



Priručnik

za instaliranje i održavanje
solarnih fotonaponskih sistema

Izdavač

Education Reform Initiative of South Eastern Europe - ERI SEE

Dečanska 8a, Beograd, Srbija

www.erisee.org, office@erisee.org

Autori

Melanija Čalasan Marina Braletić

Za izdavača

Tina Šarić

Izdanje

Beograd, 2025.

ISBN-978-86-82886-12-9

Sadržaj

1.	UVOD	4
1.1.	Svrha priručnika	4
1.2.	Značaj i primena solarnih fotonaponskih sistema	5
1.3.	Struktura priručnika	7
2.	OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	8
2.1.	Solarna energija	11
2.2.	Vodne snage (hidroenergija)	14
2.3.	Energija mora i okeana	15
2.4.	Energija morskih struja	17
2.5.	Energija talasa	17
2.6.	Toplotna energija okeana (OTEC - <i>Ocean Thermal Energy Conversion</i>)	19
2.7.	Geotermalna energija	20
2.8.	Biomasa	21
2.9.	Vetroelektrane	23
2.10.	Hibridne vetroelektrane	24
3.	ZAŠTITA NA RADU I ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE	26
3.1.	Moguće opasnosti po zdravlje i sigurnost radnika pri radu na solarnim fotonaponskim sistemima	26
3.2.	Primena mera bezbednosti i zaštite na radu prilikom izvođenja radova na solarnim fotonaponskim sistemima	29
3.3.	Sprovođenje mera bezbednosti i mera lične zaštite pri radu na visini u solarnim fotonaponskim sistemima	31
3.4.	Primena mera za smanjenje negativnog uticaja solarnih fotonaponskih sistema na životnu sredinu	35
4.	ENERGIJA SUNCA	40
4.1.	Solarni energetski sistemi i njihova primena	44
4.2.	Solarni kolektorski sistemi (SKS)	44
4.3.	Koncentrovani solarni sistemi (solarne termoelektrane)	47
4.4.	Osnovne komponente solarnih fotonaponskih sistema	50
4.5.	Karakteristike i vrste solarnih fotonaponskih sistema	56
4.6.	Tehnička dokumentacija i tehnička regulativa solarnih fotonaponskih sistema	67
4.7.	Materijal, alat, oprema i uređaji za rad na izgradnji i održavanju solarnih fotonaponskih sistema	69
5.	IZGRADNJA SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA	74
5.1.	Pripremni radovi na izgradnji solarnih fotonaponskih elektrana	74
5.2.	Montaža nosećih konstrukcija i fotonaponskih panela	79
5.3.	Montaža i povezivanje opreme solarnih fotonaponskih sistema	89
5.4.	Odabir zaštitnih sredstava i opreme za radove na montiranju i demontiranju elemenata solarne elektrane	97
6.	IZVOĐENJE ELEKTRIČNIH INSTALACIJA SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA	100
6.1.	Elementi i način izvođenja električnih instalacija solarnih fotonaponskih sistema	100
6.2.	Izvođenje DC električne instalacije solarnih fotonaponskih sistema	103
6.3.	Izvođenje AC električne instalacije solarnih fotonaponskih sistema	113
6.4.	Izvođenje instalacije uzemljenja i gromobranske instalacije solarnih fotonaponskih sistema	119
6.5.	Najčešće greške prilikom instalacije solarnog fotonaponskog sistema	127
7.	POGON I ODRŽAVANJE SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA	129
7.1.	Pripremni radovi i početno testiranje solarnih fotonaponskih sistema	129
7.2.	Praćenje radnih parametara sistema	133
7.3.	Preventivno održavanje i dijagnostika	139
7.4.	Intervencije i sanacija kvarova	145
7.5.	Sezonske i dugoročne pripreme sistema	150
7.6.	Finansijski aspekt solarnog fotonaponskog sistema	151
8.	ZAKLJUČAK I PREPORUKE	153
	LITERATURA I KORIŠĆENI IZVORI	154

1. UVOD

1.1. Svrha priručnika

Ovaj priručnik napisan je u okviru *Renewable Energy Services in Education and Training RESET* projekta, koji sprovodi Education Reform Initiative of South Eastern Europe (ERI SEE) Sekretarijat u saradnji s Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), a finansiran je od strane Nemačkog saveznog ministarstva za Ekonomsku saradnju i razvoj (BMZ). Priručnik je osmišljen kao praktičan vodič koji učenicima/polaznicima omogućava sticanje neophodnih znanja i veština za instalaciju, upotrebu i održavanje solarnih fotonaponskih sistema. Kroz jasno objašnjene teorijske osnove, korisnici će razumeti ključne principe rada solarnih fotonaponskih sistema, njihove komponente i način funkcionisanja, što predstavlja osnovu za praktičnu primenu.

Priručnik je prvenstveno namenjen učenicima srednjih škola i polaznicima programa za obrazovanje odraslih te nastavnicima u oblasti obnovljivih izvora električne energije.

Priručnik se može koristiti i od strane nadležnih ministarstava i obrazovnih agencija, kompanija uključenih u praktično obrazovanje, centara za obuku, privatnih institucija koje rade u oblasti obnovljivih izvora energije, instruktora praktičnog obrazovanja, ali i ostalih zainteresovanih strana. Materijal je usaglašen među ekspertima iz oblasti obnovljivih izvora električne energije i obrazovanja iz šest ekonomija: Albanije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Kosova^{*1}, Severne Makedonije i Srbije, uključenih u realizaciju projekta.

Globalna energetska tranzicija ka održivim izvorima energije dovela je do naglog razvoja solarnih fotonaponskih sistema (SFNS), koji postaju dominantan izvor obnovljive električne energije. Zahvaljujući kontinuiranom smanjenju troškova tehnologije, poboljšanju efikasnosti i rastućoj potražnji za energetskom nezavisnošću, solarni fotonaponski sistemi su danas jedno od najisplativijih rešenja za proizvodnju električne energije

S obzirom na to da je prelazak na obnovljive izvore energije globalni prioritet, kvalifikacije u oblasti solarne energije, posebno u sektoru fotonaponskih sistema, postaju izuzetno tražene i cenjene. Ova industrija beleži kontinuirani rast, a potražnja za stručnjacima neprestano raste. Prema podacima Međunarodne agencije za obnovljive izvore energije (IRENA), globalna industrija solarne energije zapošljava više od 10 miliona ljudi, sa procenama da će taj broj porasti na preko 14 miliona do 2030. godine i više od 24 miliona do 2050. godine. Od toga, sektor solarnih fotonaponskih sistema čini najveći i najbrže rastući deo tržišta rada u industriji solarne energije.

Cilj ovog priručnika je osposobiti korisnike za rad sa fotonaponskim sistemima i omogućiti im da:

- razumeju ključne principe rada solarnih fotonaponskih sistema, uključujući način funkcionisanja, komponente i povezivanje sistema,
- instaliraju solarne fotonaponske sisteme u skladu sa tehničkim i bezbednosnim standardima, čime osiguravaju siguran i pouzdan rad,
- održavaju i optimizuju rad solarnih fotonaponskih sistema, produžavajući njihov vek trajanja i povećavajući efikasnost,
- prepoznaju i otklone eventualne kvarove kako bi obezbedili dugotrajan i nesmetan rad sistema.

¹ *Ovaj naziv je bez prejudiciranja statusa i u skladu je sa Rezolucijom Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija 1244/1999 i Mišljenjem Međunarodnog suda pravde o Deklaraciji o nezavisnosti Kosova.

Priručnik objedinjuje teorijska znanja i praktične smernice, pružajući korisnicima sigurnost i samopouzdanje u radu sa solarnim tehnologijama. Jasno strukturisan materijal omogućava sticanje stručnih kompetencija neophodnih za instalaciju, održavanje i unapređenje solarnih fotonaponskih sistema.

Na kraju, priručnik predstavlja osnovu za sticanje kvalifikacija koje su visoko cenjene na tržištu rada.



Prikaz solarnog fotonaponskog sistema

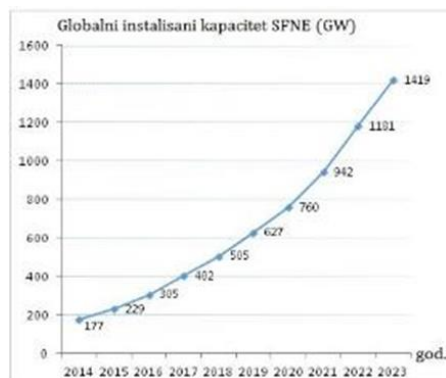
S obzirom na stalni rast sektora solarne energije, stečene veštine omogućavaju profesionalni razvoj, otvarajući prilike za zapošljavanje i dalje usavršavanje u jednoj od najperspektivnijih industrija današnjice.

1.2. Značaj i primena solarnih fotonaponskih sistema

Solarni fotonaponski sistemi igraju ključnu ulogu u globalnoj tranziciji ka održivim izvorima energije. Sve veća potražnja za električnom energijom, nestabilnost cena fosilnih goriva i potreba za smanjenjem emisija štetnih gasova čine solarni fotonaponski sistemi jednim od najperspektivnijih rešenja za budućnost. Njihova primena doprinosi smanjenju emisije ugljen-dioksida u elektroenergetskom sektoru, povećanju energetske nezavisnosti i stabilizaciji cena električne energije.

Prema podacima Međunarodne agencije za obnovljive izvore energije (IRENA), na kraju 2023. god. globalni instalirani kapacitet solarnih fotonaponskih sistema dostigao je impresivnih 1.419 GW, uz godišnji rast od 32,2% tokom iste godine. Trend rasta za period 2014 - 2023. godine, prikazan je na grafiku. Jasno se vidi kontinuirani rast instaliranih kapaciteta solarnih fotonaponskih sistema, sa ubrzanjem u poslednjim godinama.

Očekuje se da će do 2030. godine solarni fotonaponski sistemi postati dominantan izvor električne energije u mnogim zemljama, zahvaljujući smanjenju troškova tehnologije, poboljšanoj efikasnosti i rastućoj svesti o ekološkim i ekonomskim prednostima ovog vida proizvodnje električne energije



Ključne prednosti fotonaponskih sistema su:

- **neiscrpní potencijal** – Sunčeva energija je neograničen resurs, a njen dnevni kapacitet višestruko premašuje globalne energetske potrebe,
- **ekološka održivost** – solarni fotonaponski sistemi proizvode električnu energiju bez emisije CO₂ i drugih zagađujućih materija, čime direktno doprinose zaštiti životne sredine i borbi protiv klimatskih promena,
- **decentralizacija proizvodnje energije** – solarni fotonaponski sistemi omogućavaju proizvodnju električne energije na mestu potrošnje, smanjujući zavisnost od centralizovanih elektroenergetskih sistema i povećavajući energetska sigurnost,
- **ekonomska isplativost** – zahvaljujući smanjenju troškova instalacije i dostupnosti finansijskih podsticaja, solarni fotonaponski sistemi predstavljaju jedno od najisplativijih rešenja za proizvodnju električne energije,
- **dug životni vek i niski troškovi održavanja** – fotonaponski paneli imaju radni vek duži od 25 godina, a uz pravilno održavanje njihova efikasnost ostaje visoka tokom dugog vremenskog perioda.

Solarni fotonaponski sistemi nalaze široku primenu u različitim sektorima, od malih kućnih sistema do velikih solarnih fotonaponskih elektrana. Ključna područja primene su:

- Domaćinstva i stambeni objekti – solarni fotonaponski sistemi se koriste u individualnim kućama i kolektivnim stambenim objektima radi smanjenja troškova energije, povećanja energetske nezavisnosti i mogućnosti priključenja na mrežu uz isporuku viška električne energije.
- Komercijalni, javni i administrativni objekti – solarni fotonaponski sistemi se primenjuju u poslovnim i trgovinskim zgradama, obrazovnim i zdravstvenim ustanovama, sportskim objektima, javnim upravnim zgradama i administrativnim centrima. Ovi sistemi omogućavaju optimizaciju potrošnje energije, smanjenje operativnih troškova i povećanje energetske efikasnosti, a ujedno doprinose pouzdanom snabdevanju električnom energijom.
- Industrijski i poljoprivredni sektor – solarni fotonaponski sistemi omogućavaju energetske efikasno napajanje proizvodnih pogona, skladišta i rashladnih sistema u industriji, dok se u poljoprivredi koriste za napajanje sistema za navodnjavanje, farme i druge energetske zahtevne procese. Korišćenjem solarne energije, smanjuju se troškovi električne energije i osigurava stabilnije napajanje u područjima sa ograničenim pristupom mreži.
- Turistički i ugostiteljski objekti – hoteli, odmarališta, kampovi i wellness centri sve češće koriste solarne sisteme kako bi smanjili operativne troškove, povećali održivost poslovanja i obezbedili pouzdano snabdevanje električnom energijom u turističkim objektima, posebno u udaljenim i sezonskim destinacijama.
- Saobraćaj i infrastruktura – solarni fotonaponski sistemi se primenjuju za napajanje punionica za električna vozila, osvetljenje parking prostora i nadstrešnica, aerodroma, železničkih i autobuskih stanica, mostova i tunela. Integracija solarnih sistema u saobraćajnu infrastrukturu doprinosi smanjenju potrošnje energije iz konvencionalnih izvora i omogućava veću energetske autonomiju.
- Telekomunikacije i udaljene lokacije – solarni fotonaponski sistemi omogućavaju pouzdano napajanje baznih stanica, repetitora i drugih telekomunikacionih objekata, posebno u ruralnim i teško dostupnim područjima gde nije dostupna stabilna elektroenergetska mreža. Ovi sistemi omogućavaju neprekidno funkcionisanje telekomunikacionih sistema uz smanjenje troškova rada i održavanja.
- Velike solarne elektrane – Fotonaponski parkovi postaju sve značajniji deo elektroenergetskih sistema, omogućavajući proizvodnju električne energije u velikim količinama i njenu distribuciju potrošačima. Razvoj velikih solarnih elektrana doprinosi povećanju kapaciteta obnovljivih izvora energije u elektroenergetskim mrežama i smanjenju oslanjanja na fosilna goriva.
- Pametne mreže i skladištenje energije – solarni fotonaponski sistemi igraju ključnu ulogu u razvoju pametnih elektroenergetskih mreža, omogućavajući decentralizovanu proizvodnju energije i integraciju obnovljivih izvora u mrežni sistem. Kroz napredne sisteme upravljanja i digitalne tehnologije, solarni fotonaponski sistemi omogućavaju dinamičko prilagođavanje potrošnje i proizvodnje u realnom vremenu, poboljšavaju efikasnost rada mreže i smanjuju opterećenje klasičnih elektroenergetskih izvora. Integracijom sa baterijskim sistemima, pametne mreže koriste solarne fotonaponske sisteme za balansiranje opterećenja i povećanje stabilnosti sistema, čime se smanjuju energetske gubici i optimizuje snabdevanje električnom energijom

Uz konstantan tehnološki napredak i sve niže troškove, solarni fotonaponski sistemi postaju ključni element u globalnoj energetske tranziciji. Njihova široka primena i ekonomske prednosti čine ih jednim od najperspektivnijih izvora električne energije u budućnosti. Očekuje se da će dalji razvoj tržišta i novih tehnologija dodatno povećati efikasnost i dostupnost fotonaponskih sistema, omogućavajući njihovu još širu primenu u svim sektorima privrede i društva.

1.3. Struktura priručnika

Priručnik za izgradnju i održavanje solarnih fotonaponskih sistema osmišljen je kao sveobuhvatan vodič koji pokriva sve ključne aspekte instalacije, upotrebe i održavanja. Presentovani materijal omogućava korisnicima sticanje osnovnih teorijskih i praktičnih znanja, osposobljavajući ih za kvalitetno uključivanje u proces rada. Priručnik je prvenstveno namenjen praktičnoj obuci, uz neophodne teorijske osnove za primenu stečenih znanja u praksi.

Priručnik se sastoji od Uvoda i šest Poglavlja posvećenih razradi problematike koja je predmet Priručnika. Na kraju su dati zaključak i preporuke, znake i skraćenice kao i literatura i korisni izvori.

U **Uvodu** su predstavljeni svrha i ciljevi priručnika i data struktura priručnika, koja prikazuje raspored i tematiku obrađenih poglavlja. Na kraju je prikazan značaj solarnih fotonaponskih sistema uz navođenje njihove najraznovrsnije primene.

Poglavlje 2, Obnovljivi izvori energije, daje osnovne informacije o različitim oblicima obnovljivih izvora energije.

Poglavlje 3, Zaštita na radu i zaštita životne sredine, obrađuje ključne sigurnosne mere i standarde koji se moraju poštovati prilikom instalacije i održavanja solarnih fotonaponskih sistema, kako bi se osigurala zaštita radnika i očuvanje životne sredine.

Poglavlje 4, Energija sunca, sa teorijskog aspekta obrađuje vrste solarnih fotonaponskih sistema, njihov princip rada i elemente.

Poglavlje 5, Izgradnja solarnih fotonaponskih sistema, predstavlja ključno poglavlje priručnika koje detaljno razrađuje postupke i metode za praktičnu realizaciju izgradnje solarnih fotonaponskih sistema.

Poglavlje 6, Izvođenje električnih instalacija solarnih fotonaponskih sistema, obrađuje praktične aspekte svih vrsta instalacija u okviru solarnih fotonaponskih sistema, instalacije i održavanja solarnih fotonaponskih sistema.

Poglavlje 7, Pogon i održavanje solarnih fotonaponskih sistema, daje opis aktivnosti tokom pogona i svih vrsta održavanja solarnih fotonaponskih sistema

Zaključak i preporuke, sublimira ključne zaključke zasnovane na prethodnim informacijama i daje smernice za dalji rad u ovoj oblasti.

Na kraju Priručnika dat je pregled **literature i korisnih izvora** sa spiskom korišćenih izvora i dodatnih materijala koji mogu biti korisni za dublje razumevanje tematskih oblasti solarnih fotonaponskih sistema.

2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Energija se nalazi svuda oko nas. Ona pokreće sva živa bića. Sve što se nalazi u okruženju zasnovano je na korišćenju energije. Suština je da je energija sposobnost da se neki posao obavi. Energija zavisi od uslova u kojima se nalazi. Ona određuje sva stanja u prirodi: kretanje i mirovanje, toplotna stanja, hemijske procese, elektromagnetne procese, prostiranje svetlosti, veze u atomima i sl.

Opšta definicija energije je: energija je sposobnost vršenja rada. Poznato je da se energija ne može izgubiti već samo preći iz jednog oblika u drugi (hemijska u toplotnu, toplotna u mehaničku...).

U današnje vreme energija je postala ključni elemenat razvoja društva. Razvijanje ekonomije direktno je uslovljeno korišćenjem raznih oblika energije.

Intenzivno korišćenje postojećih i pronalaženje novih izvora energije presudno utiče na brzinu razvoja i rasta privrede.

Osnovne karakteristike energije jesu:

- ne može nastati ni iz čega
- neuništiva je
- sposobnost transformacije iz jednog oblika u drugi ili prelazak s jednog tela na drugo

U prirodi, energija se pojavljuje u različitim oblicima:

- **Potencijalna energija** – energija uskladištena zbog položaja tela u odnosu na druge objekte (npr. voda u akumulaciji, opruga pod naponom).
- **Kinetička energija** – energija kretanja tela. Sve što se kreće poseduje kinetičku energiju (npr. vetar, automobil pokretu).
- **Hemijska energija** – energija uskladištena u hemijskim vezama između atoma (npr. energija iz hrane, goriva, baterija).
- **Električna energija** – energija koja nastaje usled kretanja ili rasporeda električnih naelektrisanja.
- **Toplotna energija** – energija koju telo poseduje zbog svoje temperature, odnosno nasumičnog kretanja i sudaranja njegovih čestica (npr. ugrevani metal, ključala voda, vazduh zagrejan Sunčevim zračenjem).
- **Nuklearna energija** – energija oslobođena promenama u atomskim jezgama, bilo cepanjem (fisijom) teških jezgara ili spajanjem (fuzijom) lakih jezgara (npr. energija iz nuklearnih elektrana, reakcija u Suncu).
- **Elektromagnetna energija** – energija zračenja koja obuhvata svetlost, radio-talase i druge oblike elektromagnetnog zračenja.

Kroz istoriju dolazilo je do sukoba oko pristupa pojedinim energetskeim izvorima. O značaju energije govori i činjenica da su se industrijske revolucije razlikovale po otkrićima i primeni novih izvora energije. Trenutno je u toku revolucija koja daje akcent na obnovljivim izvorima i razvoju energetski štedljivih, "zelenih" tehnologija.

Modernu civilizaciju je nemoguće zamisliti bez električne energije. Električna energija se koristi za osvetljenje, grejanje, pokretanje raznih mašina, napajanje komunikacionih uređaja. Praktično, nema segmenta ljudske delatnosti gde se ne koristi električna energija.

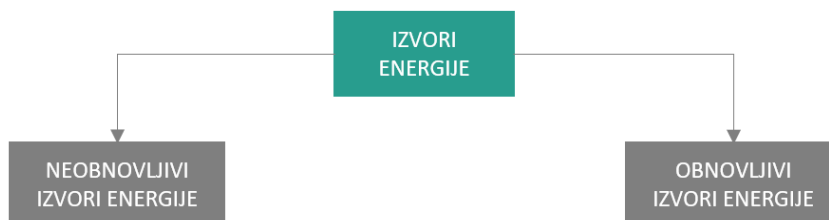
Primena električne energije ima velike prednosti nad ostalim oblicima energije:

- Izvori električne energije mogu biti udaljeni od mesta korišćenja električne energije;
- Električna energija se prenosi uz relativno male gubitke;
- Korišćenjem sistema prenosa električne energije ona je dostupna velikom broju korisnika;
- Električna energija se jednostavno transformiše u druge oblike energije (toplotnu, svetlosnu, mehaničku...).

U stručnoj literaturi postoje i druge podele energije, koje zavise od mnogobrojnih kriterijuma za podelu. Različiti oblici energije se dele, odnosno grupišu na više načina. Najčešće podele s kriterijumima za podele prikazane su u tabeli.

PODELA	KRITERIJUM ZA PODELU
Akumulisana i prelazna	Stanje i trajnost postojanja
Primarna, transformisana i korisna	Pojavni oblik, forma, tj. mogućnost korišćenja
Konvencionalna i nekonvencionalna	Nivo korišćenja, tj. tehničko-ekonomska isplativost
Obnovljiva i neobnovljiva	Prirodna obnovljivost

S obzirom na prirodnu obnovljivost (vremensku mogućnost njihovog iscrpljivanja) primarna energija se može podeliti na obnovljivu energiju i neobnovljivu energiju.



Pod pojmom neobnovljivih izvora energije se podrazumevaju: fosilna goriva, uglj, nafta i derivati nafte, prirodni gas, mineralne naslage kao uljani škriljci, kao i fisiona (nuklearna) goriva.

Problem sa neobnovljivim izvorima energije jesu njihove ograničene količine kao i ograničena rasprostranjenost. Zalihe fosilnih goriva su ograničene i brzo nestaju.

Drugi problem je zagađenje čovekove okoline. Sagorevanje fosilnih goriva, naročito onih baziranih na nafti i uglju, predstavlja najverovatniji uzrok globalnog zagrevanja. Promena klimatskih uslova predstavlja jednu od najozbiljnijih opasnosti za Zemljin ekološki sistem.

Primena nuklearne energije predstavlja uslovno čistu tehnologiju, ali u slučaju havarija može doći do izuzetno velikih zagađenja sa ogromnim posledicama na čoveka i životnu okolinu. Takođe, veliki problem predstavlja i problem odlaganja radioaktivnog otpada.

Obnovljivi izvori energije su resursi koji se prirodno obnavljaju i ne iscrpljuju se njihovom upotrebom. Naziv "obnovljivi izvori energije" potiče iz činjenice da se njihove rezerve kontinuirano ili ciklično obnavljaju u prirodi, a količina korišćene energije ne premašuje brzinu njenog prirodnog obnavljanja.

Glavne vrste obnovljivih izvora energije su:

- Sunčevo zračenje – primarni izvor energije za gotovo sve procese na Zemlji. Sunčeva energija dolazi u obliku elektromagnetnog zračenja, od kojih deo dospeva do površine planete, dok se ostatak apsorbuje ili reflektuje u atmosferi. Intenzitet Sunčevog zračenja zavisi od geografskog položaja, doba godine i atmosferskih uslova.
- Energija vetra – nastaje kao rezultat neravnomernog zagrevanja Zemljine površine i rotacije planete, što stvara razlike u pritisku i dovodi do kretanja vazдушnih masa. Brzina i pravac vetra zavise od geografskih karakteristika i klimatskih uslova.
- Vodne snage (hidroenergija) – energija vode koja potiče iz hidrološkog ciklusa, gde Sunčevo zračenje uzrokuje isparavanje, kondenzaciju i padavine, omogućavajući neprekidan tok reka i obnavljanje vodenih resursa. Snaga vodenih tokova zavisi od nadmorske visine, nagiba terena i količine padavina.
- Biomasa – organska materija biljnog i životinjskog porekla, koja skladišti Sunčevu energiju putem fotosinteze. Obuhvata širok spektar materijala, uključujući drvo, poljoprivredne ostatke, organski otpad i specijalno uzgajane energetske biljke.

- Geotermalna energija – energija nastala raspadanjem radioaktivnih elemenata u unutrašnjosti Zemlje i toplotom preostalom iz perioda njenog formiranja. Toplota se prenosi kroz Zemljinu koru do površine, pri čemu su izvori najizraženiji u vulkanskim i tektonski aktivnim područjima.
- Energija mora i okeana – Obuhvata energiju plime i oseke, energiju morskih talasa i temperaturnih razlika u okeanima. Plima i oseka nastaju pod uticajem gravitacione sile Meseca i Sunca, dok morski talasi nastaju delovanjem vetra na površinu vode. Toplotna energija mora potiče iz temperaturnih razlika između površinskih i dubokih slojeva okeana.

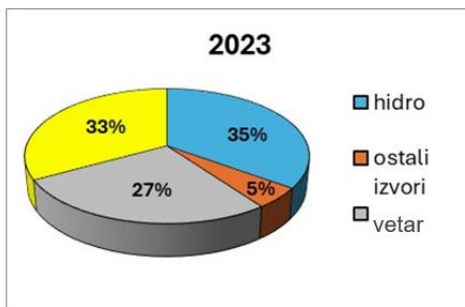
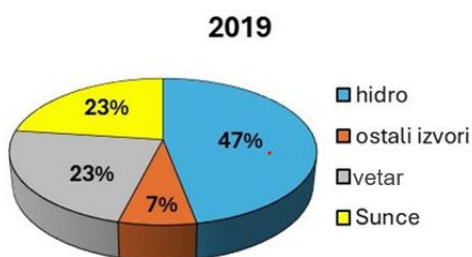
Jedan od glavnih razloga ubrzanog razvoja obnovljivih izvora energije jeste njihov znatno manji negativan uticaj na životnu sredinu u poređenju sa konvencionalnim izvorima.



Obnovljivi izvori energije

Obnovljivi izvori beleže ubrzani rast u elektroenergetskom sektoru. Prema podacima Međunarodne agencije za obnovljivu energiju (IRENA), globalni kapacitet obnovljivih izvora energije dostigao je oko 3.064 GW do kraja 2023. godine.

U 2024. godini, investicije u čistu energiju gotovo su dvostruko veće od onih u fosilna goriva. Ukupna ulaganja u energetiku premašila su tri biliona dolara, od čega je oko dva biliona usmereno na čiste tehnologije poput obnovljivih izvora energije, električnih vozila i nuklearne energije.



Distribucija instaliranih kapaciteta obnovljivih izvora energije

U nastavku ćemo se ukratko osvrnuti na obnovljive izvore energije, dok će detaljna analiza vetra – ključnog izvora energije za tehnologiju pretvaranja kinetičke energije vetra u električnu energiju – biti obrađena u narednim poglavljima ovog priručnika.

2.1 Solarna energija

Solarne elektrane pretvaraju Sunčevu energiju u električnu.

U toku jedne godine, Sunčeva energija koja dospeva na Zemlju 20.000 puta je veća od energije neophodne da zadovolji potrebe celokupne populacije Zemlje.

U toku samo tri dana na površinu Zemlje dospeva Sunčeva energija ekvivalentna energiji koju bi proizveli svi fosilni izvori i rezerve na Zemlji.

Pri prolasku kroz atmosferu deo energije se troši u složenim procesima, a deo se reflektuje i reemituje u svemir. Taj deo iznosi oko 1/3 energije koja je dospela na ivicu atmosfere, tako da dotok energije do površine Zemlje iznosi prosečno 920 W/m².

Postoje dva tipa solarnih elektrana i to:

- termalne solarne elektrane
- fotonaponske solarne elektrane

Kod termalnih solarnih elektrana sistemima ogledala upućuju se Sunčevi zraci prema rezervoaru u kojem se nalazi tečnost koja se zagrejava. Zagrejana tečnost ide u izmenjivač toplote, predaje toplotu vodi odnosno vodenoj pari. Dalji proces je identičan onome u klasičnim termoelektranama.

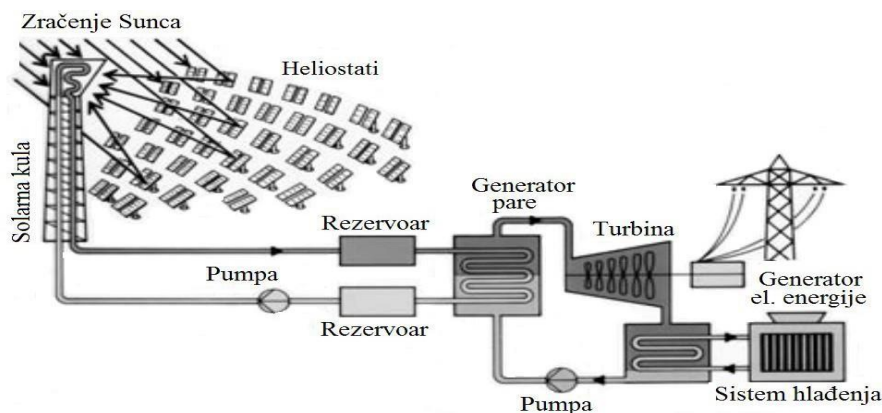


Solarna elektrana PS10 u Španiji

Mogućnost skladištenja toplote pomoću termalnih medija (poput rastopljene soli) ključna je prednost ovih sistema, jer omogućava kontinuiranu proizvodnju električne energije i u periodima kada direktno Sunčevo zračenje nije dostupno.

Solarne termoelektrane sa solarnim tornjem koriste polje heliostata.

Heliostat je uređaj koji ima obično ogledalo koje se okreće tako da tokom celog dana, reflektuje Sunčevu svetlost ka određenom cilju tornju (*helios* nastalo od grčke reči za Sunce, i *stat* nastale od engleske reči *stationary*-nepokretan).



Princip rada solarne termo elektrane sa heliostatima

Solarni sakupljači energije (parabolični kolektori) se sastoje od paraboličnih ogledala koja primaju toplotnu energiju Sunca i refokusiraju je na cev koja se nalazi na žižnom mestu parabole. U cevi se nalazi tečnost na primer sintetičko ulje kao toplotni medijum sa radnom temperaturom od 400°C. Tako zagrejani fluid cirkuliše do izmenjivača toplote, gde prenosi toplotu vodi i pretvara je u zasićenu paru. Para zatim pokreće turbinu povezanu s generatorom koji proizvodi električnu energiju.



