

# Solarni paneli

---

**Sarajlić, Alan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*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:190:022069>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-01**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike

Završni rad

**Solarni paneli**

Rijeka, rujan 2024.

Alan Sarajlić

0069090321

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike

Završni rad

**Solarni paneli**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Rene Prenc

Rijeka, rujan 2024.

Alan Sarajlić

0069090321

Rijeka, 16.03.2024.

Zavod:               Zavod za elektroenergetiku  
Predmet:           Električni strojevi

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik:       **Alan Sarajlić (0069090321)**  
Studij:           Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike  
                      (1030)

Zadatak:           **Solarni paneli / Solar panels**  
Opis zadatka:

U okviru završnog rada pojasnit će se rad solarnih panela. Najprije će se opisati sunčeva energija te u sklopu toga fizikalna slika fotonaponske pretvorbe. Nabrojati će se bitniji događaji u razvoju solarnih panela kroz povijest. Pojasnit će se tehnika poluvodiča te neki od materijala karakterističnih za izradu panela. Definirat će se načini spajanja panela za paralelni rad na sučelju sa mrežom. Bit će objašnjen pojam MPPT regulatora. Zaključno, prikazat će se stanje razvoja obnovljivih izvora u Europskoj uniji i Hrvatskoj, te troškovi ugradnje samih panela.

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

Zadatak uručen pristupniku:   20.03.2024.

Mentor:  
izv. prof. dr. sc. Rene Prenc

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:  
prof. dr. sc. Dubravko Franković

## IZJAVA

Završni rad „Solarni paneli“ napisan je potpuno samostalno pod vodstvom izv. prof.

dr. sc. Rene Prenca, znanje koje sam stekao tijekom studiranja i uz korištenje navedene literature.

Rijeka, rujan 2024.

---

Alan Sarajlić

0069090321

## **Zahvala**

Moja zahvala prvenstveno ide mom mentoru, izv.prof.dr.sc.Rene Prencu. Veliko hvala na pruženim savjetima, strpljenju te uloženom vremenu tijekom izrade rada. Također zahvaljujem i svim profesorima na svom znanju koje su mi pružili tijekom studiranja. Zahvaljujem se i mojoj obitelji, prijateljima i kolegama na ogromnoj podršci i pomoći tokom mog studiranja.

# Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Sunčevo zračenje .....	2
3.	Povijest solarnih panela .....	4
4.	Fotonaponska pretvorba .....	6
4.1	Fotonaponski efekt .....	6
4.2	Poluvodiči .....	7
4.3	Energetske razine (pojasi) .....	8
4.4	Vrste poluvodiča .....	8
4.5	Vodljivost .....	9
4.6	Poluvodič N- tipa .....	9
4.7	Poluvodič P- tipa .....	10
5.	Materijali za izradu panela .....	13
5.1	Monokristalni solarni paneli .....	13
5.2	Polikristalni solarni panel .....	14
5.3	Tanko slojni solarni panel .....	16
6.	Spojevi panela sa mrežom .....	18
6.1	Paralelni spoj .....	18
6.2	Serijski spoj solarnih panela .....	19
6.2.1	Koji je spoj bolji? .....	20
7.	PWM i MPPT regulator (pretvarač) .....	21
7.1	PWM regulator .....	21
7.2	MPPT regulator .....	25
7.3	Primjena MPPT regulatora .....	28
7.4	Usporedba PWM i MPPT regulatora .....	28
8.	Razvoj obnovljivih izvora u Europskoj uniji i Hrvatskoj .....	29
9.	Ugradnja solarnih panela .....	31
9.1	Program za solarne panele CYPELEC PV Systems .....	32
9.2	PVGIS .....	34
10.	Zaključak .....	36
11.	Literatura .....	37
12.	Popis slika .....	39

13.	Popis tablica .....	40
14.	Sažetak .....	41
15.	ABSTRACT .....	42



## 1. Uvod

U svijetu imamo raznolike oblike energije, no možemo ih razvrstati na ekološki prihvatljive i neprihvatljive izvore energije. Među neprihvatljive izvore ubrajamo fosilna goriva (ugljen, nafta, zemni plin), dok u obnovljive izvore spadaju vodne snage (valovi, vodotoci, plime i oseke), energija Sunca, vjetra.

Sunčeva energija, najbitnija za solarne panele, pretvara se u toplinsku energiju ili u električnu što su uistinu korisni oblici energije. Poznato je da je u našoj sadašnjici električna energija najučinkovitiji oblik energije koji se na veoma jednostavan način pretvara u koristan rad.

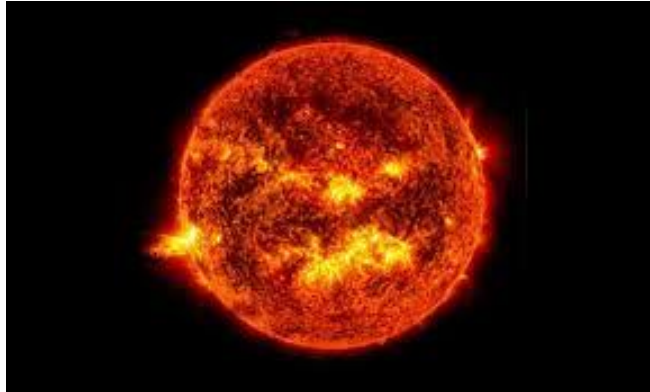
Za pretvorbu sunčeve svjetlosti u električnu koriste se fotonaponske ćelije. Fotonaponske elektrane upotrebljavaju široku primjenu tih ćelija. Solarni panel je napravljen od skupina PV ćelija povezanih u jedno. Imamo podjelu na organske i neorganske te podjelu gdje se gleda silicij. U uporabi su najčešće PV paneli napravljeni od silicija. Solarni paneli mogu se koristiti za široku paletu aplikacija, uključujući tako sustave daljinskog napajanja za kabine, telekomunikacijsku opremu, daljinsko očitavanje i za proizvodnju električne energije u stambenim i komercijalnim solarnim električnim sustavima .

Prvo ranije otkriće pretvaranja svjetlosti u električnu energiju je uočio u 18. stoljeću francuski fizičar Alexandre-Edmond Becquerel 1839. godine. Kako je tehnologija napredovala i razvijala se tako je i želja i mogućnost za solarnim elektranama rasla.

U ovom radu pojasnit će se rad solarnih panela i fizikalna slika fotonaponske pretorbe. Proć će se kroz povijest bitnijih događaja u otkriću solarnih panela. Pojasnit će se tehnika poluvodiča te neki od materijala za izradu panela. Zaključno, prikazat će se stanje razvoja obnovljivih izvora u Europskoj uniji i Hrvatskoj, te troškovi ugradnje samih panela.

## 2. Sunčevo zračenje

Ponajveći i najjači izvor energije je Sunce. Sunčeva svjetlost koristi se za grijanje, rasvjetu i hlađenje kuća i drugih objekata, proizvodnju električne energije, zagrijavanje vode i još mnogo drugih primjena. Sunce nam direktno ili indirektno pruža većinu oblika ekološki prihvatljivih izvora energije [1].



*Slika 2.1 Sunce*

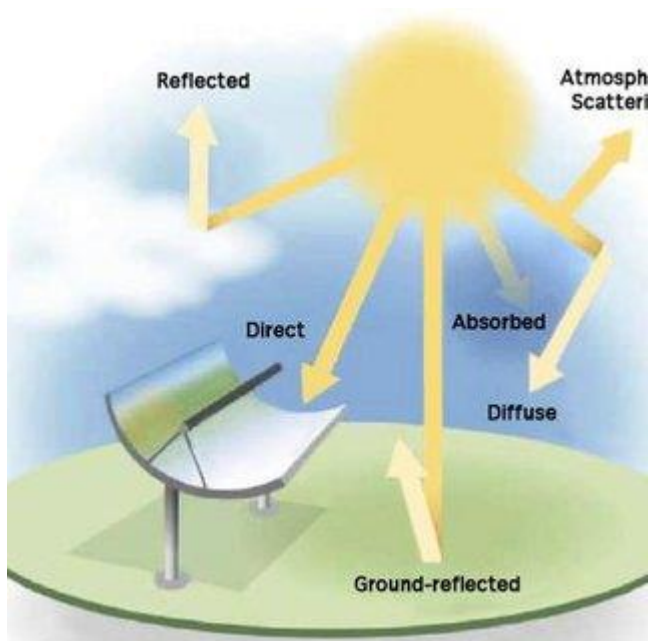
Temperatura njegovog središta iznosi do 15 milijuna °C, a u njemu se odvijaju nuklearne reakcije čija je posljedica sunčeva energija. Proces u kojem pri spajanju vodikovih atoma nastaje helij te se oslobađa znatna količina energije naziva se fuzija. Iz sekunde u sekundu, pri ovom procesu, oko 600 milijuna tona vodika prelazi u helij, a uz to se masa od okvirnih 4 milijuna tona vodika pretvara u energiju. Maleni dio te energije dolazi i do našeg planeta Zemlje zbog širenja te energije prema svemiru u obliku topline i svjetlosti. Procijenjena starost Sunca je oko 5 milijardi godina, a ekvivalentno tome se i na njemu odvija prethodno objašnjen proces. S obzirom na količine vodika koje imamo na raspolaganju, pretpostavlja se da će se proces odvijati još toliko godina [2].

Sunčevo zračenje bitno je za Zemlju, jer stvara klimu na njoj te utječe na ukupnu okolicu oko nas. Spektri poput radio-valova, mikrovalova, infracrvenog zračenja, vidljive svjetlosti, ultraljubičastog zračenja, X-zraka i Y-zraka spadaju pod Sunčevo zračenje. IC zračenje karakterizira najveći dio energije (valne duljine  $> 760$  nm), vidljiva svjetlost (valne duljine 400 – 760 nm) te na kraju UV zračenje. Udio u spektru čine sljedećim redoslijedom: 40 % IC zračenje, UV zračenje oko 10%, a 50 % vidljiva svjetlost [3].

Zračenje Sunca računa se sa mjernom jedinicom  $W/m^2$ .

Ovisno o kutu upada Sunčevog zračenja na Zemlju dijelimo ih na:

- izravno – pada iz smjera Sunca
- raspršeno - Sunčevo zračenje se rasprši u atmosferi te do površina dopire iz svih smjerova
- ukupno - na horizontalnoj plohi postoji izravno i raspršeno zračenje, dok nagnuta ploha osim ta dva upija i zračenje tla nakon odbijanja
- odbijeno -dio zračenja odbijen od vodenih površina ili od tla [3]



Slika 2.2 Vrste zračenja

### 3. Povijest solarnih panela

Kada se govori o ovoj temi, uključen je izraz "fotonaponsko" ("photovoltaic") što prema Greima (phos) znači "svjetlost" te "volt" što znači električno prema imenu talijanskog fizičara Volta koji je poznat zbog mjerne jedinice elektromotorne sile, koja je također po njemu dobila ime. Pojam "fotonaponsko" ("photo-voltaic") je u engleskom jeziku u upotrebi od 1849.

Godine 1839., otkriven je fotonaponski efekt zahvaljujući 19-godišnjem fizičaru Edmondu Becquerelu iz Francuske. Efekt je otkriven na način da ćelija koja sadrži metalne elektrode u vodljivoj otopini proizvodi više električne energije kad je pod svjetlom. To je bio prvi primjerak fotonaponske ćelije.

