje.

Serijski regulatori koriste tranzistore uz pomoć kojih otvaraju i zatvaraju strujni krug tokom punjenja.

6.6.2. MPPT

Kontroler Maximum Power Point ili MPPT analizira napon baterije u odnosu na napon ploče i osigurava da napon baterije odgovara nizu.

To je zato što solarni paneli generiraju različite razine napona i struje u skladu s vremenskim uvjetima. Dakle, u razdobljima vršne proizvodnje, solarni panel može generirati više od 16 V, dok baterija može raditi samo između 12 V i 14,4 V.

MPPT kontroler optimizira struju do baterije i omogućuje solarnom nizu da isporuči maksimalnu snagu u svim uvjetima. To omogućuje učinkovitije i dosljednije punjenje, kao i ukupnu izvedbu.

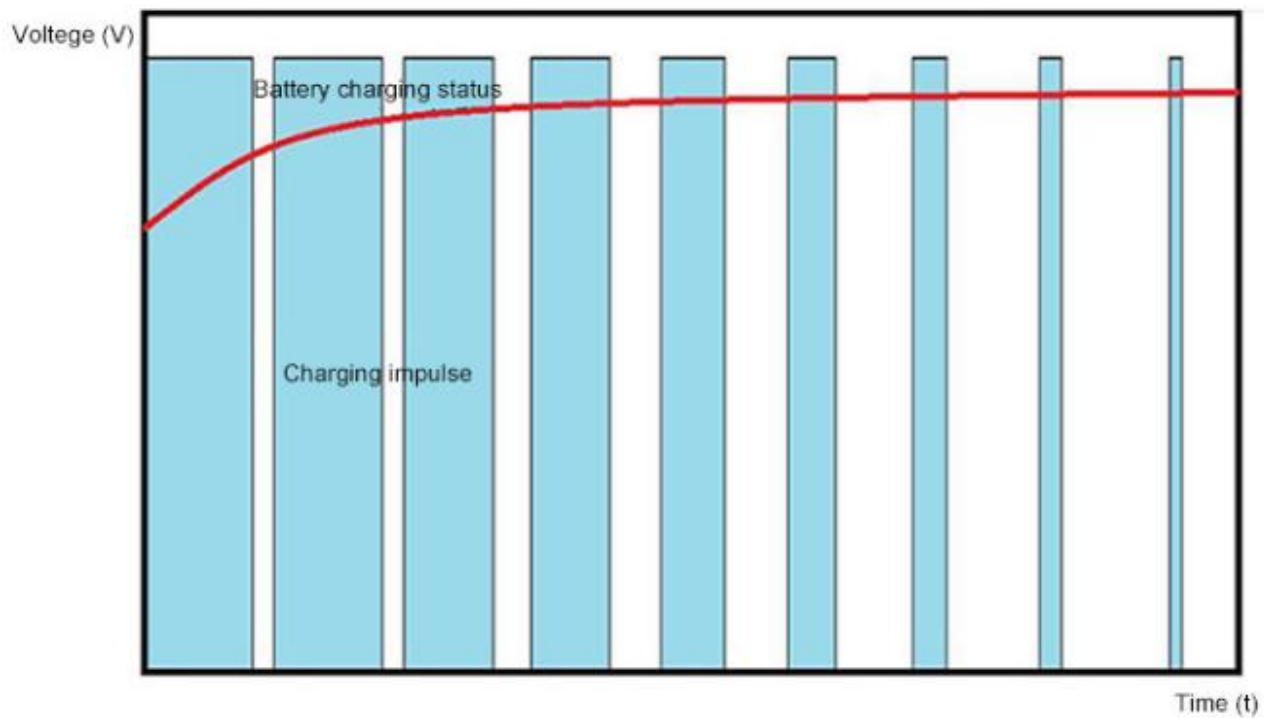
MPPT kontroleri osiguravaju da baterija dobije svoje precizne zahtjeve napona i učinkovitiji su od PWM modula, ali su i skuplji. [20]

6.6.3. PWM

PWM ili Pulse Width Modulation Controller isporučuje kontrolirane impulse napona baterijama s različitim intervalima i intenzitetom struje na temelju statusa baterija.

PWM analizira zahtjeve baterije i određuje koliko struje je bateriji potrebno iz niza. Zatim šalje niz impulsa s dužim impulsima koji nose veću struju kada se baterija isprazni. Impulsi postaju postupno kraći kako se razina napunjenosti baterija povećava (Slika 16.). Iako PWM kontroler pristupa punoj dostupnoj struji, on ograničava struju u postotke ciklusa uključivanja i isključivanja koji se isporučuju bateriji. Na primjer, može započeti s ciklusom od 80% uključivanja i 20% isključivanja kada je napunjenost baterije niska i postupno se rekonstruirati kako se razine napunjenosti povećavaju, na kraju završava s protokom od 0% kada se postigne stanje maksimalne napunjenosti. Kako se baterije koriste i počinju gubiti napunjenost, PWM će procijeniti status i zatim otvoriti tranzistore kako bi ponovno pokrenuo proces punjenja na potrebnoj razini impulsa. [20]

Ovim primjerom regulator ima oko 80% učinkovitosti, što je prihvatljivo za male sustave gdje napon panela odgovara naponu baterije, pogotovo radi njihove niske cijene. Za veće sustave s mnogo većom izlaznom snagom efikasnije je koristiti skuplje MPPT regulatore koji su efikasniji u pretvorbi za oko 15%.