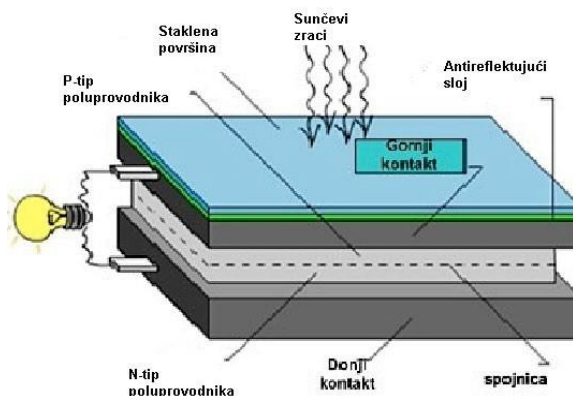
Parabolični kolektori

Drugi tip solarnih elektrana pretvara Sunčevu energiju direktno u električnu pomoću poluprovodničkih fotonaponskih ćelija. Iskoristivost ovih poluprovodničkih pretvarača je relativno mala pa su potrebne velike površine solarnih panela da bi se dobila određena količina električne energije. Prednost ovog postrojenja je dug rok trajanja i jednostavno rukovanje, uz minimalne potrebe za održavanjem, jer postrojenje nema pokretnih delova.

Loša strana svih solarnih elektrana je što ne postoji kontinuitet u proizvodnji energije jer noću, kada nema Sunca, nema ni proizvodnje električne energije.

Kada čestice svetlosti (fotoni) padnu na atom silicijuma dolazi do izbijanja elektrona iz kristalne rešetke. Usled ovoga se na jednoj strani poluprovodničkog spoja stvara višak negativnog naelektrisanja, a na drugoj strani pozitivnog pa dolazi do protoka struje.

Solarne ćelije imaju i dve metalne mreže, tj. dva električna kontakta. Jedan se nalazi ispod poluprovodnog materijala, a drugi iznad. Gornja mreža ili kontakt skuplja elektrone sa poluprovodnika i vodi ih ka spoljnom potrošaču. S donjim kontaktom slojem zatvara se električni krug.



Polje fotonaponskih ćelija

2.2 Vodne snage (hidroenergija)

Vrste iskoristivog hidroenergetskog potencijala su akumulacije, vodotokovi reka i potoka, plima i oseka, morski talasi, podvodne struje i slično a osnovni hidroenergetski parametri su protok, visina pada, gustina vode i dr. Instrumenti za merenje hidroenergetskih parametara su merač protoka za protok, altimetri ili laserski merači visine za visinu pada i hidrometri ili densitometri za gustinu vode.

Hidroelektreane (HE) pripadaju postrojenjima koja koriste vodu kao obnovljivi izvor energije. Imale su dominantnu ulogu u početnom stadijumu razvoja elektrifikacije u mnogim zemljama.

Svaka hidroelektrana se projektuje posebno, u zavisnosti od:

- količine vode;
- meteoroloških prilika na širem području sliva;
- visine pada vode;
- specifičnosti terena (geoloških uslova koji vladaju na vodotoku); kao i
- specifičnim zahtevima (plovnost reke, navodnjavanje, biološki zahtevi za vodotok...).

S obzirom na način korišćenja vode postoje sledeće vrste hidroelektrana:

- Protočne HE u kojima se voda iskorišćava kako dotiče;
- Akumulacione HE u kojima se deo vode akumulira, da bi se mogla iskoristiti kad se pojavi potreba.

Posebne vrste hidroelektrana su:

- Pumpno akumulacione ili reverzibilne hidroelektreane i
- Hidroelektreane koje iskorišćavaju energiju mora (plima i oseka, energija talasa, morske struje...).

Prilikom projektovanja HE ne treba imati u vidu samo energetske korišćenje vode, nego i zahteve poljoprivrede (navodnjavanje, odvodnjavanje), snabdevanje vodom, mogućnost plovidbe...

Izbor tipa HE zavisi od niza faktora koji utiču na racionalnu i ekonomičnu izgradnju postrojenja, pa je nemoguće navesti kruta pravila za izbor tipa postrojenja.

Princip rada hidroelektrane :

- Voda iz reke ili jezera dolazi pomoću sistema kanala ili cevi do vodenih turbina;
- Vodene turbine se pod dejstvom vode okreću, a kako su mehanički povezani rotor turbine i generator, okreće se rotor generatora i proizvodi se struja;
- Proizvedena električna energija sistemom transformatora i dalekovoda odvodi se do potrošača.

Male hidroelektreane (mHE) su hidroenergetski sistemi manjih snaga, uglavnom izrađeni na manjim vodotocima, odnosno na manjim rekama, potocima, raznim kanalima, pa čak i sistemima za navodnjavanje.

U njima se energija ovih vodotoka pretvara u korisnu energiju, čime se obezbeđuje relativno čista i pouzdana proizvodnja električne energije.

Male hidroelektreane su pretežno protočne elektrane te stoga i ne zahtevaju značajne zemljane i građevinske radove i investicije koje obično zahteva izgradnja velikih brana i akumulacija. Osnovna razlika između velikih i malih hidroelektrana je u instaliranoj snazi, pri čemu je granična snaga koja deli ove hidroelektreane različita od zemlje do zemlje. Bez obzira na velika odstupanja u pojedinim zemljama, sa stanovišta gornje granice instalirane snage (mHE od 1,5 MW do 30MW), u poslednje vreme najčešće se, kao standard, prihvata vrednost ukupnog instaliranog kapaciteta do 10 MW (prihvaćen u EU – ESHA).

Mala hidroelektrana nije jednostavno samo smanjena verzija velike hidroelektrane. Da bi se zadovoljili osnovni zahtevi koji se pred nju stavljaju, za njenu izgradnju potrebna je specifična oprema i uređaji, pre svega u smislu jednostavnosti, visine investicija i troškova rada i održavanja, načina rada, maksimuma pouzdanosti i sigurnosti, kao i jednostavnom korišćenju i održavanju od strane lica koja za to nisu specijalizovana. Principijelna šema male hidroelektrane prikazana je na slici.



Najčešći raspored osnovnih elemenata male hidroelektrane

2.3 Energija mora i okeana

Energija mora i okeana je obnovljivi izvor energije koji koristi prirodne pojave u morima i okeanima, poput plime i oseke, talasa, morskih struja i temperaturnih razlika između površinskih i dubljih slojeva vode. Ove pojave mogu se iskoristiti za proizvodnju električne energije pomoću različitih tehnologija.

Sistemi za iskorišćavanje energije mora i okeana ne emituju ugljen-dioksid tokom rada, što doprinosi smanjenju zagađenja i ublažavanju klimatskih promena. Takođe, mogu doprineti energetske stabilnosti jer koriste prirodne procese koji su stalni i predvidivi, smanjujući zavisnost od fosilnih goriva. Međutim, njihova široka primena zavisi od daljeg razvoja tehnologija, smanjenja troškova izgradnje i održavanja, usklađivanja sa propisima o zaštiti životne sredine.

Mora i okeani sadrže ogromne količine energije koje mogu biti iskorišćene za proizvodnju električne energije. Glavni izvori ove energije su: energija plime i oseke, energija talasa, toplotna energija okeana (OTEC) i energija morskih struja.

Ovi izvori se razlikuju po mehanizmu nastanka i tehnologijama koje se koriste za njihovu eksploataciju.

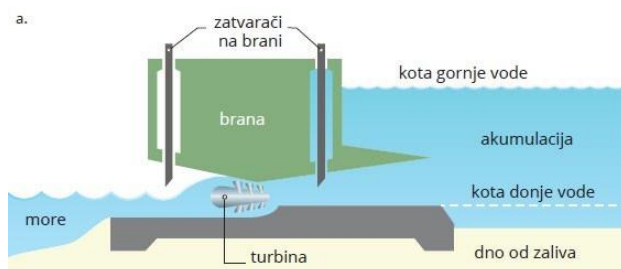
Elektrane koje koriste energiju plime i oseke (obnovljivi izvor energije) za pogon turbina, predstavljaju posebnu vrstu akumulacionih hidroelektrana. Plima i oseka (morske mene) nastaju pod dejstvom Sunca i Meseca na vodu u morima i okeanima. Morske mene su periodično dizanje (plima) i spuštanje (oseka) morske i okeanske površine i premeštanje velikih vodenih masa prouzrokovano gravitacionom silom kojom Mesec i Sunce deluju na vodene mase, u kombinaciji sa rotacijom Zemlje..

Zbog toga što promene oseke i plime izazivaju kretanje fluida, tj. vodene mase (kinetička energija), moguće je izvršiti pretvaranje te energije u električnu energiju pomoću posebnih elektrana. Ovakvi tipovi elektrana nisu česti jer njihova izrada, održavanje i postizanje isplativosti trenutno traži značajna novčana sredstva. Danas su samo visokorazvijene i bogate zemlje razvile nekoliko takvih elektrana, iako dosta zemalja ima prirodni potencijal za njihovo korišćenje.

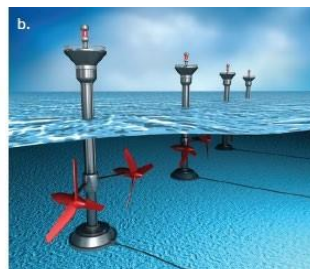
Tehnologija koja se koristi za konverziju veoma je slična tehnologiji koja se koristi u konvencionalnim hidroelektranama. Međutim, elektrane na plimu i oseku nikada ne mogu raditi konstantno, nego samo do pojave iduće plime i oseke.

Danas se uglavnom sreću dve mogućnosti korišćenja energije plime i oseke:

- putem plimnih brana (slika a) ili
- iskorišćavanjem plimnih tokova (slika b).



a) Plimna brana

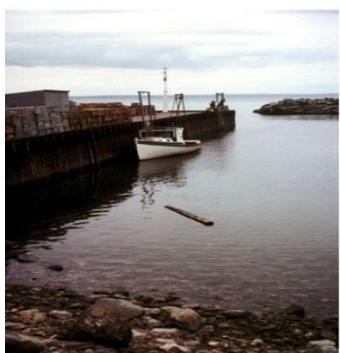


b) Plimni tokovi

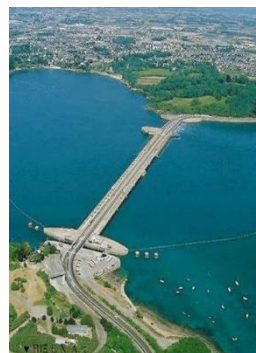
Kod plimnih brana, brana služi za sprečavanje ulaska vode u bazen/akumulaciju i za skupljanje i postepeno ispuštanje vode kada se plima počne povlačiti. Otvaranjem zatvarača/zapora i postepenim propuštanjem vode kroz otvor na turbini proizvodi se električna energija. Energija se može proizvoditi u jednom ili u oba smera.

Plimni tokovi su velike količine vode koje teku okeanima usled promene položaja vode – gibanja plime i oseke. Taj efekat se najčešće primećuje u plitkim delovima gde postoje prirodna suženja na kojima se brzina vode značajno povećava. Sama tehnologija korišćenja ove energije slična je tehnologiji za pretvaranje energije vetra, uz neke bitne razlike. Nažalost, ta tehnologija je još u svojim začecima, dosta je skupa i dostupna je samo razvijenim zemljama.

Područja istočne obale Kanade kao i zapadne obale Francuske i Velike Britanije su područja izraženih plima i oseka. Najveća izmerena razlika između plime i oseke od 16 metara izmerena je u Kanadi.



Primer visinske razlike između plime i oseke



Elektrana La Rance

Najpoznatija i ujedno najveća ovakva elektrana izgrađena je 1966 godine u Francuskoj. Nalazi se na ušću reke La Rance u more. U tom području prosečne plime su visine 8m, a maksimalne 13,5m. Snaga elektrane je 240MW.

2.4 Energija morskih struja

Elektrana električnu energiju stvara pomoću morskih strujanja – funkcioniše kao neka vrsta podvodne vetrenjače. Pred jugo-zapadnom obalom Engleske je već postavljeno takvo probno postrojenje. Da bi se mogla iskoristiti strujanja u oba smera, krila rotora se mogu rotirati za 180°.

Elektrana se sastoji od tri glavne komponente: 50 metara visokog tornja koji služi kao stub na kojem je postrojenje montirano, tj. „pogonske prostorije“ koja sadrži kontrolni sistem priključka na mrežu za prenos električne energije, hidrauličkog sistema za podizanje i spuštanje postrojenja, kao i rotora koji je pričvršćen na toranj i koji čini srce postrojenja.



Elektrana Strangford Lough

2.5 Energija talasa

Elektrane na morske talase jesu one koje koriste energiju talasa (obnovljivi izvor energije) za proizvodnju električne energije. Osnovni uzrok nastanka energije talasa je delovanje vetra (posledica dejstva Sunca) na površinu mora i okeana. Pošto se snaga talasa razlikuje od dnevnih mena plime i oseke i stalnih cirkularnih okeanskih struja, za njeno korišćenje mora se odabrati povoljna lokacija na kojoj su talasi dovoljno česti i dovoljne snage.

Snagu talasa definišemo po jedinici površine normalne na smer kretanja talasa. Ona može iznositi $10\text{kW}/\text{m}^2$, ali biti i oko nule. Na primer, za područje severnog Atlantika, na otvorenom moru između Škotske i Islanda, u 50 posto vremena, snaga talasa je $3.9\text{kW}/\text{m}^2$ ili veća.

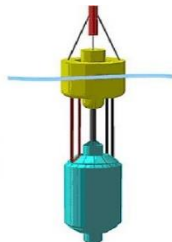
Energija talasa se može iskoristiti putem površinskih i podvodnih uređaja, kao i pomoću rezervoara.

Površinski uređaji (plutajući sistemi) – Ove uređaje talasi pomeraju gore-dole po površini okeana i na taj način im prenose energiju.

Plutajući
plovak

Povezne šipke

Potopljeni
cilindar



Prenosnik
snage



Oscilirajući vodeni stub (OWC – Oscillating Water Column) – Strukture koje koriste oscilacije vode u komorama kako bi stvorile pritisak koji pokreće turbine. Vazduh u komorama se potiskuje talasima i na taj način pokreće generator. Primer: Limpet u Škotskoj.



Talasni zmijoliki uređaji (*surface attenuators*) –

Duge plutajuće konstrukcije koje se savijaju pod dejstvom talasa i generišu električnu energiju. Ove tehnologije imitiraju način na koji se zmija kreće u vodi i koriste mehaničke spojeve za pretvaranje energije. Primer: tehnologija *Pelamis Wave Energy Converter (Pelamis WEC)*.



Pelamis WEC

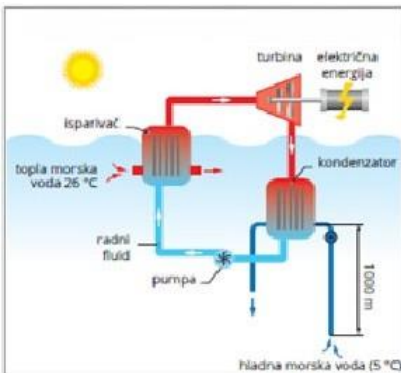
Podvodni uređaji – Kreću se od balonskih predmeta pričvršćenih za dno okeana do dugih cevi koje se protežu velikom dužinom. Kada talasi prouzrokuju njihovu oscilaciju, oni pokreću turbinu i stvaraju električnu energiju.



Podvodni uređaji

2.6 Toplotna energija okeana (OTEC - *Ocean Thermal Energy Conversion*)

OTEC koristi temperaturnu razliku između toplih površinskih voda i hladnih dubokih voda tropskih okeana za proizvodnju električne energije. Veća temperaturna razlika omogućava efikasniju konverziju energije. U blizini ekvatora, razlika temperature između površinske i dubinske vode može dostići do 25 °C, što ovaj izvor energije čini značajnim potencijalom. OTEC elektrane mogu raditi 24 sata dnevno tokom cele godine, koristeći toplotnu energiju koju tropska mora neprestano akumuliraju.



Šematski prikaz OTEC sistema



Plutajuće OTEC postrojenje

Tri su osnovne tehnologije kod OTEC sistema:

- **Zatvoreni ciklus** – Koristi radni fluid s niskom tačkom ključanja, poput amonijaka. Topla morska voda prolazi kroz izmenjivač toplote i prenosi energiju na radni fluid, koji isparava. Nastali gas pokreće turbinu povezanu s generatorom električne energije. Nakon toga, gas se hladi i kondenzuje uz pomoć hladne dubinske vode, vraćajući se u tečno stanje i zatvarajući ciklus.
- **Otvoreni ciklus** – Morska voda iz toplih površinskih slojeva uvodi se u komoru sa smanjenim pritiskom, gde deo vode isparava zbog niskog pritiska. Nastala para pokreće turbinu, nakon čega se hladi kontaktom s hladnom dubinskom vodom i ponovo kondenzuje u tečnost.
- **Hibridni ciklus** – Kombinuje elemente zatvorenog i otvorenog ciklusa kako bi se povećala efikasnost. Topla voda isparava radni fluid kao u zatvorenom ciklusu, dok istovremeno, deo vode u otvorenom ciklusu, direktno isparava pod niskim pritiskom

2.7 Geotermalna energija

Geotermalna energija je obnovljivi izvor energije koji potiče iz unutrašnjosti Zemlje i nastaje kao posledica visoke temperature njenih dubokih slojeva, koja se kreće između 4000°C i 7000°C. Ova toplota je rezultat prirodnog raspadanja radioaktivnih elemenata poput uranijuma, torijuma i kalijuma, kao i ostataka termalne energije nastale prilikom formiranja planete.

Temperatura Zemljine unutrašnjosti raste s dubinom – na 80 do 100 km, temperatura stena dostiže 600°C do 1200°C. Ova toplota konstantno struji prema površini i može se iskoristiti za proizvodnju električne energije, grejanje objekata i industrijske procese.

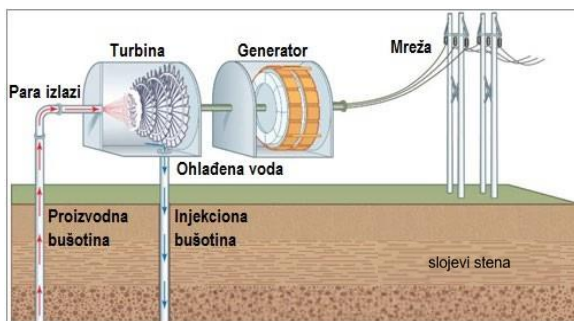
Geotermalna energija ima široku primenu, od direktnog grejanja prostora i industrijskih postrojenja do proizvodnje električne energije u geotermalnim elektranama.

Geotermalne elektrane

Geotermalne elektrane koriste toplotnu energiju iz unutrašnjosti Zemlje za proizvodnju električne energije. Para ili vruća voda iz dubokih slojeva dovodi se do turbina koje pokreću generatore, koji proizvode električnu energiju. Nakon prolaska kroz turbinu, para se kondenzuje, a ohlađena voda vraća nazad u podzemni izvor kako bi se proces mogao ponavljati.

Postoje tri osnovne vrste geotermalnih elektrana:

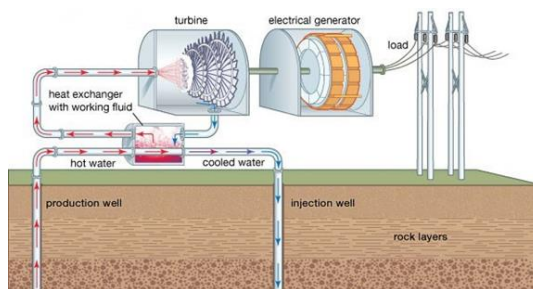
Elektrane na suvu paru – koriste najstariji način pretvaranja geotermalne energije u električnu. Para iz unutrašnjosti Zemlje direktno se dovodi do turbine, koja pokreće generator. Ovaj tip elektrane prvi put je primenjen 1904. godine u Toskani, Italija. Danas se retko koriste zbog specifičnih geoloških uslova potrebnih za njihovo funkcionisanje.



Šematski prikaz elektrane na suvu paru

Elektrane sa fleš-parom – koriste podzemnu vodu pod visokim pritiskom, koja dolaskom na površinu naglo prelazi u paru i pokreće turbinu. Kod ovog tipa elektrane, vruća voda se pod velikim pritiskom dovodi do rezervoara sa niskim pritiskom gde se pretvara u paru koja pokreće turbinu. U ovom procesu, para se hladi, kondenzuje natrag u vodu i ponovo se vraća u unutrašnjost Zemlje kako bi se ponovo zagrejala i iskoristila. Većina geotermalnih elektrana su ovog tipa.

Elektrane sa binarnim ciklusom – Kod elektrana sa binarnim ciklusom, vruća voda iz unutrašnjosti zemlje se koristi za zagrevavanje druge tečnosti do tačke ključanja, kada se ona pretvara u paru i pokreće turbinu. Ove elektrane su posebno pogodne za područja sa umerenim geotermalnim resursima, jer omogućavaju efikasno iskorišćavanje nižih temperatura. Takođe, imaju zatvoren sistem, što smanjuje emisije gasova i doprinosi energetskej održivosti.



Šematski prikaz elektrane sa binarnim ciklusom

Direktna primena geotermalne energije

Pored proizvodnje električne energije, geotermalna energija se direktno koristi za grejanje i druge praktične primene, omogućavajući efikasno i ekološki prihvatljivo korišćenje toplotne energije i to za:

- **Grejanje objekata** – Geotermalna voda se koristi za daljinsko grejanje naselja i gradova. Na Islandu, više od 90% domaćinstava koristi geotermalnu energiju za grejanje.
- **Poljoprivredu i akvakulturu** – Omogućava zagrevanje plastenika, čime se produžava vegetacioni period, kao i kontrolisani uzgoj ribe i školjki u toplijim vodama.
- **Industrijsku primenu** – Koristi se za sušenje poljoprivrednih proizvoda, pasterizaciju mleka i druge procese koji zahtevaju toplotu.
- **Geotermalne toplotne pumpe** – Ova tehnologija koristi plitke geotermalne izvore za grejanje i hlađenje zgrada, povećavajući energetska efikasnost uz niske operative troškove.

Iako se geotermalna energija smatra praktično neiscrpnim resursom, njena široka primena zavisi od geoloških uslova, troškova istraživanja i bušenja, kao i od tehničkih izazova kao što su korozija cevovoda i taloženje minerala u opremi.

Prednosti geotermalne energije:

- Geotermalna energija je obnovljivi izvor energije ukoliko se rezervoarom sa vrućom vodom pravilno upravlja tj. ukoliko brzina ekstrakcije energije nije veća od brzine prirodnog punjenja rezervoara.
- Geotermalna energija je čista, zatvorenog je tipa i ne doprinosi stvaranju efekta staklene bašte.
- Ekonomski je isplativa. Direktno korišćenje geotermalne energije je mnogo jeftinije od energije dobijene korišćenjem fosilnih goriva.
- Generisanje energije je konstantno i ne zavisi od vremenskih uslova
- Geotermalne elektrane zahtevaju manje površine nego što je to slučaj sa termoelektranama, solarnim elektranama ili vetroelektranama.

2.8 Biomasa

Biomasa predstavlja gorivo koje se dobija od organskih materija, nastaje iz obnovljivih i održivih izvora energije i može se koristiti za stvaranje električne ili toplotne energije.

Neki primeri materijala koji sačinjavaju biomasu su – otpadna građa, šumski ostaci, određeni usevi, đubrivo i neke vrste otpada.

Uz konstantno snabdevanje otpadom – od građevinskih radova i krčenja terena, preko drveta koje se ne koristi u proizvodnji papira, do čvrstog komunalnog otpada, proizvodnja zelene energije može se neograničeno nastavljati.

Biomasa je obnovljivi izvor goriva za proizvodnju energije jer će ostaci uvek postojati – otpadno drvo, šumski resursi i mlinski ostaci.

Energija iz biomase proizvedena je iz obnovljivog organskog otpada koji se inače odlaže na deponije ili spaljuje.

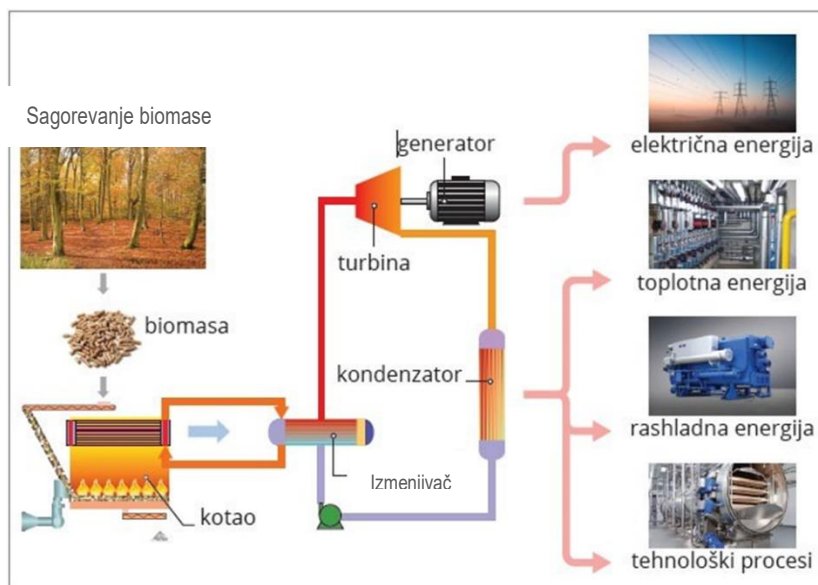
Kada se sagoreva, energija biomase se oslobađa u vidu toplote. Ako imate kamin, već učestvujete u upotrebi biomase, jer je drvo koje gori zapravo biomasa.

U elektranama na biomasu otpadno drvo ili drugi otpad sagoreva kako bi se proizvela para koja pokreće turbinu za proizvodnju električne energije ili koja obezbeđuje toplotu za potrebe industrije ili domaćinstava.

Biomasa je bogat resurs: organska materija nas okružuje, od šuma i obradivih površina do otpada i deponija. Sva biomasa prvobitno dobija energiju od Sunca zahvaljujući fotosintezi. Resursi biomase ponovo rastu u relativno kratkom vremenskom periodu u poređenju sa izvorima fosilnih goriva kojima su potrebne stotine miliona godina da se nadoknade. To znači da sigurno nećemo ostati bez biomase za proizvodnju energije.

Preusmeravanje otpada na postrojenja za proizvodnju energije na biomasu umesto na deponije ne samo da pomaže u smanjenju veličine deponija i ublažava ove rizike, već koristi i materijale koji bi inače bili neiskorišćeni.

- **Princip rada elektrana na biomasu** u osnovi se zasniva na termodinamičkom Rankinovom ciklusu, koji iskorištava toplotu nastalu sagorevanjem biomase za proizvodnju pare ili zagrevanjem specijalnog radnog fluida. Para visoke temperature i pritiska pokreće turbinu povezanu s električnim generatorom, koji proizvodi električnu energiju. Nakon ekspanzije, para se hladi u kondenzatoru, prelazi u tečno stanje i pomoću pumpe vraća se u kotao, čime se ciklus zatvara. Istovremeno, deo toplote može se iskoristiti za grejanje vode i različite tehnološke procese, što obezbeđuje efikasnije iskorišćavanje raspoložive energije.
- **Kogeneracijska postrojenja na biomasu** istovremeno proizvode električnu i toplotnu energiju. Toplota koja bi se u klasičnim elektranama gubila kroz kondenzatore, ovde se koristi za grejanje prostora, pripremu tople vode ili industrijske procese. Na taj način, uz minimalne gubitke, znatno se povećava efikasnost postrojenja i optimizuje iskorišćavanje biomase kao primarnog energetskog izvora.
- **Organski Rankinov ciklus (ORC)** je sve zastupljenija tehnologija u kogeneracijskim postrojenjima na biomasu. Specifičnost ove tehnologije ogleda se u korišćenju organskog fluida niže tačke isparavanja, što omogućava efikasniju konverziju toplote iz nižih temperaturnih izvora i često olakšava rad manjih, decentralizovanih sistema. Na taj način, u poređenju s klasičnim vođeno-parnim postrojenjima, ORC postiže bolju iskorišćenost energije iz biomase, posebno kada se radi o nižim temperaturama sagorevanja ili ograničenim količinama toplote.



Šematski prikaz ORC sistema na biomasu

Osim početnih troškova za pokretanje postrojenja, postoje dodatni troškovi povezani sa vađenjem, transportom i skladištenjem biomase pre proizvodnje električne energije. Ovo je dodatni trošak koji druge obnovljive tehnologije ne moraju da uzimaju u obzir, budući da se za gorivo oslanjaju na besplatne resurse na licu mesta poput plime, Sunce, vetra.

Ukupni troškovi u velikoj meri zavise od vrste biomase i načina na koji se pretvara u električnu energiju. Međutim, iako je biomasa često skuplja od alternativnih obnovljivih izvora energije, najskuplje vrste bioenergije su i dalje jednake ili jeftinije od fosilnih goriva. Bioenergija ne zahteva bušenje u zemlji, što nosi veliko smanjenje novčanih troškova i povećanje čistoće ekstrakcije.

2.9 Vetroelektrane

Vetroelektrane su sistemi koji se sastoje od više vetroagregata povezanih u jedinstvenu celinu. Mogu biti manje, sa nekoliko agregata za lokalnu potrošnju, ili velike, sa desetinama, pa i stotinama vetroagregata smeštenih na odgovarajućim lokacijama. Prema položaju, dele se na:

- **Kopnene (onshore) vetroelektrane** – postavljaju se na kopnu, na ravničarskim ili brdskim područjima s povoljnim vetrovima. Karakteriše ih lakša izgradnja i održavanje, ali i niži prosečni intenzitet vetra u odnosu na morske vetroelektrane.
- **Morske (offshore) vetroelektrane** – grade se na morima i okeanima, najčešće na plitkim priobalnim područjima, gdje su vetrovi jači i stabilniji. Iako omogućavaju veću proizvodnju energije, njihova gradnja i održavanje su tehnički zahtevniji i skuplji.
- **Vetroelektrane na planinskim prevojima** – postavljaju se na povišenim terenima, gde se vetar usled orografskih efekata ubrzava, što omogućava efikasnije iskorišćenje energije.
- **Vetroelektrane u pustinjama** – koriste stabilne, suve klimatske uslove s konstantnim vetrovima, iako je problem peščana erozija i specifična zaštitna oprema



Primeri različitih vrsta vetroelektrana

2.10 Hibridne vetroelektrane

Hibridne vetroelektrane kombinuju energiju vetra sa drugim izvorima energije, najčešće solarnom energijom, dizel-generatorima ili baterijskim sistemima. Ovi sistemi su posebno značajni na izolovanim lokacijama, kao što su ostrva, udaljena naselja i istraživačke stanice, gde je neophodna stabilnost napajanja bez oslanjanja na centralizovanu mrežu. Hibridni sistemi se često koriste i na modernim jedrenjacima sa integrisanim pogonskim rešenjima, čime se povećava energetska efikasnost i smanjuje potrošnja goriva.

Razvoj vetroenergetskih sistema značajno je unapredio iskorišćenje energije vetra u različitim sektorima. Vetroagregati, vetroelektrane i vetroturbine za specijalne namene omogućavaju sve širu primenu ovog obnovljivog izvora energije, čime se doprinosi energetskej stabilnosti i smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu.



Hibridna elektrana koja koristi energiju talasa, vetra i Sunca. Takozvani Hybrid Energy Converter (HEC)

Iako se danas novi izvori energije koriste za proizvodnju samo malog dela ukupne svetu potrebne energije, zbog mnogobrojnih prednosti njihovog korišćenja ovaj udeo bi trebalo znatno uvećati već u bliskoj budućnosti.

Neke od njihovih najbitnijih prednosti:

- Ovi izvori energije imaju vrlo važnu ulogu u smanjenju emisije ugljen-dioksida (CO₂) u atmosferu, što se veoma potencira u energetskej politici Evropske unije.
- Povećanje udela obnovljivih izvora energije povećava energetskej održivost sistema jedne zemlje, kao i njenu ekonomsku i državnu nezavisnost. U isto vreme pomaže u poboljšanju sigurnosti dostave energije i tako smanjuje zavisnost od uvoza energetskej sirovina, goriva kao i električne energije.
- U dogledno vreme se očekuje da će većina obnovljivih izvora energije postati ekonomski konkurentna konvencionalnim izvorima energije.

Za veće korišćenje energije iz obnovljivih izvora veoma je važna razvijena ekološka svest stanovništva, kao i politička volja za investiranje u postrojenja za proizvodnju tzv. čiste ili zelene energije.