Prvu solarnu ćeliju uspješno je napravio Charles Fritts 1883. Charles je koristio vrlo tanak sloj zlata na selenskom poluvodiču kako bi napravio poluvodički metalni spoj, a uređaj ima učinkovitost od samo 1%. Do 1930-ih godina, mjerač ekspozicije kamere uvelike je koristio princip fotoelektričnog ponašanja.

U 1950-im godinama, s postupnim razumijevanjem fizikalnih svojstava poluvodiča i napretkom tehnologije obrade, Calvin Fuller, Daryl Chapin i Gerald Pearson u tvrtci Bell Labs u Sjedinjenim Državama koristili su poluvodiče kao eksperiment, te otkrili da je silicij osjetljiviji na svjetlost nakon određenih količina nečistoća odnosno dopiranja. Nakon ovog fenomena, prva solarna ćelija napravljena je u Bell Labsu 1954. godine. Ćelije su prvobitno bile za male potrebe i igračke, jer je struja bila skupa tada, odnosno cijena ćelije koja je proizvodila 1W snage pri užarenom Suncu iznosila je \$250 u odnosu na \$2-\$3 za elektranu na ugljen. Konačno je stigla era tehnologije solarnih ćelija.

Da se solarne ćelije ne bi prestale koristiti predloženo je da ih se montira na satelit Vanguard 1. Prvobitno se satelit trebao napajati pomoću baterija i ne bi dugo trajao. Međutim montiranjem ćelija satelit je mogao puno duže ostati pod radom te se misija produžila. Tu su se ćelije pokazale kao odlična stvar te ubrzo nakon toga su dodane na ostale satelite [4].



*Slika 3.1 satelit Vanguard 1*

Godine 1973. dogodila se naftna kriza i ljudi su počeli primjenjivati solarne ćelije na opće potrebe ljudi. U Sjedinjenim Američkim Državama, Japanu, Izraelu i drugim zemljama korišten je veliki broj uređaja za solarnu energiju, te je napredao cilj komercijalizacije.

Trenutno materijali solarnih panela uključuju solarne ploče od monokristalnog silicija, solarne ploče od polikristalnog silicija i solarne ploče od amornog silicija. Stoga su materijali od kristalnog silicija (uključujući polikristalni silicij i monokristalni silicij) jako bitni fotonaponski materijali, s tržišnim udjelom većim od 90% i ostat će glavni materijali za solarne panele u dugom vremenskom razdoblju u budućnosti.

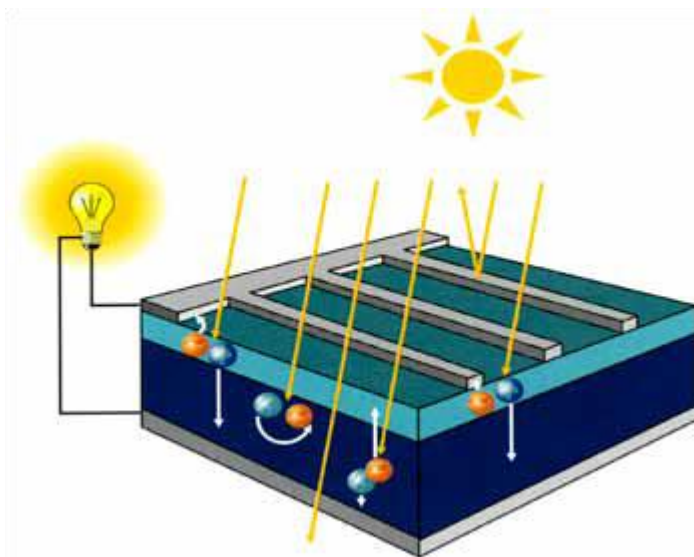
3 glavne zemlje za proizvodnju su bile Japan, Njemačka i SAD sa čak 7 tvrtki unutar te 3 zemlje. To je stvaralo tehnološku blokadu i tržišni monopol [5].

## 4. Fotonaponska pretvorba

Fotonaponska pretvorba energije je proces pretvaranja sunčeve svjetlosti u električnu energiju. Ova se pretvorba temelji na fotonaponskom efektu, koji se javlja kada određeni materijali generiraju električnu struju pri izlaganju svjetlosti. Fotonaponska pretvorba energije postala je sve popularnija posljednjih godina zbog svojih prednosti za okoliš i sve nižih cijena solarnih panela. Fotonaponska pretvorba energije ima široko polje primjena, od malih kuća do velikih postrojenja. Solarne ploče mogu se postaviti na krovove, na otvorena polja ili čak ugraditi u građevinske materijale kako bi se osigurala što čišća energija [6].

### 4.1 Fotonaponski efekt

PV ćelije napravljene su dvoslojno – pozitivno i negativno, a jačina sunčeva zračenja određuje razliku potencijala između ta 2 sloja. Sunčeva energija dolazi na planet kao foton. Foton je osnovni dio energije elektromagnetskoga zračenja. Kada dođe do dodira između fotona i solarnog panela, foton preda energiju na PV panel i tako maknu elektrone koji su negativno nabijeni iz atoma. Elektroni se pomiču prema negativnoj polovici solarnog panela i tako se stvara razlika potencijala. PV ćelije izrađuju se od silicija koji je jedan od najbrojnijih elemenata [7].



Slika 4.1 Generiranje električne energije [7]

Energija za oslobađanje elektrona od atoma zove se izlazni rad  $W_i$ . Ovisi o materijalu gdje se napravio fotonaponski efekt.

$$E = h \times \nu$$

Gdje je :

E- energija fotona

h- Planckova konstanta

$\nu$ - frekvencija fotona

## 4.2 Poluvodiči

Unutar poluvodiča u osiromašenom djelu PN spoja nalazi se električno polje. Poluvodiči osim elektrona imaju i šupljine koje nose naboj te su bitni za nastajanje slobodnih elektrona. Slobodni elektron kada nastane od valentnog elektrona napravi šupljinu. To se zove generacija, a kada slobodni elektron dođe na mjesto šupljine to se zove rekombinacija. U blizini osiromašenog područja P strana poluvodiča povlači šupljine dok N strana povlači elektrone. Elektromotorna sila nastaje na način što se šupljine i elektroni nalaze na suprotnim krajevima. Spojimo li na to trošilo dobijemo struju i električnu energiju. Solarni paneli na ovaj princip izrađuju napon. Korisnost ćelije dobije se omjerom električne snage ćelije i snage sunčeva zračenja [8]. To se može izraziti na ovakav način:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{sol}} = \frac{U \times I}{E \times A}$$

Gdje je:

$P_{el}$ - izlazna električna energija

$P_{sol}$ - snaga zračenja (sunčevog)

U- napon

I - ef. vrijednost struje

E- specifična snaga zračenja

A- površina

### 4.3 Energetske razine (pojasi)

Poluvodiči se sastoje od energetskih razina. Zbog velike blizine razina stvaraju kontinuirani pojas, tj. zonu. Ovisno koji je materijal broj i veličina zona može se mijenjati. Pojas koji je popunjen elektronima naziva se valentni pojas. Vodljivi pojas je popunjen potpuno ili jednim dijelom sa elektronima. Pojas koji dijeli te dvije zone zove se zabranjeni energetski pojas. Hoće li materijal biti poluvodič, izolator ili vodič ovisi o elektronskoj strukturi. Kod izolatora zabranjeni pojas je jako veliki između valentnog i vodljivog pojasa te je zato taj materijal izolator. Primjerice, kod metala elektroni su slabije vezani za atome te se oni lako gibaju kada dođe električno polje do njih [9].



Slika 4.2 Pojasi poluvodiča

### 4.4 Vrste poluvodiča

Razlikujemo 2 vrste poluvodiča. One su intrinzični poluvodič i ekstrinzični poluvodič. Poluvodič koji je napravljen od samo jednog elementa, bez primjesa drugih je intrinzični. Za kristal se smatra da je idealan strukturom, odnosno da ima pravilnu geometrijsku formu. Pretpostavlja se da su svi atomi na svom položaju te da ne postoji atom koji je van pozicije. Za proučavanje osnovnih procesa i pojava takav kristal se smatra idealnim. Četiri valentna elektrona razmještena su između četiri susjedna atoma i povezani su u parove stvarajući kovalentnu vezu. Kad su te veze ispunjene, svi su valentni elektroni povezani za svoj atom te se oni ne mogu gibati kroz kristal. Takva situacija postoji na temperaturi apsolutne nule.



Rastom temperature atomi jače titraju unutar kristalne rešetke. Pokoji elektron u slučaju dobivanja velike količine energije se zna osloboditi svoje kovalentne veze. Taj slobodni elektron više nije povezan za neke atome pa se gotovo slobodno giba unutar kristala, te on nosi električnu struju kroz kristal.

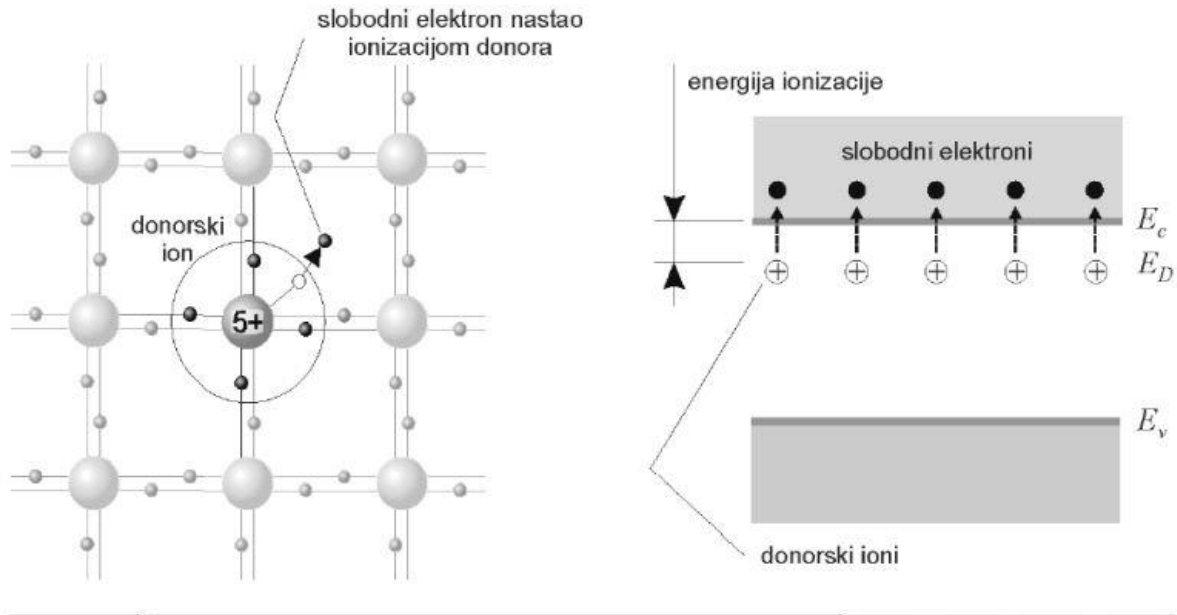
Kod ekstrinzičnih poluvodiča imamo atome drugih elemenata, koji se zovu primjese te se njih ne da nikada u potpunosti maknuti. Sa njihovom ekstremno niskom koncentracijom, one nemaju utjecaja na električna svojstva poluvodiča. Ukoliko su primjese prisutne u većoj koncentraciji njihov značaj na električna svojstva poluvodiča je dominantno unutar nekoga intervala temperatura. Poluvodiči su jako korisni u elektronici zbog toga što malo promjenom koncentracije primjesa mijenjamo svojstvo poluvodiča. Najbitnije primjese su one koje se dodaju siliciju ili germaniju u točno određenom broju sa točnim tehnološkim postupkom.