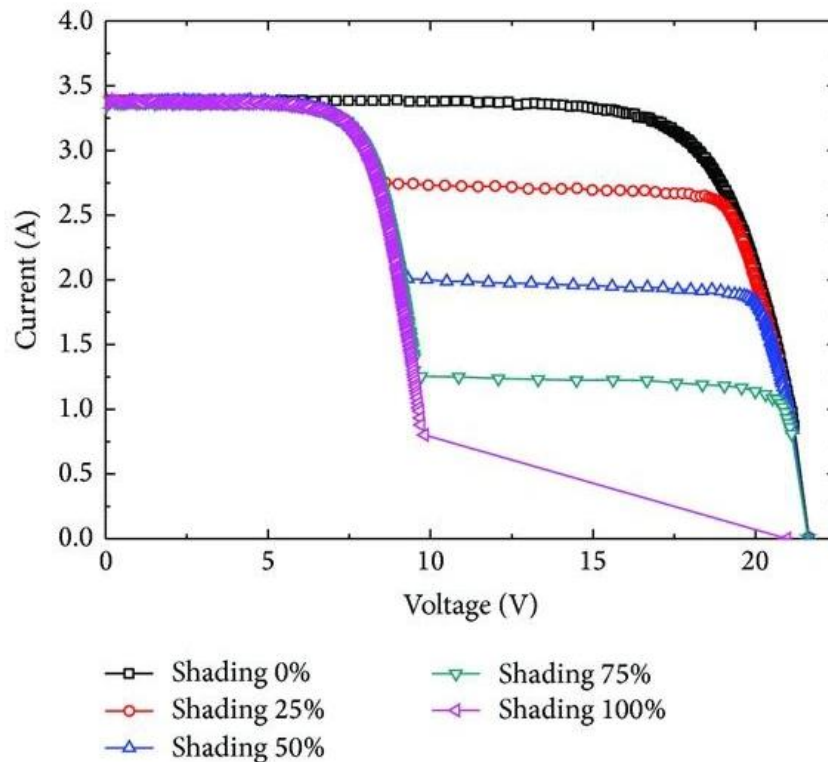


Slika 16. – Radna karakteristika PWM regulatora punjenja

Izvor: <https://www.inverter.com/solar-charge-controller-in-pv-off-grid-system>

7. POZICIJA I VANJSKI UTJECAJI NA SUSTAV

Vanjski utjecaji poput sjenčanja imaju veliki utjecaj na rad sustava. Sjenčanje je ponajviše uzrokovano oblacima, drvećem i lišćem, ostalim objektima, sjenom od ostalih panela koji su postavljeni u redove jedan ispred drugog i ostalog smeća i prljavštine. Ti uzroci mogu biti trajna pojava dok se ručno ne uklone ili mogu biti samo privremena zapreka poput oblaka ili dizalica.

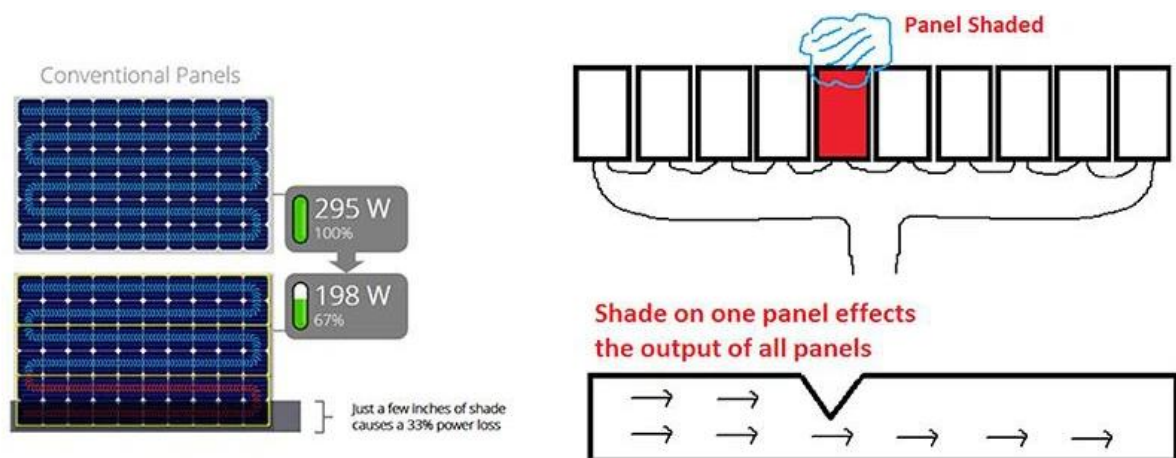


Slika 17. – Graf rada solarnih panela pod utjecajem sjene

Izvor: <https://hr.dsnsolar.com/info/shading-effect-on-output-of-solar-pv-system-50730633.html>