VEŽBA

Istraživački rad – Analiza energetske postrojenja u regionu:

Male hidroelektrane
Solarne fotonaponske elektrane
Elektrane na biomasu
Geotermalne



KVIZ

Kviz 1: Obnovljivi izvori energije:

<https://forms.office.com/e/YZ1j2ZSCB0>

3. ZAŠTITA NA RADU I ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE

3.1. Moguće opasnosti po zdravlje i sigurnost radnika pri radu na solarnim fotonaponskim sistemima

Rad u okruženju solarnih fotonaponskih sistema podrazumeva izlaganje različitim faktorima radne sredine koji mogu negativno uticati na zdravlje i sigurnost radnika.

Faktori radne sredine: ekstremne temperature (visoke i niske), relativna vlažnost, vetar, Sunčeva svetlost, buka, vibracije, loša podloga, rad na visini, teški tereti, dugotrajan nepravilan položaj tela, prisustvo opasnih napona, atmosferski prenaponi, zagađenost, prisustvo opasnih materija i hemikalija i dr.

Ekstremne temperature, kako visoke tako i niske, mogu izazvati ozbiljne zdravstvene probleme ako radnici nisu adekvatno zaštićeni. Visoke temperature, u kombinaciji s direktnom izloženošću Sunčevoj svetlosti, mogu dovesti do toplotnog udara, dehidracije i opekotina, dok niske temperature povećavaju rizik od smrztina i hipotermije.



Ekstremno visoke temperature



Podizanje teškog tereta Vremenske nepravilnosti



Ekstremno visoke temperature

Relativna vlažnost vazduha dodatno utiče na osećaj temperature i može otežati termoregulaciju organizma. Radnici na montaži i održavanju solarnih panela često su izloženi dugotrajnoj direktnoj Sunčevoj radijaciji, što može uzrokovati opekotine kože i povećan rizik od dugoročnih zdravstvenih problema poput oštećenja vida i kožnih oboljenja.

Pored fizičkih opasnosti, prisustvo električne energije u radnom okruženju predstavlja ozbiljan rizik.

Mogući izvori opasnosti od visokog napona: direktni dodir delova pod naponom, približavanje delovima uređaja pod visokim naponom, previsoki napon dodira i koraka, električni luk, indukovani napon, zaostali napon, statički elektricitet, uticaj električnog i magnetskog polja, atmosferski prenaponi i dr.

Direktni dodir sa delovima pod naponom može izazvati teške povrede ili smrt, dok približavanje visokonaponskim instalacijama bez odgovarajuće zaštite nosi opasnost od indukovnog napona. Visoki napon dodira i koraka može uzrokovati ozbiljne opekotine i unutrašnje povrede tkiva, a električni luk može dovesti do termičkih oštećenja kože i očiju. Propisima je utvrđena granična vrednost napona dodira koja je opasna po život i zdravlje čoveka i ona iznosi 50 V za naizmeničnu (za 50 Hz) odnosno 120 V za jednosmernu struju. Veće vrednosti napona dodira povećavaju rizik od

elektrošoka, fibrilacije srca i toplotnih oštećenja tkiva, zavisno od trajanja izloženosti i električne otpornosti tela. Indukovani i zaostali naponi predstavljaju dodatne izvore opasnosti, naročito pri održavanju sistema koji su privremeno isključeni, dok statički elektricitet može izazvati nepredvidive elektroenergetske incidente. Uticaj električnog i magnetskog polja na ljudski organizam još uvek je predmet istraživanja, ali se smatra da dugotrajna izloženost može izazvati zdravstvene tegobe. Prisustvo atmosferskih prenapona, naročito tokom olujnog nevremena, dodatno povećava rizik od udara groma i oštećenja električne opreme.



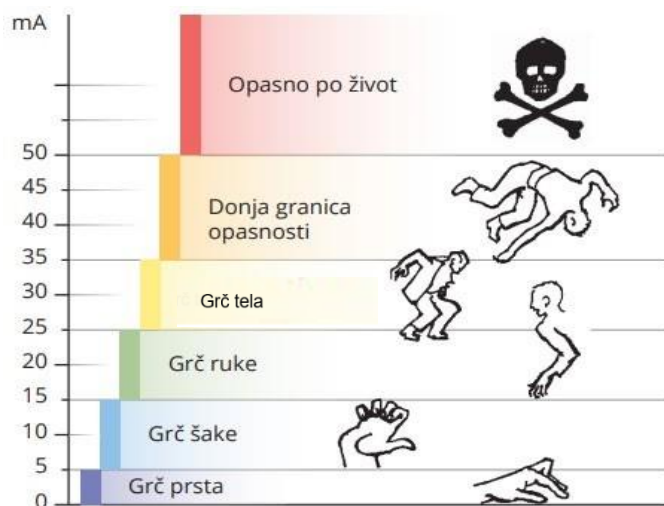
VIDEO

Napon koraka i dodira:

<https://www.youtube.com/watch?v=8sPp8G8a48E>

Dejstva električne struje na ljudski organizam mogu biti toplotna, mehanička, elektrohemijška i biološka. Toplotni efekti manifestuju se kroz opekotine i uništavanje tkiva usled visokih temperatura koje nastaju tokom električnog udara. Mehanički efekti uključuju grčenje mišića, što može dovesti do gubitka kontrole nad pokretima i ozbiljnih povreda. Elektrohemijški efekti ogledaju se u promenama sastava krvi i oštećenju nervnog sistema, dok biološki efekti uključuju poremećaje u radu srca, što može rezultirati srčanim zastojem.

Na slici je prikazano delovanje električne struje na čovečje telo, gde su dati i efekti koji se pri tome javljaju i koji zavise od jačine struje.



Delovanje električne struje na čovečje telo

Pored električnih opasnosti, prisustvo opasnih materija i hemikalija u radnom okruženju može uzrokovati trovanja, iritacije kože i oči, kao i respiratorne probleme. U pojedinim segmentima rada na solarnim fotonaponskim sistemima koriste se različiti hemijski preparati, poput sredstava za čišćenje solarnih panela, rashladnih fluida u inverterima i zaštitnih premaza za električne spojeve. Ukoliko nisu pravilno skladišteni i rukovani, ovi preparati mogu izazvati ozbiljne posledice po zdravlje radnika, uključujući hemijske opekotine i dugotrajne respiratorne probleme.

Prisustvo zagađenosti u vazduhu, posebno u vidu prašine i sitnih čestica koje nastaju prilikom bušenja, rezanja i postavljanja nosača solarnih panela, može uzrokovati dugotrajna oštećenja pluća i povećati rizik od profesionalnih bolesti disajnih organa. Radnici su često izloženi neorganskoj prašini prilikom montaže na krovovima i drugim otvorenim prostorima, što može izazvati iritaciju disajnih puteva i alergijske reakcije.

Još jedan važan aspekt jeste opasnost od požara. Požari predstavljaju dodatnu pretnju po sigurnost radnika, jer se u fotonaponskim sistemima mogu javiti usled kratkih spojeva, preopterećenja ili neispravnih električnih komponenti. Neadekvatno održavanje opreme, loše izvedeni električni spojevi, neispravne električne komponente, oštećenja kablova i neadekvatno održavanje opreme mogu povećati rizik od izbijanja požara.

Takođe, neki solarni paneli sadrže zapaljive materijale u slojevima izolacije, što može povećati rizik od požara u slučaju električnog luka ili pregrevavanja sistema. Povećana temperatura komponenti može izazvati samozapaljenje, naročito ako sistemi hlađenja invertera ne funkcionišu pravilno.



Opasnost od požara

Akumulatorski sistemi koji se koriste za skladištenje energije takođe predstavljaju požarni rizik zbog mogućnosti pregrevavanja i nekontrolisanih hemijskih reakcija u baterijama.

U slučaju nesreće, brzo i pravilno pružanje prve pomoći može biti presudno za spašavanje života. Poznavanje osnovnih postupaka reanimacije, pružanja pomoći pri opekotinama, lomovima i strujnim udarima omogućava radnicima da adekvatno reaguju u hitnim situacijama. Evakuacioni planovi i obuke za vanredne situacije igraju ključnu ulogu u minimiziranju posledica nesreća i zaštiti zdravlja zaposlenih. Na svim radnim i pomoćnim prostorijama, kao i na gradilištima sa električnim postrojenjima i uređajima, postoji stalna opasnost od strujnog udara. Posledice mogu biti bezazlene ili kobne, zavisno od brojnih faktora. Strujni udar može izazvati lakša ili teža oštećenja zdravlja, u zavisnosti od okolnosti nesreće.

Postupak spašavanja unesrećenog zavisi od toga da li je reč o niskom ili visokom naponu. Prvi korak je isključenje napona u delu postrojenja ili instalacije s kojim je unesrećeni u kontaktu. Kod niskog napona, napon se isključuje pomoću prekidača, vađenjem utikača ili osigurača, a ako to nije moguće, unesrećeni se odvaja izolacionim predmetima poput kuka, motki ili klešta prilagođenih tom naponu. Spasilac mora stajati na suvoj podlozi i izbegavati dodir sa zidovima ili drugim osobama. Ni u kom slučaju unesrećeni ne sme biti dodirnut direktno.

Kod visokog napona, isključenje može izvršiti samo stručno osposobljena osoba. Pre isključenja, unesrećenom se ne sme približavati, niti ga dodirivati, čak ni izolovanim sredstvima. Nakon isključenja, isključeni delovi moraju biti uzemljeni pre nego što se pruži pomoć.

Nakon spašavanja, potrebno je proveriti stanje unesrećenog – disanje, puls i eventualno krvarenje. Ako krvari, prvo treba zaustaviti krvarenje. U slučaju prestanka disanja ili rada srca, odmah započeti:

- veštačko disanje,
- spoljašnju masažu srca,
- kombinovane metode oživljavanja u slučaju prividne smrti.



O svakoj nesreći odmah obavestiti zdravstvenu ustanovu.

Sigurnost radnika u solarnim fotonaponskim sistemima zavisi od pravilne primene propisanih mera zaštite na radu, korišćenja odgovarajuće zaštitne opreme i kontinuirane obuke.

Svest o potencijalnim opasnostima i poštovanje preventivnih mera ključni su faktori u sprečavanju nesreća i osiguravanju bezbednog radnog okruženja. Pravilna procena rizika, korišćenje odgovarajuće lične i kolektivne zaštitne opreme, kao i pridržavanje propisanih procedura pri montaži, održavanju i radu sa električnim komponentama, od suštinskog su značaja za zaštitu radnika.

S obzirom na to da rad u solarnim fotonaponskim sistemima često uključuje izloženost Sunčevom zračenju, rad na visini i kontakt sa električnim instalacijama, neophodno je osigurati redovne obuke za radnike kako bi se smanjili rizici od povreda i nesreća. Primena adekvatnih sigurnosnih mera, kao što su pravilno korišćenje zaštitnih kaciga, rukavica, zaštitnih naočara i sigurnosnih pojaseva, značajno doprinosi bezbednosti prilikom izvođenja svih radova.

3.2. Primena mera bezbednosti i zaštite na radu prilikom izvođenja radova na solarnim fotonaponskim sistemima

Prilikom izvođenja radova na solarnim fotonaponskim sistemima, ključna je primena mera bezbednosti i zaštite na radu kako bi se smanjili rizici od povreda i nesreća. Načini rada u odnosu na prisustvo napona dele se na radove u beznaponskom stanju, radove u blizini napona i radove pod naponom.

Radovi u beznaponskom stanju podrazumevaju potpuno isključenje napajanja fotonaponskog sistema uz sprovođenje propisanih mera zaštite kako bi se sprečilo nenamerno ponovno uključenje.

Radovi u blizini napona zahtevaju dodatne mere opreza, uključujući upotrebu zaštitnih barijera, sigurnosnih odstojanja i odgovarajućih izolovanih alata kako bi se smanjio rizik od električnog udara.

Radovi pod naponom izvode se uz posebne tehničke i organizacione mere, uključujući upotrebu specijalizovane opreme, izolacionih alata i pridržavanje strogih sigurnosnih procedura.

Zaštitna sredstva i oprema dele se na lična i kolektivna.

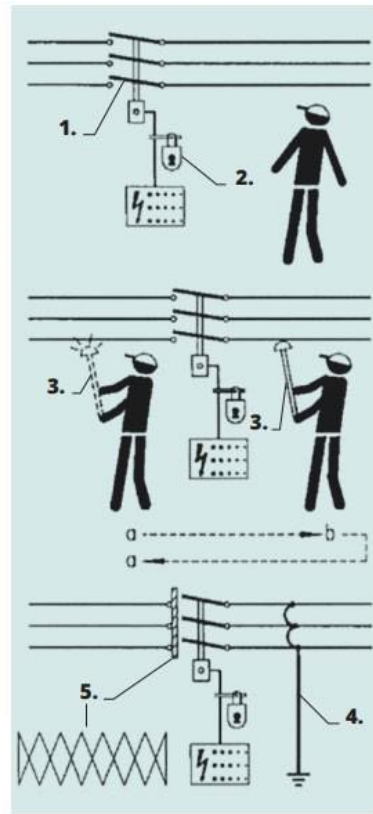
- Lična zaštitna sredstva uključuju kacige, zaštitne naočare, vizire, rukavice, zaštitnu odeću i obuću, sigurnosne pojaseve i opremu za rad na visini.
- Kolektivna zaštitna sredstva obuhvataju izolacione barijere, zaštitne pregrade, upozoravajuće oznake i sredstva za obezbeđenje radnog prostora.

Pravilan izbor i upotreba zaštitnih sredstava ključni su za minimizaciju rizika pri radu na solarnim sistemima.

Mere bezbednosti pri radu temelje se na primeni "pet zlatnih pravila" sigurnosti, koja uključuju isključenje napona, osiguranje od ponovnog uključanja, proveru odsustva napona, uzemljenje i kratko spajanje te ograđivanje i označavanje radnog područja. Pored toga, važno je koristiti izolacione zaštitne pregrade, ploče i prekrivače kako bi se sprečio nenamerni kontakt sa delovima pod naponom. Postavljanje ograda, traka i oznaka upozorenja dodatno doprinosi bezbednosti radnog prostora.

Mere bezbednosti:

- "pet zlatnih pravila";
- postavljanje izolacionih zaštitnih pregrada, ploča, prekrivača;
- postavljanje ograda i oznaka upozorenja, ograđivanje mesta rada i dr.;
- zabrana rada pod naponom i dr.



Pre početka radova neophodno je proveriti ispravnost zaštitnih sredstava i opreme. Svaka zaštitna kaciga, rukavica, pojas ili drugi element mora biti tehnički ispravan i odgovarati propisanim standardima. Pored toga, obavezno je postavljanje sredstava za obeležavanje i obezbeđivanje radnog prostora, uključujući zaštitne ograde, trake za obeležavanje radova i privremenu saobraćajnu signalizaciju.



30

3.3. Sprovođenje mera bezbednosti i mera lične zaštite pri radu na visini u solarnim fotonaponskim sistemima

Pri izvođenju radova na visini u solarnim fotonaponskim sistemima, radna mesta obuhvataju različite lokacije, kao što su krovovi objekata, pristupne platforme, nosači panela i specijalno uređeni sistemi za montažu. Ove lokacije zahtevaju posebnu pažnju zbog specifičnih opasnosti, budući da radnici često rade na velikim visinama, u nepovoljnim vremenskim uslovima i na površinama koje mogu biti klizave, strme ili neadekvatno pripremljene.

Lokacije radova na visini: krovovi objekata (kosi i ravni), fasade objekata, stubne konstrukcije, tornjevi, parking nadstrešnice i dr.



Oprema potrebna za rad na visini

Prilikom izvođenja radova na visini, neophodno je temeljno evidentirati faktore radne sredine. Na primer, prilikom instalacije solarnih panela na krovu objekta, radnici trebaju obratiti pažnju na vremenske uslove – brzinu i smer vetra, temperaturu, mogućnost padavina i klizavost površine – kao i na stabilnost krova, sigurnost pristupnih platformi i eventualne prepreke koje mogu uticati na sigurnost. Detaljno evidentiranje ovih faktora omogućava da se na vreme prepoznaju potencijalni rizici i preduzmu adekvatne mere zaštite.

Sprovođenje mera bezbednosti za sigurno obavljanje radova na visini podrazumeva implementaciju svih propisanih sigurnosnih procedura. To uključuje:

- Postavljanje zaštitnih ograda i barijera na radnim mestima.
- Upotrebu sistema za zaštitu od pada, uključujući sigurnosne pojaseve, konopce i anker tačke.
- Osiguranje radnih mesta korišćenjem specijalizovane opreme za rad na visini.
- Redovne preglede i održavanje pristupnih sistema kako bi se osiguralo da su stabilni i sigurni.

Takođe, izuzetno je važno osigurati stalnu komunikaciju među radnicima putem radio-veza ili drugih sredstava komunikacije kako bi se omogućila koordinacija i hitna reakcija u slučaju nesreće. Evakuacione procedure moraju biti jasno definisane, a svi radnici obučeni za brzo i efikasno reagovanje u hitnim situacijama.

Korišćenje ličnih zaštitnih sredstava pri radu na visini predstavlja ključnu meru zaštite. Radnici moraju biti opremljeni zaštitnim kacigama, sigurnosnim pojasevima, specijalizovanom opremom za rad na visini te ostalim ličnim zaštitnim sredstvima koja su neophodna za sprečavanje povreda.



KVIZ

KVIZ 2: Primena mera bezbednosti i zaštite na radu prilikom izvođenja radova na izgradnji solarnih fotonaponskih sistema:

<https://forms.office.com/e/J2vYyMiPED>.



VIDEO

Rad na visini: <https://www.youtube.com/watch?v=FqEOVrBnE58>, potreba i karakteristike delova lične zaštitne opreme:

<https://www.youtube.com/watch?v=nA9oC--tq50>.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Simulacija evakuacije

Materijal i alat:

- Sigurnosni pojas s kopčama;
- Karabinerske kopče;
- Anker tačke;
- Komunikacijska oprema (radio ili mobilni uređaj);
- Simulaciona zaštitna oprema.

Postupak:

1. Priprema sigurnosne opreme

- Postaviti sigurnosni pojas i pravilno ga pričvrstiti prema uputstvu proizvođača.
- Proveriti da su svi pojasevi dobro podešeni i osigurani prije početka simulacije.
- Pričvrstiti sigurnosni pojas za anker tačku koristeći odgovarajuću karabinersku kopču.
- Osigurati da je anker tačka stabilna i da može podneti opterećenje.

2. Planiranje evakuacije

- Komunicirati s članovima tima i uspostaviti plan evakuacije.
- Odrediti uloge: jedna osoba zadužena za komunikaciju s bazom, druga za proveru opreme.

3. Simulacija hitne situacije

- Po instrukciji instruktora, simulirati hitnu situaciju (pad ili potrebu za evakuacijom).
- Koordinisano slediti evakuacioni plan:
- Obavestiti tim.
- Osigurati mesto evakuacije.
- Sprovesti postupak spuštanja ili izvlačenja radnika.

4. Analiza simulacije

- Nakon završetka vežbe, analizirati postupak evakuacije.
- Identifikovati moguće greške ili oblasti za poboljšanje.
- Diskutovati s instruktorom i timom kako bi se poboljšala brzina i efikasnost reakcije.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Simulacija spašavanja sa visine

Materijal i alat:

- Sigurnosna mreža;
- Sistem za spašavanje (užad, koloturnici, karabineri);
- Sigurnosni pojasevi;
- Komunikacijska oprema;
- Prva pomoć.

Postupak:

1. Priprema sistema spašavanja

- Pregledati sigurnosnu mrežu i sistem za spašavanje.
- Proveriti stanje mreže i pričvrstnih elemenata.
- Osigurati da je mreža stabilno postavljena.

2. Simulacija hitne situacije

- Simulirati pad radnika sa visine.
- Demonstrirati ispravnu reakciju tima.

3. Izvođenje spašavanja

- Komunicirati s timom i osigurati stabilnost svih radnih platformi i sigurnosne opreme.
- Pomoću sistema za spuštanje ili podizanje, primeniti odgovarajuću tehniku evakuacije unesrećenog radnika.
- Pravilno pričvrstiti sigurnosne pojaseve spašenog radnika i osigurati ga dok ga tim ne spusti na sigurno mesto.

4. Analiza postupka spašavanja

- Diskutovati o svim izazovima tokom simulacije.
- Evaluirati efikasnost reakcije i sigurnost svih uključenih članova tima.

3.4. Primena mera za smanjenje negativnog uticaja solarnih fotonaponskih sistema na životnu sredinu

Očuvanje životne sredine predstavlja jedan od ključnih aspekata pri izgradnji i eksploataciji solarnih fotonaponskih sistema. S obzirom na činjenicu da obnovljivi izvori energije igraju značajnu ulogu u smanjenju emisija gasova staklene bašte, istovremeno je važno prepoznati i kontrolisati moguće negativne uticaje ovih postrojenja na ekosistem. Održivo upravljanje prirodnim resursima, zaštita biodiverziteta i pravilno zbrinjavanje otpada predstavljaju osnovne principe odgovornog poslovanja u oblasti obnovljivih izvora energije.

Solarni fotonaponski sistemi mogu imati određene negativne uticaje na životnu sredinu. Pre svega, izgradnja solarnih farmi može dovesti do degradacije zemljišta, naročito kada se uklanjaju prirodna vegetacija i drveće radi postavljanja panela. Ova promena pejzaža može uticati na biljni i životinjski svet, posebno u ekološki osetljivim područjima.

Procedura upravljanja otpadom: identifikacija otpada, razvrstavanje otpada, pakovanje otpada, označavanje otpada, transport otpada, skladištenje otpada, reciklaža i dr.

U Kaliforniji, solarni paneli se postavljaju na krovove zgrada i napuštene industrijske lokacije umesto na poljoprivredna zemljišta, čime se smanjuje negativan uticaj na prirodne ekosisteme.

Takođe, reflektujuća površina solarnih panela može izazvati optičke smetnje i ometati ptice i druge životinjske vrste. Studije su pokazale da ptice mogu pogrešno percipirati solarne panele kao vodene površine, što može dovesti do neželjenih sudara.

Japanski naučnici su razvili premaz inspirisan očima moljaca, koji značajno smanjuje refleksiju solarnih panela, čime se smanjuju optičke smetnje i povećava njihova efikasnost.

Buka koja nastaje tokom instalacije i održavanja solarnih sistema, kao i elektromagnetne interferencije koje proizvode inverteri i druge električne komponente, mogu imati manji, ali merljiv uticaj na okolinu i komunikacione sisteme.



Smanjenje refleksije solarnih panela

Kako bi se minimizirali negativni uticaji solarnih fotonaponskih sistema na životnu sredinu, potrebno je sprovesti niz mera:

- Pravilno planiranje lokacija solarnih farmi kako bi se smanjio uticaj na staništa i ekološke koridore.
- Implementacija tehnologija za smanjenje refleksije solarnih panela kako bi se umanjile smetnje za ptice i druge životinjske vrste.
- Očuvanje prirodne vegetacije oko solarnih elektrana radi održavanja ekosistema i smanjenja degradacije zemljišta.
- Pravilno zbrinjavanje solarnih panela nakon isteka njihovog životnog veka i reciklaža materijala kako bi se smanjila količina otpada.

Evropska unija implementira obavezne programe reciklaže solarnih panela kroz WEEE direktivu (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), koja zahteva da proizvođači budu odgovorni za zbrinjavanje panela nakon isteka životnog veka.

Reciklaža solarnih panela i druge opreme solarnih fotonaponskih sistema nakon isteka njihovog životnog veka

Reciklaža solarnih panela i druge opreme solarnih fotonaponskih sistema od suštinskog je značaja za smanjenje otpada i zaštitu prirodnih resursa. Implementacija kružne ekonomije u sektoru obnovljivih izvora energije doprinosi smanjenju ekološkog otiska i optimizaciji resursa.

Procenjuje se da će do 2050. godine milioni tona solarnih panela završiti svoj životni vek, što ih čini ključnim pitanjem upravljanja elektronskim otpadom. Iako se solarni paneli dizajniraju da traju 25–30 godina, veliki broj njih već dostiže kraj svog životnog ciklusa, što postavlja izazove u pogledu pravilnog odlaganja i reciklaže.

Većina solarnih panela sastoji se od aluminijumskog okvira, stakla, silicijumskih ćelija, bakarnih i srebrnih konektora, kao i polimernih zaštitnih slojeva. Preko 80% materijala iz solarnih panela može se reciklirati, uključujući staklo, aluminijum i silicijum. Ipak, uklanjanje i obrada slojeva plastike i tankih slojeva poluprovodnika predstavljaju tehnički izazov.

Trenutno se mnogi neispravni solarni paneli odlažu na deponije, što nije održivo. Pojedine zemlje već uvode regulative koje zahtevaju obaveznu reciklažu panela kako bi se smanjio negativan uticaj na životnu sredinu.



Solarni paneli za reciklažu

Ključne metode reciklaže solarnih panela uključuju:

- **Mehaničko usitnjavanje** – Solarni paneli se usitnjavaju kako bi se odvojili staklo, metalni delovi i silicijum.
- **Toplotna obrada** – Proces zagrevanja koji uklanja plastične slojeve, omogućavajući ponovnu upotrebu stakla i metala.
- **Hemijska obrada** – Korišćenje hemijskih rastvora za razlaganje i izdvajanje vrednih materijala, uključujući srebro i silicijum.

Novе tehnologije razvijaju metode efikasnijeg razdvajanja slojeva solarnih panela i ponovnu upotrebu materijala u proizvodnji novih ćelija. Evropska unija već implementira obavezne programe reciklaže kroz direktive o elektronskom otpadu (WEEE), dok druge zemlje postepeno usvajaju slične propise.

Kompanija *First Solar* razvila je zatvoreni sistem reciklaže u kojem se 95% materijala iz tankoslojnih solarnih panela može ponovo koristiti u proizvodnji novih ćelija, čime se smanjuje potreba za eksploatacijom prirodnih resursa. Francuska kompanija *Veolia* otvorila je prvu evropsku fabriku specijalizovanu za reciklažu solarnih panela, koja može obraditi 4.000 tona panela godišnje, izdvajajući silicijum, staklo i metale za ponovnu upotrebu.

Potrebno je nastaviti sa razvojem rešenja koja će osigurati održivu budućnost solarne energije i smanjiti ekološki otisak industrije.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Upravljanje otpadom kod solarnih fotonaponskih sistema

Materijal i alat:

- Spremnici za različite vrste otpada (plastika, metal, papir, elektronski otpad, opasni otpad);
- Oznake za kategorizaciju otpada;
- Vreće za otpad i posude za hemikalije;
- Propisi o ekološkom zbrinjavanju otpada;
- Rukavice i zaštitna oprema.

Postupak:

1. Identifikacija otpada

- Pregledati prostor elektrane i identifikovati vrste otpada koji nastaje tokom rada i održavanja.
- Kategorizovati otpad na opšti, elektronski, opasni i reciklabilni otpad.

2. Razvrstavanje otpada

- Razvrstati otpad prema ekološkim standardima i propisima.
- Obeležiti spremnike prema vrstama otpada (npr. papir, metal, plastika, električni i elektronski otpad, opasni otpad).

3. Pakovanje i označavanje otpada

- Ispravno zapakovati otpad koristeći adekvatne vreće i spremnike.
- Označiti svaki spremnik prema vrsti otpada i uputstvima za odlaganje.

4. Skladištenje i reciklaža

- Pravilno skladištiti otpad do preuzimanja od strane ovlašćenih službi.
- Odrediti mogućnosti za reciklažu i ponovnu upotrebu određenih materijala (metalni i električni otpad, plastika).

Završna provera:

- Proveriti da li je sav otpad ispravno razvrstan i označen.
- Pregledati prostor skladištenja i osigurati da su propisi o zaštiti životne sredine ispoštovani.
- Diskutovati o mogućnostima unapređenja procesa reciklaže i ponovne upotrebe materijala.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Primena zaštitne opreme pri sprovođenju mera zaštite životne sredine

Materijal i alat:

- Lična zaštitna oprema (rukavice, maske, zaštitna odela, obuća);
- Spremnici za opasni otpad;
- Oznake za hemikalije i opasne materijale;
- Standardne procedure za rukovanje otpadnim materijalima.

Postupak:

1. Priprema zaštitne opreme

- Odabrati odgovarajuću zaštitnu opremu prema vrsti otpada s kojim se rukuje.
- Proveriti ispravnost i funkcionalnost opreme pre upotrebe.

2. Pravilno rukovanje otpadom i hemikalijama

- Identifikovati opasne materijale i hemikalije prema oznakama.
- Koristiti zaštitne rukavice i maske pri rukovanju hemikalijama.
- Pravilno zatvoriti i skladištiti spremnike sa hemikalijama kako bi se sprečilo curenje ili kontaminacija.

3. Pakovanje i transport opasnog otpada

- Ispravno zapakovati i označiti opasni otpad prema propisanim standardima.
- Koristiti odgovarajuće kontejnere i nalepnice za opasne materijale.
- Transportovati otpad u skladu sa sigurnosnim procedurama i ekološkim standardima.

Završna provera:

- Proveriti ispravnost primene zaštitne opreme tokom izvođenja zadataka.
- Osigurati da su otpadni materijali pravilno upakovani i označeni pre skladištenja ili transporta.
- Diskutovati o potencijalnim rizicima i načinima za poboljšanje ekoloških i sigurnosnih procedura u solarnim elektranama.

4. ENERGIJA SUNCA

Sunčeva energija je osnovni izvor energije na Zemlji i može se direktno koristiti za proizvodnju toplotne i električne energije putem solarnih tehnologija. Solarni sistemi se zasnivaju na korišćenju Sunčevog zračenja, koje je dostupno svuda i predstavlja neiscrpan i ekološki prihvatljiv energetska resurs. Snaga, raspoloživost i karakteristike Sunčevog zračenja zavise od više faktora, uključujući geografski položaj, atmosferske uslove, orijentaciju površina koje primaju zračenje i merenje njegovih parametara. Razumevanje ovih faktora i precizno merenje parametara Sunčevog zračenja neophodni su za pravilno projektovanje i optimizaciju solarnih sistema.

Karakteristike i parametri Sunčevog zračenja

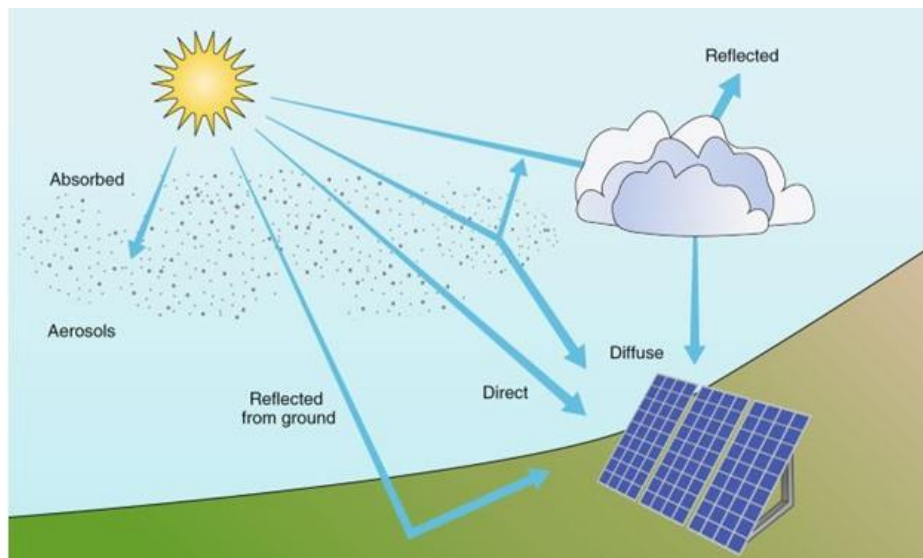
Sunčevo zračenje predstavlja elektromagnetnu energiju koju Sunce emituje u obliku svetlosti i toplote. Ova energija dolazi do Zemlje i omogućava sve oblike života, dok istovremeno služi kao izvor obnovljive energije za solarne tehnologije.