#### **4.5 Vodljivost**

Postoje dvije vrste vodljivosti: N tip i P tip. Ukoliko se krajevi kristala spoje na izvor napajanja, kroz njega poteče struja. Nosioci te struje su šupljine i slobodni elektroni. Elektroni se tada kreću prema pozitivnoj strani izvora. Zbog tih gibanja elektrona vodljivost zovemo N-tip vodljivosti. U isto vrijeme se šupljine gibaju u suprotnom smjeru od elektrona odnosno prema negativnoj strani izvora. Električno polje stvara male skokove jednog po jednog elektrona prema šupljini. Pri tom skoku elektron se pomakne prema plusu, a šupljina prema minusu. To gibanje šupljina je P-tip vodljivosti. Lakše je pratiti gibanje šupljina nego gibanje elektrona koji se skokovito mijenjaju od atoma s punim kovalentnim vezama do atoma s manjkom 1 elektrona pa na taj način opisujemo vođenje struje.

#### **4.6 Poluvodič N- tipa**

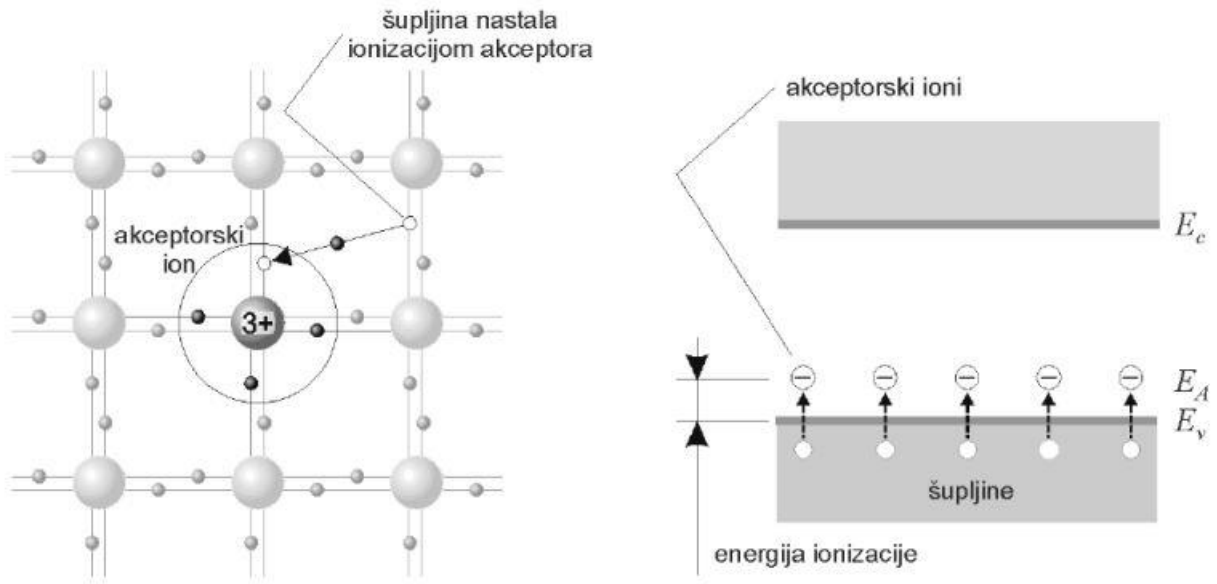
Ova vrsta poluvodiča stvara se kad se poluvodiču doda primjesa koja je peterovalentna, među koje spadaju fosfor, arsen, dušik i antimon. Kristal silicija i germanija okružuju 4 susjeda. Svaki atom ima 4 valentna elektrona. Ako regularan atom zamijenimo sa atomom 5 skupine, 4 elektrona su valentno spojena dok je jedan elektron slobodan. Posljedica tome je stvaranje donorskog pojasa unutar zabranjenog pojasa. Dodavanjem neke energije poput zagrijavanja poluvodiča elektroni od primjese dođu u vodljivi pojas te se kreću gibati. Ionizirani donor ima pozitivan naboj. Razbijaju se valentne veze te se također stvaraju nosioci u parovima, i zbog toga će u poluvodiču postojati određena koncentracija šupljina. Koncentracija elektrona biti će puno veća od koncentracije šupljina. Većinski nosioci su onda elektroni, a šupljine su manjinski nosioci. Zbog većinskih nosioca elektrona ovaj tip poluvodiča se zove N-tip.



Slika 4.3 Prikaz rešetki N-tipa poluvodiča

#### 4.7 Poluvodič P- tipa

Ova vrsta poluvodiča nastaje kada se poluvodiču doda trovalentna nečistoća, a to su bor, galij, aluminij i indij. Popunjavanjem nedostatka jednog elektrona iz susjedne valentne veze nastavlja se proces kompletiranja trovalentne veze kojoj je falio jedan elektron. Kao i kod N tipa poluvodiča lakše je pratiti šupljine koje nose pozitivan naboj suprotno gibanju valentnih elektrona. Pošto trovalentne nečistoće finaliziraju valentnu vezu pomoću elektrona iz valentne zone onda se zovu akceptori. Taj poluvodič ima naziv P-tip poluvodiča jer ima pozitivne šupljine koje većinski nose naboj.



Slika 4.4 Prikaz rešetki P-tipa poluvodiča

Električnu neutralnost poluvodiča dobijemo tako što zbroj svih nosioca pozitivnog i negativnog naboja mora biti jednak po apsolutnoj vrijednosti. Dodamo li poluvodiču Nd donora i Na akceptora neutralnost možemo izraziti jednačbom:

$$p + Nd = n + Na$$

Gdje je :

p- šupljine

n- elektroni

Nd- koncentracija donora

Na- koncentracija akceptora

Ova jednačba vrijedi samo za temperature gdje su akceptorski i donorski atomi ionizirani. N tip poluvodiča ima  $N_a=0$  i broj elektrona je veći od šupljina, pa je tada  $p+N_d=n$ , gdje su šupljine manjinski nosioci pa je tada  $n\approx N_d$ . To znači da N tip poluvodiča ima istu ili približno jednaku koncentraciju elektrona i donorskih atoma te se onda koncentracija slobodnih elektrona može kontrolirati. Tu se pokazuje bitna razlika u karakteristikama čistog poluvodiča kod kojih koncentracija nosilaca naboja jako ovisi o temperaturi i ne može se kontrolirati.

## 5. Materijali za izradu panela

U izgradnji solarnih panela najčešće se upotrebljava silicij. Lako je dostupan i jeftiniji od drugih materijala, a ima odlična svojstva. Podjelu panela s obzirom na materijal dijelimo na: monokristalni, polikristalni i tanko slojni solarni paneli. Zapravo najveća razlika između njih je u upravo tim solarnim ćelijama. Solarne ćelije imaju istu ulogu u solarnom sustavu. Pretvaranje sunčeve energije u električnu.

### 5.1 Monokristalni solarni paneli

Monokristalni solarni paneli često su skupi zbog proizvodnje, koji koriste velike količine visokokvalitetnog silicija i veliku količinu energije. Monokristalni solarni paneli sastavljeni su od solarnih ćelija napravljenih od jednog kristala silicija. Monokristalne solarne ćelije imaju efikasnost oko 20% pri pretvaranju sunčeve svjetlosti u električnu energiju. Za proizvodnju PV ćelija za monokristalni solarni panel, silicij se proizvodi u šipkama i reže na pločice. Zbog toga se ove vrste panela zovu "monokristalni" da bi se pokazalo da je korišten monokristalni silicij. Budući da je solarna ćelija napravljena od jednog kristala, elektroni koji omogućuju protok električne energije imaju više prostora za kretanje. To je razlog zašto monokristalni solarni paneli imaju veću učinkovitost od polikristalnih solarnih panela. PV paneli izrađeni od monokristalnih ćelija smatraju se odličnim solarnim proizvodom.

Neke od benefita monokristalnih solarnih panela su :

- Veća efikasnost na malom prostoru. Dokazano davaju najviše snage i električne energije na malom prostoru poput malih krovova.
- Dug životni vijek. Od 20 do 30 godina garancije trajanja.
- Estetski bolji izgled.
- Bolji rad na manje osvijetljenim mjestima.

Nedostaci monokristalnih solarnih panela su :

- Dosta skupa cijena zbog same proizvodnje.
- Ako su prekriveni prljavštinom, snijegom itd. to im znatno može utjecati na solarni sustav.



*Slika 5.1 Monokristalni solarni panel*

## **5.2 Polikristalni solarni panel**

Polikristalni solarni paneli imaju nižu efikasnost, no imaju niže cijene. Plave su boje za razliku od crnih monokristalnih solarnih panela. Kao i monokristalni paneli izrađuju se od silicija. Umjesto jednog kristala silicija za polikristalni solarni panel silicij se topi u mnogo dijelova kako bi se formirale pločice za ploču. Drugo ime im je „višekristalni“ solarni paneli. Pošto svaka ćelija ima puno više komada kristala silicija elektroni nemaju puno prostora za gibanje. To je razlog niže učinkovitosti polikristalnog solarnog panela [10].

Prednosti polikristalnih solarnih panela:

- niže cijene zato što je i proizvodnja njih samih jeftinija
- imaju manju toplinsku toleranciju
- učinkovitost je oko 15%

Nedostatci polikristalnih solarnih panela:

- zbog manje čistoće silicija kod ove vrste panela imamo manju efikasnost
- zbog manje efikasnosti njima treba veća površina da bi proizveli više energije



*Slika 5.2 Polikristalni solarni panel*

### **5.3 Tanko slojni solarni panel**

Solarni paneli tankog sloja napravljeni su od tankog sloja nanešenog materijala poput plastike ili stakla. Ima više vrsta tankoslojnih PV panela poput kadmijum telurid, amorfni silicij i bakar indijum galij selenid poznatiji kao CIGS. Za razliku od polikristalnih i monokristalnih solarnih panela tankoslojni paneli su u potpunosti crne boje, bez okvira u kojem su inače silicijske ćelije. Lagani su i fleksibilni što ih čini jednostavnim za montiranje.

Nedostatci tanko slojnih solarnih panela:

Niska učinkovitost od svega 5 do 13% zbog debljine materijala koji se koristi u izradi tankoslojnih solarnih panela. Puno manje elektrona je pobuđeno energijom Sunca, što daje slabije stvaranje električne energije.

Prednosti tanko slojnih solarnih panela:

Prednost im je ta što se mogu napraviti koristeći manje energije od kristalnih PV panela te su uz to lakši, rastezljiviji i fleksibilniji. Dobro rade u mjestima slabije rasvjete i na visokim temperaturama. Zato su u nekim određenim uvjetima odlični za primijeniti.