Solarne panele spajamo u seriju i/ili paralelu (najčešće oboje kombinirano), ovisno o karakteristikama struje i napona invertera. Serijski spoj sa centralnim inverterom je najgora postava u slučaju ako se pri projektiranju očekuju prirodne prepreke koje će bacati sjenu na panele. U slučaju ako sjena od okolnih drveća ili dimnjaka na kući zasjenjuje i samo jedan panel u nizu, izlaz energije cijelog niza može iznositi nula tokom cijelog trajanja smetnje. Razlog je tomu što su paneli spojeni na takav način da će izlaz niza biti jednak proizvodnji najslabije ploče. To je zato što su paneli spojeni zajedno na takav način da se izlaz svodi na razinu struje koja prolazi kroz najslabiju ploču. Ako postoji više nizova zasebno spojenih panela, niz koji nije zasjenjen će i dalje proizvoditi

maksimalnu moguću snagu, neovisno o ostalim nizovima. Ovaj se problem može lako izbjeći korištenjem mikroinvertera o kojima se pričalo u prijašnjim poglavljima kao i redovitim održavanjem.



Slika 18. – Utjecaj sjene na solarne panele

Izvor: <https://hr.dsnsolar.com/info/shading-effect-on-output-of-solar-pv-system-50730633.html>

Solarni paneli učinkovito proizvode energiju, ali njihova učinkovitost veoma ovisi o položaju i orijentaciji. Ako se pravilno postave imaju mogućnost proizvesti i do 50% više energije nego loše postavljene paneli. Kada se postavljaju solarni paneli, moraju biti orijentirani prema suncu. Južna strana objekta je najidealnija kako bi paneli imali pristup sunčevoj svjetlosti tokom cijelog dana.

Nagib je također važna stavka prilikom montiranja. Solarni paneli također moraju biti postavljeni na odgovarajući nagib. Potreban nagib je moguće dobiti pravilnim sustavom montaže, ali to mijenja estetski izgled konstrukcije. Najučinkovitiji nagib za panele prosječno iznosi od 30 do 50 stupnjeva što varira ovisno o lokaciji i geografskom položaju. U slučaju da se ne može postići određeni nagib, dovoljna će biti rotacija prema jugu. Ako se ne postave na odgovarajući položaj, njihova efikasnost će biti smanjena što rezultira manjim izlazom električne energije.

Na području Hrvatske idealan nagib iznosi od 35 do 40 stupnjeva u kombinaciji s pozicijom okrenutom prema jugu. [22]

8. KONEKTORI ZA SPAJANJE SOLARNIH PANELOVA

Solarni paneli dolaze sa žicama spojenim na jednom kraju na razvodnu kutiju, a na drugom na konektor solarnog panela. Konektor solarnog panela koristi se za međusobno povezivanje solarnih panela u FN instalacijama. Njihov glavni zadatak je osigurati kontinuitet napajanja i protok električne energije kroz cijeli solarni niz. Na tržištu postoje mnoge vrste solarnih konektora, ali najpopularnija dostupna opcija je MC4 konektor. [23]



Slika 19. – MC4 konektori

Izvor: <https://solarmagazine.com/solar-installation/solar-panel-connectors/>

Pomoću konektora na siguran način možemo učvrstiti i spojiti žice solarnih panela. Na taj način štitimo instalacije i sve povezano na njih. Nemaju ručnoga izoliranja, napravljeni su tako da su otporni na vanjske utjecaje i također smanjuju rizik od električnog luka. Konektori smanjuju površinu žica pravilnim načinom spajanja, koje bih se u slučaju ručnog spajanja puno više dodirivale, čime se smanjuju električna žarišta koja pregrijavaju žice što može doći do ozbiljnih posljedica poput kratkog spoja i požara.

U današnje vrijeme tehnologija i kvaliteta konektora je napredovala, iako je MC4 i dalje jedna od najboljih opcija, u tablici 3. su prikazane ostale vrste kao i njihove karakteristike.

Tablica 3. – Specifikacije različitih tipova konektora [23]

	MC4	amfenol	Tyco	MC3	Radox
Presjek kabela (mm ²)	2,5 - 10	2,5 - 6	4 - 6	2,5 - 10	4 - 6
Kontaktни materijal	Pokositreni bakar	Pokositreni bakar	Pokositreni bakar	Pokositreni bakar	Mjed pokositrena
Nazivna struja	39 - 104A	15 - 45A	20 - 30A	20 - 43A	38A
Maks. Napon	1000 V	1500 V	1500 V	1000 V	1000 V
IP indeks	IP65	IP68	IP65	IP68	IP68
Maks. Temperatura	105°C	120°C	-	105°C	85°C
Sigurnosni mehanizam	Zaključavanje utikača	Zaključavanje utikača	Zaključavanje utikača	Nijedan	Twist brava
Alat za zaključavanje/otključavanje	Korisno, ali nije potrebno	Potreban	Potreban	Nije potrebno	Nije potrebno

Zaključavanje solarnog konektora poput MC4, Amfenol, Tyco zahtijeva samo spajanje muškog i ženskog konektora dok se sigurnosne igle ne umetnu na svoje mjesto (primjer na slici 19.). Dok konektori poput Radox-a se zaključavaju i otključavaju mehanizmom za odvrtnje spajanjem muškog i ženskog solarnog konektora vijcima. [23]

9. SPAJANJE SOLARNIH PANELOVA

Vrsta ožičenja solarnih panela utječe na izvedbu solarnih panela, ali i na snagu i karakteristike izmjenjivača koji se koristi.