Vrste Sunčevog zračenja

Sunčevo zračenje može se podeliti na nekoliko tipova u zavisnosti od načina dolaska do površine Zemlje:

- **Direktno zračenje** – Sunčeva svetlost koja dolazi direktno sa Sunca i može biti usmerena na solarne uređaje bez refleksije ili rasipanja.
- **Difuzno zračenje** – Deo Sunčevog zračenja koji je rasut u atmosferi usled interakcije sa molekulima vazduha, česticama prašine i oblacima.
- **Reflektovano zračenje** – Deo zračenja koje se odbija od tla, zgrada, vegetacije i drugih površina.

Ukupno Sunčevo zračenje koje dospeva na određenu površinu predstavlja zbir direktnog, difuznog i reflektovanog zračenja.



Vrste Sunčevog zračenja

Ključni parametri Sunčevog zračenja

Nekoliko parametara definiše intenzitet i kvalitet Sunčevog zračenja:

- **Sunčeva konstanta** – prosečna vrednost energije koju Sunce emituje u obliku elektromagnetnog zračenja na spoljašnju stranu atmosfere (približno 1361 W/m^2).
- **Spektar Sunčevog zračenja** – uključuje ultraljubičasto (UV), vidljivo i infracrveno (IR) zračenje.
- **Intenzitet zračenja** – meri se u W/m^2 i zavisi od vremena dana, godišnjeg doba i lokacije na Zemlji.
- **Azimut i ugao elevacije Sunca** – parametri koji opisuju položaj Sunca u odnosu na horizontalnu površinu.
- **Albedo površine** – količina Sunčevog zračenja koje se reflektuje od tla.

Varijacije Sunčevog zračenja

Sunčevo zračenje varira u zavisnosti od nekoliko faktora:

- **Geografska širina** – oblasti bliže ekvatoru primaju više Sunčeve energije tokom godine.
- **Doba dana** – maksimalan intenzitet zračenja dostiže se u podne kada je Sunce na najvišoj tački.
- **Godišnje doba** – zbog nagiba Zemljine ose, zračenje varira između letnjih i zimskih meseci.
- **Meteorološki uslovi** – oblačnost, magla i atmosferske čestice smanjuju intenzitet zračenja.
- **Nadmorska visina** – na većim visinama smanjuje se apsorpcija i rasipanje zračenja.

Mapa solarnog zračenja po regijama

Za projektovanje fotonaponskih sistema koristi se mapa solarnog zračenja, koja prikazuje prosečne godišnje vrednosti Sunčeve energije u različitim geografskim oblastima. Ovi podaci omogućavaju:

- **Dimenzionisanje fotonaponskih sistema** – Tačna procena potrebnog broja solarnih panela i njihove površine.
- **Procenu proizvodnje energije** – Realistična kalkulacija količine proizvedene električne energije na određenoj lokaciji.
- **Optimizaciju orijentacije i nagiba panela** – Postavljanje panela pod odgovarajućim uglom za maksimalnu efikasnost.
- **Analizu sezonskih varijacija** – Planiranje kapaciteta skladištenja energije u područjima sa izraženim zimskim padom osunčanja.

Korišćenjem preciznih podataka o Sunčevom zračenju, investitori i inženjeri mogu doneti optimalne odluke koje povećavaju energetska efikasnost i ekonomsku isplativost solarnih elektrana. Jedan od sajtova koji se može koristiti u ove svrhe je <https://globalsolaratlas.info/map>.

Uticajni faktori Sunčevog zračenja

Nekoliko faktora utiče na iskorišćenje Sunčevog zračenja u solarnim sistemima:

- **Atmosferska apsorpcija** – vodena para, ugljen-dioksid i ozon apsorbuju deo Sunčevog zračenja.
- **Aerosoli i zagađenje** – smanjuju direktno Sunčevo zračenje i povećavaju difuznu komponentu.
- **Nagib i orijentacija solarnih panela** – pravilno podešeni paneli maksimiziraju prikupljanje Sunčeve energije.
- **Reflektivnost površine** – materijali sa visokom reflektivnošću povećavaju količinu reflektovanog zračenja.

Merenje parametara Sunčevog zračenja

Precizno merenje Sunčevog zračenja je ključno za projektovanje i optimizaciju solarnih energetske sistema. Koriste se različite metode i instrumenti:

- Piranometar – meri globalno zračenje (direktno + difuzno) na horizontalnoj površini.



- Piroheliometar – meri samo direktno Sunčevo zračenje.



- Aktinometar - Koristi se za merenje ukupne količine Sunčevog zračenja na određenoj lokaciji.



- Sun tracking sistemi – omogućavaju precizno praćenje Sunčevog puta za povećanu efikasnost.



- Spektralni analizatori – analiziraju spektar Sunčevog zračenja.
- Mreže meteoroloških stanica – omogućavaju kontinuirano praćenje solarnih parametara na različitim lokacijama.

Ova merenja omogućavaju optimizaciju solarnih energetskih sistema i njihovo prilagođavanje specifičnim klimatskim uslovima.

Metode merenja Sunčevog zračenja

Merenje Sunčevog zračenja može biti direktno ili indirektno, u zavisnosti od tačnosti podataka.

Direktno merenje:

- Meri intenzitet Sunčevog zračenja na određenoj lokaciji.
- Pireliometri i piranometri mere direktno (DNI) i globalno (GHI) zračenje u realnom vremenu.
- Ključno za projektovanje solarnih sistema, optimizaciju i validaciju podataka iz satelitskih modela.

Indirektno merenje:

- Koristi satelite i matematičke modele za procenu zračenja.
- Sateliti prikupljaju atmosferske podatke koji se koriste u modelima za izračunavanje zračenja na Zemlji.
- GIS (Geografski informacioni sistemi) sistemi pomažu u vizualizaciji solarnih resursa i planiranju solarnih projekata.



Geografski informacioni sistemi

Precizno merenje je važno za procenu solarnog potencijala i optimizaciju solarnih sistema.

4.1. Solarni energetske sistemi i njihova primena

Solarni energetske sistemi koriste Sunčevu energiju za proizvodnju električne i toplotne energije i mogu se podeliti u tri osnovne kategorije:

- Solarni fotonaponski sistemi (SFNS),
- Solarni kolektorski sistemi (SKS),
- Koncentrovani solarni sistemi (CSP – *Concentrated Solar Power*).

Solarni fotonaponski sistemi (SFNS) pretvaraju Sunčevu svetlost direktno u električnu energiju pomoću fotonaponskih ćelija. Ova tehnologija se zasniva na fotoelektričnom efektu, pri kojem fotoni Sunčeve svetlosti oslobađaju elektrone u poluprovodničkom materijalu, stvarajući električnu struju.

Fotonaponski sistemi mogu imati različite kapacitete i namene – od malih autonomnih sistema za napajanje pojedinačnih objekata do velikih solarnih parkova, koji proizvode električnu energiju za elektroenergetski sistem.

Solarni fotonaponski sistemi se detaljno obrađuju u narednim poglavljima, kao glavni predmet izučavanja u ovom priručniku.

4.2. Solarni kolektorski sistemi (SKS)

Solarni kolektorski sistemi (SKS) su tehnologije koje koriste energiju Sunca za zagrevanje fluida, koji se zatim koristi za grejanje prostora, pripremu sanitarne tople vode ili industrijske procese. Ovi sistemi funkcionišu na principu prikupljanja Sunčevog zračenja pomoću kolektora, koji prenose toplotu na radni fluid.

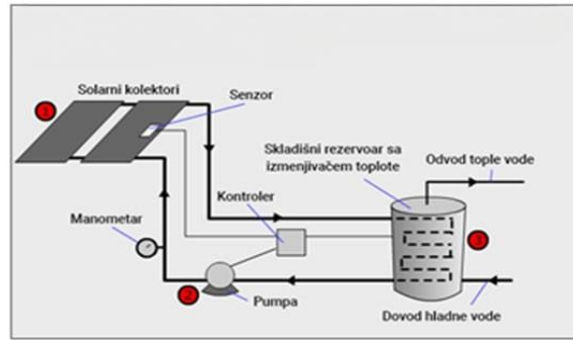
Solarni kolektorski sistemi su najrasprostranjenija primena solarne termalne tehnologije, posebno u stambenim, komercijalnim i industrijskim objektima, gde doprinose uštedi u potrošnji električne energije i smanjenju upotrebe fosilnih goriva. Za razliku od solarne fotonaponske tehnologije koja direktno pretvara Sunčevu svetlost u električnu energiju i solarnih termoelektrana koje koriste koncentrisanu solarnu energiju za proizvodnju električne energije pomoću parne turbine, solarni kolektorski sistemi ne proizvode električnu energiju. Oni služe isključivo za zagrevanje fluida i distribuciju toplote krajnjim korisnicima.

Princip rada i komponente solarnih kolektorskih sistema

Proces rada solarnih kolektorskih sistema odvija se kroz tri osnovne faze:

- **Apsorpcija Sunčevog zračenja** – Sunčeva svetlost pada na površinu kolektora, gde se apsorbuje i pretvara u toplotu radnog fluida.
- **Prenos toplote na radni fluid** – Zagrejana apsorpciona ploča kolektora prenosi toplotu na radni fluid, koji cirkuliše kroz sistem.
- **Distribucija ili skladištenje toplote** – Zagrejani fluid prenosi toplotu potrošačima ili se skladišti u akumulacionim rezervoarima za kasniju upotrebu.

U zatvorenim sistemima, radni fluid (antifriz ili termalno ulje) preuzima toplotu i prenosi je kroz izmenjivač toplote do rezervoara. Cirkulacija fluida omogućena je pomoću pumpe, koja osigurava kontinuiran protok kroz sistem ili prirodnim konvekcijskim strujanjem. Kontrolni sistemi automatski regulišu protok fluida i rad pumpe u zavisnosti od temperature fluida u kolektorima i skladišnom rezervoaru.



Komponente solarnih kolektorskih sistema

Solarni kolektorski sistemi sastoje se od više komponenti koje omogućavaju efikasan prijem, prenos, skladištenje i distribuciju toplotne energije.

- **Solarni kolektori** – osnovni element sistema koji apsorbira Sunčevu energiju i pretvara je u toplotu.
- **Radni fluid** – prenosi toplotu iz kolektora do krajnjeg korisnika (bojler, grejanje, industrijski procesi). Može biti voda, antifriz ili termalno ulje.
- **Cevovod** – sistem cevi kroz koje cirkuliše radni fluid, izrađen od materijala otpornog na visoke temperature i koroziju (bakar, nerđajući čelik, specijalne plastike).
- **Cirkulacione pumpe** – omogućavaju protok radnog fluida kroz sistem, osiguravajući kontinuiran prenos toplote.
- **Skladišni (akumulacioni) rezervoar** – omogućava čuvanje toplote za kasniju upotrebu.
- **Izmenjivač toplote** – prenosi toplotu između radnog fluida i potrošačke vode.
- **Kontrolni sistem** – omogućava automatsku regulaciju rada sistema, čime se optimizuje efikasnost i smanjuju gubici energije.

Vrste solarnih kolektora

- **Ravni pločasti kolektori** – najčešće korišteni, jednostavni i pouzdani, ali sa većim toplotnim gubicima zbog izloženosti okolnom vazduhu.
- **Vakumski cevni kolektori** – napredniji kolektori sa boljom izolacijom, čime se povećava efikasnost i smanjuju toplotni gubici.
- **Koncentracioni kolektori** – koriste ogledala ili sočiva za fokusiranje Sunčeve svetlosti, omogućavajući postizanje visokih temperatura te su pogodni za industrijsku upotrebu.



Ravni pločasti kolektori postavljeni na krovu stambenog objekta



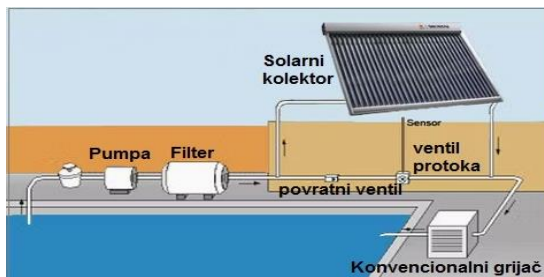
Vakumski cevni kolektori

Svaka vrsta solarnih kolektora ima svoju specifičnu primenu, zavisno od klimatskih uslova i potreba korisnika. Ravni pločasti kolektori su najpristupačniji i široko rasprostranjeni u domaćinstvima, dok su vakumski kolektori efikasniji u regijama sa nižim temperaturama. Koncentracioni kolektori primenjuju se u velikim solarnim termoelektranama i industriji. Pravilan odabir kolektora ključan je za efikasnost i dugoročnu isplativost solarnih termalnih sistema.

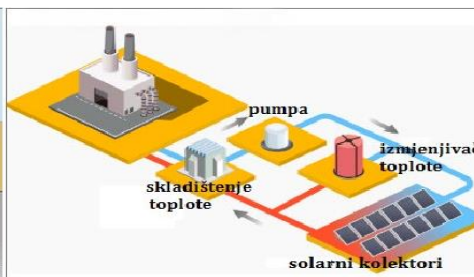
Primena solarnih kolektorskih sistema

Solarni kolektorski sistemi (SKS) imaju široku primenu:

- **U stambenim objektima** – za pripremu sanitarne tople vode i podršku sistemima grejanja.
- **U komercijalnim i javnim objektima** – hoteli, bolnice, škole, sportski centri koriste SKS za smanjenje troškova energije.
- **U industriji** – koristi se za pasterizaciju, sterilizaciju, sušenje i druge procese.
- **U daljinskom grejanju** – integracija solarnih kolektorskih sistema sa centralizovanim sistemima grejanja u urbanim sredinama.
- **U izolovanim područjima** – za snabdevanje toplom vodom i grejanje objekata u ruralnim i udaljenim regijama.



Šematski prikaz upotrebe kolektora za grejanje vode u bazenu



Šematski prikaz upotrebe kolektora u industriji

Prednosti i izazovi solarnih kolektorskih sistema

Prednosti:

- Besplatan i obnovljiv izvor energije.
- Smanjenje troškova grejanja vode i prostora.
- Ekološki prihvatljiv sistem sa smanjenom emisijom CO₂.
- Dug životni vek od 20 do 30 godina.
- Mogućnost kombinovanja sa drugim energetske sistemima.

Izazovi:

- Visoki početni troškovi instalacije.
- Zavistan od količine Sunčevog zračenja.
- Potreban dodatni prostor za instalaciju.
- Neophodno održavanje za dugoročnu efikasnost.

Solarni kolektorski sistemi su jedna od najefikasnijih primena solarne termalne energije za grejanje vode i prostora, kao i za podršku industrijskim procesima. Njihova jednostavnost, pouzdanost i dugoročna isplativost čine ih atraktivnim rešenjem u mnogim sektorima.

4.3. Koncentrovani solarni sistemi (solarne termoelektre)

Koncentrovani solarni sistemi (*Concentrated Solar Power* – CSP sistemi) su napredni termalni sistemi koji koriste Sunčevu energiju za generisanje toplote putem optičkih uređaja, kao što su parabolična ogledala, solarni tanjiri ili heliostati. Ova toplota može imati različite primene – od industrijskih procesa do grejanja, ali se najčešće koristi za pokretanje termodinamičkih ciklusa u cilju proizvodnje električne energije.

Solarne termoelektre su osnovni tip koncentrovanog solarnog sistema namenjen proizvodnji električne energije. One koriste koncentrovanu Sunčevu energiju za zagrevanje radnog fluida, koji prenosi toplotu do generatora pare. Stvorena para pod pritiskom pokreće turbinu povezanu s generatorom, koji proizvodi električnu energiju.

Jedna od glavnih prednosti solarnih termoelektrana je mogućnost skladištenja toplote, što omogućava kontinuiranu proizvodnju električne energije čak i kada nema Sunčevog zračenja, poput noći ili oblačnih dana. Na taj način solarne termoelektre osiguravaju stabilno i pouzdano snabdevanje električnom energijom, doprinoseći energetske sigurnosti i smanjenju oslanjanja na fosilna goriva.

Tehnologije i principi rada solarnih termoelektrana

Kod solarnih termoelektrana, kao i kod koncentrovanog solarnog sistema uopšte, za konverziju Sunčeve energije u toplotu koriste se četiri osnovne tehnologije:

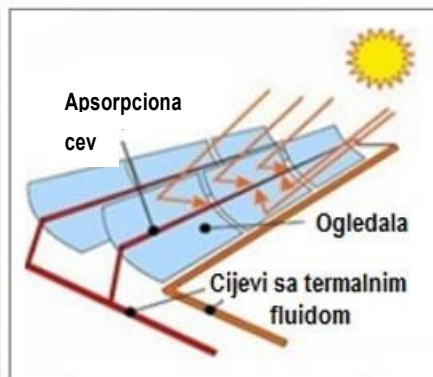
1. Parabolični kolektori (*Parabolic Trough Collector*)

Parabolični kolektori koriste duga parabolična ogledala koja precizno fokusiraju Sunčeve zrake na apsorpcionu cev postavljenu u žiži paraboličnih ogledala. Ova konfiguracija omogućava ravnomerno usmeravanje energije duž cevi, čime se povećava efikasnost apsorpcije toplote. Sistem koristi jednoosno praćenje Sunca kako bi se postigao maksimalan efekat.

Zagrejani radni fluid, najčešće termalno ulje ili rastopljena so, cirkuliše do izmenjivača toplote, gde prenosi toplotu vodi i pretvara je u zasićenu paru. Para zatim pokreće turbinu povezanu s generatorom koji proizvodi električnu energiju. Nakon što preda toplotu, radni fluid se hladi i vraća u kolektore, gde se ponovo zagrejava i započinje novi ciklus.



Parabolični kolektori - stvarni izgled



Parabolični kolektori - šematski prikaz

Ova tehnologija se najčešće koristi u velikim solarnim termoelektranama, posebno u sunčanim i ravnim područjima, gde mogu zauzeti velike površine i efikasno iskoristiti dostupno Sunčevo zračenje.

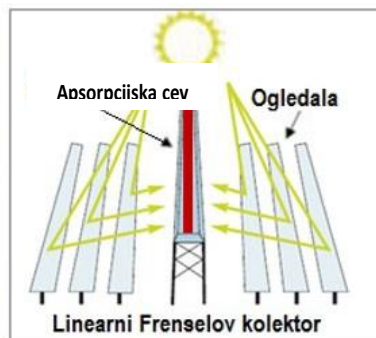
2. Linearni Fresnelovi kolektori (*Linear Fresnel Reflectors*)

Linearni Fresnelovi kolektori predstavljaju ekonomičniju verziju paraboličnih kolektora. Koriste niz ravnih ili blago zakrivljenih ogledala koja reflektuju Sunčeve zrake ka fiksnoj apsorpcijskoj cevi postavljenoj iznad njih. Ovaj dizajn smanjuje potrebnu površinu i pojednostavljuje instalaciju.

Tehnologija funkcioniše tako što ogledala usmeravaju Sunčevo zračenje ka apsorpcijskoj cevi kroz koju protiče radni fluid. Zagrejani fluid prenosi toplotu do izmenjivača, gde zagrejava vodu i pretvara je u paru. Ova para pokreće turbinu, koja je povezana sa generatorom koji proizvodi električnu energiju.



Linearni Fresnelovi kolektori kolektori - stvarni izgled



Linearni Fresnelovi kolektori kolektori - šematski prikaz

Linearni Fresnelovi kolektori su pogodni za manje solarne termoelektrane i industrijske procese koji zahtevaju visoke temperature, ali su manje efikasni u proizvodnji električne energije u odnosu na parabolične kolektore.

3. Solarni tanjiri (*Dish-Stirling ili Dish Collector*)

Solarni tanjiri koriste duboko zakrivljena tanjirasta ogledala koja fokusiraju Sunčeve zrake u jednu tačku gde se nalazi energetska konverzionna jedinica. Ova jedinica se sastoji od apsorpcionog prijemnika, Stirlingovog motora i generatora.



Solarni tanjir - stvarni izgled



Solarni tanjir - šematski prikaz

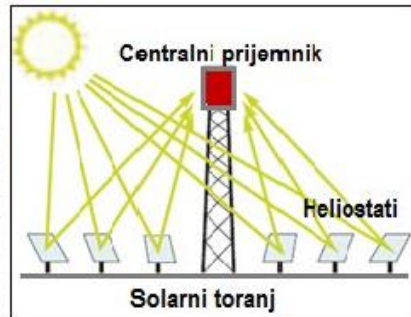
Tehnologija Solarnih tanjira omogućava najvišu efikasnost među koncentrovanim solarnim sistemima, ali je zbog visoke složenosti i troškova ređe korišćena za velike termoelektrane.

4. Solarni tornjevi (*Power Tower System*)

Solarni tornjevi koriste mrežu pokretnih ogledala (heliostata) koja reflektuju Sunčeve zrake ka prijemniku smeštenom na vrhu tornja. Unutar prijemnika se nalazi radni fluid, obično rastopljena so ili vazduh pod visokim pritiskom, koji apsorbira toplotu i zagrejava se na temperaturi između 500 i 1000 °C.



Stvarna primena solarnog tornja



Šematski prikaz solarnog tornja

Glavna prednost solarnog tornja je mogućnost skladištenja toplote, što omogućava kontinuiranu proizvodnju električne energije čak i nakon zalaska Sunca.

Prednosti i nedostaci koncentrovanih solarnih sistema

Prednosti:

- Mogućnost skladištenja toplote omogućava proizvodnju električne energije čak i tokom noći.
- Visoka efikasnost pretvaranja Sunčeve energije u električnu energiju.
- Smanjene emisije gasova staklene bašte.
- Dug radni vek, često preko 30 godina.

Nedostaci:

- Visoki početni troškovi izgradnje i održavanja.
- Velika površina zemljišta potrebna za postavljanje ogledala.
- Zavisnost od direktnog Sunčevog zračenja.

Koncentrovani solarni sistemi predstavljaju naprednu tehnologiju za proizvodnju čiste energije sa velikim potencijalom, naročito u oblastima sa snažnim Sunčevim zračenjem. Dalji razvoj tehnologije i poboljšanje sistema skladištenja energije mogu ih učiniti još konkurentnijim u globalnoj energetskej tranziciji.



KVIZ

Kviz 3: SKS i CSP tehnologije i njihove primene:

<https://forms.office.com/e/K8RJQZTQPU>.

Kviz 4: Solarni kolektorski sistemi (SKS) i koncentrovani solarni sistemi (CSP):

<https://forms.office.com/e/6KyGAFYrMc>.

4.4. Osnovne komponente solarnih fotonaponskih sistema

Fotonaponske ćelije

Fotonaponske ćelije (fotonaponske ćelije ili FN ćelije - *Photovoltaic cells*) su osnovne jedinice fotonaponskih panela. One omogućavaju direktno pretvaranje energije Sunčevog zračenja (vidljive svetlosti) u električnu energiju kroz fotonaponski efekat.



Fotonaponska ćelija

Struktura i princip rada fotonaponske ćelije

Strukturu fotonaponskih ćelija čine različiti slojevi materijala, od kojih svaki ima svoju specifičnu ulogu u pretvaranju Sunčeve svetlosti u električnu energiju. Ti slojevi uključuju:

- **Zaštitno staklo** - Pruža mehaničku zaštitu ćeliji i omogućava prolaz svetlosti.
- **Antireflekcijski sloj** - Smanjuje refleksiju Sunčeve svetlosti i povećava apsorpciju energije.
- **Prednji kontakt** (vodljivi metalni sloj) – Prikuplja elektrone i omogućava provođenje električne struje. To je negativni priključak fotonaponske ćelije.
- **P-N spoj (poluprovodnički sloj)** – Ključni deo ćelije koji omogućava pretvaranje svetlosne energije u električnu:
 - **P-tip silicijuma** – Dopiran borom, sadrži višak pozitivnih nosilaca (šupljina).
 - **N-tip silicijuma** – Dopiran fosforom, sadrži višak negativnih nosilaca (elektrona).
- **Zadnji kontakt** – Omogućava zatvaranje električnog kola i vraćanje elektrona u ćeliju.
- **Zaštitni sloj na zadnjoj strani** – Obezbeđuje dodatnu otpornost na vlagu i mehanička oštećenja.

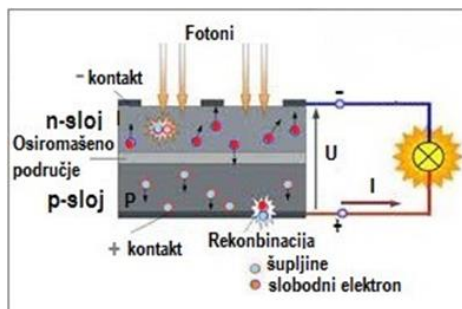


Struktura FN ćelije

Između kontakata (priključaka fotonaponske ćelije) stvara se potencijalna razlika, odnosno generiše se napon fotonaponske ćelije.

Princip rada fotonaponske ćelije:

Kada Sunčevi fotoni pogode fotonaponsku ćeliju, oni prenose energiju elektronima, oslobađajući ih iz atomskih veza. Oslobođeni elektroni migriraju ka N-sloju, dok šupljine ostaju u P-sloju. Na P-N spoju se stvara električno polje koje sprečava spontano rekombinovanje elektrona i šupljina. Kada se ćelija priključi na spoljašnje električno kolo, elektroni teku kroz to kolo, stvarajući električnu struju.



Šematski prikaz FN ćelije

Vrste fotonaponskih ćelija

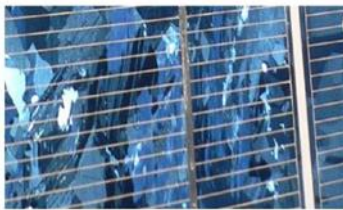
Postoji više vrsta fotonaponskih ćelija, koje se razlikuju po materijalima od kojih su napravljene, načinu proizvodnje i efikasnosti. Svaka vrsta ima svoje prednosti i nedostatke, a izbor zavisi od specifičnih potreba za proizvodnjom energije.

Glavne vrste fotonaponskih ćelija su:

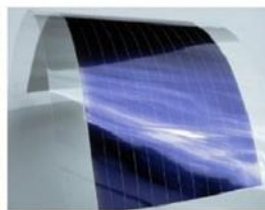
- **Monokristalne fotonaponske ćelije** – Visoka efikasnost (17-22%), dug vek trajanja (preko 25 godina), visoki proizvodni troškovi.
- **Polikristalne fotonaponske ćelije** – Niža efikasnost (15-18%), ali povoljnija cena proizvodnje.
- **Tankoslojne fotonaponske ćelije**: Ove ćelije nemaju kristalnu strukturu, što ih čini lakšim za proizvodnju. Pored niske cene, prednost im je i fleksibilnost.
 - Amorfni silicijum (a-Si) – Fleksibilne, ali sa niskom efikasnošću (~10%).
 - Kadmijum-telurid (CdTe) – Relativno visoka efikasnost (~15%), ali ekološki izazovi (korišćenje materijala koji mogu biti toksični, kao što je kadmijum).
 - CIGS ćelije (bakar-indijum-galijum-selenid) – Fleksibilne, efikasnost 16-20%. Nedostaci su viša cena u poređenju sa amornim i polikristalnim ćelijama i ograničena dostupnost na tržištu.



Monokristalna ćelija



Polikristalna ćelija



Amorfna ćelija

Uporedna tabela fotonaponskih ćelija

Vrsta ćelije	Solarna iradijacija (W/m ²)	Efikasnost (%)	Prosečni vek trajanja (god)	Okvirna cena (€/W)	Prednosti
Monokristalne	140	17-22	25	0,35	Najveća efikasnost, dug vek trajanja
Polikristalne	130	15-17	20	0,3	Niža cena, dobar balans performansi
Tankoslojne	50	10-13	15	0,25	Fleksibilnost, bolje u difuznoj svetlosti

Pored navedenih vrsta ćelija, postoje i nove tehnologije sa povećanom efikasnoću i smanjenim troškovima proizvodnje koje su još u fazi razvoja:

- **Perovskitne ćelije** - izrađene su od kombinacije organskih i anorganskih materijala. Pokazuju visoku efikasnost, koja je u laboratorijskim uslovima dostigla vrednost od 25%.
- **Bifacialne ćelije** - dizajnirane su da apsorbuju svetlost sa obe strane panela, što im omogućava da proizvedu do 30% više energije. Posebno su efikasne u područjima sa visokom refleksijom svetlosti.

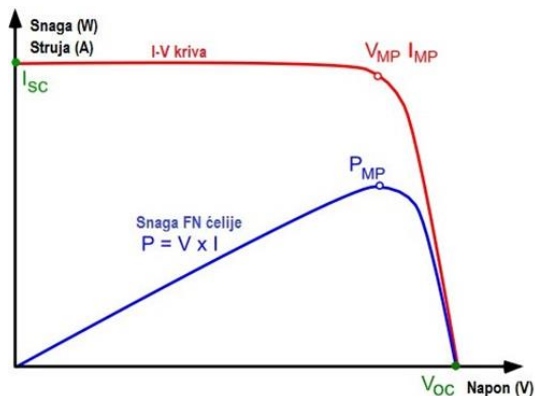
Napredne tehnologije, poput Galijum-arsenidnih i Kadmijum-teluridnih ćelija, nude visoku efikasnost, ali su skupe ili imaju ekološka ograničenja.

Izbor vrste fotonaponske ćelije zavisi od specifičnih potreba, kao što su efikasnost, cena, raspoloživi prostor za instalaciju i očekivani životni vek sistema. Pri izboru solarnih panela važnije je obratiti pažnju na proizvođača, garantni rok i kvalitet instalacije, nego samo na vrstu ćelija.

Električne karakteristike fotonaponskih ćelija

Električne karakteristike fotonaponskih ćelija definišu njihovu sposobnost da proizvedu električnu energiju iz Sunčeve svetlosti. Poznavanje ovih karakteristika ključno je za pravilno dimenzionisanje i optimizaciju fotonaponskih sistema

- **Napon otvorenog kola (Voc)** – Maksimalni napon kada nema opterećenja. Voc kod monokristalne silicijumske ćelije iznosi od 0.5 V do 0.7 V.
- **Struja kratkog spoja (Isc)** – Maksimalna struja pri kratkom spoju (Isc standardne ćelije površine 0.1 m² iznosi oko 5 A pri zračenju od 1000 W/m²).
- **Maksimalna snaga (Pmax)** – Najveća izlazna snaga fotonaponske ćelije.
- **Efikasnost ćelije** – Odnos izlazne snage i Sunčeve energije. Pokazuje koliki procenat Sunčeve energije ćelija se može pretvoriti u električnu energiju.
- **I-V karakteristika (strujno naponska karakteristika)** – Prikazuje odnos između struje i napona.
- **P-V karakteristika** – Pokazuje zavisnost snage od napona.



I-V i P-V karakteristike N ćelije

Razumevanje strukture, vrsta i osnovnih električnih karakteristika fotonaponskih ćelija, ključno je za pravilno projektovanje, instalaciju i održavanje solarnih sistema, kao i za postizanje maksimalne efikasnosti u radu.

Fotonaponski paneli

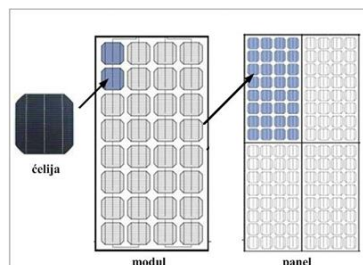
Fotonaponski paneli predstavljaju ključnu komponentu solarnih energetskih sistema, jer omogućavaju direktno pretvaranje Sunčeve svetlosti u električnu energiju. Sastoje se od više međusobno povezanih fotonaponskih ćelija koje, uz odgovarajuću konstrukciju i pravilno pozicioniranje, osiguravaju stabilnu i efikasnu proizvodnju energije.