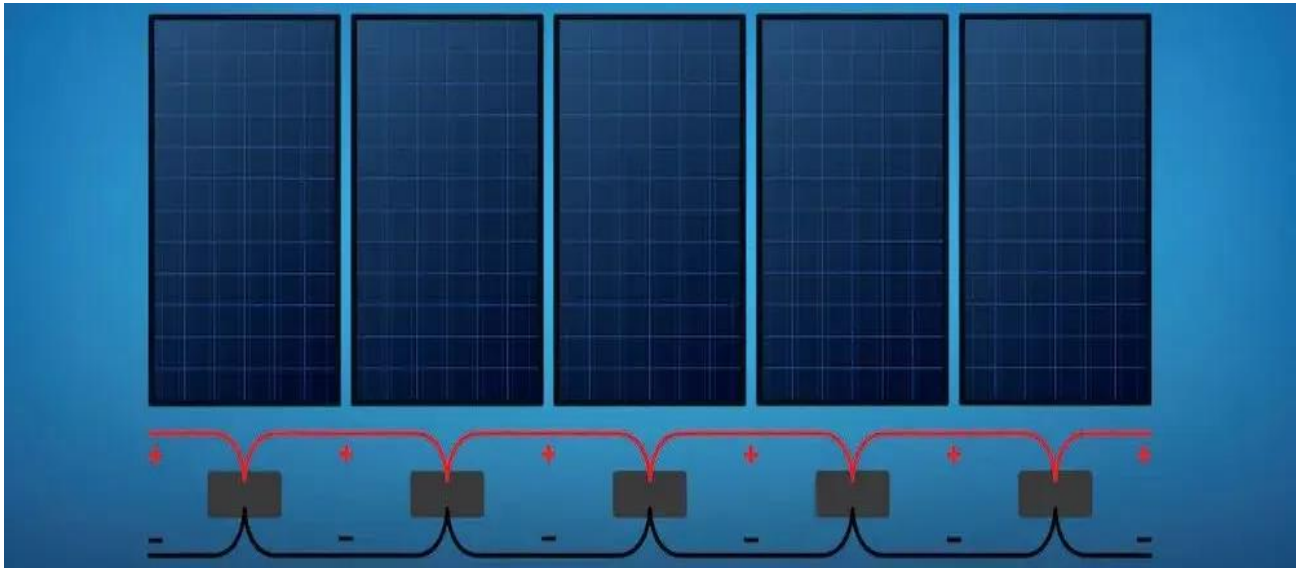
*Slika 5.3 Tanko slojni solarni panel*

Tanko slojni solarni paneli davaju alternativu tradicionalnim panelima i mogu biti ponekad i bolji izbor u situacijama kada su težina i fleksibilnost prioriteta. Kao i svaka tehnologija, imaju svoje prednosti i mane, pa je važno dobro istražiti opcije prije nego što se odlučite za solarni sistem [11].

## 6. Spojevi panela sa mrežom

### 6.1 Paralelni spoj

Kada govorimo o paralelno spojenim panelima, pozitivan terminal jednog spojen je na pozitivan terminal drugog, dok su negativni terminali ta dva panela spojeni zajedno. Unutar kombinirane kutije nalazi se pozitivan i negativan konektor. Na pozitivan su spojene pozitivne žice, a na negativan su negativne. PV izlazni krug je naziv za više ploča koje su spojene paralelno.



*Slika 6.1 Paralelni spoj solarnih panela*

Paralelno spajanje PV panela dovodi do povećanja struje, tj. amperaže, dok napon ostaje identičan. Primjerice, dođe li do paralelnog spajanja dvaju PV panela od 40 volti i 5 ampera, jačina struje bila bi povećana za 10 ampera, a napon bi ostao jednak, odnosno 40 volti.

Paralelno ožičenje pruža mogućnost posjedovanja nekolicine solarnih ploča koje neće prijeći ograničenje radnog napona određenog pretvarača bez obzira na energiju koju proizvode. Također, inverteri imaju određenu granicu amperaže koja može biti zadovoljena paralelnim ožičenjem PV panela.

Prednosti:

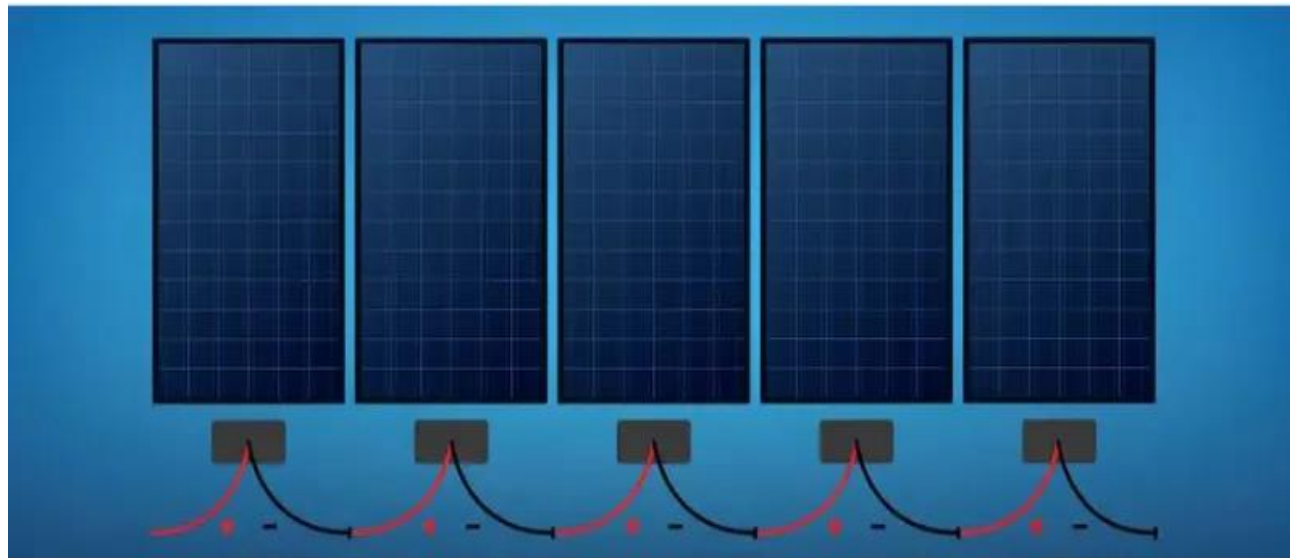
- u slučaju kvara ili loše izvedbe nekog panela, utjecaj na ostatak sustava, na ostale panele bit će minimalan
- optimalno za niskonaponske sustave (kamp kućice ili balkonski sustavi)
- zahvaljujući nižem naponu manja je šansa električnog rizika

Nedostatci:

- složenija instalacija i veći broj ožičenja su nužni kod paralelnih sustava
- do štete ili manje učinkovitosti dolazi u slučaju različitih panela [13]

## 6.2 Serijski spoj solarnih panela

Solarni panel sastoji se od 2 terminala: pozitivnog i negativnog. Serijski spoj napravljen je na način da se spoji pozitivni terminal sa negativnim. Fotonaponski izvorni krug je spoj 2 ili više panela na princip opisan rečenicu prije.



*Slika 6.2 Serijski spojeni solarni paneli*

Serijski spojeni solarni paneli daju zbroj napona, a jednaku nepromijenjenu amperažu. Znači ako koristimo solarne panele, na primjer 2 komada sa naponom 40 V i strujom od 5 A, napon raste na 80V, a struja ostaje na 5 A.

Važno je povećanje napona u serijskom spoju zbog solarnog energetskog sustava koji mora funkcionirati na zadanom naponu da bi pretvarač radio.

Dakle, spajamo solarne panele po radnim uvjetima pretvarača [12].

Prednosti:

- veći napon znači i veća snaga što nam omogućuje bolje skladištenje energije i brže punjenje energijom
- malo ožičavanje
- serijski spoj smanjuje gubitak snage
- bolji rad u uvjetima slabog svjetla

Nedostatci:

- Učinkovitost cijelog serijskog sustava može pokvariti jedan solarni panel. Kvar jednoga panela utječe i na ostale solarne panele
- ovaj sustav zahtjeva visokonaponski tolerantan pretvarač [13]

### 6.2.1 Koji je spoj bolji?

Paralelno ožičenje omogućuje kontinuirani rad ploča, čak i u slučaju neispravnosti jedne, pa je zato i bolja opcija za brojne električne primjene. Međutim, nije apsolutno uvijek najbolja opcija. U nekim slučajevima je potrebno ispuniti određene zahtjeve napona kako bi se omogućilo da pretvarač radi.

PV ploča radi najbolje u slučaju postignute kritične ravnoteže napona i jakosti struje. Stoga, većinom će instalater solarne energije napraviti solarni niz kombiniranjem serijskih i paralelnih veza.

## **7. PWM i MPPT regulator (pretvarač)**

U osiguravanju efikasnog punjenja baterija solarnom energijom glavnu ulogu imaju solarni regulatori napajanja koji su neophodni u skoro svim solarnim sustavima u kojima se koriste baterije. Njegov posao je, kao što sam naziv govori, reguliranje snage koja se kreće prema baterijama od PV panela. Moguće su dvije posljedice u slučaju prekomjernog punjenja baterije. Prva, a i minimalna, je da će trajnost baterije biti smanjena, dok je druga, maksimalna, oštećenje baterije do točke neupotrebljivosti.

Najjednostavniji regulator napunjenosti na jednostavan način kontrolira napon akumulatora te otvara krug, a zatim zaustavlja punjenje kada napon dostigne određenu razinu. Nešto stariji regulatori se koriste mehaničkim relejem za zatvaranje ili otvaranje kruga, odnosno zaustavljanje ili uključivanje napajanja na baterije [14].

### **7.1 PWM regulator**

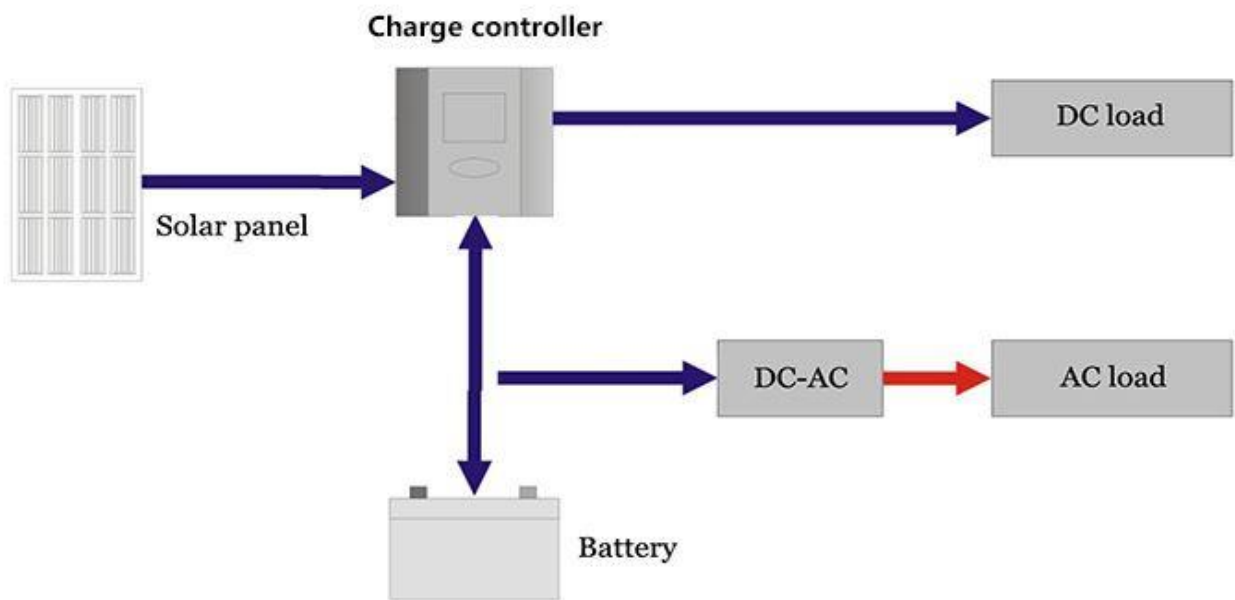
PWM regulatori smatrani su tradicionalnom tehnologijom koja se bavi kontrolom napona izlazne struje PV panela. Također, prilagođavanjem širine impulsa signala koji putuje prema bateriji, održavaju bateriju na određenom naponu punjenja. Prilikom dosega krajnjeg, ciljnog napona, regulator je tu da prekine punjenje time onemogućavajući prekomjerno punjenje. PWM kontroleri su zbog svoje cijene, koja je jeftinija u odnosu na MPPT kontrolere, privlačniji i bolji izbor za nešto manje solarne sustave u uvjetima stabilnog osvjetljenja.