Solarni paneli spojeni u seriju povećavaju napon, ali struja ostaje ista. Solarni pretvarači mogu imati minimalni radni napon, tako da ožičenje u seriji omogućuje sustavu da dosegne taj prag. Kada je spojen paralelno, struja se povećava dok napon ostaje isti, što omogućuje proizvodnju energije koja je potrebna bez prekoračenja ograničenja napona pretvarača. Većina sustava solarnih panela dizajnirana je sa serijskim i paralelnim spojevima. [24]

Baš kao i baterija, solarni paneli imaju dva terminala: jedan pozitivan i jedan negativan. Svaki solarni panel obično dolazi sa ženskim i muškim MC4 konektorom. Obično ženski MC4 konektor predstavlja negativni terminal, a muški MC4 konektor predstavlja pozitivni terminal solarne ploče. [25]

9.1. Serijski spoj



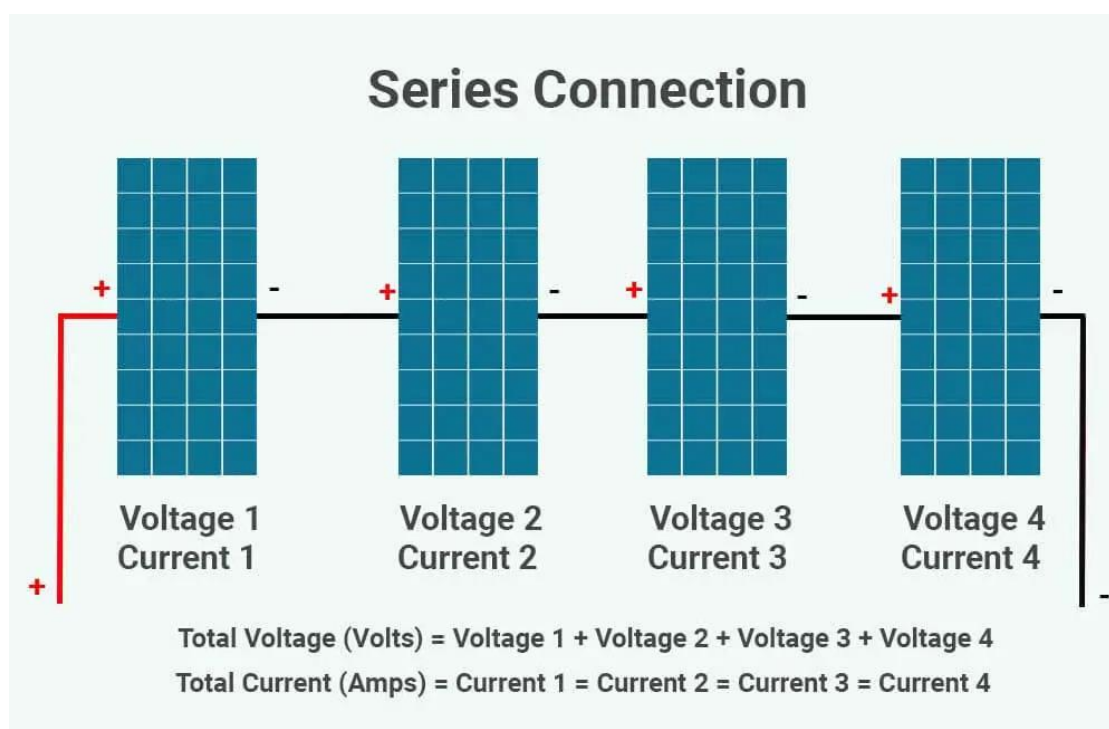
Slika 20. – Fizički prikaz solarnih panela spojenih u seriju

Izvor: <https://www.renewablewise.com/solar-panel-series-vs-parallel/>

Na slici 21. možemo vidjeti primjer kada jednostavno spojimo pozitivni i negativni priključak dviju ploča, stvara se serijski spoj. U trenutku kada spojimo više solarnih panela na ovaj način, stvaramo fotonaponski niz. Na svakom kraju tog niza imati ćemo jedan nepovezani pozitivni i negativni konektor. Pozitivni i negativni krajevi se spajaju izravno na solarni inverter ili u slučaju hibridnih i izvanmrežnih sustava, mogu se spojiti na regulator punjenja. Kod spajanja panela u seriju, nisu potrebne dodatne komponente, osim produžnih kablova kako bi konektori dosegli invertere ili regulatore.

Kada su solarni paneli spojeni u seriju, napon panela se zbraja, ali struja ostaje ista. Dakle, ako spojite dvije solarne ploče s nazivnim naponom od 40 volti i nazivnom strujom od 5 ampera u seriju, napon serije bi bio 80 volti, dok bi struja ostala na 5 ampera. [24]

Panele je potrebno spajati u seriju kako bi povećali napon sustava. Ovo je važno jer solarni energetski sustav mora raditi na određenom naponu kako bi pretvarač i regulator ispravno radili.