Fotonaponski paneli

Formiranje fotonaponskih panela

Električne vrednosti pojedinačnih fotonaponskih ćelija, kao što su napon, struja i snaga, imaju izuzetno male vrednosti i nisu pogodne za praktičnu primenu. Na primer, jedna silicijumska ćelija proizvodi napon od oko 0.5 do 0.7 V i uz gustinu struje od oko nekoliko desetina mA/cm², zavisno od snage Sunčevog zračenja, ali i o spektru zračenja.

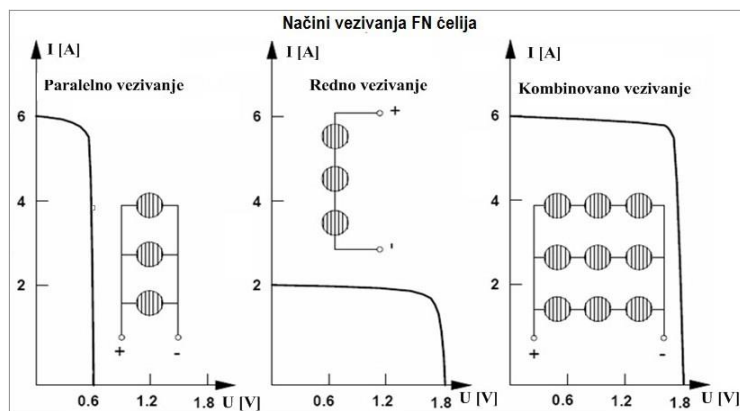


Povezivanje: ćelija-modul-panel

Stoga se za dobijanje električnih vrednosti koje se mogu praktično koristiti, ćelije povezuju u module, a moduli u panele, koji su osnovna komponenta solarnih energetskih sistema.

Proces formiranja fotonaponskih panela odvija se kroz nekoliko ključnih koraka:

- **Povezivanje fotonaponskih ćelija u module** – je osnovni korak u formiranju panela. Ćelije se povezuju redno, paralelno ili mešovito, zavisno od zahteva sistema, a vrednostima električnih karakteristika. Postoje tri načina vezivanja:
- **Serijski (redni) spoj** – Povećava napon, dok struja ostaje ista.
- **Paralelni spoj** – Povećava struju, dok napon ostaje isti.
- **Mešoviti spoj** – Kombinuje serijski i paralelni spoj radi optimizacije parametara.



Karakteristike i način vezivanja fotonaponskih ćelija



VIDEO

Struktura solarnog fotonaponskog panela:

<https://www.youtube.com/watch?v=TZTUefOjNI8>.

- Formiranje modula - realizuje se tako što se fotonaponske ćelije prvo povezuju u željenu konfiguraciju (serijski, paralelno ili mešovito). Nakon toga se postavljaju između zaštitnih slojeva koji ih štite od mehaničkih oštećenja, vlage i UV zračenja, te osiguravaju njihov dugotrajan i stabilan rad. Slojevi modula su:
 - Gornji sloj (staklo) – štiti ćelije od oštećenja.
 - Srednji sloj (enkapsulacijski materijal) – Osigurava stabilnost ćelija.
 - Zadnji sloj (*backsheet*) – štiti od vlage i mehaničkih uticaja.
 - Aluminijski okvir – Osigurava čvrstoću panela.
 - Priključna kutija – Sadrži *bypass* diode za zaštitu od senčenja. Kutija mora biti hermetički zatvorena radi zaštite električnih spojeva od vlage i nečistoća.
- Testiranje i kontrola kvaliteta - Po završetku sklapanja, paneli prolaze testiranje kako bi se proverila njihova funkcionalnost i otpornost na spoljašnje uticaje. Testovi se izvode pod standardnim uslovima i obuhvataju proveru maksimalne snage, otpornosti na vlagu, UV zračenje i mehanička opterećenja izazvana vetrom, snegom ili gradom.

Na kraju procesa formiranja, paneli su spremni za instalaciju u solarni energetska sistem, kao kompaktne, funkcionalne i pouzdane jedinice.



Fotonaponski paneli

Naznačene električne karakteristike fotonaponskih panela

Za fotonaponske panele se navodi niz električne karakteristike na tehničkoj pločici i u tehničkoj dokumentaciji. Ove karakteristike su ključne za pravilan izbor, dimenzionisanje i povezivanje panela u solarne energetske sisteme. Podaci se daju za standardne testne uslove (*Standard Test Conditions* – STC), koji podrazumevaju:

- Zračenje: 1000 W/m²;
- Temperatura ćelija: 25 °C;
- Spektralna raspodjela: AM1.5 (Air Mass 1.5).

Na tehničkoj pločici panela navode se sledeće električne karakteristike:

- **Nazivna snaga (Pmax)** – Maksimalna snaga pod standardnim uslovima. Predstavlja procenu proizvodnje električne energije.
- **Napon otvorenog kola (Voc)** – Napon pri odsustvu opterećenja. Ova vrednost je važna za određivanje maksimalnog napona sistema.
- **Struja kratkog spoja (Isc)** – Struja pri kratkom spoju. Koristi se za dimenzionisanje kablova, zaštitnih uređaja i invertera.
- **Napon pri maksimalnoj snazi, Vmp** - Napon koji panel ostvaruje u tački maksimalne snage. Ova vrednost je važna za podešavanje invertera i optimizaciju rada sistema.
- **Struja pri maksimalnoj snazi, Imp** - Struja koju panel proizvodi u tački maksimalne snage. Koristi se za određivanje potrebnog kapaciteta kablova i drugih komponenti sistema.
- **Efikasnost panela** – Koliki procenat Sunčeve energije se konvertuje u električnu.
- **Temperaturni koeficijenti** – Pokazuju uticaj temperature na performanse panela.
- **Maksimalni sistemski napon** - Najveći napon pri kojem panel može bezbedno raditi. Ova vrednost je važna za određivanje maksimalnog broja panela koji se mogu povezati u seriju.
- **Maksimalna struja osigurača** - Najveća struja koju panel može podneti bez oštećenja. Koristi se prilikom određivanja vrednosti zaštitnih uređaja u sistemu.

Pored navedenih električnih karakteristika, na tehničkoj pločici se daju i druge relevantne karakteristike panela, kao što su:

- **Tip panela;**
- **Proizvođač i model panela** – ime proizvođača, naziv modela i serijski broj koji omogućava identifikaciju proizvoda;
- **Dimenzije i masa panela** – podaci o dužini, širini, debljini i težini panela, što je važno za planiranje montaže i mehaničku stabilnost konstrukcije;
- **Standardi i sertifikati** – oznake standarda prema kojima je panel testiran (npr. IEC 61215 za performanse, IEC 61730 za sigurnost) i eventualne specijalne sertifikacije (npr. za otpornost na vlagu, grad ili vatru);
- **Zaštitna klasa** – oznaka stepena zaštite od spoljašnjih uticaja, najčešće IP65 ili IP67 za priključne kutije panela.

Ove dodatne karakteristike omogućavaju korisnicima da lakše prepoznaju panel, provere njegovu usklađenost sa tehničkim zahtevima sistema i obezbede pravilnu montažu i bezbedan rad u različitim uslovima eksploatacije.

Električni podaci sa tehničke pločice za konkretni fotonaponski panel

Naznačene električne karakteristike FN panela *SunTech Mono 400W*

Nazivna snaga (Pmax): 400 W

Napon otvorenog kola (Voc): 40.5 V

Struja kratkog spoja (Isc): 10.2 A

Napon pri maksimalnoj snazi (Vmp): 33.6 V

Struja pri maksimalnoj snazi (Imp): 9.5 A

Efikasnost panela (η): 20.5%

Temp. koef. napona (β): -0.3 %/°C

Temp. koef. struje (α): +0.04 %/°C

Temp. koef. snage (γ): -0.4 %/°C

Maksimalni sistemski napon: 1000 V

Maksimalna struja osigurača: 15 A

Tip: monokristalni Si

4.5. Karakteristike i vrste solarnih fotonaponskih sistema

Solarni fotonaponski sistemi (SFNS) su elektrane (Solarne fotonaponske elektrane - SFNE) sa veoma širokim spektrom primene – od malih, kućnih sistema snage 1-10 kW, preko komercijalnih i industrijskih postrojenja od 100 kW do nekoliko MW, pa do velikih elektrana (solarni fotonaponski parkovi), snage i više od 100 MW. Ovi sistemi sve više postaju nezamenljivi izvor električne energije u okviru savremenih pametnih elektroenergetskih i EES-a.

U kontekstu solarnih fotonaponskih sistema, poseban značaj u budućnosti imaće sistemi za skladištenje električne energije kao i razvoj pametnih elektroenergetskih mreža. Sistemi za skladištenje omogućavaju korišćenje proizvedene energije i u periodima kada Sunčevo zračenje nije dostupno. Pametne mreže integrišu solarne fotonaponske sisteme kao decentralizovane izvore energije, omogućavajući stabilnije napajanje, bolju kontrolu potrošnje i smanjenje opterećenja centralizovanih kapaciteta.

Primena i razvoj solarnih fotonaponskih sistema doprinosi povećanju energetske sigurnosti, smanjenju emisije štetnih gasova i efikasnijem i intenzivnijem korišćenju obnovljivih izvora energije.

Osnovne karakteristike solarnih fotonaponskih sistema

Performanse solarnih fotonaponskih sistema zavise od više faktora, uključujući tehnologiju fotonaponskih ćelija, lokaciju instalacije i meteorološke uslove. Ključne karakteristike uključuju:

- **Instalisana snaga** – Odnosi se na ukupnu maksimalnu snagu koju elektrana može proizvesti pod optimalnim uslovima. Može varirati od nekoliko kilovata (kW) za male sisteme do više stotina megavata (MW) za velike solarne elektrane.
- **Efikasnost** – Predstavlja procenat Sunčeve energije koji se pretvara u električnu energiju. Efikasnost sistema zavisi od tipa fotonaponskih ćelija, pri čemu monokristalne ćelije imaju veću efikasnost (15-22%) u odnosu na polikristalne i tankoslojne ćelije.
- **Godišnja proizvodnja električne energije** – Odnosi se na količinu električne energije proizvedenu tokom jedne godine, zavisno od klimatskih uslova, geografske lokacije i nagiba panela.
- **Kapacitet skladištenja** – Ukoliko sistem uključuje baterije za skladištenje energije, kapacitet skladištenja određuje količinu energije koja se može pohraniti za kasniju upotrebu, što je posebno važno za off-grid i hibridne sisteme.
- **Trajnost i održavanje** – Očekivani vek trajanja fotonaponskih panela iznosi 25-30 godina uz minimalno održavanje, dok druge komponente, poput invertera i baterija, imaju kraći radni vek i zahtevaju redovno servisiranje.
- **Uticaj na životnu sredinu** – Solarne elektrane ne emituju štetne gasove tokom rada, ali njihova proizvodnja i reciklaža mogu imati ekološki uticaj koji se nastoji minimizirati upotrebom održivih materijala i metoda reciklaže.

Razumevanje karakteristika solarnih fotonaponskih sistema od suštinskog je značaja za efikasno projektovanje i pogon sistema.

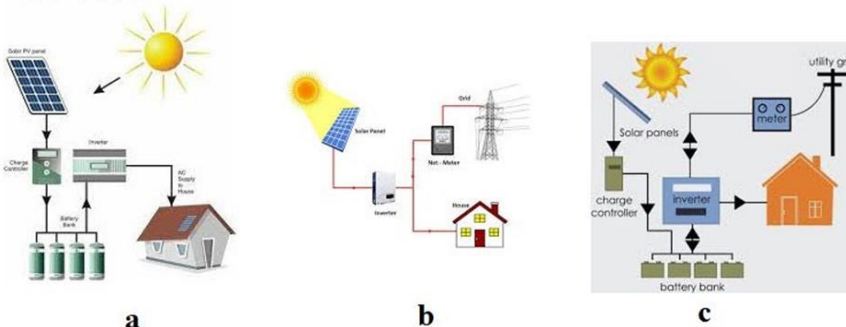
Podela solarnih fotonaponskih sistema prema različitim kriterijumima

Solarni fotonaponski sistemi mogu se klasifikovati prema različitim parametrima, uključujući način rada, lokaciju instalacije, veličinu sistema i vrstu korišćenih fotonaponskih ćelija.

Podela prema autonomiji rada

- **Samostalne (off-grid) elektrane** – Funkcionišu nezavisno od elektroenergetske mreže i obično uključuju baterijske sisteme za skladištenje energije. Koriste se u udaljenim područjima, kampovima, planinskim kućama i drugim objektima bez pristupa mreži.
- **Mrežne (on-grid) elektrane** – Povezane su na elektroenergetsku mrežu i koriste invertorni sistem za konverziju proizvedene jednosmerne (DC) struje u naizmeničnu (AC). Višak energije može se isporučivati u mrežu putem sistema neto merenja.

- **Hibridne elektrane** – Kombinuju fotonaponske panele sa drugim izvorima energije, poput baterija, vetroelektrana ili dizel-generatora, čime se obezbeđuje pouzdano snabdevanje električnom energijom i u periodima smanjenog Sunčevog zračenja.



Šematski prikaz autonomije rada elektrane: a) off grid; b) on grid; c) hibrid

Podela prema lokaciji

- **Na građevinskim objektima (krovne elektrane)** – Postavljene na krovovima kuća, industrijskih i komercijalnih objekata. Optimizuju upotrebu dostupnog prostora i smanjuju potrebe za dodatnom infrastrukturom.
- **Na tlu (solarne farme)** – Velike solarne elektrane instalirane na prostranim površinama sa optimalnom orijentacijom prema Suncu, namenjene proizvodnji električne energije za mrežni sistem.
- **Na vodenim površinama (plutajuće elektrane)** – Instalacije na jezerima, veštačkim akumulacijama ili morima, gde se smanjuje zauzimanje kopnenog prostora i povećava efikasnost panela zbog hlađenja vodom.
- **Na pokretnim objektima** – Solarni sistemi integrisani na vozila, brodove i avione, omogućavajući napajanje električnih sistema i smanjenje potrošnje goriva.

Podela prema veličini sistema

- **Mikro solarne elektrane** – Male elektrane do nekoliko kilovata, uglavnom za individualne potrebe domaćinstava ili manjih objekata.
- **Male solarne elektrane** – Kapaciteta do nekoliko desetina kilovata, često se koriste za komercijalne i industrijske objekte.
- **Srednje solarne elektrane** – Snage od nekoliko stotina kilovata do nekoliko megavata, služe kao značajan izvor energije za velike poslovne objekte i industrijska postrojenja.
- **Velike solarne elektrane** – Instalirani kapacitet u megavatima (MW), služe za napajanje elektroenergetske mreže i opskrbu električnom energijom velikog broja korisnika.

Podela prema tehnologiji panela

- **Elektrane sa monokristalnim fotonaponskim panelima** – Koriste visokoeфикаsne monokristalne silicijumske ćelije sa efikasnošću od 18-22%.
- **Elektrane sa polikristalnim fotonaponskim panelima** – Imaju nešto nižu efikasnost (15-18%) i niže proizvodne troškove.
- **Elektrane sa tankoslojnim fotonaponskim panelima** – Fleksibilne i lagane, ali sa nižom efikasnošću, pogodne za specifične aplikacije.
- **Elektrane sa organskim fotonaponskim panelima (OPV)** – Laki, ekološki prihvatljivi paneli sa nižom efikasnošću, u fazi razvoja.
- **Elektrane sa perovskitnim fotonaponskim panelima** – Napredna tehnologija sa visokim potencijalom za budućnost zbog nižih troškova proizvodnje i veće efikasnosti.

Samostalni (Off-Grid) solarni fotonaponski sistemi

Samostalni (*off-grid*) solarni fotonaponski sistemi su energetske sistemi koji rade nezavisno od elektroenergetske mreže, omogućavajući korisnicima proizvodnju i korišćenje električne energije u područjima gde pristup mreži nije dostupan ili je nepouzdan. Ovi sistemi su idealni za ruralne i izolovane objekte, planinske kuće, kampove, brodove, vozila i istraživačke stanice.

Samostalni solarni fotonaponski sistemi se mogu klasifikovati prema strukturi, kapacitetu skladištenja energije i načinu upotrebe.

Off-grid Solarni fotonaponski sistemi bez skladištenja energije

Ovi sistemi direktno napajaju potrošače električnom energijom proizvedenom iz solarnih panela, bez mogućnosti skladištenja viška energije. Glavne karakteristike uključuju:

- **Prednosti:** Jednostavan dizajn, manji troškovi, minimalno održavanje.
- **Nedostaci:** Sistem funkcioniše samo dok postoji Sunčeva svetlost; nema napajanja noću ili u oblačnim uslovima.
- **Primena:** Sistem za direktno napajanje pumpi za vodu, ventilatora, rasvete u staklenicima, jednostavnih električnih uređaja.

Off-grid Solarni fotonaponski sistemi sa baterijskim skladištenjem energije

Ovi sistemi sadrže baterije koje skladište višak energije proizveden tokom dana i omogućavaju napajanje potrošača tokom noći ili u periodima slabog Sunčevog zračenja. Glavne karakteristike su:

- **Prednosti:** Neprekidno snabdevanje električnom energijom, stabilan rad sistema.
- **Nedostaci:** Veći troškovi zbog baterijskog sistema, potreba za održavanjem baterija.
- **Primena:** Napajanje domaćinstava, udaljenih farmi, turističkih kampova, planinskih objekata, signalizacije i komunikacionih sistema.

Prenosivi off-grid solarni fotonaponski sistemi

Prenosive (mobilne) solarne elektrane su dizajnirane za lako premeštanje i brzo postavljanje. Ovi sistemi su često integrisani u kompaktne module i koriste se u specijalnim aplikacijama.

- **Prednosti:** Mobilnost, jednostavno postavljanje i upotreba.
- **Nedostaci:** Ograničen kapacitet, zavisnost od vremenskih uslova.
- **Primena:** Humanitarne misije, kampovanje, vanredne situacije i hitne službe, vojne i istraživačke ekspedicije.

Struktura i princip rada samostalnih (off-grid) solarnih fotonaponskih elektrana

Off-grid solarne elektrane sastoje se od više međusobno povezanih komponenti koje omogućavaju proizvodnju, regulaciju, skladištenje i distribuciju električne energije.

Fotonaponski paneli sa nosećom konstrukcijom

- **Fotonaponski paneli** – Generišu električnu energiju konverzijom Sunčeve svetlosti u jednosmernu (DC) struju.
- **Noseća konstrukcija** – Osigurava pravilno postavljanje panela pod optimalnim uglom radi maksimizacije Sunčevog zračenja.

DC komponente

- **DC kablovi** – Prenose proizvedenu struju iz fotonaponskih panela do regulatora punjenja.
- **Kontroler punjenja** – Regulacioni uređaj koji kontroliše punjenje baterija i sprečava njihovo prepunjavanje ili duboko pražnjenje.
- **Baterijski sistem** – Skladišti višak energije proizvedene tokom dana i omogućava korišćenje električne energije kada nema Sunčeve svetlosti.
- **DC razvodni ormar** – Sadrži zaštitnu i komutacionu opremu za regulaciju i zaštitu jednosmernih strujnih krugova.

AC komponente

- **Inverter** – Pretvara jednosmernu (DC) struju iz baterija u naizmeničnu (AC) struju pogodnu za standardne potrošače.
- **AC kablovi** – Povezuju inverter sa električnim uređajima i omogućavaju distribuciju električne energije.
- **AC razvodni ormar** – Sadrži zaštitne sklopke, osigurače i mernu opremu (opciono) za regulaciju napajanja.

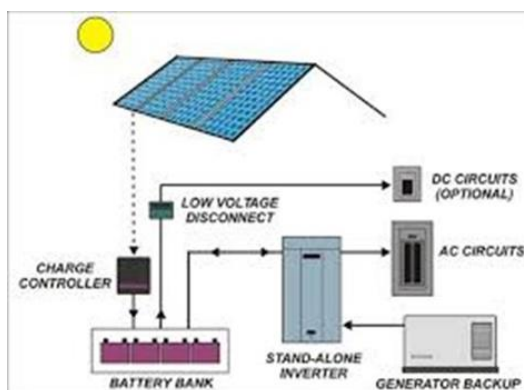
Potrošački priključak

- Povezuje sistem sa krajnjim potrošačima, uključujući električne uređaje, rasvetu, sisteme grejanja i klimatizacije, pumpe, komunikacione sisteme itd.

Sistem uzemljenja i gromobranske zaštite

- Osigurava zaštitu sistema od udara groma i stabilizuje napon u sistemu, čime se povećava sigurnost i dugovečnost komponenti.

Principijelna šema *off-grid* solarnih fotonaponskih sistema: Ova šema prikazuje osnovne komponente sistema i njihove međusobne veze, uključujući fotonaponske panele, kontroler punjenja, baterije i inverter.



Principijelna šema *off-grid* solarnog fotonaponskog sistema



VIDEO

Princip rada *off-grid* solarnih fotonaponskih elektrana:

https://www.youtube.com/watch?v=i_4rJS35GF4

Mrežni (On-grid) solarni fotonaponski sistema

Mrežni (*on-grid*) solarni fotonaponski sistemi su sistemi koji su direktno povezani sa javnom elektroenergetskom mrežom. Ovi sistemi omogućavaju korisnicima da proizvode električnu energiju za sopstvene potrebe, a eventualni višak proizvedene energije predaju u mrežu. Ovakav pristup doprinosi smanjenju računa za električnu energiju i omogućava efikasnije korišćenje obnovljivih izvora energije.

Vrste i karakteristike mrežnih (on-grid) solarnih fotonaponskih elektrana

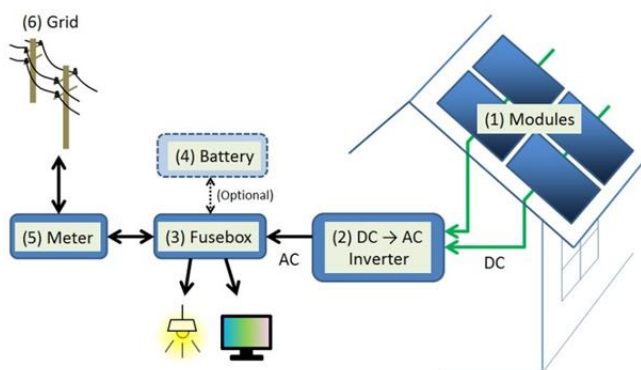
Mrežni solarni fotonaponski sistemi mogu se klasifikovati prema načinu priključenja na elektroenergetsku mrežu:

- **Solarni fotonaponski sistemi** priključeni na mrežu preko kućne instalacije: Ovi sistemi su instalirani na stambenim ili poslovnim objektima i povezani su sa unutrašnjom električnom instalacijom objekta. Proizvedena energija se prvo koristi za potrebe objekta, dok se višak energije predaje u javnu mrežu.
- **Solarni fotonaponski sistemi** direktno priključeni na mrežu: Ovi sistemi su obično veći i namenjeni su isključivo za proizvodnju električne energije koja se direktno isporučuje u elektroenergetsku mrežu, bez lokalne potrošnje.

Struktura i princip rada mrežnih (on-grid) solarnih fotonaponskih elektrana

Mrežni (*on-grid*) solarni fotonaponski sistemi su sistemi koji omogućavaju direktnu konverziju Sunčeve energije u električnu, pri čemu su povezani sa javnom elektroenergetskom mrežom. Ovi sistemi omogućavaju korisnicima da proizvode električnu energiju za sopstvene potrebe, a eventualni višak energije predaju u mrežu. Time se smanjuju troškovi električne energije i doprinosi se održivom korišćenju obnovljivih izvora.

Struktura ovih sistema obuhvata nekoliko ključnih komponenti koje zajedno omogućavaju efikasnu proizvodnju i distribuciju električne energije:



Šematski strukturni prikaz on-grid sistema

1. Fotonaponski paneli sa nosećom konstrukcijom

Fotonaponski (FN) paneli su osnovni elementi sistema koji pretvaraju Sunčevu svetlost u jednosmernu (DC) električnu energiju. Ovi paneli se sastoje od više solarnih ćelija napravljenih od poluprovodničkih materijala, najčešće silicijuma. Noseća konstrukcija obezbeđuje stabilnost i optimalan položaj panela u odnosu na Sunce, što je ključno za maksimalnu efikasnost sistema.

DC komponente

- **DC kablovi:** Prenose jednosmernu struju proizvedenu u panelima do invertera. Kvalitetni kablovi su neophodni za minimizaciju gubitaka energije i obezbeđivanje dugotrajnosti sistema.
- **DC razvodni ormar sa zaštitnom i komutacionom opremom:** Ovaj ormar sadrži uređaje za zaštitu i prekidanje strujnog kola, kao što su osigurači i prekidači, koji štite sistem od prenapona, kratkih spojeva i drugih električnih anomalija.

AC komponente

- **Inverter:** Ključna komponenta koja pretvara jednosmernu struju iz panela u naizmeničnu (AC) struju, kompatibilnu sa javnom mrežom i kućnim uređajima. Moderni invertori takođe obezbeđuju praćenje performansi sistema i mogu imati ugrađene zaštitne mehanizme.
- **AC kablovi:** Prenose naizmeničnu struju od invertera do glavnog razvodnog ormara objekta ili direktno do mrežnog priključka.

- **AC razvodni ormar sa zaštitnom**, komutacionom i mernom opremom: Ovaj ormar sadrži opremu za distribuciju električne energije, zaštitu od preopterećenja i kratkih spojeva, kao i mernu opremu za praćenje potrošnje i proizvodnje energije.

Mrežni priključak

Predstavlja tačku spajanja sistema sa javnom elektroenergetskom mrežom. Kroz ovaj priključak, višak proizvedene energije može se isporučiti u mrežu, a u periodima kada proizvodnja nije dovoljna, energija se može preuzeti iz mreže.

Sistem uzemljenja i gromobranske zaštite

Ovaj sistem obezbeđuje zaštitu od električnih udara i prenapona uzrokovanih gromovima ili drugim poremećajima. Pravilno uzemljenje i gromobranska zaštita su esencijalni za sigurnost korisnika i dugotrajnost opreme.

Sistem za nadzor i upravljanje

Moderni *on-grid* sistemi često su opremljeni softverskim rešenjima koja omogućavaju praćenje performansi sistema u realnom vremenu, detekciju potencijalnih problema i optimizaciju rada. Ovi sistemi mogu biti dostupni putem web platformi ili mobilnih aplikacija, pružajući korisnicima detaljan uvid u proizvodnju i potrošnju energije.

Integracija svih ovih komponenti omogućava efikasan rad mrežnih solarnih fotonaponskih elektrana, pružajući korisnicima pouzdan i održiv izvor električne energije.

Princip rada ovih sistema zasniva se na konverziji Sunčeve energije u električnu putem fotonaponskih panela. Proizvedena jednosmerna struja se preko DC kablova prenosi do invertera, koji je pretvara u naizmeničnu struju. Ova energija se zatim preko AC kablova i razvodnog ormara isporučuje u elektroenergetsku mrežu ili koristi za potrebe objekta.

Mrežni (*on-grid*) solarni sistemi su dizajnirani za proizvodnju električne energije iz Sunčeve svetlosti i njeno direktno povezivanje sa javnom elektroenergetskom mrežom. Ovi sistemi omogućavaju korisnicima da smanje svoje račune za struju i potencijalno ostvare prihod prodajom viška proizvedene energije nazad u mrežu.

Princip rada *on-grid* sistema:

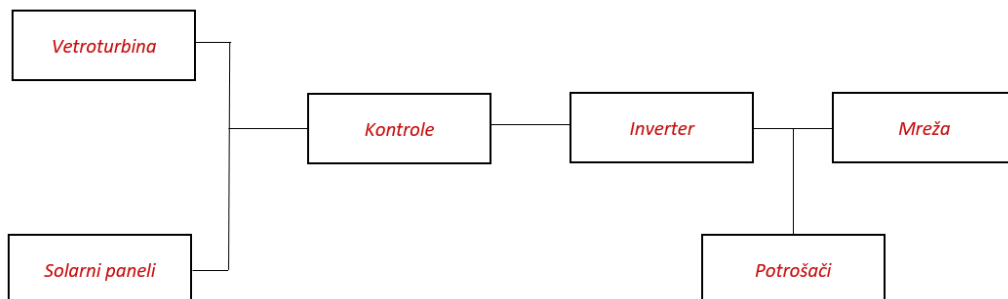
- **Proizvodnja električne energije:** Fotonaponski (FN) paneli, postavljeni na krovove ili otvorene površine, apsorbuju Sunčevu svetlost i pretvaraju je u jednosmernu (DC) električnu energiju. Ovaj proces se zasniva na fotonaponskom efektu, gde fotoni iz Sunčeve svetlosti oslobađaju elektrone u poluprovodničkom materijalu panela, stvarajući električnu struju.
- **Konverzija DC u AC struju:** Proizvedena jednosmerna struja se prenosi do invertera, uređaja koji je pretvara u naizmeničnu (AC) struju. Ova konverzija je neophodna jer većina kućnih aparata i elektroenergetska mreža koriste naizmeničnu struju.
- **Distribucija energije:** Nakon konverzije, naizmenična struja se distribuira kroz električnu instalaciju objekta za napajanje različitih uređaja. Ako sistem proizvodi više energije nego što je trenutno potrebno, višak se automatski šalje u javnu mrežu. U slučajevima kada je proizvodnja manja od potrošnje, nedostatak energije se nadoknađuje preuzimanjem iz mreže.
- **Merenje i obračun:** Posebna dvosmerna brojila prate količinu energije koja se isporučuje u mrežu i onu koja se iz nje preuzima. Na osnovu ovih podataka, korisnici mogu ostvariti uštede na računima za struju, a u nekim slučajevima i prihod od prodaje viška energije, u zavisnosti od lokalnih propisa i tarifa.

Važno je napomenuti da *on-grid* sistemi ne funkcionišu tokom nestanka struje, jer su dizajnirani da se automatski isključe radi bezbednosti radnika koji popravljaju mrežu. Za obezbeđivanje napajanja tokom takvih perioda, potrebno je razmotriti hibridne sisteme koji uključuju baterije za skladištenje energije.

Integracijom *on-grid* solarnih sistema, korisnici mogu efikasno koristiti obnovljive izvore energije, smanjiti svoje troškove za električnu energiju i doprineti smanjenju emisije štetnih gasova.

Hibridni solarni fotonaponski sistemi

Hibridni solarni fotonaponski sistemi kombinuju karakteristike mrežnih (*on-grid*) i autonomnih (*off-grid*) sistema, omogućavajući korisnicima da koriste energiju iz više izvora i obezbede kontinualno napajanje čak i u slučaju nestanka struje. Ovi sistemi integrišu različite izvore energije i skladištenje kako bi optimizovali proizvodnju i potrošnju električne energije.



Blok dijagram hibridnog sistema

Vrste hibridnih solarnih fotonaponskih elektrana sa baterijskim skladištenjem energije

Ovi sistemi koriste baterije za skladištenje viška energije proizvedene tokom dana. Pohranjena energija se koristi tokom noći ili u periodima smanjene Sunčeve aktivnosti, obezbeđujući stabilno napajanje. Prednost ovog sistema je mogućnost korišćenja sopstvene energije i tokom nestanka struje iz mreže.

Sa generatorom (dizel, benzinski)

U ovom tipu hibridnog sistema, solarni paneli su kombinovani sa generatorom na fosilna goriva. Generator se automatski uključuje kada proizvodnja solarne energije i energija iz baterija nisu dovoljni da zadovolje potrošnju. Ovo obezbeđuje pouzdano napajanje čak i tokom dugotrajnih perioda bez Sunčeve svetlosti.

Sa vetroturbinom

Ovi sistemi kombinuju solarne panele sa vetroturbinama, koristeći i Sunčevu i energiju vetra za proizvodnju električne energije. Ova kombinacija omogućava veću fleksibilnost i stabilnost u proizvodnji energije, posebno u područjima gde su i Sunčeva svetlost i vetar dostupni tokom različitih perioda.

Sa malom hidroelektranom

U ovom slučaju, solarni paneli se integrišu sa malim hidroelektranama, koristeći energiju tekuće vode kao dodatni izvor. Ovakvi sistemi su pogodni za područja sa dostupnim vodenim tokovima, omogućavajući konstantnu proizvodnju energije nezavisno od vremenskih uslova.