*Slika 7.1 PWM kontroler*

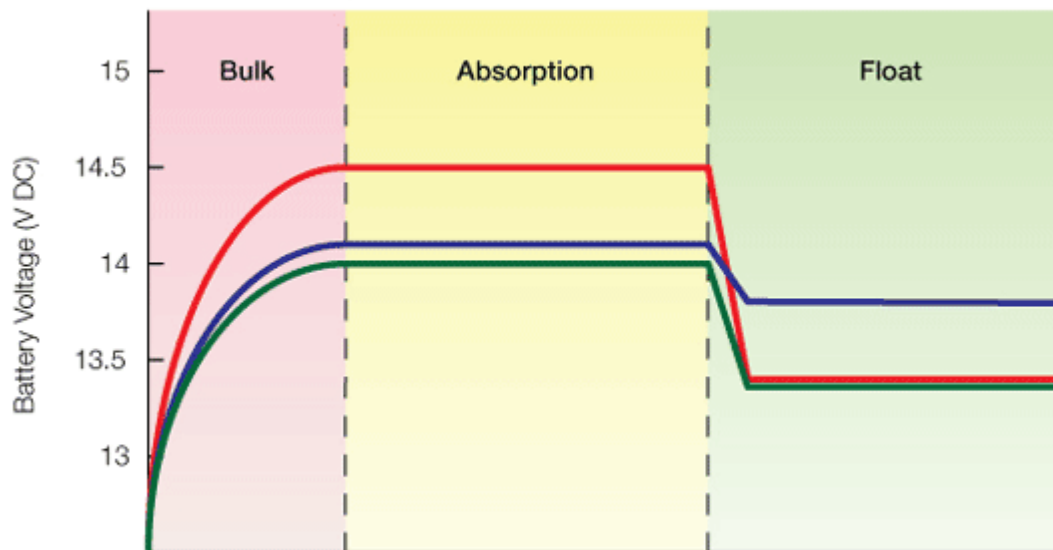
PWM regulator je ograničen što se tiče optimizacije proizvedene energije solarnog panela. Za razliku od MPPT regulatora PWM ne koristi maksimalnu točku snage. To znači da ne upotrebljava maksimalnu snagu pri korištenju.

Da se baterije ne bi prekomjerno punile služi regulator napunjenosti koji se nalazi između panela i baterije. Algoritam regulatora napunjenosti definira efikasnost punjenja baterije i iskorištenja solarnih panela što na kraju utječe na sposobnost sustava da zadovolji zahtjeve opterećenja i trajanje baterije.



Slika 7.2 PWM upravljanje sustava

PWM regulator ima 3 faze PWM punjenja.



Slika 7.3 3 faze punjenja

U prvoj zoni pod nazivom „bulk charge“ vrši se punjenje baterije. U ovoj fazi napon i struja su najveći te punjač to koristi. Apsorpcija baterije je gornja razina punjenja baterije bez pregrijavanja. Za običnu 12 V bateriju napon doseže do 14.5 V, dok neke ostale baterije mogu ići još više. Ako imamo punjač od 10 A i otpor baterije dopusti, punjač će puniti sa svih 10 A. U ovoj fazi nema rizika od prepunjenja jer baterija nije puna do kraja.

Druga faza zvana „absorption charge“ radi na princip da zadnjih 80 % punjenja drži napon konstantnim, a struju polako smanjuje. Absorption stage smart punjači prepoznaju otpor baterije i napon prije punjenja. Nakon detekcije, punjač odlučuje kojim stupnjom ispravno puniti. U fazi apsorpcije donja vrijednost struje koja je ušla u bateriju osigurano puni bateriju bez straha od grijanja. Zadnjih 20 posto punjenja traje dosta duže od prvih 20 posto punjenja. To je zbog smanjivanja struje u zadnjih 20 posto.

Treća faza PWM regulatora zove se „float charge“. Float punjači ulaze u float mode oko 85 %, a druge vrste oko 95%. Na bilo koji način punjač dovede bateriju do 100 posto punjivosti. Napon će polako padati i držati konstantu na 13.2-13.4 V. To je maksimalni napon za bateriju od 12 V koji ona može držati. Struja kao i napon pada do točke gdje se to naziva „tekući punjač“. Ta faza je „tekuća“ faza punjenja gdje punjač puni bateriju stalno, ali na siguran način. Sigurno je pustiti bateriju u „tekućoj“ fazi punjenja mjesecima, čak i godinama [15].

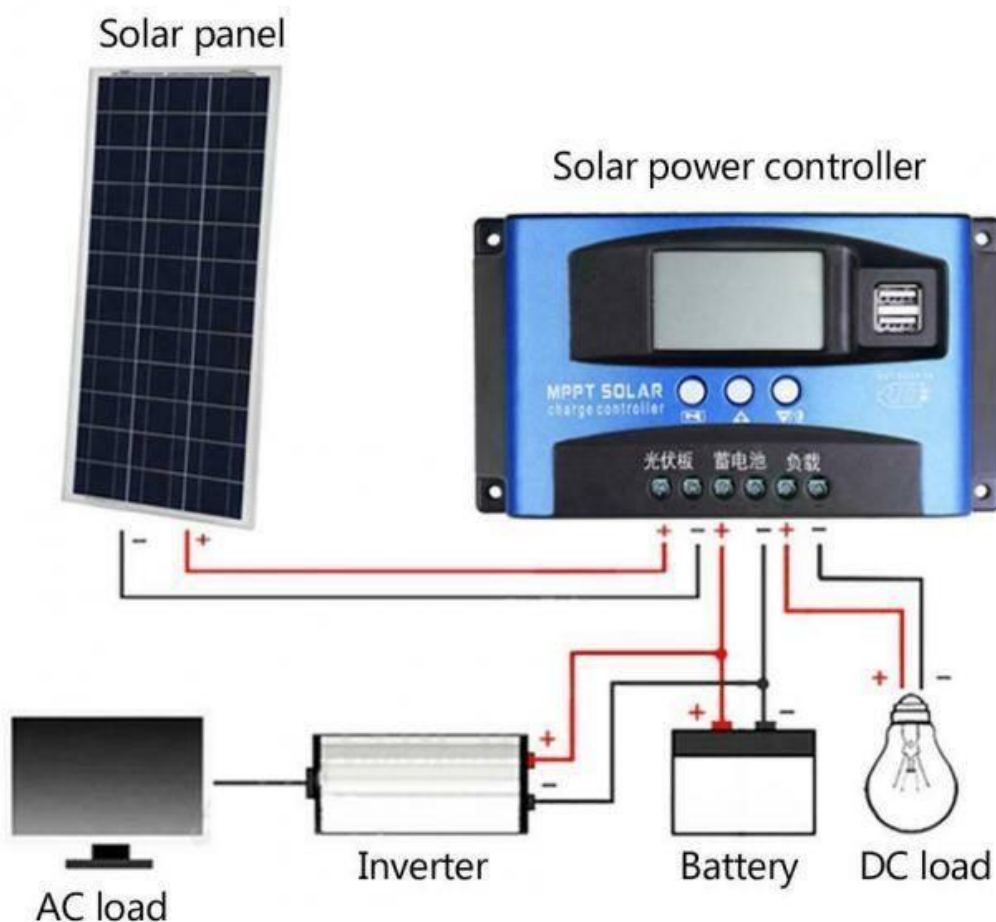


## 7.2 MPPT regulator

Bolja opcija regulatora koja prati i usklađuje rad PV panela za maksimalnu proizvodnju energije je MPPT regulator. Koristeći algoritme prilagođavaju napon koji dolazi te tako održavaju najefikasniju razinu snage. U usporedbi sa PWM regulatorom, MPPT regulator pronalazi najvišu točku snage te zato ima bolji energetske prinos.

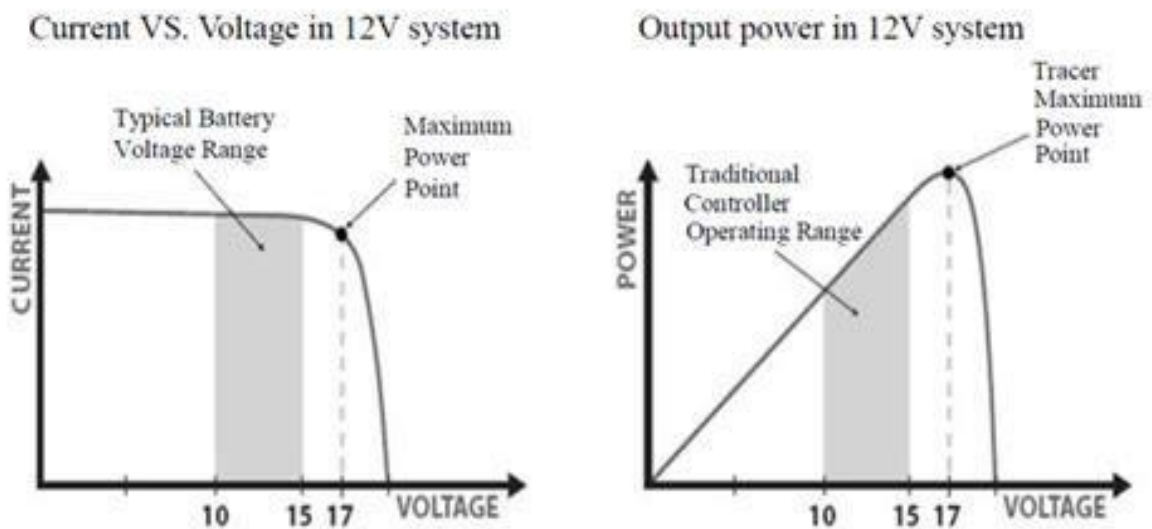
Cijenovno gledano, MPPT regulatori su dosta skuplji od PWM regulatora, ali gledajući na dugoročno postanu više isplativiji zbog većih ušteda energije i boljim povratom ulaganja.