Slika 21. – Shema spajanja panela u seriju

Izvor: <https://www.renewablewise.com/solar-panel-series-vs-parallel/>

Prednosti postavljanja u seriju je lakša i brža instalacija što je također čini jeftinijom i isplativijom. Nisu ni potrebne dodatne komponente poput osigurača, jer se mogu koristiti tanje žice zbog manjih struja, što dodatno olakšava postavljanje i smanjuje trošak.

9.2. Paralelni spoj



Slika 22. – Fizički prikaz solarnih panela spojenih u paralelu

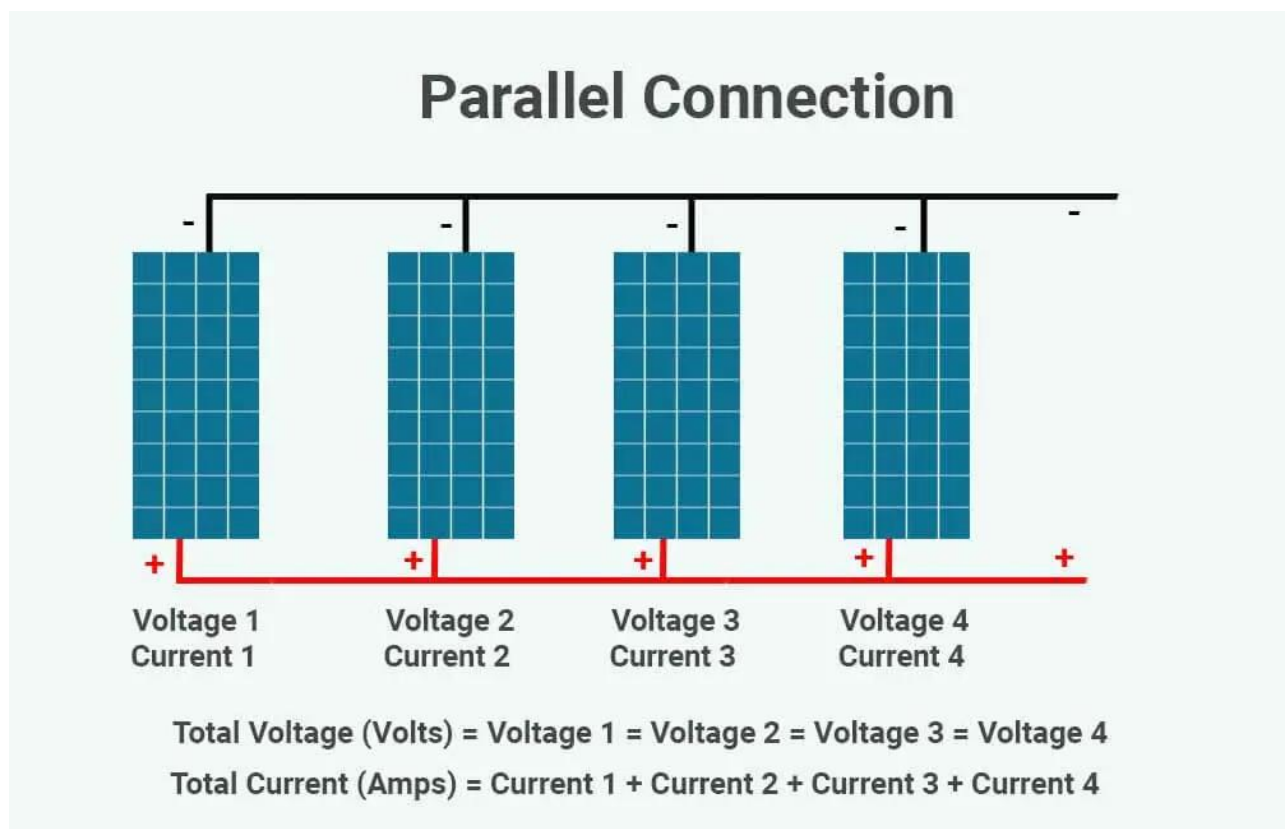
Izvor: <https://www.renewablewise.com/solar-panel-series-vs-parallel/>

Prilikom spajanja solarnih panela u paralelu, sve pozitivne konektore svih postavljenih panela spajamo zajedno, tako i sve negativne konektore spajamo zajedno kako i vidimo na shemi od slike 23. Prilikom spajanja konektora, potrebni su Y-grane konektori sa onolikim brojem ulaza koliko ima i ploča kako bi kombinirali i spojili sve pozitivne konektore u jednu žicu, također će isto trebati i za sve negativne konektore. Osim Y-grana konektora, potrebni su i in-line osigurači koje spajamo direktno na sve pozitivne konektore. Slika 22. prikazuje primjer spoja negativnih konektora položenih na lijevi panel i spoj pozitivnih konektora korištenjem osigurača koji su položeni na desnom panelu.

Paralelno ožičenje solarnih panela uzrokuje povećanje struje, ali napon ostaje isti. Dakle, ako ste paralelno spojili iste ploče od prije, napon sustava bi ostao na 40 volti, ali bi se jačina struje povećala na 10 ampera. [24]

Pomoću paralelnog spoja imamo mogućnost spajanja više ploča, a da ne prekoračimo radni napon invertera. Neki inverteri imaju zahtjev minimalne struje koju možemo ispuniti sa paralelnim spojem panela.