Integracijom različitih izvora energije i skladištenja, hibridni solarni fotonaponski sistemi pružaju fleksibilnost i sigurnost u snabdevanju električnom energijom, smanjujući zavisnost od jednog izvora i obezbeđujući kontinualno napajanje čak i u slučaju prekida u javnoj mreži.



VEŽBA

Istraživački rad/PPT prezentacija „Uporedna analiza prednosti i izazova *off-grid*, *on-grid* i hibridnih solarnih elektrana“.



KVIZ

Kviz 5: Podela solarnih fotonaponskih elektrana na *off-grid*, *on-grid* i hibridne elektrane>

<https://forms.office.com/e/77hGTsPQV>.

Elementi solarnih fotonaponskih sistema, funkcija i princip montaže

Solarni fotonaponski sistemi sastoje se od niza ključnih komponenti koje omogućavaju pretvaranje Sunčeve energije u električnu, njeno skladištenje i distribuciju do krajnjih korisnika. Svaka komponenta ima specifičnu funkciju i zahteva pravilnu instalaciju kako bi sistem bio efikasan, siguran i dugotrajan.

Noseće konstrukcije fotonaponskih panela

Noseće konstrukcije imaju ključnu ulogu u osiguravanju mehaničke stabilnosti fotonaponskih panela i njihovom optimalnom pozicioniranju prema Sunčevoj svetlosti. Pravilan odabir konstrukcije zavisi od lokacije instalacije, klimatskih uslova i načina upotrebe sistema.

Vrste nosećih konstrukcija i postupak montaže

- **Konstrukcije za montažu na tlu**

Ove konstrukcije se koriste kada se fotonaponski paneli postavljaju na otvorenim površinama, kao što su solarne farme ili privatna zemljišta.

- Fiksne konstrukcije podrazumevaju postavljanje panela pod optimalnim uglom za region u kojem se nalaze. Montaža se vrši pričvršćivanjem panela na čvrste metalne ili aluminijumske nosače koji su prethodno ukopani u zemlju ili pričvršćeni na betonske temelje. Ovi nosači omogućavaju stabilnost sistema i otpornost na vetrove i druge vremenske uslove.
- Sistemi sa praćenjem položaja Sunca mogu biti jednoosni (pomeraju panele u horizontalnoj ravni) ili dvoosni (prate Sunce i horizontalno i vertikalno). Ovi sistemi imaju elektromotore i senzore koji automatski prilagođavaju nagib panela tokom dana kako bi se maksimalno povećala proizvodnja energije. Montaža uključuje instalaciju nosive konstrukcije, ugradnju elektromotora i povezivanje sa sistemom upravljanja.

- **Konstrukcije za montažu na objekte**

Kada se fotonaponski paneli postavljaju na objekte, koriste se različiti sistemi za pričvršćivanje:

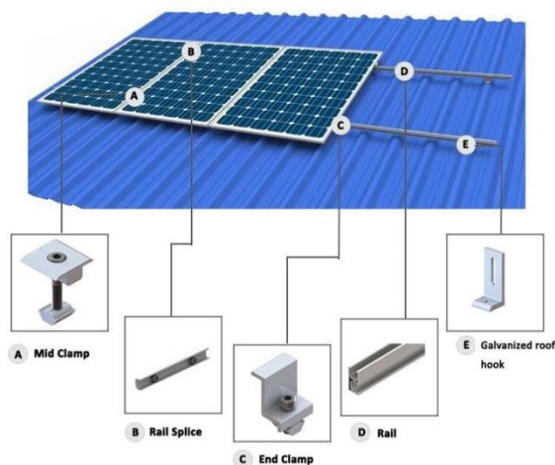
- Integrirane krovne konstrukcije podrazumevaju da paneli postaju sastavni deo krova. Ovaj sistem zahteva specijalizovane nosače i spojeve koji zamenjuju klasične krovne pokrivače.
- Montaža na fasade i ravne krovove uključuje korišćenje čeličnih ili aluminijumskih nosača pričvršćenih na fasadne zidove ili betonske ploče. Postupak podrazumeva bušenje, ankerisanje nosača, pričvršćivanje panela na šine i povezivanje sa razvodnim ormarom.
- Solarne nadstrešnice i pergole su popularno rešenje koje kombinuje zaštitu od Sunca sa proizvodnjom električne energije. Montaža se vrši pričvršćivanjem panela na čelične ili aluminijumske okvire koji se postavljaju kao krov nadstrešnice.

Komponente nosećih konstrukcija

- Krovne kuke i sidra – Koriste se za pričvršćivanje panela na krovne grede.
- Nosači i vodilice – Horizontalni i vertikalni nosači omogućavaju stabilnost i prilagodljivost panela.
- Ramovi i potkonstrukcija – Osiguravaju otpornost na vremenske uslove i omogućavaju sigurno pričvršćivanje panela.
- Spojni materijal – Vijci, šrafovi i spojnice osiguravaju čvrstoću spojeva.
- Sistemi za praćenje Sunca – Motorizovani mehanizmi koji omogućavaju optimalno pozicioniranje panela tokom dana.



Razne vrste držača za PV panele



Elementi za montiranje PV panela na krovove sa profilisanim limom



Elementi za montiranje PV panela na krovove sa crepovima

Sistemi za skladištenje električne energije

Baterijski sistemi omogućavaju skladištenje viška proizvedene električne energije za kasniju upotrebu, što je posebno važno kod *off-grid* i hibridnih solarnih elektrana.

Karakteristike baterijskih sistema

- Kapacitet baterije (Ah ili kWh) – Definiše količinu energije koju baterija može uskladištiti.
- Nazivni napon (V) – Standardne vrednosti su 12V, 24V i 48V.
- Dubina pražnjenja (DoD) – Meri koliko kapaciteta baterije može biti iskorišćeno bez oštećenja.
- Efikasnost skladištenja i ciklusni vek – Utvrđuje dugotrajnost baterije.

Postupak montaže baterijskih sistema

- Postavljanje baterijskih ormara – Baterije se smeštaju u specijalizovane ormare sa ventilacijom kako bi se sprečilo pregrevanje.
- Povezivanje kablova – Kablovi se spajaju serijski ili paralelno, zavisno od potrebnog napona sistema.
- Povezivanje sa regulatorom punjenja i inverterom – Obezbeđuje pravilno upravljanje punjenjem i pražnjenjem baterija.

Regulatori punjenja

Regulator punjenja upravlja tokom električne energije iz panela u baterije i sprečava njihovo prepunjavanje ili prekomerno pražnjenje.

Postupak montaže regulatora punjenja

- Montaža regulatora na zid ili unutar razvodnog ormara – Postavlja se na lako dostupno mesto.
- Povezivanje sa panelima, baterijama i potrošačima – Osigurava optimalan protok energije.
- Konfiguracija sistema – Podešavanje režima punjenja u zavisnosti od tipa baterija.

Inverteri

Inverteri konvertuju jednosmernu struju (DC) u naizmeničnu struju (AC), omogućavajući upotrebu električne energije u standardnim kućnim i industrijskim sistemima.

- Postupak montaže invertera
- Postavljanje invertera na zid ili u ormar – Omogućava ventilaciju i hlađenje uređaja.
- Povezivanje sa solarnim panelima i baterijama – Osigurava pretvaranje i distribuciju energije.
- Povezivanje sa elektroenergetskom mrežom (za on-grid sisteme) – Omogućava predaju viška energije u distributivni sistem.

Električne instalacije i zaštitni sistemi

Pravilno dizajnirane električne instalacije osiguravaju pouzdan i siguran rad solarnih fotonaponskih elektrana.

Postupak instalacije električnih komponenti

- Polaganje DC i AC kablova – Koriste se zaštitni kanali i kablovski nosači.
- Postavljanje razvodnih ormara – Montiraju se na zaštićenim lokacijama kako bi se osigurao nesmetan rad zaštitnih uređaja.
- Uzemljenje i zaštita od groma – Neophodno za smanjenje rizika od električnih udara.

Sistem nadzora i upravljanja

Sistemi nadzora omogućavaju daljinsko praćenje i optimizaciju rada solarnih fotonaponskih elektrana.

Elementi sistema nadzora

- Senzori i kontroleri – Prate ključne parametre sistema.
- Softver za praćenje rada – Omogućava daljinsko nadgledanje.
- Alarmi i sigurnosni uređaji – Upozoravaju na eventualne kvarove.



Montažni elementi za priključivanje PV panela



Solarni punjač 5,5 kW, inverter 12 V AC 220 V, punjač baterija 20 A i inverter 48 V 6000 W



KVIZ

Kviz 6: Elementi solarnih fotonaponskih sistema, funkcija i princip montaže:

<https://forms.office.com/e/qNGbXtUMhy>.

4.6. Tehnička dokumentacija i tehnička regulativa solarnih fotonaponskih sistema

Tehnička dokumentacija i regulativa igraju ključnu ulogu u projektovanju, instalaciji, eksploataciji i održavanju solarnih fotonaponskih elektrana. Ona obuhvata sve neophodne informacije o projektovanju sistema, karakteristikama opreme, bezbednosnim zahtevima i zakonodavnim okvirima koji regulišu rad solarnih postrojenja. Pravilan pristup tehničkoj dokumentaciji i regulativi osigurava efikasnost, sigurnost i usklađenost sa propisima.

Vrste tehničke dokumentacije i njihova namena

Tehnička dokumentacija predstavlja skup projektnih, tehničkih i pravnih dokumenata koji se koriste u svim fazama životnog ciklusa solarne elektrane – od idejnog rešenja do realizacije i održavanja. Postoje različite vrste tehničke dokumentacije, a osnovne su:

- **Projektna dokumentacija** – Sadrži sve neophodne podatke za projektovanje i izvođenje solarnog fotonaponskog sistema. Obuhvata:
 - Projektni zadatak – Definiše osnovne zahteve i ciljeve projekta.
 - Idejno rešenje – Prikazuje koncept rada sistema i osnovne tehničke karakteristike.
 - Idejni projekat – Detaljniji pregled tehničkih rešenja i procene izvodljivosti.
 - Glavni projekat – Dokument sa preciznim tehničkim parametrima, šemama, situacionim podlogama iz geodetske uprave i proračunima potrebnim za izvođenje instalacije.
 - Projekat izvedenog stanja – Sastavlja se nakon realizacije projekta i prikazuje stvarno izvedeno rešenje.
- **Dokumentacija proizvođača opreme** – Uključuje tehničke specifikacije, uputstva za upotrebu i održavanje, kao i ateste i ispitne protokole za opremu poput fotonaponskih panela, invertara i zaštitnih komponenti.
- **Elaborati i stručni nalazi** – Sadrže studije analize lokacije, procenu uticaja na životnu sredinu i tehničko-ekonomske analize.
- **Ispitni protokoli i atesti** – Dokumentuju rezultate testiranja komponenti sistema, prikazuju funkcionalna ispitivanja, podešavanja zaštite i merenja otpornosti izolacije priključnog voda i otpornosti uzemljivača, verifikaciju performansi i usklađenost sa standardima.

Vrste tehničke regulative i njihova primena

Tehnička regulativa obuhvata niz propisa, normi i smernica koje osiguravaju bezbednost, efikasnost i pouzdanost solarnih fotonaponskih sistema. Osnovne kategorije tehničke regulative uključuju:

- **Standardi** – Tehnički dokumenti koji definišu minimalne tehničke zahteve za projektovanje, instalaciju i održavanje solarnih fotonaponskih sistema (npr. IEC, ISO, EN standardi).
- **Tehnički propisi** – Nacionalni i međunarodni zakoni i uredbe koje regulišu izgradnju i rad solarnih fotonaponskih sistema.
- **Pravilnici** – Specifični dokumenti koji regulišu pojedine segmente sistema, kao što su priključak na elektrodistributivnu mrežu, sigurnosni standardi i mere zaštite na radu.
- **Preporuke i uputstva** – Smernice za projektovanje, optimizaciju i integraciju solarnih sistema u elektroenergetski sistem.

Tumačenje projektne dokumentacije solarnih fotonaponskih sistema

Projektna dokumentacija je ključni resurs za izvođače radova, investitore i nadzorne organe. Proučavanje i razumevanje projektnih planova omogućava pravilnu realizaciju sistema, sprečavanje tehničkih problema i optimizaciju performansi.

Neki od najvažnijih elemenata projektne dokumentacije uključuju:

- **Principijelne šeme** – Prikazuju osnovni način funkcionisanja sistema i međusobne veze komponenti.
- **Blok dijagrami** – Ilustruju interakciju različitih delova sistema (paneli, baterije, inverter, mreža).
- **Jednopolne šeme** – Precizni električni prikazi svih komponenti sistema i njihove međusobne veze.

Električni simboli elemenata solarnih fotonaponskih sistema

Solarni fotonaponski sistemi sadrže veliki broj električnih komponenti, od kojih svaka ima svoj tehnički simbol u električnim šemama. Poznavanje i pravilno tumačenje ovih simbola omogućava razumevanje projektne dokumentacije i realizaciju ispravnih električnih priključaka.

Znakovi opasnosti i upozorenja u tehničkoj regulativi i dokumentaciji

Bezbednost je ključni aspekt pri radu sa solarnim fotonaponskim sistemima. Tehnička dokumentacija i regulativa uključuju različite znakove upozorenja koji informišu o potencijalnim rizicima. Među njima su:

- **Oznake visokog napona** – Upozoravaju na prisustvo opasnog napona u sistemu.
- **Oznake opasnosti od strujnog udara** – Informišu o zonama sa povećanim rizikom od električnog udara.
- **Oznake zaštitne opreme** – Označavaju obaveznu upotrebu zaštitne opreme, kao što su izolovane rukavice, zaštitne naočare i obuća.

Tumačenje plana zaštite na radu u solarnom fotonaponskom sistemu

Plan zaštite na radu u solarnom fotonaponskom sistemu definiše sve neophodne mere i postupke za bezbedan rad sa solarnim sistemima. Ovaj plan uključuje:

- **Mere zaštite od električnog udara** – Primena adekvatnih izolacionih materijala, zaštitnih uređaja i sistema uzemljenja.
- **Postupci u slučaju hitnih situacija** – Protivpožarne mere, evakuacioni putevi i postupci za gašenje požara izazvanih električnim instalacijama.
- **Zaštita od vremenskih uslova** – Uključuje mere zaštite pri radu na visini, zaštitu od udara groma i otpornost opreme na ekstremne klimatske uslove.

4.7. Materijal, alat, oprema i uređaji za rad na izgradnji i održavanju solarnih fotonaponskih sistema

Za kvalitetnu i sigurnu izgradnju, montažu i održavanje solarnih fotonaponskih sistema, neophodno je korišćenje odgovarajućeg materijala, alata, opreme i uređaja. Svaka komponenta ovog sistema doprinosi efikasnosti i sigurnosti rada, omogućavajući pravilno izvođenje svih operacija.

Materijal: provodnici i kablovi za ožičenje, stezaljke, spojnice, razdelnici, izolacione trake i drugi izolacioni materijal, PV cevi i kutije, sredstva za podmazivanje, sredstva za uklanjanje rđe, sredstva za zaštitu od korozije (antikorozivne boje, premazi, mastici), materijali za zaptivanje, šrafovi i maticice, materijal za obeležavanje i signalizaciju, građevinski materijal i dr.

Primeri energetskih kablova



PP00



PP40

Upotreba: Za razvod energije u gradskim mrežama, industrijskim postrojenjima. Polazu se u kablovske kanale, zatvorene prostorije i u zemlju uz primenu dodatne zaštite.



PP 45-A

Upotreba: Za razvod energije u gradskim mrežama, industrijskim postrojenjima i na mestima gde se očekuju mehanička oštećenja. Polazu se u zemlju, kablovske kanale i otvorenom prostoru. Pogodan je za vertikalno i koso polaganje kao i na terenima podložnim klizanju.



Upravljački i signalni kablovi

Upotreba: Za povezivanje signalnih i komandnih uređaja u industriji, termo, hidroelektranama, vetro i solarnim elektranama, saobraćaju i sl. Polazu se u kablovske kanale u zatvorene prostorije i u zemlju uz primenu dodatne zaštite.



MC-4 konektor najčešće zastupljen u praksi



Razne vrste kablovskih papučica



Razne vrste spojnih čaura



Instalacione PVC cevi

Alat: izolaciona klešta, kompresiona klešta, sekači provodnika, pile za metal, odvijači, ključevi, turpije, čekići, električni bravarski alat, ručna sredstva za podizanje tereta, makaze i noževi za sečenje izolacionog materijala, makaze za sečenje lima, testere, alat za spajanje lemljenjem, alat za savijanje lima, alat za savijanje profila, alat za probijanje, alat za prosecanje, alat za odsecanje, alat za izradu navoja, merni i kontrolni alat, alat i pribor za zavarivanje, libela i dr.



Alati za krmpovanje, skidanje izolacije, merni instrumenti

Oprema i uređaji: prenosni uzemljivač, izolaciona motka, prenosivi transformator, prenosivi generator, bušilica, bušilica, visokonaponski pokazivači napona, multimetri, instrument za snimanje UI karakteristike solarnog panela, uređaji za dijagnostiku i ispitivanja, megaommetar, privremene konstrukcije i objekti (skele, radne platforme, zakloni i dr.), podizne kuke, nosači, ankeri, dizalica sa izolacionom platformom i dr.



Merni instrumenti



Analizator kvaliteta električne energije



Solarni multimeter



Instalacioni multifunkcionalni tester

Specijalizovane mašine i vozila: Za izgradnju i održavanje solarnih fotonaponskih sistema često se koriste specijalizovane mašine i vozila prilagođena radu u teškim uslovima. To uključuje teleskopske dizalice velikog kapaciteta, terenska vozila za transport opreme i materijala po nepristupačnim terenima, samohodne skele i platforme za rad na visini, kao i specijalizovane bušilice. Ova vozila i mašine omogućavaju sigurno i efikasno izvođenje svih građevinskih i elektroinstalaterskih radova na solarnim fotonaponskim sistemima.



Specijalizovana vozila

Ovi materijali, alati, oprema i uređaji su od izuzetne važnosti za efikasan i siguran rad na izgradnji i održavanju solarnih fotonaponskih elektrana, omogućavajući kvalitetno izvođenje svih potrebnih operacija i zadataka.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1. Prepoznavanje i analiza materijala za rad u solarnim fotonaponskim sistemima

Materijal i alat:

- Uzorci različitih vrsta materijala (bakarni i aluminijumski provodnici, izolacioni materijali, plastične i metalne cevi, zaštitni omotači);
- Tehnička dokumentacija i katalozi proizvođača;
- Merne alatke (mikrometar, klešta za presovanje, nož za skidanje izolacije);
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare).

Postupak izvođenja:

1. Pregled dostupnih materijala
 - Razvrstaj uzorke provodnika i izolacionih materijala.
 - Identifikuj materijale na osnovu boje, fleksibilnosti, oznaka i standarda.
2. Poređenje svojstava materijala
 - Izmeri debljinu provodnika i izolacije.
 - Uporedi mehaničku čvrstoću različitih materijala.
 - Analiziraj prednosti i mane upotrebe bakra u odnosu na aluminijum u elektroinstalacijama.
3. Diskusija o primeni materijala
 - Identifikuj koji materijali se koriste za različite tipove instalacija.
 - Proceni koji materijal je najpogodniji za specifične uslove rada (vlaga, visoka temperatura, mehanički stres).
4. Grupni zadaci
 - Podeli se u grupe i analiziraj tehničke specifikacije određenog materijala.
 - Prikaži zaključke o izboru materijala za konkretne aplikacije.

Završna provera:

- Prezentuj analizu i zaključke o upotrebi materijala u specifičnim uslovima rada.
- Objasni razloge izbora određenog materijala na osnovu tehničkih podataka.
- Proveri tačnost podataka u tehničkoj dokumentaciji.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Korišćenje ručnih i električnih alata

Materijal i alat:

- Osnovni ručni alati (klešta, odvijači, skalpeli, noževi za skidanje izolacije);
- Električni alati (bušilica, brusilica, lemilica, pištolj za vrući vazduh);
- Testeri i merni instrumenti (multimetar, ispitivač napona, ampermetar);
- Sigurnosna oprema (zaštitne rukavice, zaštitne naočare, radna odeća)

Postupak izvođenja:

1. Demonstracija upotrebe alata
 - Upoznaj se s osnovnim funkcijama ručnih i električnih alata.
 - Pregledaj tehničke karakteristike alata i način korišćenja.
 - Pravilno podesi alat pre upotrebe.
2. Praktična primena alata
 - Koristi klešta i odvijače za obradu provodnika i spajanje električnih elemenata.
 - Isprobaj električne alate za bušenje, rezanje i oblikovanje materijala.
 - Primeni tester za proveru ispravnosti električnih instalacija.
3. Analiza efikasnosti i bezbednosti rada
 - Proveri ispravnost alata pre i posle upotrebe.
 - Uporedi brzinu i preciznost ručnih i električnih alata u različitim zadacima.
 - Diskutuj o sigurnosnim pravilima pri radu s električnim alatima.

Završna provera:

- Demonstriraj tačnu i sigurnu upotrebu svakog alata.
- Prezentuj ispravnu primenu električnih alata kroz praktične zadatke.
- Identifikuj moguće greške u korišćenju alata i predloži poboljšanja.

5. IZGRADNJA SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA

5.1. Pripremni radovi na izgradnji solarnih fotonaponskih elektrana

Izvođenje pripremni radova na izgradnji solarnih fotonaponskih sistema predstavlja ključnu fazu u procesu implementacije sistema. Ova faza osigurava da su svi uslovi adekvatno ispunjeni za uspešnu instalaciju solarnih modula i pripadajuće opreme. Pripremni radovi obuhvataju tehničku analizu, procenu lokacije, organizaciju materijala i alata, kao i primenu odgovarajućih sigurnosnih mera.

Tumačenje tehničke dokumentacije

Pre početka praktičnih radova, neophodno je detaljno proučiti tehničku dokumentaciju kako bi se stekao uvid u projektne specifikacije i uslove montaže. Tehnička dokumentacija obuhvata projektne nacрте, uputstva proizvođača i tehničke karakteristike komponenti sistema. Ključni elementi dokumentacije koje treba analizirati su:

- Orijentacija i nagib solarnih panela radi maksimalne efikasnosti.
- Vrsta i dimenzije noseće konstrukcije.
- Električne specifikacije sistema, uključujući snagu invertera, tip kablova i način povezivanja.
- Bezbednosni zahtevi i standardi za instalaciju.

Dopremanje opreme, materijala i alata

Jedan od osnovnih pripremni zadatka je pravilna organizacija opreme i materijala potrebnih za montažu. Solarni paneli, noseće konstrukcije, kablovi, inverteri i zaštitna oprema moraju biti dostavljeni i skladišteni na način koji sprečava njihovo oštećenje. Važno je osigurati da svi elementi budu dostupni na gradilištu u skladu s planom montaže kako bi se izbegla kašnjenja u radu.

Prilikom organizacije alata, neophodno je pripremiti:

- Ručne i električne alate za montažu (bušilice, odvijače, ključeve, rezače kablova itd.).
- Zaštitnu opremu za rad na visini (pojaseve, kacige, rukavice, naočare).
- Merne instrumente (digitalni nivelir, multimetar, solarni analizator).

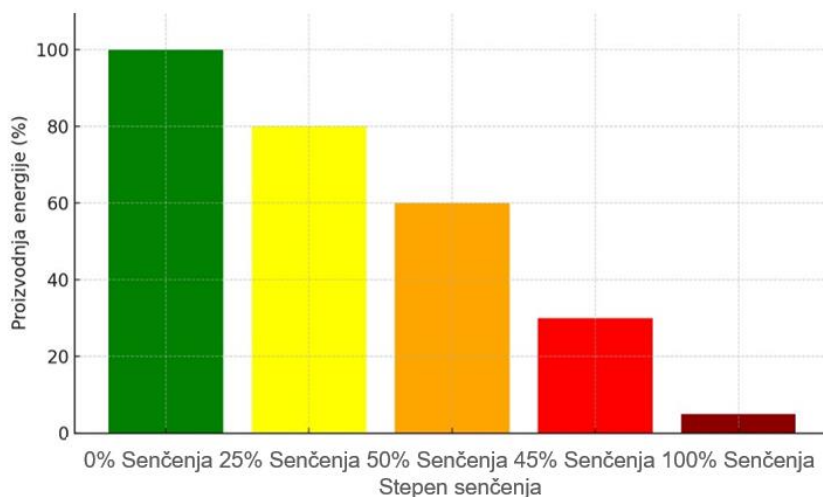
Provera podloge za montažu

Kvalitet i stabilnost podloge na koju će biti postavljena solarna elektrana ključni su faktori za siguran i dugotrajan rad sistema. U zavisnosti od toga da li se montaža izvodi na krovu ili na tlu, pristup proceni podloge se razlikuje:

- **Provera krova:** Analiziraju se materijal i nosivost krova. Na primer, kod montaže na limenim krovovima potrebno je osigurati dodatne nosače kako bi se smanjilo opterećenje. Kod betonskih krovova treba proveriti mogućnosti bušenja i fiksiranja nosača.
- **Provera tla:** Kod montaže solarnih panela na tlu, sprovodi se analiza nosivosti zemljišta. U slučaju slabog tla, mogu biti potrebni dodatni temelji ili betonske baze za stabilizaciju konstrukcije. Koristi se tabela sa check listom redosleda izvođenja radova.

Identifikacija i uklanjanje izvora senčenja

Senčenje je jedan od ključnih faktora koji mogu smanjiti efikasnost solarnih fotonaponskih sistema. Stoga je neophodno identifikovati izvore senčenja i preduzeti odgovarajuće mere. Uobičajeni izvori senčenja uključuju drveće, visoke zgrade, dimnjake i druge objekte koji mogu blokirati Sunčevu svetlost.



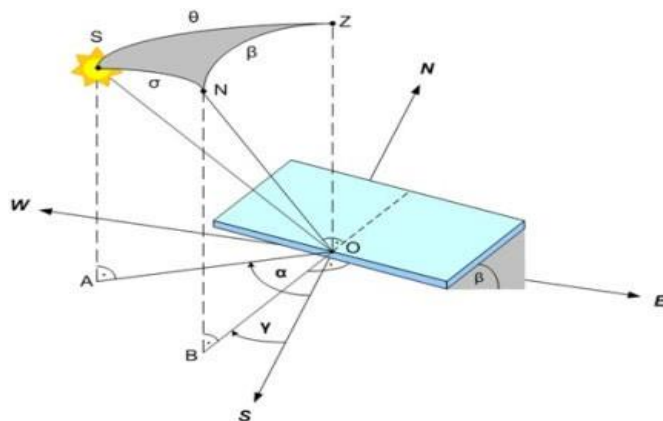
Uticaj senčenja na proizvodnju solarnih fotonaponskih sistema

Za analizu senčenja koriste se alati kao što su solarni analizatori i programski alati za simulaciju putanje Sunca. Ako senčenje predstavlja značajan problem, moguće je prilagoditi nagib i poziciju solarnih panela kako bi se smanjili gubici.

Provera orijentacije i nagiba površine

Ispravna orijentacija i nagib solarnih panela su presudni za postizanje maksimalne proizvodnje električne energije. Generalno, za severnu hemisferu preporučena orijentacija je prema jugu, dok se za južnu hemisferu solarni paneli orijentišu prema severu.

Optimalan nagib zavisi od geografske lokacije i ugaone visine Sunca tokom godine. Najčešće se koristi nagib koji odgovara geografskoj širini lokacije, ali se on može prilagoditi u zavisnosti od sezone potrebe za energijom.



Pozicija fotonaponskih panela i položaj Sunca

Tip i položaj krova će definisati nagibni ugao (β) i azimutni ugao (γ) fotonaponskih panela (slika gore), od čega će između ostalog zavisiti proizvodnja električne energije.

Čišćenje i priprema površine za montažu

Prije postavljanja nosača i solarnih panela, površina mora biti očišćena od prljavštine, lišća, snega ili drugih prepreka koje mogu ometati instalaciju. Na krovovima je važno proveriti stabilnost materijala i izvršiti neophodne popravke kako bi se osigurao siguran rad instalacije.

Obeležavanje i obezbeđivanje radnog prostora

Za sigurno izvođenje radova potrebno je postaviti odgovarajuće sigurnosne oznake, barijere i osigurati pristup samo ovlaštenim osobama. Posebno je važno postaviti sigurnosnu opremu za rad na visini, kao što su konopci za osiguranje, sigurnosni pojasevi i zaštitne mreže.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Procena lokacije za solarnu elektranu

Pravilno izmeriti nagib i orijentaciju krova/tla pomoću mernih instrumenata, kako bi se osigurala optimalna efikasnost solarne elektrane.

Materijal i alat

- Tehnička dokumentacija
- Inclinometar
- Kompas
- Solarni analizator
- Radna zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare)

Postupak:

1. Priprema radnog prostora

- Osigurati sigurno okruženje za izvođenje merenja.
- Tumačenje tehničke dokumentacije
- Pripremiti potrebne merne instrumente.

2. Izvođenje simulacije

- Merenje nagiba krova ili tla pomoću inclinometra.
- Analiziranje uticaja okolnih objekata (drveće, zgrade, dimnjaci) na efikasnost sistema.
- Koristiti kompas za utvrđivanje orijentacije prema jugu.
- Uporediti dobijene podatke sa tehničkim smernicama za optimalnu proizvodnju energije.

Završna provera

- Uporediti izmerene vrednosti s preporučenim parametrima za solarnu instalaciju.
- Diskutovati o mogućim izazovima u merenju i predlozima za poboljšanje.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Priprema montažne opreme i alata

Pravilno organizovanje potrebnog materijala i postavljanje sigurnosnih mera pre montaže solarnih panela.

Materijal i alat

- Set alata za montažu (ključ, odvijač, bušilica);
- Zaštitna oprema (rukavice, kaciga, sigurnosni pojas);
- Signalizacija za obezbeđenje radnog prostora;
- Elementi montažne konstrukcije.

Postupak

1. Priprema radnog prostora

- Osigurati da su svi materijali i alati dostupni i organizovani.
- Proveriti sigurnosne mere na radnoj lokaciji (zaštitna oprema, barijere, signalizacija).

2. Izvođenje simulacije

- Rasporediti i organizovati materijale prema fazama montaže.
- Proveriti ispravnost montažne opreme i sigurnosnih sistema.
- Postaviti privremene zaštitne mere pre početka radova.

Završna provera

- Proveriti da li su oprema i alati pravilno pripremljeni.
- Diskutovati o mogućim poboljšanjima u organizaciji montažnih radova.

5.2. Montaža nosećih konstrukcija i fotonaponskih panela

Montaža nosećih konstrukcija i fotonaponskih panela predstavlja ključni korak u izgradnji solarnih fotonaponskih sistema. Ovaj proces uključuje odabir i pripremu lokacije, postavljanje stabilne i sigurne podloge za panele, njihovu preciznu orijentaciju i osiguravanje optimalnih performansi sistema. Pravilna instalacija konstrukcije i panela direktno utiče na dugotrajnost, sigurnost i efikasnost rada solarne elektrane.

Određivanje lokacije i priprema terena

Pre postavljanja solarnog fotonaponskog sistema, neophodno je izvršiti analizu lokacije i pripremiti teren za montažu. Ključni faktori pri odabiru lokacije uključuju insolaciju, topografiju, nagib i orijentaciju, senčenje te nosivost tla ili krova.

Insolacija se odnosi na količinu Sunčevog zračenja dostupnog na određenoj lokaciji tokom godine. Analizom insolacije može se proceniti godišnja proizvodnja energije i doneti odluka o optimalnom položaju panela.

Topografija terena igra važnu ulogu u određivanju metode postavljanja solarnih panela. Ravni tereni su poželjniji jer omogućavaju jednostavniju instalaciju i smanjuju potrebu za nivelacijom tla, dok neravni tereni zahtevaju dodatnu obradu i prilagođavanje nosača.