# Connection schematic diagram



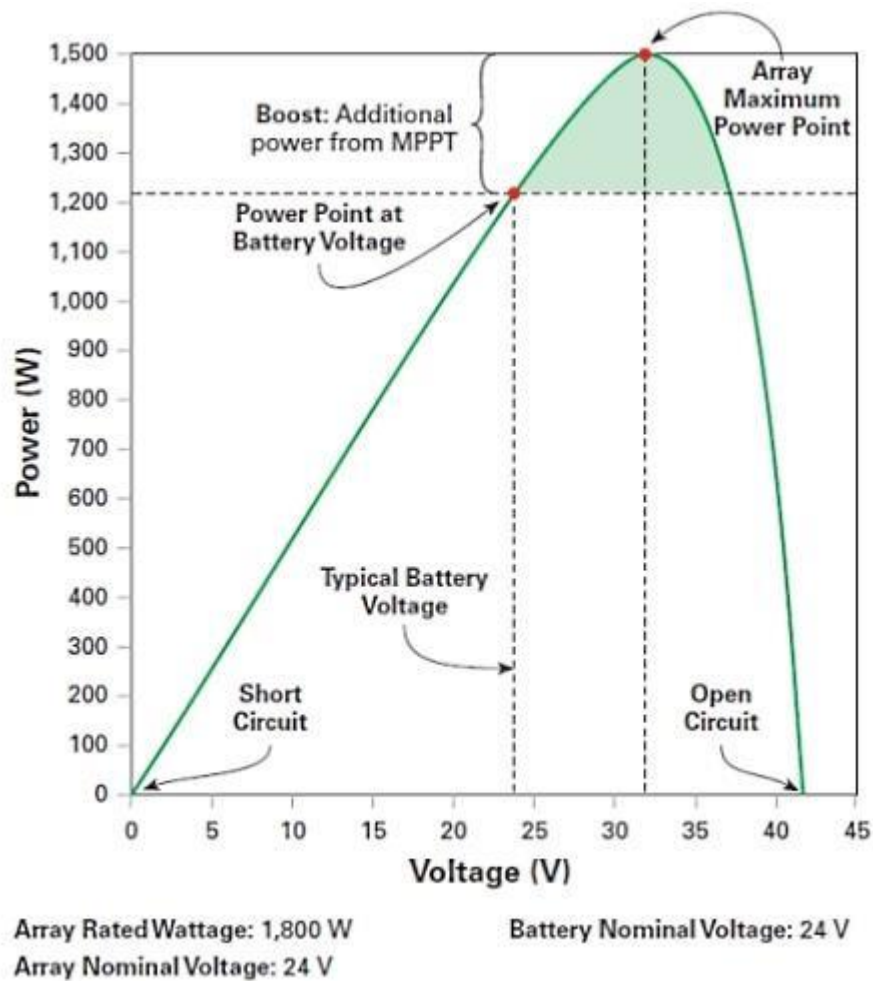
Slika 7.4 MPPT regulator i sklop

Tehnologija MPPT regulatora pretvara DC napon u DC napon optimizira preklapanje između solarnog polja i banke baterija ili mreža za napajanje. Zapravo pretvaraju napon solarnog panela koji je veći na niži napon koji je potreban za puniti bateriju.



Slika 7.5 U-I graf i graf snage

MPPT mikroprocesor daje mogućnost Solar charge controlleru da poveća efikasnost pretvorbe energije za 30% u usporedbi sa PWM regulatorom. To se čini kao pravo rješenje za kuće i ostalo zbog jednostavnosti instalacije s mogućnosti paralelnog povezivanja.



Slika 7.6 Krivulja max točke snage

Slika 7.6 predstavlja krivulju maksimalne točke snage. Označeno zeleno područje je područje gdje se tradicionalni regulator puni (PWM način).

Za mjerenje snage koristi se visokofrekventni pretvarač koji pretvara DC solarnog panela u visokofrekventni AC i onda opet u DC napon za usklađivanje ploče i baterije. Frekvencija rada MPPT regulatora je oko 20 – 80kHz [16].

### 7.3 Primjena MPPT regulatora

Za rad sa maksimalnom snagom iz solarnog panela potrebno je imati solarni modul za rad na rubnom naponu zbog maksimalne točke snage. Snaga koja dolazi iz solarnog panela koristi se za direktno upravljanje DC-DC pretvaračem.

MPPT regulatori najbolje rade pod uvjetima:

- zimski dani .slabije osvjetljena područja- potrebna dodatna snaga najviše
- niska razina napunjenosti baterije- kada je baterija praznija MPPT regulator stavlja u njih
- Duga žica – ploče na udaljenosti oko 100 stopa, gubitak snage i pad napona mogu biti povećani ako se ne koristi veća žica. No serijskim spojem dobijemo veći napon, manje gubitke, a regulator pretvori veliki napon na napon koji odgovara bateriji.

### 7.4 Usporedba PWM i MPPT regulatora

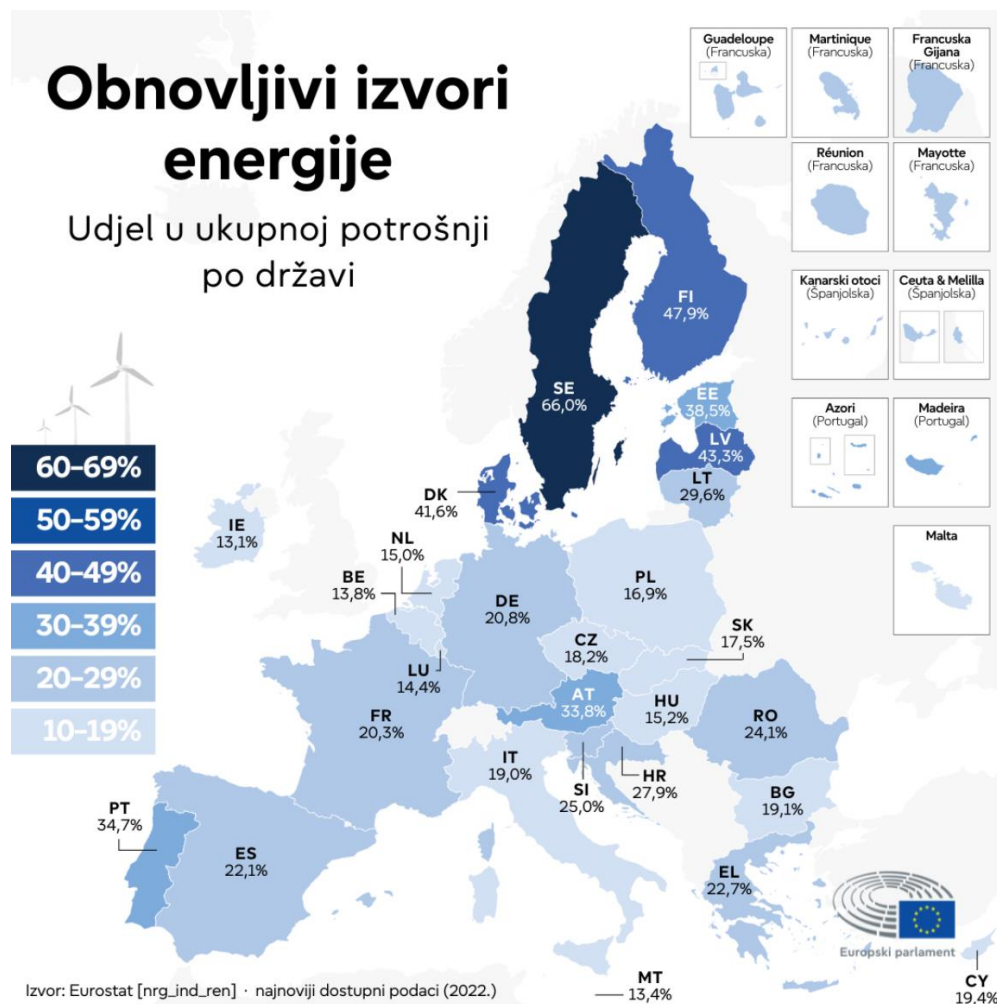
*Tablica 1 usporedba regulatora*

<b>PWM solarni regulator punjenja</b>	<b>MPPT regulator solarnog punjenja</b>
Bolji za male solarne sustave (do 400W)	Bolji za veće solarne sustave (više od 400W)
Manja efikasnost (cca 75% učinkovitost)	Veća efikasnost (cca 95%)
Jeftiniji	Skuplji
Jednostavnost instalacije	Složenija instalacija
Veći ukupni trošak sustava	Manji ukupni trošak sustava

## 8. Razvoj obnovljivih izvora u Europskoj uniji i Hrvatskoj

Energije vjetera, hidroenergija, solarna energija i mnoge ostale spadaju pod obnovljive izvore energije i bolja i „zdravija“ opcija su nego fosilna goriva. Omogućuju nam manje zagađeni okoliš, manju ovisnost od cijena fosilnih goriva i daju nam više opcija za energetske mogućnosti. U Europskoj uniji 2022. godine koristilo se 23% energije iz obnovljivih izvora energije. Zakonodavci Europske unije donijeli su odluku da do 2030. godine se energija iz OIE poveća na 45%.

Švedska je najrazvijenija što se tiče korištenja obnovljive energije sa čak 66% u 2022. godini. Iza nje dolaze Finska sa 47.9% i Latvija sa 43.3%. Hrvatska ima solidnih 27.9%. Što se tiče solarnih elektrana, Njemačka je u 2023. godini dodala 14.1 GW u svojoj Zemlji. Zatim slijedi Španjolska sa 8.2 GW, Italija sa 4.8 GW te Poljska sa 4.6 GW. Polako se pojačava korištenje sunčeve energije za proizvodnju struje [17].



Slika 8.1 Obnovljivi izvori energije u EU

Hrvatska je s udjelom od 27,9 posto iznad prosjeka EU-a, ali problem je što se taj postotak nije značajnije povećao u zadnjih deset godina. Zabrinjava i to da je jedna od rijetkih članica koja je u 2022. zabilježila pad udjela obnovljivih izvora u odnosu na 2021., i to za gotovo dva postotna boda (s 29.7 na 27,9 posto).

Imamo i prilično nepovoljnu strukturu obnovljive energije jer pretežno dolazi iz starih hidroelektrana, a ekološki najprihvatljivije (geotermalna, solarna i energija vjetra) čine manji dio obnovljivih izvora.

U Hrvatskoj osim voda najveći postotak u obnovljivim izvorima energije imaju vjetroelektrane, čak 82%. Zbog učestalih nepredvidljivih viška u mreži koje ne prati odgovarajuća potrošnja dosegnute su sigurnosne i pouzdane granice prihvata energije vjetra u hrvatski elektroenergetski sustav. Sa značajnijem korištenjem energije sunca, iz koje se danas proizvodi samo 0,2 posto ukupne električne energije u Hrvatskoj, za buduće korištenje ovih izvora potrebna su pravovremena ulaganja u elektroenergetske objekte koji će omogućiti sigurnu i pouzdanu tranziciju prema obnovljivim izvorima energije u Hrvatskoj i postizanje ciljeva EU.

Problem u Hrvatskoj nije samo u proizvodnom kapacitetu za prijelaz na obnovljive izvore energije. Problem je u mreži koja mora biti razvijena za sve te elektrane i da dovede energiju do korisnika.

Za bolju opskrbu električnom energijom, povećana uporaba obnovljivih izvora energije i smanjenje troškova, neki dijelovi Hrvatske potiču vlasnike tvrtaka i nekretnina da postanu proizvođači-potrošači, odnosno da stvaraju energiju sa solarnim panelima, troše je, a dio unose u mrežu [18].

## 9. Ugradnja solarnih panela

Za rad sustava bez problema i smetnji potrebno je ispuniti nekoliko uvjeta za ugradnju solarnih panela. Ti uvjeti su povezani sa investitorom i sa samim objektom gradnje.