Prednosti su korištenje PWM kontrolera punjenja, koji su jeftiniji u usporedbi s MPPT kontrolerima punjenja. U paralelnoj vezi, ploče rade neovisno jedna o drugoj, što znači ako imamo smetnju na jednoj ploči poput prljavštine, sjene ili kvara, to neće utjecati na proizvodnju energije ostalih ploča u nizu. Isto tako glavni nedostaci su korištenje debljih žica i dodatnih komponenti što otežava i poskupljuje proces instalacije.



Slika 23. – Shema spajanja panela u paralelu

Izvor: <https://www.renewablewise.com/solar-panel-series-vs-parallel/>

10. ODRŽAVANJE SOLARNIH PANELA

Održavanje čistih solarnih panela bitan je dio održavanja njihove optimalne učinkovitosti. Čak i tanak sloj prašine, prljavštine ili krhotina može značajno smanjiti količinu sunčeve svjetlosti koja dopire do solarnih ćelija, što rezultira nižom proizvodnjom energije i smanjenom učinkovitošću. To može dovesti do znatnog smanjenja sposobnosti sustava solarnih panela da generira električnu energiju pri svom maksimalnom potencijalu, kao i do smanjenja ukupne učinkovitosti za čak 30%. [26]

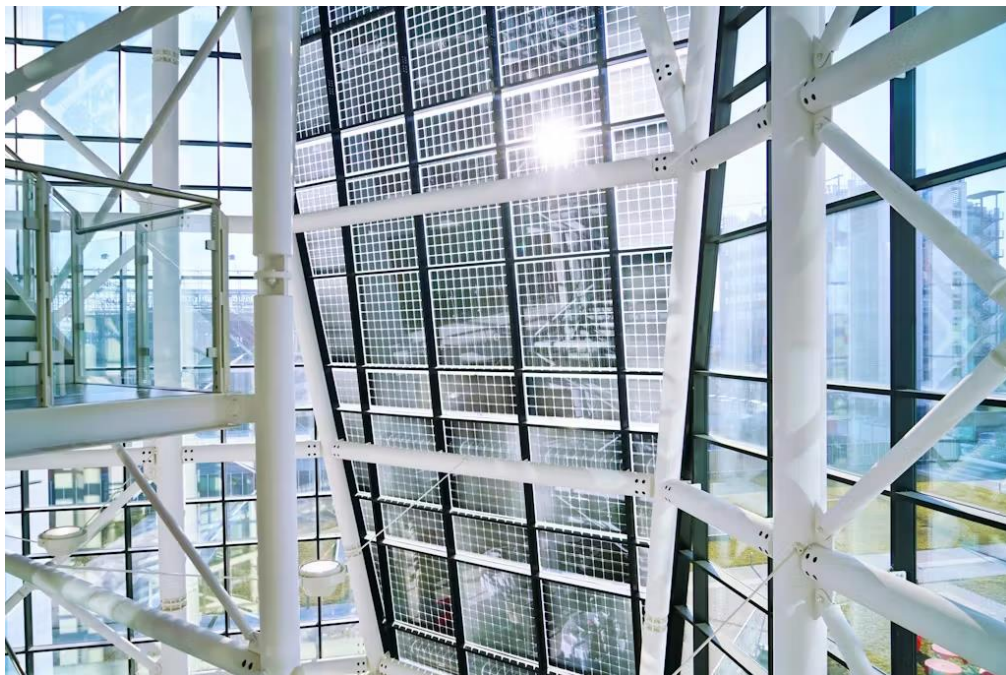
Nekoliko čimbenika utječe na učestalost čišćenja, uključujući lokaciju, vremenske uvjete i okolne zagađivače. Kišni ili snježni uvjeti zapravo mogu učiniti prilično dobar posao čišćenja solarnih panela. Održavanje solarnih panela može zahtijevati samo uzimanje crijeva ili kante s vodom i lagano polijevanje panela. Ako je količina nakupina prevelika ili su paneli zamašćeni od lokalnih industrijskih para, onda se jednostavno može upotrijebiti četka s mekim čekinjama ili brisač za solarne panele, blagi sapun ili posebna otopina za čišćenje i voda.

Osim redovnog čišćenja, može biti potrebno servisiranje solarnih panela kada se dio pokvari ili se doda novi dio opreme. Zamjena pretvarača može biti potrebna zbog kvara na dijelu sustava. Žice su također podložne raznim vremenskim uvjetima, životinjama ili drugim čimbenicima i mogu se lako oštetiti.