Nagib i orijentacija direktno utiču na efikasnost solarne elektrane. Paneli se postavljaju tako da budu okrenuti prema jugu (na severnoj hemisferi) ili prema severu (na južnoj hemisferi) kako bi primali maksimalno Sunčevo zračenje tokom dana. Nagib panela zavisi od geografske širine lokacije i podešava se u skladu s preporučenim vrednostima za optimalnu proizvodnju električne energije.

Senčenje može značajno smanjiti efikasnost sistema. Potrebno je izbeći prepreke koje mogu bacati senu na panele, poput zgrada, drveća, stubova i drugih objekata. Potrebno je i obratiti pažnju na postavljanje panela u cilju izbegavanja međusobnog senčenja. Analiza senčenja vrši se pomoću specijalizovanog softvera ili fizičkim merenjima tokom različitih delova dana i godine.

Nosivost tla ili krova mora biti procenjena kako bi se osigurala stabilnost instalacije. Za montažu na tlu potrebno je analizirati strukturu zemljišta i odabrati odgovarajući tip temelja, dok se kod krovnih instalacija provodi procena statike objekta kako bi se utvrdilo može li krov podneti dodatno opterećenje panela i nosača.

Nakon odabira lokacije, teren se priprema uklanjanjem vegetacije i nivelisanjem tla, ako je potrebno. U slučaju postavljanja na krovu, proverava se statika objekta i bira odgovarajuća konstrukcija za montažu panela. Ovi koraci osiguravaju dugotrajan, siguran i efikasan rad solarnih fotonaponskih sistema.

Izrada temelja za noseću konstrukciju

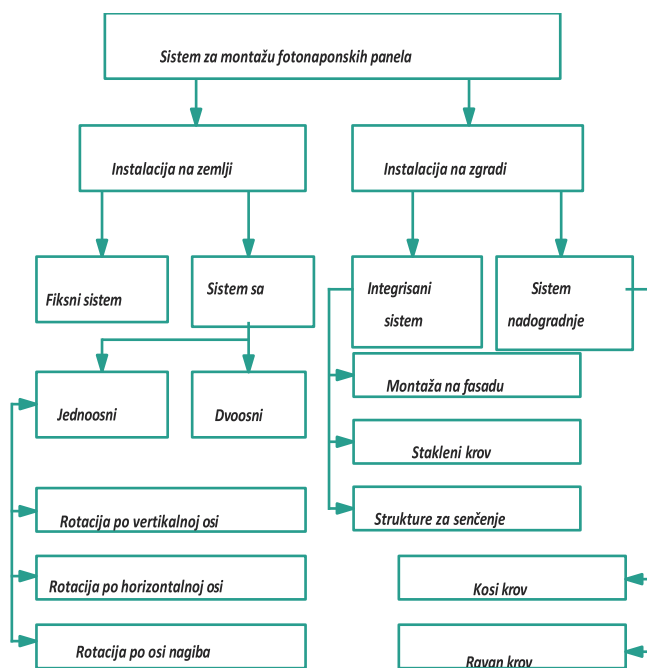
Postavljanje temelja za noseću konstrukciju zavisi od tipa terena i opterećenja koje konstrukcija treba podneti. Kod montaže na tlu, koriste se tri osnovna tipa temelja:

- Betonski temelji – najstabilnije rešenje, posebno za velike solarne elektrane. Iskopavaju se jame, u njih se postavlja armaturna mreža i izliva beton.
- Vijčani temelji – koriste se kod lakših konstrukcija i na područjima gde nije poželjno raditi betonske radove.
- Čelični stubovi utemeljeni direktno u zemlju – postavljaju se pomoću specijalnih mašina koje omogućavaju brzo i čvrsto sidrenje.

Kod krovnih instalacija, umesto temelja, koriste se specijalni nosači prilagođeni vrsti krova. Ravni krovovi zahtevaju montažne konzole koje osiguravaju stabilnost i optimalan nagib panela.

Montaža noseće konstrukcije za fotonaponske panele

Noseća konstrukcija služi za fiksiranje fotonaponskih panela na krovovima ili tlu, omogućavajući optimalno pozicioniranje prema Sunčevom zračenju. Montaža se razlikuje u zavisnosti od lokacije postavljanja – na krovu ili na zemlji.



Vrste sistema za montažu fotonaponskih panela

Montiranje elemenata noseće konstrukcije za fotonaponske panele na krovu/na tlu

Montaža nosača i vodilica započinje fiksiranjem osnovne konstrukcije prema tehničkim specifikacijama projekta. Kod krovnih instalacija, prvo se postavljaju krovne kuke ili sidra, na koja se zatim pričvršćuju horizontalne i vertikalne vodilice. Vijci i stezaljke se koriste za sigurno učvršćivanje panela, uz posebnu pažnju na pravilno raspoređivanje opterećenja kako bi se sprečila mehanička naprezanja.

Kod montaže na tlu, prvo se priprema teren i postavljaju temelji ili čelični stubovi, vrše pull out testovi, nakon čega se montiraju horizontalne i vertikalne vodilice. Paneli se pričvršćuju krajnjim i srednjim stezaljkama, dok se vijci i spojni materijal koriste za čvrsto povezivanje elemenata. Dodatno, u sistemima sa praćenjem Sunca, ugrađuju se aktuatori koji omogućavaju prilagođavanje nagiba panela tokom dana.

Nakon montaže, potrebno je proveriti stabilnost konstrukcije, čvrstoću spojeva i otpornost na vremenske uslove pre nastavka sa postavljanjem fotonaponskih panela. Provera stabilnosti uključuje ispitivanje čvrstoće pričvršćenja nosača i vodilica, osiguravanje da su svi vijci i spojni materijal pravilno postavljeni i zategnuti, kao i testiranje otpornosti na opterećenja poput jakih vetrova i vibracija. Pored toga, potrebno je izvršiti završnu inspekciju konstrukcije kako bi se osiguralo da nema neželjenih pomeranja ili deformacija koje bi mogle ugroziti dugotrajnost sistema.

Elementi noseće konstrukcije za fotonaponske panele na krovu:

- Krovne kuke ili sidra – pričvršćuju konstrukciju na krovnu površinu i osiguravaju stabilnost.
- Nosači/vodilice (horizontalne i vertikalne) – služe za postavljanje i pričvršćivanje panela na konstrukciju.
- Krajnje stezaljke i međustežaljke – drže panele na mestu i osiguravaju njihovu čvrstoću.
- Spojni materijal (vijci, šrafovi) – koristi se za pričvršćivanje svih elemenata konstrukcije.
- Krovni vijci za metalne krovove – posebni vijci za sigurno pričvršćivanje nosača na metalnim krovovima.
- Konzole za ravne krovove – omogućavaju montažu panela pod odgovarajućim nagibom.
- Potkonstrukcija – dodatni elementi koji poboljšavaju stabilnost na specifičnim vrstama krovova.

Elementi noseće konstrukcije za fotonaponske panele na tlu:

- Temelji i bazne ploče – osiguravaju stabilnost konstrukcije na zemlji.
- Nosači/vodilice (horizontalni i vertikalni) – omogućavaju pričvršćivanje panela.
- Krajnje stezaljke i srednje stezaljke – učvršćuju panele na konstrukciju.
- Spojni materijal (vijci, šrafovi) – povezuje elemente konstrukcije.
- Nagibne strukture – podešavaju panel pod optimalnim uglom prema Suncu.
- Sistemi za praćenje Sunca – omogućavaju automatsko prilagođavanje panela kako bi maksimalno iskorišćavali Sunčevu energiju.

Orientacija i nagib noseće konstrukcije fotonaponskih panela

Montaža noseće konstrukcije za fotonaponske panele razlikuje se u zavisnosti od lokacije jer postavljanje na krovu ili na tlu zahteva različite pristupe i specifične metode osiguranja stabilnosti i efikasnosti sistema.

Kod montaže na krovu, konstrukcija se pričvršćuje direktno na nosivu podlogu krova pomoću krovnih kuka, sidara ili konzola. Ovi elementi omogućavaju sigurno fiksiranje panela uz minimalno narušavanje krovne konstrukcije. Na ravnim krovovima se koriste specijalni nosači sa balastom koji osiguravaju stabilnost bez potrebe za bušenjem krova. Dodatni izazovi kod krovnih instalacija uključuju nagib i statičku nosivost objekta, pa je pre postavljanja potrebno izvršiti analizu opterećenja



Montaža na tlu ili na ravnim krovovima



Montaža panela na ravnom krovu

Kod montaže na tlu, konstrukcija se postavlja na temelje ili vijčane stubove koji omogućavaju stabilnost i dugotrajan rad sistema. Postavljanje na tlu omogućava veću fleksibilnost u pogledu orijentacije i nagiba panela, jer se nosači mogu precizno prilagoditi optimalnom uglu upada Sunčevih zraka. Dodatno, sistemi za praćenje Sunca često se integrišu sa ovakvim instalacijama kako bi se povećala proizvodnja energije.



Sistemi za postavljanje panela na vodi (plutajući sistemi)

Kod instalacija na zemlji, fotonaponski paneli mogu biti postavljeni na fiksnim sistemima, gde su stalno pod određenim uglom, ili na sistemima sa praćenjem, koji prate kretanje Sunca radi bolje efikasnosti. Sistemi sa praćenjem mogu biti jednoosni (rotacija po vertikalnoj, horizontalnoj osi ili osi nagiba) ili dvoosni, gde paneli prate Sunce u oba smera, što omogućava maksimalnu proizvodnju energije.



Montaža solarnih panela na zemlji

Kod instalacija na zgradama, fotonaponski paneli mogu biti deo integrisanog sistema, gde zamenjuju građevinske elemente (fasade, staklene krovove), ili sistema nadogradnje, gde se naknadno montiraju na postojeće strukture. Paneli se mogu postaviti na kose ili ravne krovove. Kod kosih krovova, paneli se pričvršćuju pomoću specijalnih nosača, koji omogućavaju sigurno postavljanje bez narušavanja krovne konstrukcije. Na ravnim krovovima, koriste se posebne konzole ili balastni nosači koji osiguravaju stabilnost bez potrebe za bušenjem krova. Paneli na ravnim krovovima mogu se postaviti pod fiksnim uglom ili sa podesivim nagibom, kako bi se optimizovala proizvodnja energije u zavisnosti od geografske lokacije.



Solarni paneli na krovovima stambenih objekata

Solarni panel montiran na ogradu balkona

Postavljanje fotonaponskih panela na ravnim krovovima i upotreba balasta

Montaža solarnih panela na ravnim krovovima sa pokrivačem od izolacionih membrana zahteva poseban pristup kako bi se osigurala mehanička stabilnost sistema, dugotrajnost krovne konstrukcije i optimalna proizvodnja energije. Ključni izazovi uključuju:

- **Očuvanje hidroizolacije krova** – probijanje krovne membrane može dovesti do curenja i oštećenja objekta.
- **Otpornost na vetar i druge vremenske uticaje** – potrebno je osigurati da vetrovi ne destabilizuju sistem.
- **Optimalni nagib panela** – kako bi se postigla maksimalna efikasnost u proizvodnji električne energije.

Upotreba balasta u montaži na ravnim krovovima

Zbog potrebe očuvanja hidroizolacije krova, montaža se vrši bez fiksnog ankerisanja, a umesto toga koristi se balastna konstrukcija. To podrazumeva:

- Postavljanje betonskih kocki kao opterećenja koje drži konstrukciju na mestu.
- Pravilno raspoređivanje balasta kako bi se obezbedila ravnomerna nosivost i sprečilo pomeranje panela usled vetra.
- Upotreba montažnih sistema sa podesivim nagibom, koji omogućavaju podešavanje panela pod optimalnim uglom za maksimizaciju proizvodnje energije.

Softverska analiza dimenzionisanja nosivosti

Prilikom projektovanja sistema koristi se softverska analiza, koja uzima u obzir sledeće parametre:

- **Ruža vetrova** – analiza dominantnih pravaca i brzina vetrova na lokaciji.
- **Visina objekta** – veće zgrade izložene su jačim vetrovima i zahtevaju dodatne mere stabilizacije.
- **Geografska lokacija** – klimatski uslovi, snežne padavine i temperature utiču na izbor montažnog sistema.
- **Mikroklima** – specifični uslovi na krovu (vetrovi, senčenje, refleksija) analiziraju se kako bi se optimizovala instalacija.

Prednosti sistema sa balastom

- **Minimalan uticaj na krov** – ne narušava hidroizolacioni sloj.
- **Fleksibilnost u instalaciji** – lako se prilagođava različitim krovnim površinama.
- **Brza montaža i demontaža** – pogodna za privremene i dugoročne solarne instalacije.



Balastna solarna ugradna konstrukcija za ravni krov

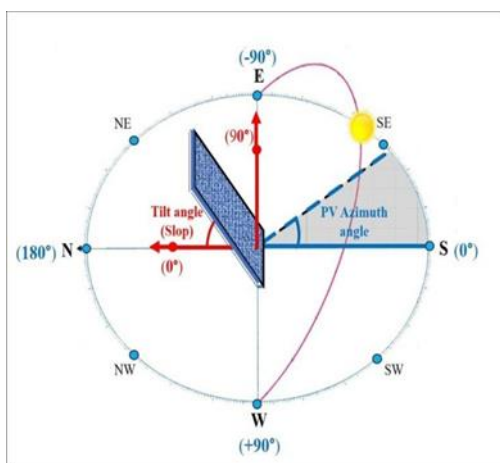
Bez obzira na lokaciju, ključni faktori koji utiču na efikasnost sistema su pravilna orijentacija i nagib konstrukcije. Orijentacija se određuje prema geografskom položaju i dostupnosti Sunčevog zračenja, dok se nagib prilagođava sezonskim promenama kako bi se postigla maksimalna proizvodnja električne energije.

Za proveru ispravnosti orijentacije i nagiba koriste se alati kao što su kompas, merač nagiba (inclinometar), laserski nivelir i GPS uređaj. Precizna podešavanja osiguravaju da solarni paneli rade sa maksimalnom efikasnošću i minimizuju gubitke energije usled nepravilne montaže.

Pravilna orijentacija i nagib solarnih panela su ključni faktori za optimizaciju njihovih performansi i maksimalno iskorišćenje Sunčeve energije. Paneli se obično postavljaju tako da budu usmereni prema jugu (na severnoj hemisferi) ili prema severu (na južnoj hemisferi) kako bi primali najveću količinu Sunčevog zračenja tokom dana. Nagib panela zavisi od geografske širine lokacije i optimalno se podešava kako bi se postigla maksimalna proizvodnja električne energije tokom godine.

Postupak provere orijentacije i nagiba:

- **Određivanje pravca panela** – Koristi se kompas ili GPS uređaj kako bi se precizno odredio pravac u kojem su paneli okrenuti.
- **Merenje nagiba** – Nagib panela se podešava pomoću merača ugla, inclinometra ili nagibne libele, uz upotrebu laserskog nivelira za precizno nivelisanje konstrukcije.
- **Podešavanje nagiba** – Ako sistem omogućava promenu ugla, nagib se može sezonski podešavati radi optimizacije proizvodnje energije u različitim periodima godine.
- **Verifikacija podešavanja** – Nakon što su paneli postavljeni, provodi se završna provera njihove poravnatosti i stabilnosti, kako bi se osiguralo da neće doći do neželjenih pomeranja usled vetra ili vibracija.



Idealan ugao za postavljanje solarnog panela

Ugao solarnog panela je ugao između površine panela i horizontalne ravni. Ovaj ugao utiče na količinu Sunčeve svetlosti koju panel može da apsorbuje i pretvori u električnu energiju.

Precizna podešavanja i provera osiguravaju maksimalnu efikasnost rada sistema i minimizuju potencijalne gubitke energije usled nepravilne orijentacije ili nagiba.

Kako bi solarni paneli radili sa maksimalnom efikasnošću, potrebno je precizno postaviti njihovu orijentaciju i nagib. Za proveru se koriste različiti alati:

- Kompas – određuje pravac u kojem su paneli okrenuti.
- Merač ugla i inclinometar – mere tačan nagib panela.



Merač ugla i inclinometar

- Libela i nagibna libela – omogućavaju precizno nivelisanje panela.
- GPS uređaj – koristi se za precizno određivanje položaja.
- Laserski nivelir – osigurava tačno poravnanje nosača i panela.

Nakon postavljanja nosača, paneli se postavljaju na strukturu i pričvršćuju prema tehničkoj dokumentaciji. Potrebno je osigurati da su svi paneli pravilno poravnati kako bi se izbeglo nepotrebno senčenje i gubitak energije. Ovim postupcima se osigurava pravilna montaža i stabilan rad solarnih fotonaponskih sistema, što omogućava dug vek trajanja i visoku efikasnost.

Pravilno polaganje i provlačenje DC kablova prilikom povezivanja fotonaponskih panela

Pravilno polaganje i provlačenje DC (jednosmernih) kablova ključno je za sigurnost, efikasnost i dugotrajnost solarnih fotonaponskih sistema. Ovaj proces osigurava stabilan prenos električne energije od solarnih panela do ostalih komponenti sistema, minimizuje gubitke i sprečava potencijalne kvarove ili opasnosti od požara.

Osnovna pravila pri polaganju i povezivanju DC kablova

- Odabir odgovarajućeg tipa kablova

DC kablovi koji povezuju fotonaponske panele moraju biti otporni na UV zračenje, vlagu, temperaturne promene i mehanička opterećenja. Najčešće se koriste solarno sertifikovani kablovi (FN kablovi) koji imaju posebnu izolaciju otpornu na spoljne uticaje.



Primeri fotonaponskih kablova

- Pravilno dimenzionisanje kablova

Kablovi moraju imati odgovarajući poprečni presek kako bi se smanjili gubici snage i osigurala odgovarajuća nosivost struje. Veći presek smanjuje otpor i zagrevanje kablova, što je posebno važno kod dužih trasa kablova.

- Način polaganja kablova
 - Unutar solarne konstrukcije – kablovi se provlače kroz specijalne nosače, kablovske kanale ili zaštitne cevi kako bi se izbegla mehanička oštećenja.
 - Na krovu ili zemlji – kablovi se pričvršćuju specijalnim UV-otpornim vezicama ili se provlače kroz fleksibilne zaštitne cevi kako bi se sprečilo habanje.
 - Ispod zemlje – kablovi se polažu u zaštićene cevi koje osiguravaju zaštitu od vlage i mehaničkih oštećenja.
- Pravilno povezivanje kablova i konektora
 - Korišćenje odgovarajućih MC4 konektora osigurava siguran i vodootporan spoj između panela i drugih komponenti.



Primeri konektora za fotonaponske kablove

- Prilikom povezivanja vodi se računa o polaritetu – pozitivni (+) i negativni (-) polovi moraju biti pravilno spojeni kako bi se izbegli kratki spojevi ili smanjenje efikasnosti sistema.
- Konektori moraju biti čvrsto spojeni i izolovani kako bi se sprečila oksidacija kontakata.

- Minimizacija petlji i ukrštanja kablova
 - DC kablovi trebaju biti postavljeni tako da ne formiraju nepotrebne petlje koje mogu uzrokovati elektromagnetne smetnje ili indukovane napone.
 - Kablovi se ne smeju ukrštati sa AC kablovima kako bi se sprečile interferencije i potencijalne sigurnosne pretnje.
- Zaštita kablova i konektora
 - Kablovi ne smeju biti izloženi direktnom kontaktu sa oštrim ivicama ili metalnim delovima konstrukcije, jer može doći do oštećenja izolacije.
 - Kablove je potrebno pravilno pričvrstiti pomoću UV-otpornih vezica ili nosača, uz osiguranje da nisu previše stegnuti kako ne bi došlo do pucanja izolacije.
- Označavanje i testiranje kablova
 - Svi kablovi treba da budu jasno označeni prema tehničkoj dokumentaciji kako bi se olakšalo održavanje i dijagnostika sistema.
 - Nakon polaganja i povezivanja, potrebno je izvršiti merenje kontinuiteta i izolacije pomoću multimetra kako bi se osiguralo da nema prekida u vodovima i da su spojevi ispravni.

Pravilnim polaganjem i provlačenjem DC kablova osigurava se dugotrajan, siguran i efikasan rad solarnih fotonaponskih sistema, uz smanjenje rizika od kvarova i gubitaka energije.



VIDEO

Postupak krovne montaže noseće konstrukcije i solarnih panela:

<https://www.youtube.com/watch?v=X51ZnslbWNY>.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Montiranje fotonaponskih panela na noseću konstrukciju, uz proveru njihove poravnatosti i stabilnosti

Izvrši montažu fotonaponskih panela na pripremljenu noseću konstrukciju i proveru njihovu poravnatost i stabilnost. Pravilno pričvrsti panele i koristi odgovarajuće alate za proveru tačne pozicije i čvrstoće spojeva.

Materijal i alat:

- Fotonaponski paneli;
- Noseća konstrukcija (vodilice, nosači, stezaljke, vijci);
- Krajnje i međustezaljke;
- Spojni materijal (vijci, matice, podloške);
- Libela, merač nagiba;
- Ključ za stezanje šarafa;
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare).

Postupak:

1. Pripremi radno mesto
 - Pregledaj tehničku dokumentaciju i plan montaže.
 - Osiguraj da je noseća konstrukcija stabilno postavljena i učvršćena.
 - Pripremi sav potreban alat i materijal.
2. Postavi fotonaponske panele
 - Postavi panele na vodilice noseće konstrukcije.
 - Koristi krajnje i međustezaljke kako bi fiksirao panele.
 - Pričvrsti stezaljke vijcima i proveru da su svi spojevi čvrsti.
3. Proveri orijentaciju i nagib panela
 - Koristi libelu i merač nagiba za proveru tačne pozicije panela.
 - Po potrebi, prilagodi nagib panela kako bi bio u optimalnom položaju.
4. Osiguraj stabilnost panela
 - Pregledaj sve spojeve i učvršćenja.
 - Zategni sve pričvrstne elemente kako bi paneli bili otporni na vetar i druge spoljašnje uticaje.

Završna provera:

- Vizuelno pregledaj položaj i pričvršćenost panela.
- Proveri sve spojeve i pričvršćenja kako bi bili sigurni i stabilni.
- Osiguraj da su paneli pravilno postavljeni i spremni za dalji rad.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Povezivanje fotonaponskih panela, prema tehničkoj dokumentaciji, uz pravilno polaganje i provlačenje DC kablova

Izvrši povezivanje fotonaponskih panela u skladu s tehničkom dokumentacijom. Pravilno položi i provuci DC kablove, osiguraj sigurne električne spojeve i provjeri ispravnost sistema.

Materijal i alat:

- Fotonaponski paneli;
- DC kablovi odgovarajuće dimenzije;
- MC4 konektori;
- Kablovski nosači i UV-otporne vezice;
- Zaštitne cevi za kablove;
- Multimetar za merenje električnih parametara;
- Alat za stezanje konektora;
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare)

Postupak:

1. Planiraj povezivanje panela
 - Pregledaj tehničku dokumentaciju i šemu povezivanja.
 - Odredi tip veze – serijsku, paralelnu ili mešovitu.
 - Odaberi odgovarajuće kablove i konektore.
2. Pravilno položi i provuci kablove
 - Unutar solarne konstrukcije: provuci kablove kroz nosače i zaštitne cevi.
 - Na krovu ili zemlji: pričvrsti kablove UV-otpornim vezicama.
 - Ispod zemlje: položi kablove u zaštitne cevi radi zaštite od vlage i mehaničkih oštećenja.
3. Izvrši povezivanje panela
 - Poveži panele serijski ili paralelno prema tehničkoj dokumentaciji.
 - Koristi MC4 konektore za sigurno povezivanje.
 - Proveri da su svi spojevi pravilno učvršćeni i izolovani.
4. Testiraj električne karakteristike sistema
 - Multimetrom izmeri napon i struju kako bi se potvrdila ispravnost veze.
 - Proveri kontinuitet spojeva i otkloni eventualne nepravilnosti.

Završna provera:

- Pregledaj sve spojeve i kablove kako bi osigurao njihovu sigurnost i ispravnost.
- Proveri tačnost merenja električnih parametara.
- Osiguraj da su svi paneli ispravno povezani i spremni za rad.

5.3. Montaža i povezivanje opreme solarnih fotonaponskih sistema

Montaža i povezivanje opreme solarnih fotonaponskih sistema ključni su koraci u procesu instalacije sistema. Ovaj segment obuhvata postavljanje noseće konstrukcije za opremu, organizaciju kablovskih instalacija te pravilnu montažu i povezivanje invertera i regulatora punjenja. Pravilna instalacija svih komponenti osigurava dugotrajan, siguran i efikasan rad sistema.

1. Montaža noseće konstrukcije za opremu

Noseće konstrukcije služe za pravilno postavljanje i fiksiranje električne opreme, omogućavajući njenu stabilnost, zaštitu i lakoću održavanja. Konstrukcije se biraju u zavisnosti od vrste opreme, dostupnog prostora i uslova instalacije. Postoje različite vrste nosača koji se koriste u solarnim fotonaponskim sistemima:

Zidni nosači

Zidni nosači se koriste za montažu invertera, regulatora punjenja i razvodnih ormara unutar objekata ili na spoljnim zidovima. Izrađeni su od čelika ili aluminijuma i dizajnirani tako da omogućavaju čvrsto i sigurno pričvršćivanje opreme.

Postupak montaže zidnih nosača uključuje:

- Određivanje pozicije – Mesto montaže određuje se prema tehničkoj dokumentaciji i dostupnom prostoru.
- Označavanje tačaka za bušenje – Na zidu se označavaju tačke na kojima će se pričvrstiti nosači.
- Bušenje rupa i postavljanje anker šarafa ili tipli – Obezbeđuje se stabilnost nosača.
- Fiksiranje nosača i provera stabilnosti – Nakon postavljanja nosača, proverava se njihova čvrstoća pre montiranja opreme.

Podni nosači (samostojeće konstrukcije)

Podni nosači se koriste kada nije moguće montirati opremu na zid. Oni omogućavaju fleksibilno postavljanje uređaja i bolju organizaciju sistema.

Postavljanje podnih nosača uključuje:

- Odabir lokacije i priprema terena – Površina mora biti ravna i stabilna.
- Postavljanje metalnih nosača – Fiksiraju se pomoću anker šarafa ili betonskih temelja.
- Provera stabilnosti – Nakon pričvršćivanja proverava se stabilnost i otpornost na vibracije.

Šinska montaža

Šinska montaža podrazumeva upotrebu aluminijumskih ili čeličnih šina koje omogućavaju modularno postavljanje više uređaja na istu konstrukciju.

Koraci montaže uključuju:

- Fiksiranje šina na zid ili podnu konstrukciju pomoću posebnih pričvršćivača.
- Postavljanje uređaja pomoću stezaljki – Omogućava lako pomeranje i prilagođavanje rasporeda.
- Osiguravanje pravilnog razmaka i provera stabilnosti – Šinska montaža olakšava organizaciju prostora i buduće održavanje sistema.

Ormari za opremu

Ormari za električnu opremu štite uređaje od prašine, vlage i mehaničkih oštećenja. Postavljaju se na zidne ili podne nosače, pri čemu je važno osigurati dobru ventilaciju.

Postupak uključuje:

- Priprema mesta montaže i fiksiranje ormara.
- Provlačenje kablova kroz predviđene otvore radi urednosti instalacije.
- Postavljanje vrata i zaštitnih poklopaca radi zaštite opreme.

Kablovska konstrukcija

Kablovska konstrukcija osigurava pravilno polaganje i zaštitu kablova u sistemu. Koriste se različite vrste kablovskih nosača:

- **Kablovske police i regali** – Organizuju kablove unutar tehničkih prostorija, omogućavajući jasan pregled i lak pristup.
- **Kablovski kanali i kanalice** – Štite kablove u zatvorenim prostorima, smanjujući rizik od mehaničkih oštećenja.
- **Kablovske cevi** – Pružaju dodatnu mehaničku zaštitu kablova, naročito kod podzemnih instalacija.
- **Kablovski nosači** – Omogućavaju sigurno pričvršćivanje kablova na konstrukciju, sprečavajući njihovo ispadanje ili oštećenje.
- **Kablovski rovovi** – Koriste se za zaštitu kablova ispod zemlje, posebno u industrijskim postrojenjima ili na većim solarnim elektranama.



Prikaz sistema regalnih razvoda



Način vođenja instalacionih kablova po ravnom krovu sa preprekama na pravcu trase

Montaža i povezivanje invertera i regulatora punjenja

Montaža invertera

Inverteri omogućavaju konverziju jednosmerne struje (DC) u naizmeničnu struju (AC), što je ključno za napajanje uređaja priključenih na elektrodistributivnu mrežu ili kućnu instalaciju. Pravilna instalacija osigurava njihovu efikasnost, dug vek trajanja i sigurnost sistema. Inverteri se moraju postaviti na dobro provetrenom mestu, zaštićenom od direktnog izlaganja Suncu i vlazi, kako bi se sprečilo pregrevanje. Nakon fiksiranja na zidni nosač ili podnu konstrukciju, pristupa se povezivanju sa DC kablovima iz solarnih panela i AC kablovima koji vode ka razvodnom ormaru. Važno je osigurati pravilnu polarizaciju i adekvatno uzemljenje kako bi se sprečili gubici energije i električni kvarovi. Na kraju, inverter se testira kako bi se osigurala ispravna konverzija i distribucija energije u sistemu.

Montaža regulatora punjenja

Regulator punjenja kontroliše proces punjenja baterija i sprečava prekomerno punjenje ili pražnjenje. Pravilna montaža je ključna za efikasan i siguran rad sistema.

Postupak montaže uključuje:

- **Odabir lokacije** – Regulator punjenja treba postaviti blizu baterijskog sistema kako bi se smanjili gubici energije.
- **Fiksiranje na nosač ili unutar ormara** – Regulator se pričvršćuje pomoću montažnih šrafova ili šinskih sistema, zavisno od modela i tehničkih zahteva.
- **Povezivanje sa solarnim panelima** – DC kablovi iz solarnih panela se pravilno povezuju prema polaritetu kako bi se osigurao pravilan protok energije.
- **Povezivanje sa baterijama** – Priključivanje na baterijski sistem vrši se prema specifikacijama proizvođača kako bi se optimizovao proces punjenja i pražnjenja.
- **Provera spojeva i osiguranje zaštite kablova** – Korišćenjem izolacionih materijala i zaštitnih kanala osigurava se sigurno funkcionisanje sistema.
- **Testiranje i provera rada regulatora** – Nakon završetka instalacije, regulator se testira kako bi se osiguralo ispravno funkcionisanje punjenja i zaštita baterija.

Povezivanje montirane opreme solarnih fotonaponskih sistema

Povezivanje montirane opreme solarnih fotonaponskih sistema zahteva upotrebu specijalizovanog materijala i alata kako bi se osigurao siguran i efikasan rad sistema. Pravilno povezivanje svih elemenata smanjuje gubitke energije, osigurava stabilnost sistema i doprinosi njegovom dugotrajnom radu.

Materijal i oprema za povezivanje sistema:

- **DC i AC kablovi** – Koriste se za povezivanje solarnih panela, regulatora punjenja, baterijskog sistema i invertera.
- **MC4 konektori** – Specijalni konektori za sigurno spajanje solarnih panela i regulatora.
- **Osigurači i zaštitni prekidači** – Štite sistem od preopterećenja i kratkih spojeva.
- **Uzemljivačke šipke i bakreni provodnici** – Osiguravaju zaštitu od prenapona i električnih udara.
- **Kablovski nosači i zaštitne cevi** – Služe za organizaciju i zaštitu kablova.
- **Termovizijska kamera (opcionally)** – Koristi se za proveru pregrevavanja spojeva.
- **Izolacione rukavice i zaštitna oprema** – Neophodne za siguran rad s električnim instalacijama.