Bitniji uvjeti povezani sa objektom su :

- nagib i orijentacija krova

Južna strana krova je idealna za ugradnju solarnih panela. Na toj strani se koristi maksimalna sunčeva svjetlost te se tu najviše proizvodi električna energija. Može se ugraditi i na ostale strane, ali će biti potrebno ugraditi par komada panela više.

- pokrov

Najbolji pokrovi za ugradnju solarne elektrane su crijep, lim i ravan krov. Pokrovi kao što su salonitne ploče ili azbestne ploče i šindra ubrajaju se u neprihvatljivu vrstu pokrova. Ako dođe do montiranja panela na loš pokrov može doći do pucanja panela te ponovne demontaže i većih troškova.

- površina krova

Dostupna površina krova, vrsta priključka i zakupljena snaga priključka određuju veličinu solarne elektrane. Najčešće korišteni fotonaponski moduli su moduli snage 370 W (po panelu). Za sustav od 1 kW potrebna su 3 fotonaponska modula. Ovi moduli su dimenzije 1 m x 1,6 m te je potrebna površina krova od minimalno 4,8 m<sup>2</sup> za ugradnju. Na tržištu se mogu pronaći i jači fotonaponski moduli sa snagom od 460 W. Dimenzije jačih modula su ujedno i veće, odnosno površina jednog modula iznosi 2 m<sup>2</sup> te je za sustav od 1 kW potrebno ugraditi 2 modula kojima je preporučljivo osigurati površinu od 4 m<sup>2</sup>.

- vrsta priključka

Solarni paneli imaju 2 vrste priključka, a to su jednofazni i trofazni. Objekti sa jednofaznim priključkom imaju ograničenu AC snagu na 3,68 kW. Za trofazni priključak nije ograničena te se može napraviti solarna elektrana sukladno snazi priključka.



*Slika 9.1 Ugradnja solarnog panela*

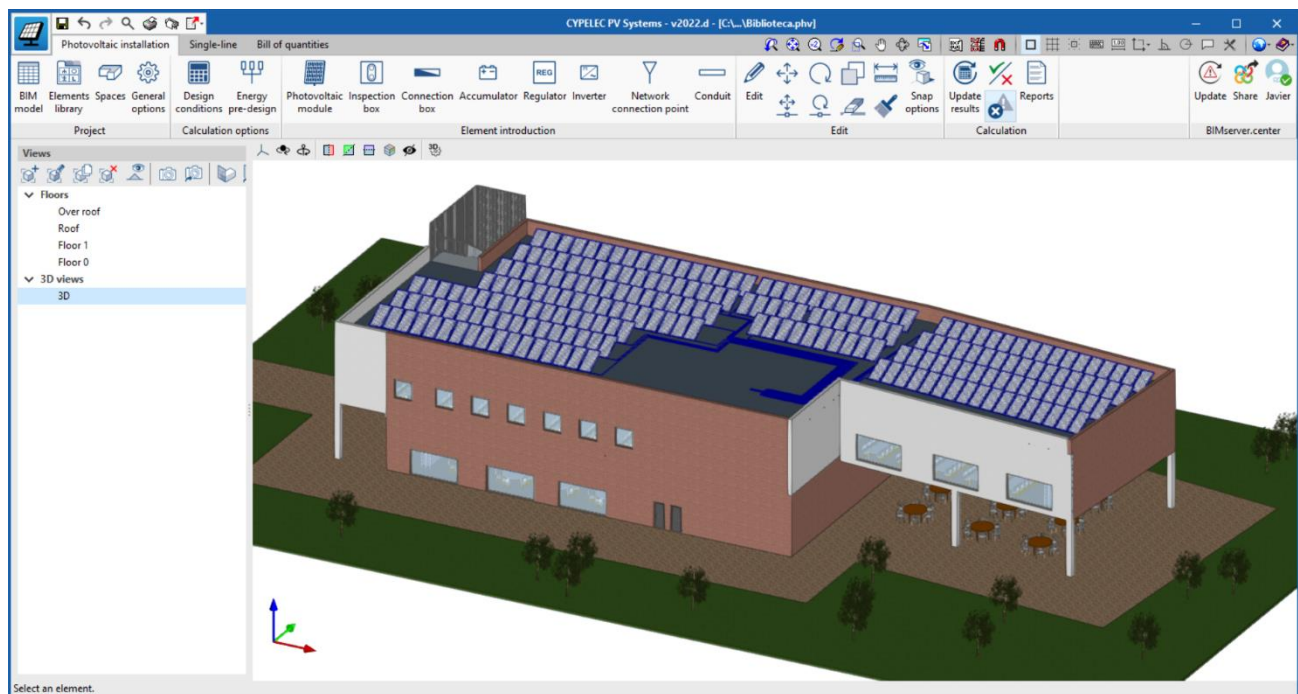
## **9.1 Program za solarne panele CYPELEC PV Systems**

Jedan od mnogih alata za analizu i projektiranje fotonaponskih sustava zove se CYPELEC PV systems. Ima poveznicu sa programom PVGIS (fotonaponskim geografskim informacijskim sustavom), te projektantu može puno pomoći pomoću direktne veze s podacima poput količine sunčeva zračenja .

Vrlo je jednostavan, prilagodljiv alat te omogućuje postavljanje instalacija na brz način.

Da biste počeli koristiti program, trebate povezati projekt koji započinjete s projektom koji se nalazi na platformi BIMserver.center ili kreirati novi projekt.





Slika 9.2 Izgled programa

Izrada izvještaja i rezultati

Mogu se dobiti rješenja poput :

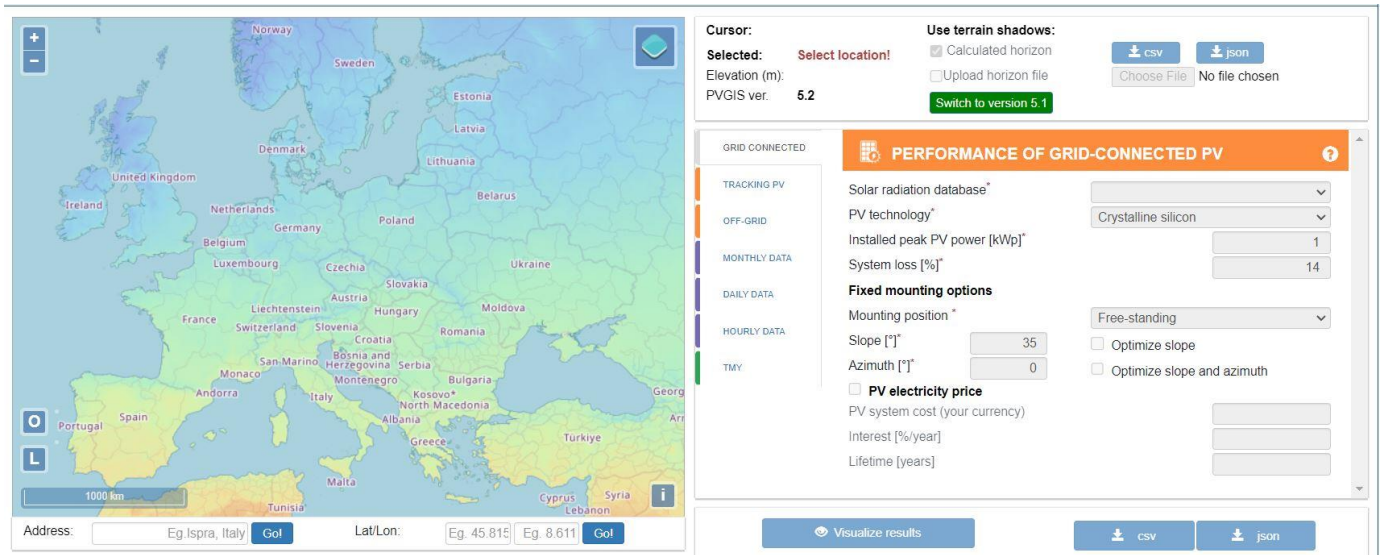
- energije proizvedene od svakog fotonaponskog modula ili cijelog sklopa
- gubitka energije
- gubitak zbog zasjenjenja
- temperaturni gubitak
- dopuštena vrijednost snage, napona i struje od strane pretvarača
- sve informacije su potkrijepljene izvještajem

Nema puno softwera za PV sustave, pogotovo onih koji omogućuju rad na 3D modelima i da su dio BIM workflowa.

Program ima trajne licence i vrlo povoljnu cijenu. Čak možete i probati besplatno na određeno vrijeme [19].

## 9.2 PVGIS

PVGIS je besplatni online alat za procjenu proizvodnje solarne električne energije fotonaponskog (PV) sustava. Daje godišnju izlaznu snagu solarnih fotonaponskih panela. Kao fotonaponski geografski informacijski sustav predlaže aplikaciju google map koja olakšava korištenje. Područje koje pokriva kalkulator gotovo je cijeli svijet: Amerika, Europa, Azija i Afrika. Ova aplikacija izračunava mjesečnu i godišnju potencijalnu proizvodnju električne energije  $E$  [kWh] fotonaponskog sustava s definiranim nagibom i orijentacijom modula.



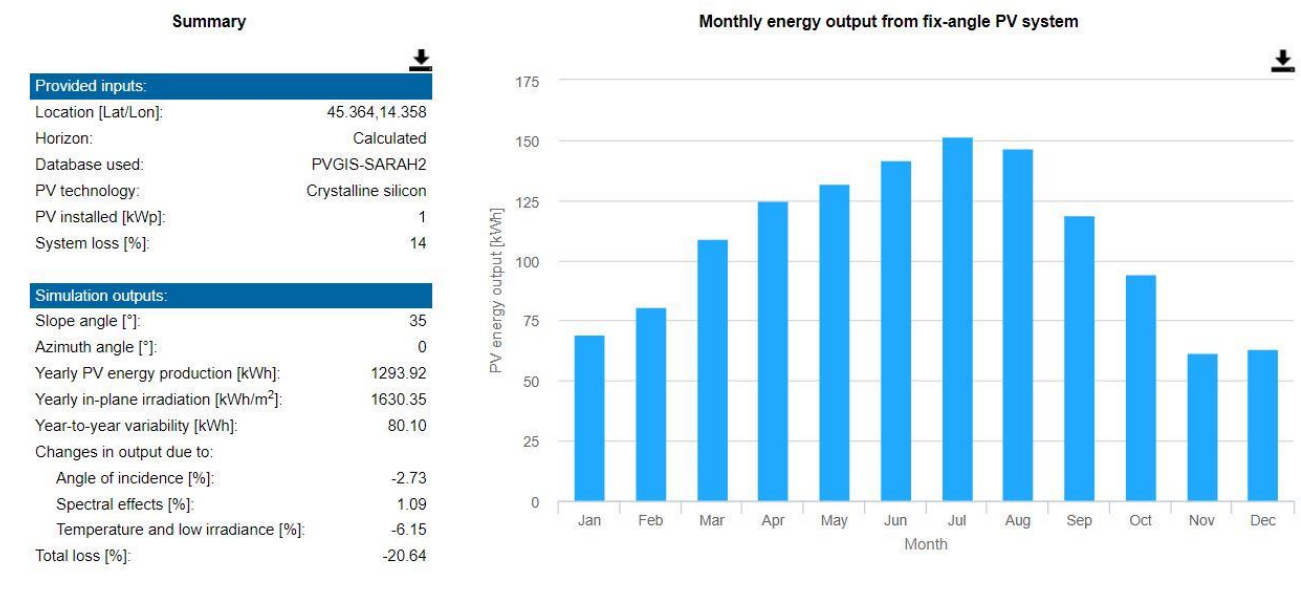
Slika 9.3 Sučelje PVGIS programa

Nakon odabira lokacije na karti morate unijeti:

- Bazu podataka o sunčevom zračenju : Podaci o sunčevom zračenju korišteni u PVGIS-u uglavnom su izračunati iz satelitskih podataka. Na taj način imaju podatke za bilo koju lokaciju u velikim geografskim područjima s vremenskom rezolucijom po satu.
- PV tehnologija : Odaberite vrstu solarnih panela.
- Instalirana vršna fotonaponska snaga [Wp] : vršna snaga vaših fotonaponskih panela; ovo je snaga koju proizvođač tvrdi da fotonaponsko polje može proizvesti pod standardnim uvjetima ispitivanja.
- Gubici u sustavu [%] : Procijenjeni gubici u sustavu su svi gubici u sustavu, koji uzrokuju da je snaga stvarno isporučena u električnu mrežu niža od snage koju proizvode PV moduli.
- Položaj montaže: Odaberite način na koji će se montirati solarni paneli.