11. BUDUĆNOST SOLARNE TEHNOLOGIJE

11.1. Prozirni solarni paneli

Prozirni paneli su među najnovijim tehnologijama, još u razvojnoj fazi svojeg postojanja. Ako uspiju postići svoj konačni oblik, biti će 100% prozirne ploče od staklenog materijala koji će biti u stanju u potpunosti zamijeniti prozore i ostale staklene površine. Znanstvenici su već danas uspjeli izraditi 100% prozirnú ploču, ali njezina učinkovitost je bila samo 1%. U današnjoj primjeni imaju prozirnost od 30-40% i nisu veoma učinkovite što ih čini veoma nepoželjnim. Obično oko pet puta lošije od monokristalnih ploča sa stupnjem učinkovitosti oko 1-10%. Najbolje ih je koristiti na velikim staklenim površinama poput uredskih blokova i nebodera, gdje su u mogućnosti ostvariti ogromnu uštedu energije u usporedbi sa stotinama prozora koje zamijene. [11]



Slika 24. – Prozirni solarni paneli

Izvor: <https://www.sunsave.energy/solar-panels-advice/solar-technology/types>

11.2. Solarni crijepovi

Solarni crijepovi rade na istom principu kao i monokristalni ili polikristalni paneli, ali su izgledom slični kao crijepovi na krovovima kuća. Za razliku od glomaznih panela koji zahtijevaju dodatnu instalaciju koja može izgledati neprivlačno, solarni crijepovi estetski izgledaju privlačnije, ali taj estetski dizajn dolazi sa povećanom cijenom. Korisni su i za postavljanje i unaprjeđenje zaštićenih zgrada i područja na kojima se ne može dobiti

dozvola za postavljanje standardnih panela. Proces postavljanja solarnih crijepova obično je 50% skuplji i traje oko tri puta duže od postavljanja monokristalnih panela. Također su i oko 30% manje učinkovite. [11]



Slika 25. – Solarni crijepovi

Izvor: <https://solarmagazine.com/solar-panels/>

11.3. Solarni paneli od pervoksita

Ovi paneli su na čelu solarnih inovacija. Ove ćelije se izrađuju od jedinstvenog materijala zvanog pervoksit, koji je jeftiniji i lakši za proizvodnju od tradicionalnih silicijskih ćelija, a istovremeno pruža veću učinkovitost i do 30%. Sloj ovog materijala stavlja se na sloj silicija kako bi se stvorio 'tandem' panel. Prednost je u tome što silicij može apsorbirati svjetlost iz crvenog dijela spektra, a perovskit može apsorbirati svjetlost s plavog kraja. [11]

11.4. Bifacijalni solarni paneli

Bifacijalni solarni paneli počinju biti sve popularniji na tržištu. Tradicionalni solarni paneli apsorbiraju svjetlost samo s prednje strane panela, bifacijalni paneli su u mogućnosti apsorbirati svjetlost s obje strane na način da apsorbiraju svjetlost s okolnih reflektirajućih površina ili tla. Na taj način imaju moguću proizvodnju energije do 30%. U 2024. godini bifacijalni paneli su prilagođeni za veći raspon područja rada, što uključuje snježna

područja koja imaju visoku refleksiju od tla ili gradska područja gdje se svjetlost odbija od ostalih zgrada. [27]



Slika 26. – Bifacijalni solarni paneli

Izvor: <https://www.saurenergy.com/solar-energy-blog/explained-bifacial-solar-panel-and-everything-you-need-to-know-about-it>

11.5. Kvantne točkaste solarne ćelije

Kvantne točke su sićušne kuglice napravljene od poluvodičkih nanokristala koje bi mogle zamijeniti sve relativno glomaznije poluvodičke materijale koji se koriste u modernim solarnim pločama. Poznati su i kao umjetni atomi zbog svoje veličine, koja je samo nekoliko nanometara. Ove nanoskopske točkice apsorbiraju mnogo više svjetlosti koju sunce šalje uključujući ultraljubičasto svjetlo što bi moglo znatno povećati učinkovitost solarne ploče, sve do 66%. [11]

11.6. Organski fotonapon

Organske solarne ćelije proizvode električnu energiju na isti način kao i standardne ploče, ali koriste organske poluvodiče umjesto silicija. Paneli koji koriste ovaj organski materijal, koji se obično sastoji od polimera na bazi ugljika, do sada su dosegli učinkovitost od 19,3% , ali su još uvijek blizu početka procesa razvoja.

Korištenje organskih poluvodiča učinilo bi panele lakšim, fleksibilnijim, sposobnim apsorbirati veći dio spektra elektromagnetske svjetlosti i održivijima. [11]

12. ZAKLJUČAK

Kućne solarne elektrane su veliki korak za održivu proizvodnju energije i pomažu pri smanjenju štetnog utjecaja proizvodnje električne energije od strane elektrana koje koriste fosilna goriva. Dostupnost, kvaliteta i korisnost tehnologije solarnih panela je iz godine u godinu sve veća. Iako početni troškovi mogu biti povećani za mnoge vlasnike stambenih objekata postoji sve veći broj subvencija i javnih natječaja od strane država diljem svijeta koji dodatno pomažu u ekonomskoj isplativosti. Kućne solarne elektrane ne samo da pomažu u smanjenju energetske troškova tijekom dužeg perioda, nego i smanjuju oslanjanje na ostale izvore energije i time povećava energetske sigurnost. Naravno osim početnih financijskih poteškoća, postoje i ostale prepreke. Nemaju svi pristupa idealnoj lokaciji ili okolina u kojoj se nalaze im ne dozvoljava potpunu iskoristivost sustava. Redovito održavanje panela može biti iscrpljujuće na područjima s visokim stupnjem zagađenja poput prašine i tvorničkih ispuha. Moderne tehnologije samoodržavanja poput autonomnih sustava čišćenja panela mogu olakšati ili potpuno ukloniti i taj problem. Isto tako implementacija solarnih panela na što više objekata može biti važan korak u borbi protiv klimatskih promjena.