- Nagib [°] : Ovo je kut između horizontale i površine ploče.
- Azimut [°] : Azimut ili orijentacija je kut fotonaponskih modula u odnosu na smjer prema jugu.

Nakon unosa podataka navedenih iznad dobijemo rezultate u obliku grafikona i tablica koje prikazuju (procijenjenu) dnevnu količinu električne energije koju možete očekivati u svakom mjesecu od solarnog kućnog PV sustava sa svojstvima koje ste unijeli (koristeći optimalni nagib ako ste to zatražili). Također, prikazuje prosječnu godišnju proizvodnju po danu i daje statističke podatke. Ti grafovi izgledaju poput slike dolje.



*Slika 9.4 Graf potrošnje*

Aplikacija obuhvaća veći dio država na Zemlji i njihove podatke, ali za neke države i područja nema preciznih podataka. Ako korisnik odabere jedno od tih područja, program obavijesti korisnika o mogućnosti nepreciznih podataka za označeni dio [20].

## 10. Zaključak

U zaključku završnog rada o solarnim panelima, možemo istaknuti nekoliko ključnih činjenica.

Prvo je objašnjeno sunčevo zračenje. Nabrojeno je odbijeno, ukupno, direktno i raspršeno sunčevo zračenje. Sunčeva svjetlost je najjači izvor svjetlosti i veoma je od koristi ako se iskoristi na pravilan način, a to je pomoću solarnih panela.

Povijest solarnih panela nam pokazuje kako su se razvijali i unaprijeđivali tijekom vremena, što je dovelo do široke primjene u mnogim zemljama.

Rad je posvećen razumijevanju osnova rada solarnih panela i poluvodičkih elemenata. Objasnila se poluvodička struktura. Navele se i vrste solarnih panela te prednosti i mane svakog od njih. Objasneni su i načini spajanja solarnih panela; serijski i paralelno. Pojašnjeno je kada se koji spoj koristi i zašto.

Analizirali smo i 2 regulatora koja se najčešće koriste: PWM i MPPT regulator. Prikazane su slike i grafovi te su pojašnjene njihove uporabe.

Obnovljivi izvori energije u Europi napreduju polako. Procjena je da sa 32 % dođemo na 45 % do 2030. godine. Problem je u nerazvijenoj mreži te u slaboj svijesti i lošim financijskim uvjetima ljudi.

Navela su se i 2 programa od mnogih za proračune energije solarnih panela po mjesecima i godinama te program koji omogućuje vizualizaciju ugradnje samih solarnih panela na krov kuće i raznih drugih opcija.

## 11. Literatura

[1] Eko-sustav.hr : Sunčeva solarna energija

<https://eko-sustav.hr/strucni-clanci/sunceva-solarna-energija/>

[2] Eko-Zagreb.hr : Energija Sunca

<https://eko.zagreb.hr/energija-sunca/85>

[3] Meteo-info.hr : Sunčevo zračenje

[https://www.meteo-info.hr/article/56/Suncevo\\_zracenje](https://www.meteo-info.hr/article/56/Suncevo_zracenje)

[4] Rego-stan.hr : Sve o solarnim ćelijama

[https://www.rego-stan.hr/hrvatski/aktivnosti-upravitelja-detalji\\_9/sve-o-solarnim-celijama\\_64/](https://www.rego-stan.hr/hrvatski/aktivnosti-upravitelja-detalji_9/sve-o-solarnim-celijama_64/)

[5] Hr.skyworth-pv.com – Povijest razvoja solarnih panela

<https://hr.skyworth-pv.com/info/the-development-history-of-solar-panels-63319937.html>

[6] Basengreen.com : Fotonaponska pretvorba

<https://www.basengreen.com/hr/what-is-photovoltaic-energy-conversion/>

[7] Eko-sustav.hr : Fotonaponski sustavi

<https://eko-sustav.hr/strucni-clanci/fotonaponski-sustavi/>

[8] Solarno.hr : Fotoelektrični efekt

<https://www.solarno.hr/katalog/proizvod/TEKST4/fotovoltaici-fotoelektricni-efekt>

[9] Pmf uniZg : Poluvodiči

[https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/materijali\\_poluvodici.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/materijali_poluvodici.pdf)

[10] Samoodrživost.com : Vrste solarnih panela

<https://samoodrzivost.com/vrste-solarnih-panela-koji-je-najbolji-izbor/>

[11] ba.ssthpower.net : Koji solarni panel je najefikasniji?

<https://ba.ssthpower.net/news/what-solar-panel-is-the-most-efficient-69009042.html>

[12] energy2store.hr : Kako spojiti solarne panele u seriju i paralelu

<https://www.energy2store.hr/kako-spojiti-solarne-panele-u-seriju-u-odnosu-na-paralelni-spoj/>

[13] sungold solar.com : Serije solarnih panela u odnosu na paralele

<https://www.sungoldsolar.com/hr/solar-panels-series-vs-parallel/>

[14 ] energy2store.hr : PWM ili MPPT solarni regulatori punjenja

<https://www.energy2store.hr/pwm-mppt-solarni-regulatori-punjenja-blog/>

[15] hr.dsnsolar.com : PWM solarni regulator punjenja

<https://hr.dsnsolar.com/info/pwm-solar-charge-controller-30394180.html>

[16] hr.dsnsolar.com : MPPT regulator solarnog punjenja

<https://hr.dsnsolar.com/info/mppt-solar-charge-controller-30576157.html>

[17] europarl.europa.eu: Obnovljiva energija: ambiciozni ciljevi za Europu

<https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20171124STO88813/obnovljiva-energija-ambiciozni-ciljevi-za-europu>

[18] vis-viva-energija.com : Energija danas i sutra

<https://www.vis-viva-energija.com/energija-danas-i-sutra/>

[19] Adriabim: BIM program za solarne panele

<https://www.adriabim.com/hr/bim-program-za-solarne-panele-fotonaponski-sustavi/>

[20 ] photovoltaic-software: Pvgis online program

<https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-free-photovoltaic-software/pvgis>

## 12. Popis slika

Slika 2.1 Sunce .....	2
Slika 2.2 Vrste zračenja .....	3
Slika 3.1 satelit Vanguard 1 .....	5
Slika 4.1 Generiranje električne energije [7].....	6
Slika 4.2 Pojasi poluvodiča .....	8
Slika 4.3 Prikaz rešetki N-tipa poluvodiča .....	10
Slika 4.4 Prikaz rešetki P-tipa poluvodiča.....	11
Slika 5.1 Monokristalni solarni panel .....	14
Slika 5.2 Polikristalni solarni panel.....	15
Slika 5.3 Tanko slojni solarni panel .....	17
Slika 6.1 Paralelni spoj solarnih panela.....	18
Slika 6.2 Serijski spojeni solarni paneli .....	19
Slika 7.1 Pwm kontroler.....	22
Slika 7.2 PWM upravljanje sustava .....	23
Slika 7.3 3 faze punjenja .....	23
Slika 7.4 MPPT regulator i sklop .....	25
Slika 7.5 U-I graf i graf snage .....	26
Slika 7.6 Krivulja max točke snage.....	27
Slika 8.1 Obnovljivi izvori energije u EU .....	29
Slika 9.1 Ugradnja solarnog panela.....	32
Slika 9.2 Izgled programa .....	33
Slika 9.3 Sučelje PVGIS programa .....	34
Slika 9.4 Graf potrošnje .....	35

### **13. Popis tablica**

Tablica 1 usporedba regulatora..... 28



## 14. Sažetak

Ovaj završni rad sadrži bitne informacije o solarnim panelima. Prvo je opisana njihova povijest i razvijanje. Opisano je i sunčevo zračenje koje je najbitnije za rad solarnih panela. Nabrojani su tipovi poluvodiča, energetske razine i druge bitne poluvodičke strukture. Navedene su 3 vrste solarnih panela, njihove prednosti i nedostaci te usporedba jedne vrste s drugom. Objasneni su načini spajanja solarnih panela. Za kontrolu punjenja koriste se regulatori PWM i MPPT. Navedene su sheme, grafovi te opisane prednosti i nedostaci. U Europi je procjena do 2030.godine da se obnovljivi izvori energije povećaju na 45%. Hrvatska je u zlatnoj sredini što se tiče obnovljivih izvora i ima prostora za napredak.

Na samom kraju ovog rada prikazana su 2 programa od mnogih za korištenje solarnih panela. Cypelec pv systems program prikazuje u 3D prikazu postavljanje solarnih panela na površinu krova. Pvgis je online alat koji služi za procjenu proizvodnje solarne električne energije fotonaponskog (PV) sustava.

Ključne riječi:

Sunčevo zračenje, P tip poluvodiča, N tip poluvodiča, monokristalni solarni panel, polikristalni solarni panel, tankoslojni solarni panel, PWM regulator, MPPT regulator, paralelni spoj, serijski spoj, obnovljivi izvori energije, Pvgis, cypelec pv systems.

## 15. ABSTRACT

This final paper contains essential information about solar panels. First, their history and development are described. The solar radiation that is most important for the operation of solar panels is also described. Semiconductor types, energy levels, and other essential semiconductor structures are enumerated. 3 types of solar panels are listed, their advantages and disadvantages and a comparison with each other. The methods of connecting solar panels are explained. PWM and MPPT regulators are used to control charging. Schemes, graphs and described advantages and disadvantages are listed. In Europe, it is estimated by 2030 that renewable energy sources will increase to 45%. Croatia is in a golden environment in terms of renewable sources and there is room for improvement.

At the very end of this paper, 2 programs out of many for the use of solar panels are presented. The Cypelec pv systems program shows in a 3D view the installation of solar panels on the surface of the roof. Pvgis is an online tool used to assess the production of solar electricity by a photovoltaic (PV) system.

Keywords:

Solar radiation, P type semiconductor, N type semiconductor, single crystal solar panel, polycrystalline solar panel, thin film solar panel, PWM regulator, MPPT regulator, parallel connection, serial connection, renewable energy sources, Pvgis, cypelec pv systems.