LITERATURA

- [1] Volta Technology d.o.o., dostupno na: <https://www.suncica.co.rs/blog/solarni-paneli-vodic>, pristupljeno 21.12.2024.
- [2] Zelena Energetska Zadruga, dostupno na: https://het.hr/wp-content/uploads/2023/04/Suncana-radionica-LifeLOOP_Cres-2023.pdf, pristupljeno 21.12.2024.
- [3] Dubravko Kolarić: *Hrvatska ima ogromni potencijal za sunčevu energiju*, 24sata d.o.o., 06.2024. (internet), dostupno na: <https://boljaenergija.24sata.hr/hrvatska-ima-ogromni-potencijal-za-suncevu-energiju>, pristupljeno 21.12.2024.
- [4] POWER BOX d.o.o., dostupno na: <https://www.energy2store.hr/kolika-je-dnevna-potrosnja-struje-u-kucanstvu/>, pristupljeno 21.12.2024.
- [5] Off Grid World, dostupno na: <https://offgridworld.com/on-grid-vs-off-grid/>, pristupljeno 22.12.2024.
- [6] GreenCoast.org, dostupno na: <https://greencoast.org/on-grid-vs-off-grid-solar-systems/>, pristupljeno 22.12.2024.
- [7] SOLMAR PROJEKT j.d.o.o., dostupno na: <https://solarno.hr/katalog/18/akumulatori-solarni-12v/>, pristupljeno 22.12.2024.
- [8] Electrical4U, dostupno na: <https://www.electrical4u.com/what-is-a-solar-pv-module/>, pristupljeno 22.12.2024.
- [9] GoGreenSolar.com, dostupno na: <https://www.gogreensolar.com/pages/solar-components-101>, pristupljeno 3.1.2024.
- [10] Velo Solar Co, dostupno na: <https://www.velosolar.com/types-of-solar-panels/>, pristupljeno 3.1.2025.
- [11] Sunsave Co., dostupno na: <https://www.sunsave.energy/solar-panels-advice/solar-technology/types>, pristupljeno 15.1.2025.
- [12] EnergySage Inc., dostupno na: <https://www.energysage.com/solar/solar-racking-overview/>, pristupljeno 7.1.2025.
- [13] SUPRA HI-TECH Electro Equipments PVT. LTD., dostupno na: <https://suprahitech.com/blog/on-grid-vs-off-grid-solar-inverters-key-differences>, pristupljeno 7.1.2025.
- [14] Alles d.o.o., dostupno na: <https://solar.alles.hr/solarni-inverteri-kljucni-elementi-solarnog-sustava/>, pristupljeno 7.1.2025.

- [15] KLIMA KONCEPT d.o.o., dostupno na: https://www.klimakoncept.hr/hr/solarne_elektrane-solarni_inverteri__pretvaraci-/3636/252, pristupljeno 7.1.2025.
- [16] Shilden Co., dostupno na: <https://hr.shieldchannel.com/blogs/solar-panels/components-of-a-solar-energy-system>, pristupljeno 7.1. 2025.
- [17] Forbes Media LLC., dostupno na: <https://www.forbes.com/home-improvement/solar/what-is-a-solar-battery/>, pristupljeno 8.1.2025.
- [18] Catherine Lane: *What are the different types of solar batteries?*, Solar Investments Inc, 01.2025. (internet), <https://www.solarreviews.com/blog/types-of-solar-batteries> pristupljeno 8.1.2025.
- [19] buildex.bigbadmole.com/hr/, dostupno na: <https://buildis.techinfus.com/hr/radiatory/shema-kontrollera-solnechnoj-batarei.html>, pristupljeno 9.1.2025.
- [20] SolVoltaics.com, dostupno na: <https://solvoltaics.com/different-types-of-charge-controllers/>, pristupljeno 9.1.2025.
- [21] DS New Energy Co., dostupno na: <https://hr.dsnsolar.com/info/shading-effect-on-output-of-solar-pv-system-50730633.html>, pristupljeno 10.1.2025.
- [22] solarno.xyz, dostupno na: <https://solarno.xyz/nagib-solarnih-panela/>, pristupljeno 10.1.2025.
- [23] Solar Magazine, dostupno na: <https://solarmagazine.com/solar-installation/solar-panel-connectors/>, pristupljeno 10.1.2025.
- [24] Catherine Lane, Gianna Cappuccio: *How to wire solar panels in series vs. parallel*, SolarReviews, 2024. (internet), dostupno na: <https://www.solarreviews.com/blog/do-you-wire-solar-panels-series-or-parallel>, pristupljeno 12.1. 2025.
- [25] Younes Anas el I.: *Solar Panel Series vs Parallel: Wiring, Differences, and Your Right Choice*, Renewable Wise, 2024. (internet), dostupno na: <https://www.renewablewise.com/solar-panel-series-vs-parallel/>, pristupljeno 12.1.2025.
- [26] Renogy, dostupno na: <https://www.renogy.com/blog/how-to-clean-solar-panels/>, pristupljeno 12.1.2025.
- [27] Renogy, dostupno na: <https://www.renogy.com/blog/bifacial-solar-panels-disadvantages-and-advantages/>, pristupljeno 15.1.2025.