Potreban alat:

- **Multimetar** – Za merenje napona i proveru ispravnosti spojeva.
- **Klešta za MC4 konektore** – Omogućavaju precizno povezivanje solarnih kablova.
- **Klešta za skidanje izolacije** – Olakšavaju pripremu kablova za spajanje.
- **Izolacioni odvijači i set nasadnih ključeva** – Neophodni za pričvršćivanje konektora i osigurača.
- **Merač otpora uzemljenja** – Koristi se za proveru ispravnosti uzemljivačkog sistema.

Nakon što su sve komponente solarnih fotonaponskih sistema pravilno montirane, pristupa se procesu povezivanja. Svaka veza mora biti izvedena precizno i u skladu sa tehničkom dokumentacijom kako bi se osigurala efikasnost, sigurnost i pouzdanost sistema. Povezivanje opreme zahteva pažljivo rukovanje električnim spojevima, upotrebu adekvatnog alata i pridržavanje propisanih sigurnosnih mera.

Povezivanje solarnih panela sa inverterom

Prvi korak u povezivanju montirane opreme jeste uspostavljanje veze između solarnih panela i invertera. Solarni paneli generišu jednosmernu (DC) struju koja se mora preneti do invertera radi konverzije u naizmeničnu (AC) struju.

Postupak povezivanja uključuje:

- **Proveru polariteta kablova** – DC kablovi se moraju ispravno povezati, pri čemu se crveni kabl (pozitivni pol) i crni kabl (negativni pol) pravilno usmeravaju prema odgovarajućim priključcima na inverteru.
- **Korišćenje solarnih MC4 konektora** – Kablovi se spajaju pomoću specijalizovanih MC4 konektora koji omogućavaju siguran i pouzdan spoj bez gubitaka energije.
- **Zaštita kablova i organizacija ožičenja** – DC kablovi se provlače kroz zaštitne cevi kako bi se sprečilo mehaničko oštećenje, a zatim pričvršćuju vezicama duž konstrukcije.
- **Merenje napona pre povezivanja** – Upotrebom multimetra proverava se napon DC spojeva kako bi se osigurala ispravnost pre spajanja sa inverterom.

Integracija baterijskog sistema sa regulatorom punjenja

Baterijski sistem omogućava skladištenje viška proizvedene energije, čime se osigurava napajanje u periodima kada nema Sunčevog zračenja. Regulator punjenja upravlja procesom punjenja i pražnjenja baterija, sprečavajući njihovo prekomerno punjenje ili duboko pražnjenje.

Postupak povezivanja uključuje:

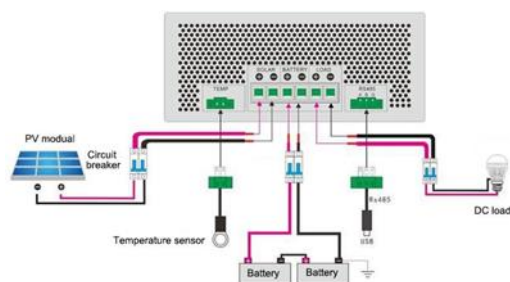
- **Povezivanje baterijskog paketa sa regulatorom punjenja** – DC kablovi se pravilno povezuju prema označenim priključcima na regulatoru, vodeći računa o polaritetu.
- **Postavljanje osigurača između regulatora i baterije** – Instalacija zaštitnog osigurača štiti baterijski sistem od preopterećenja i kratkog spoja.
- **Uspostavljanje veze između regulatora punjenja i solarnih panela** – Ova veza omogućava dopremu energije iz solarnih panela ka baterijama uz automatsku regulaciju napona.
- **Merenje struje i napona baterija** – Upotrebom multimetra proverava se da li sistem funkcioniše u predviđenim granicama.

Povezivanje invertera sa razvodnim ormarom

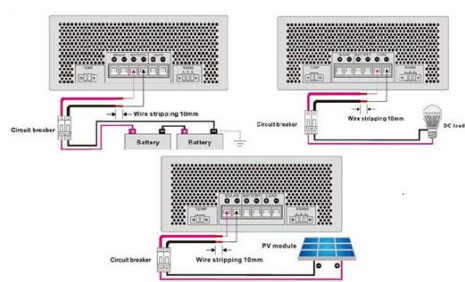
Inverter konvertuje jednosmernu struju (DC) u naizmeničnu struju (AC), koja se zatim distribuira kroz sistem pomoću razvodnog ormara. Ovo povezivanje je ključno za integraciju fotonaponskog sistema sa potrošačima ili elektrodistributivnom mrežom.

Postupak povezivanja uključuje:

- **Povezivanje AC kablova iz invertera u razvodni ormar** – Naponski vodovi (L, N i PE) povezuju se prema označenim priključcima u skladu sa elektroinstalacionim standardima.
- **Ugradnja zaštitnih prekidača i osigurača** – U razvodni ormar se ugrađuju automatski osigurači koji štite sistem od preopterećenja i kratkih spojeva.
- **Provera veze sa potrošačima** – Testira se ispravnost povezivanja kako bi se osigurao stabilan napon za priključene uređaje.



Spajanje invertera sa odgovarajućim komponentama





VIDEO

Povezivanje elemenata hibridnog solarnog sistema (korak po korak):

<https://www.youtube.com/watch?v=cCH4IEs1Vzc>.

Postupak montaže i povezivanja solarnih fotonaponskih panela:

<https://www.youtube.com/watch?v=oeFePOJU28w>.

Priključivanje uzemljenja i zaštitnih sistema

Sistem uzemljenja osigurava sigurnost solarnog fotonaponskog sistema smanjujući rizik od strujnog udara i atmosferskih pražnjenja. Sve komponente sistema moraju biti povezane sa tačkom uzemljenja kako bi se omogućio siguran rad.

Postupak priključivanja uključuje:

- **Povezivanje uzemljenja solarnih panela, invertera i razvodnog ormara** – Pomoću bakarnih kablova i uzemljivačkih šipki osigurava se odvođenje viška struje u zemlju.
- **Ugradnja gromobranske zaštite** – Na objektima gde postoji veća opasnost od udara groma, instalira se gromobranski sistem sa odvodnim vodovima.
- **Merenje otpora uzemljenja** – Koristi se merni instrument za proveru ispravnosti uzemljivačkog sistema.

Testiranje ispravnosti sistema

Nakon što su svi elementi sistema povezani, neophodno je izvršiti testiranje kako bi se osiguralo da solarna fotonaponska elektrana funkcioniše ispravno i sigurno.

Postupak testiranja uključuje:

- **Merenje napona i struje u ključnim tačkama sistema** – Multimetrom i ampermetrom proveravaju se parametri sistema.
- **Provera rada invertera i baterijskog sistema** – Simulacijom različitih opterećenja proverava se ispravan rad pretvarača i baterija.
- **Funkcionalno ispitivanje zaštitnih prekidača i osigurača** – Testira se njihova reakcija na preopterećenje i kratke spojeve kao i ispitivanje podešenosti relejne zaštite (podnaponska, prenaponska, podfrekventna, nadfrekventna).

Povezivanje montirane opreme solarnih fotonaponskih sistema zahteva preciznost, sigurnosne mere i tehničko poznavanje sistema. Svaki korak, od povezivanja solarnih panela do testiranja ispravnosti sistema, mora biti izveden u skladu sa tehničkim propisima kako bi se osigurao pouzdan i efikasan rad elektrane.



KVIZ

Kviz 7: Montaža i povezivanje opreme solarnih fotonaponskih sistema:

<https://forms.office.com/e/g1CTChgFNp>.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Montiranje invertera na noseću konstrukciju i povezivanje sa solarnim panelima

Izvršiti pravilno postavljanje invertera na noseću konstrukciju i povezati ga sa solarnim panelima prema tehničkoj dokumentaciji.

Materijal i alat:

- Inverter;
- Nosači za zidnu ili podnu montažu;
- DC kablovi sa MC4 konektorima;
- Klešta za MC4 konektore;
- Set izolovanih odvijača i ključeva;
- Multimetar;
- Zaštitna oprema.

Postupak:

1. Odaberi odgovarajuću lokaciju za montažu invertera, vodeći računa o ventilaciji i zaštiti od vlage.
2. Označi i izbuši rupe za pričvršćivanje nosača na zidnu ili podnu površinu.
3. Pričvrsti inverter na nosače pomoću šrafova i osiguraj njegovu stabilnost.
4. Poveži DC kablove sa solarnim panelima, vodeći računa o ispravnoj polarizaciji.
5. Proveri naponske vrednosti pomoću multimetra pre konačnog povezivanja invertera.
6. Osiguraj pravilno uzemljenje invertera i proveri da li je montaža izvedena prema sigurnosnim propisima.

Završna provera:

- Vizuelno pregledaj sve spojeve.
- Testiraj funkcionalnost invertera.
- Dokumentuj izmerene naponske vrednosti i evidentiraj eventualne nepravilnosti.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Montiranje regulatora punjenja i povezivanje sa baterijskim sistemom

Izvršiti montažu regulatora punjenja i povezati ga sa solarnim panelima i baterijskim sistemom, uz proveru ispravnosti rada.

Materijal i alat:

- Regulator punjenja;
- Zidni nosač;
- DC kablovi;
- Set odvijača i klešta;
- Multimetar;
- Osigurači;
- Zaštitna oprema.

Postupak:

1. Odredi lokaciju za montažu regulatora punjenja, vodeći računa o zaštiti od vlage i temperaturi okoline.
2. Postavi regulator na zidni nosač i pričvrsti ga pomoću odgovarajućih šrafova.
3. Poveži solarne panele sa regulatorom punjenja koristeći odgovarajuće konektore.
4. Prikluči baterijski sistem na regulator punjenja, vodeći računa o ispravnoj polarizaciji.
5. Ugradi osigurače između regulatora i baterije radi zaštite od preopterećenja.
6. Izmeri napon i struju sistema kako bi se proverila pravilnost rada.

Završna provera:

- Pregledaj sve spojeve i osigurače.
- Proveri da li se baterije pravilno pune.
- Dokumentuj očitane vrednosti napona i struje.

5.4. Odabir zaštitnih sredstava i opreme za radove na montiranju i demontiranju elemenata solarne elektrane

U prethodnim poglavljima priručnika obrađeni su alati, oprema i uređaji koji se koriste u izgradnji i održavanju solarnih elektrana, kao i osnovna zaštitna oprema za rad u elektroenergetskim postrojenjima. U ovom poglavlju fokus je na specifičnoj zaštitnoj opremi i merama koje se primenjuju prilikom montiranja elemenata solarnih fotonaponskih elektrana.

Radovi na montiranju i demontiranju elemenata solarne elektrane spadaju u visokorizične zadatke koji zahtevaju primenu adekvatnih zaštitnih sredstava i opreme. Ovi radovi često uključuju rad na visini, rukovanje teškim komponentama, izlaganje elektroenergetskim instalacijama i nepovoljnim vremenskim uslovima, pa je neophodno da svi radnici koriste odgovarajuću ličnu i kolektivnu zaštitu.

Lična zaštitna oprema (LZO)

Lična zaštitna oprema štiti radnike od potencijalnih opasnosti i obavezna je za sve koji učestvuju u montaži i demontaži elemenata solarnih fotonaponskih elektrana. Oprema uključuje:

- **Zaštitnu kacigu** – Štiti glavu od udaraca, padajućih predmeta i električnih udara. Kaciga mora imati sigurnosni remen kako bi bila stabilna tokom rada na visini.
- **Sigurnosni pojas i užad za vezivanje (sistem za rad na visini)** – Svi radnici koji rade na krovu moraju koristiti sigurnosne pojaseve sa apsorberima energije, kao i užad za vezivanje pričvršćene za fiksne tačke.
- **Zaštitne rukavice** – Moraju biti otporne na habanje i mehaničke povrede, a za rad sa elektroenergetskim komponentama koriste se dielektrične rukavice koje sprečavaju strujni udar.
- **Zaštitna odeća i obuća** – Radnici moraju nositi antistatičku i vatrootpornu odeću otpornu na vremenske uslove. Obuća treba imati zaštitne kape na prstima i protivklizne đonove.
- **Zaštita sluha i vida** – U zavisnosti od radnog okruženja koriste se antifoni (zaštita od buke) i zaštitne naočare za sprečavanje prodora prašine, metalnih čestica i vetra u oči.
- **Respiratorna zaštita** – Kada se radi sa hemijskim sredstvima, poput sredstava za zaštitu od korozije ili boja za metalne delove, koriste se maske sa filterima protiv isparavanja.

OBAVEZNA ZAŠTITNA OPREMA							
Šlem	Radno odelo	Zaštitna obuća	Zaštitne rukavice	Zaštitne naočare	Zaštitni antifon	Respirator	Plut. prsluk
							

Kolektivna zaštitna oprema

Osim lične zaštite, na gradilištu solarne elektrane postavljaju se i kolektivna zaštitna sredstva koja smanjuju rizike za sve radnike.

- **Sigurnosne barijere i zaštitne mreže** – Postavljaju se oko kritičnih zona kako bi se sprečili padovi alata i materijala sa visine.
- **Sistemi za zaštitu od udara groma** – Ugradnja solarnih panela uključuje rad sa metalnim komponentama na otvorenom prostoru, pa se posebna pažnja posvećuje zaštiti od udara groma kroz uzemljene strukture i odvodnike prenapona.
- **Signalizacija i označavanje radnih zona** – Obeležavanje opasnih područja reflektujućim trakama i sigurnosnim znakovima smanjuje rizik od nesreća i sudara sa teškom opremom.
- **Pomoćni sistemi za podizanje i manipulaciju teretima** – Uključuju dizalice, vitla, kranove i specijalizovane sisteme za transport teških komponenti, kako bi se smanjio fizički napor radnika i rizik od povreda.

Električna zaštitna oprema

S obzirom da solarne elektrane uključuju rad sa elektroenergetskim komponentama, posebna pažnja se posvećuje zaštiti od električnog udara i ispravnom rukovanju visokim naponima.

- **Dielektrične rukavice i obuća** – Osiguravaju zaštitu pri radu sa kablovima, razvodnim ormarima i elektroinstalacijama.
- **Ispravljači napona i izolacione podloge** – Koriste se prilikom testiranja i povezivanja električnih uređaja kako bi se sprečio direktni kontakt sa opasnim naponima.
- **Alati sa izolovanim drškama** – Svaki alat koji se koristi za spajanje i održavanje električnih instalacija mora biti izolovan i usklađen sa standardima zaštite od strujnog udara.
- **Tester napona i zaštitni prekidači** – Omogućavaju bezbedno proveravanje napona pre rada na električnim komponentama.

Procedura provere i korišćenja zaštitne opreme

Pre početka bilo kakvih radova na montiranju ili demontiranju elemenata solarne elektrane, vrši se inspekcija zaštitne opreme i obavezna obuka radnika. Ključne procedure uključuju:

- **Proveru lične zaštitne opreme** – Svi radnici moraju proveriti ispravnost svojih kaciga, sigurnosnih pojaseva, rukavica i drugih sredstava pre ulaska u radnu zonu.
- **Proveru električne zaštite** – Merenje izolacije kablova, ispitivanje uzemljenja i verifikacija sistema za zaštitu od prenapona obavlja se pre rada na elektroenergetskim instalacijama.
- **Testiranje sigurnosnih sistema za rad na visini** – Užad i sigurnosni sistemi se redovno testiraju na nosivost i otpornost kako bi se osiguralo da mogu izdržati dinamička opterećenja tokom rada.
- **Uvođenje standardnih operativnih procedura (SOP)** – Radnici moraju slediti definisane procedure za bezbedno rukovanje opremom, uključujući pravila zaključavanja i označavanja (LOTO – Lockout/Tagout) kako bi se sprečili nenamerni startovi sistema.

Hitne mere i plan evakuacije

Pored standardne zaštitne opreme, svaki tim koji radi na montaži i demontaži solarne elektrane mora biti upoznat sa procedurama za hitne situacije.

- **Plan evakuacije iz gondole i tornja** – U slučaju požara, električnog kvara ili drugih incidenata, radnici moraju imati pristup evakuacionim putevima i sistemima za brzo spuštanje.
- **Komplet prve pomoći i AED uređaj** – Prva pomoć mora biti dostupna na licu mesta, uključujući automatski eksterni defibrilator (AED) za hitne slučajeve srčanog zastoja.

Korišćenje adekvatne zaštitne opreme i sprovođenje sigurnosnih procedura ključno je za prevenciju nesreća i zaštitu života radnika koji rade na izgradnji, održavanju i demontaži solarnih elektrana. Implementacija ovih mera doprinosi efikasnom i sigurnom izvođenju svih radova u okviru postrojenja.



KVIZ

KVIZ 8: Provera znanja o zaštitnim sredstvima i opremi:

<https://forms.office.com/e/Esgnr67zKf>.



VEŽBA

Lična ili kolektivna zaštitna oprema u solarnim elektranama

Zadatak: Napisati seminarski rad/PPT prezentacija o ličnoj ili kolektivnoj zaštitnoj opremi koja se koristi na gradilištima solarnih elektrana.

6. IZVOĐENJE ELEKTRIČNIH INSTALACIJA SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA

Električne instalacije predstavljaju ključni segment solarnih fotonaponskih elektrana, omogućavajući prenos, distribuciju i sigurnost električne energije proizvedene u solarnim panelima. Pravilno projektovanje i izvođenje instalacija osigurava efikasan rad sistema, minimalne gubitke energije i zaštitu od električnih kvarova.

6.1. Elementi i način izvođenja električnih instalacija solarnih fotonaponskih sistema

Električne instalacije solarnih fotonaponskih sistema predstavljaju ključnu komponentu sistema, odgovornu za prenos, konverziju i distribuciju električne energije. Njihova pravilna izvedba osigurava dugoročan i efikasan rad sistema, kao i sigurnost korisnika i opreme. Ova celina pruža osnovne informacije o vrstama električnih instalacija, kablovima, elektroinstalacionoj opremi, sistemima uzemljenja i zaštite od prenapona.

Vrste električnih instalacija solarnih fotonaponskih sistema

Električne instalacije u solarnim fotonaponskim sistemima mogu se podeliti prema funkciji i vrsti prenosa energije:

- **DC (jednosmerne) instalacije** – uključuju kablove, konektore, razvodne ormare i zaštitne uređaje koji omogućavaju prenos električne energije iz solarnih panela do invertera.
- **AC (naizmjenične) instalacije** – obuhvataju opremu koja se koristi nakon pretvaranja jednosmerne struje u naizmjeničnu i omogućava njenu distribuciju do potrošača ili elektrodistributivne mreže.
- **Instalacije uzemljenja i gromobranske zaštite** – osiguravaju sigurnost sistema, smanjujući rizik od električnih udara i štete uzrokovane prenaponima.
- **Instalacije za nadzor i upravljanje** – omogućavaju praćenje rada elektrane, evidentiranje podataka i optimizaciju performansi.

Noseće kablovske konstrukcije

Kablovske konstrukcije imaju ključnu ulogu u organizaciji i zaštiti kablova, omogućavajući efikasno polaganje i sprečavanje mehaničkih oštećenja:

- **Kablovske police** – omogućavaju organizovano vođenje kablova u tehničkim prostorijama.
- **Kablovski regali** – služe za postavljanje kablova na većim razdaljinama, omogućavajući provetravanje i lak pristup.
- **Kablovski kanali i kanalice** – pružaju dodatnu mehaničku zaštitu kablova u unutrašnjim prostorima.
- **Kablovske cevi** – koriste se za zaštitu kablova u podzemnim instalacijama.
- **Kablovski nosači** – pričvršćuju kablove uz konstrukciju, smanjujući rizik od habanja.
- **Kablovski rovovi** – osiguravaju zaštitu kablova postavljenih u zemlji, naročito kod većih solarnih elektrana.

DC i AC kablovi u električnim instalacijama

Kablovi u solarnim fotonaponskim elektranama moraju biti otporni na visoke temperature, UV zračenje i mehanička opterećenja. Razlikuju se prema vrsti električne energije koju prenose:

- **DC kablovi** – koriste se za prenos jednosmerne struje iz solarnih panela prema inverteru ili baterijama. Moraju imati dvostruku izolaciju i UV zaštitu.
- **AC kablovi** – koriste se za distribuciju naizmjenične struje iz invertera prema potrošačima ili elektrodistributivnoj mreži. Njihove karakteristike zavise od naponskog nivoa sistema.

Elektroinstalaciona oprema u električnim instalacijama

Elektroinstalaciona oprema koristi se za zaštitu, upravljanje i praćenje rada sistema:

- **Zaštitni prekidači, 4p glavni prekidač sa motornim pogonom, rastavljači i kontaktori** – omogućavaju isključenje strujnih vodova u slučaju opasnosti.
- **Osigurači i prenaponske zaštite** – štite sistem od kratkih spojeva i udara groma.
- **Merni uređaji** – uključuju voltmetre, ampermetre, vatmetre i brojila, koji omogućavaju nadzor rada sistema.
- **Sabirnice, izolatori i priključne kleme** – osiguravaju pouzdano povezivanje svih komponenti sistema.



Četvorpolni prekidač sa motornim pogonom Izgled različitih vrsta grebenastih sklopki b)

Topljivi umetci osigurača: a) osigurač tipa D, osigurač tipa B, c) osigurač tipa NV



Na slici prikazan je: a) Izgled automatskih instalacionih prekidača (osigurača),

b) Zaštitni uređaj diferencijalne struje

Izgled odvodnika prenapona: a) za kolo naizmjenične struje, b) za kolo jednosmerne struje

Elementi DC električnih instalacija

DC električne instalacije u solarnim fotonaponskim elektranama obuhvataju:

- **DC kablove i konektore** – obezbeđuju kvalitetan prenos jednosmerne struje iz panela.
- **DC razvodni ormar** – sadrži zaštitne sklopke, osigurače i prenaponsku zaštitu, osiguravajući sigurnost sistema.

Elementi AC električnih instalacija

AC električne instalacije uključuju:

- **AC energetske kablove** – povezuju inverter sa razvodnim ormarom i elektrodistributivnom mrežom.
- **AC razvodni ormar** – obuhvata zaštitne sklopke, mernu opremu i automatske prekidače.

Uzemljenje solarnih fotonaponskih elektrana

Sistem uzemljenja osigurava zaštitu korisnika i opreme, omogućavajući sigurno odvođenje viška struje u zemlju. Glavni elementi sistema uzemljenja su:

- **Uzemljivači** – metalne elektrode koje omogućavaju odvođenje struje u tlo.
- **Sabirnice i povezni vodovi** – osiguravaju povezivanje svih metalnih delova sistema sa uzemljenjem.

Gromobranska zaštita solarnih fotonaponskih elektrana

Zaštita od udara groma sprečava oštećenja sistema:

- **Hvataljke (gromobrani)** – postavljaju se na najviše tačke elektrane i preusmeravaju elektricitet u zemlju.
- **Spustni vodovi** – povezuju hvataljke sa uzemljenjem, omogućavajući kontrolisano odvođenje elektriciteta.
- **Merni spojevi i spojni elementi** – koriste se za proveru i održavanje sistema zaštite.



KVIZ

Kviz 9: Elementi i način izvođenja električnih instalacija solarnih fotonaponskih sistema:

<https://forms.office.com/e/5CE9DnvnUd>.

6.2. Izvođenje DC električne instalacije solarnih fotonaponskih sistema

Izvođenje DC (jednosmerne) električne instalacije solarnih fotonaponskih sistema jedan je od ključnih koraka u implementaciji ovih sistema. DC instalacija omogućava efikasan prenos proizvedene električne energije od fotonaponskih panela do invertera i drugih potrošača. U ovom delu opisaćemo specifičnosti DC sistema, pravila izvođenja instalacije, izbor kablova, povezivanje komponenti i sigurnosne mere koje se moraju poštovati.

Karakteristike DC instalacije u solarnim fotonaponskim sistemima

DC instalacija u fotonaponskim sistemima ima specifične zahteve zbog visokog napona i kontinuiranog protoka struje. Ključne karakteristike uključuju:

- **Visok napon** (do 1000V DC u velikim sistemima) – što zahteva posebnu pažnju pri izolaciji i zaštiti kablova.
- **Jednosmerni tok struje** – koji može izazvati jače zagrevanje i degradaciju kablova ako nisu pravilno dimenzionisani.
- **Povezivanje u seriju i paralelu** – kako bi se postigao optimalan balans između napona i struje.
- **Zaštita od obrnutih polariteta i povratne struje** – neophodno za očuvanje dugovečnosti komponenti i prevenciju kvarova.
- **Standardi i propisi** – izvođenje instalacija mora biti u skladu sa IEC 62548 standardom koji reguliše instalaciju solarnih fotonaponskih sistema.

Polaganje i zaštita DC kablova

Pravilno polaganje i zaštita DC kablova presudni su za dugotrajan i siguran rad sistema. Proces obuhvata:

- **Planiranje rute kablova** – od solarnih panela do razvodnog ormara i invertera, uz izbegavanje mehaničkih oštećenja.
- **Načini polaganja kablova:**
 - **Unutar konstrukcije** – kablovi se provlače kroz specijalne kablovske nosače ili zaštitne cevi.
 - **Na krovu ili zemlji** – pričvršćuju se UV otpornim vezicama i zaštićuju fleksibilnim cevima.
 - **Ispod zemlje** – kablovi se polažu u zaštićene cevi kako bi se sprečila vlaga i mehanička oštećenja.



Solarni PV kabl od nerđajućeg čelika sa pletenicom protiv miševa i mrava



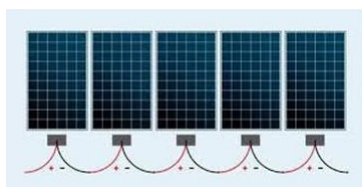
DC paralelni FN kabl

- Upotreba solarnih MC4 konektora – kako bi se osigurala sigurna i efikasna električna veza.
- Zaštita od UV zračenja i mehaničkih oštećenja – kablovi moraju biti otporni na atmosferske uticaje.

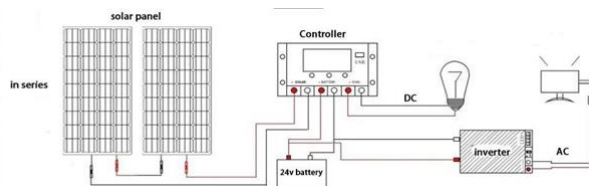
Povezivanje solarnih panela i formiranje fotonaponskih nizova

Povezivanje solarnih panela predstavlja ključni korak u izgradnji solarnih fotonaponskih sistema, jer određuje napon i struju sistema. Postoje dva osnovna načina povezivanja panela: redna (serijska) i paralelna veza, dok se u velikim sistemima često koristi kombinacija ovih metoda.

Kod serijske veze, solarni paneli se povezuju tako da se pozitivni priključak jednog panela spaja sa negativnim priključkom sedećeg panela. Na ovaj način se povećava ukupan napon sistema, dok struja ostaje ista kao kod pojedinačnog panela. Ova metoda se najčešće koristi kako bi se postigao željeni radni napon sistema, posebno kod sistema koji napajaju mrežni inverter.

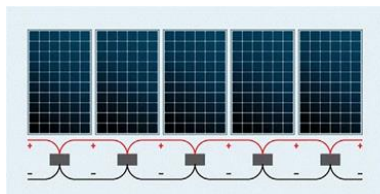


Serijsko vezivanje panela

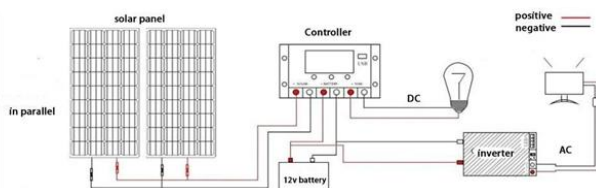


Šematski prikaz serijskog vezivanja panela

Kod paralelne veze, svi pozitivni priključci solarnih panela povezuju se zajedno, dok se negativni priključci takođe međusobno povezuju. Ovim načinom povezivanja povećava se ukupna struja sistema, dok napon ostaje isti kao kod pojedinačnog panela. Paralelna veza se koristi kada je potrebno povećati snagu sistema uz održavanje stabilnog napona.



Paralelno vezivanje panela



Šematski prikaz paralelnog vezivanja panela

Za povezivanje panela neophodno je:

- Proveriti polaritet kablova kako bi se izbegli kratki spojevi i greške u sistemu.
- Upotrebiti odgovarajuće kablove i MC4 konektore kako bi se osigurala kvalitetna električna veza.
- Osigurati da su svi spojevi pravilno zategnuti i zaštićeni od atmosferskih uticaja.
- Izvršiti merenja napona i struje pre priključivanja na razvodni ormar kako bi se osigurala ispravnost sistema.

Postupak povezivanja solarnih panela uključuje:

- **Pripremu i organizaciju kablova** – Pre povezivanja panela potrebno je osigurati da su kablovi pravilno raspoređeni i zaštićeni od oštećenja. Kablovi ne smeju biti previše zategnuti niti ostavljeni da vise, kako bi se sprečila mehanička oštećenja.
- **Upotrebu MC4 konektora** – Povezivanje solarnih panela vrši se korišćenjem specijalizovanih MC4 konektora koji omogućavaju sigurne, vodootporne i trajne spojeve. Ovi konektori omogućavaju jednostavno spajanje i razdvajanje panela bez dodatnog alata.
- **Osiguravanje vodootpornosti i otpornosti na UV zračenje** – Svi kablovi i konektori moraju biti UV otporni i postavljeni tako da budu zaštićeni od direktnog izlaganja Suncu i kiši. Korišćenje fleksibilnih zaštitnih cevi dodatno povećava sigurnost sistema.
- **Testiranje ispravnosti veze** – Nakon što su paneli povezani u nizove, potrebno je izvršiti merenja napona i struje pomoću multimetra. Time se osigurava da je sistem ispravno povezan i da svi paneli funkcionišu u skladu sa tehničkim specifikacijama.

MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) za optimizaciju proizvodnje energije

Maximum Power Point Tracking (MPPT) je tehnologija ugrađena u solarne invertere koja omogućava automatsko praćenje i održavanje tačke maksimalne snage solarnog fotonaponskog sistema. S obzirom na to da intenzitet Sunčevog zračenja i temperatura stalno variraju, MPPT sistem kontinuirano prilagođava napon i struju kako bi obezbedio maksimalnu moguću efikasnost proizvodnje električne energije.

Kako funkcioniše MPPT?

MPPT kontroler prati IV karakteristiku fotonaponskih panela, odnosno odnos između struje (I) i napona (V), kako bi pronašao optimalnu radnu tačku na kojoj solarni paneli isporučuju najveću moguću snagu. Ovaj proces uključuje:

- Kontinuirano prilagođavanje radnog napona panela u realnom vremenu,
- Praćenje promena vremenskih uslova i automatsko optimizovanje izlazne snage,
- Sprečavanje gubitaka usled neslaganja napona između panela i opterećenja.

Prednosti MPPT tehnologije

- **Veća efikasnost sistema** – MPPT omogućava povećanje proizvodnje energije za 15- 30% u odnosu na sisteme bez ove tehnologije.
- **Prilagođavanje vremenskim uslovima** – Automatska optimizacija u uslovima smanjenog osunčanja, promene temperature ili senčenja.
- **Manji gubici energije** – Sprečava neefikasnosti u konverziji energije između panela i invertera.
- **Mogućnost kombinovanja sa optimizatorima snage** – Dodatna optimizacija u slučaju različitih nivoa osunčanja pojedinačnih panela.

MPPT u povezivanju invertera i regulaciji napona

Veličina i tip invertera

Prilikom izbora invertera, ključni faktori uključuju:

- **Snagu invertera** – mora biti usklađena sa ukupnom snagom solarnih panela,
- **Tip invertera** – string inverteri, mikroinverteri ili hibridni sistemi, u zavisnosti od veličine sistema i načina povezivanja,
- **Broj MPPT ulaza** – inverteri sa više MPPT ulaza omogućavaju veću fleksibilnost u povezivanju stringova različite orijentacije.

Uporedna analiza tipova invertera

TIP INVERTERA	PREDNOSTI	MANE
String Inverter	Niža cena, efikasno za velike sisteme	Manja otpornost za senčenje, problemi kod nejednakog osunčanja
Mikro Inverter	Optimizacija na nivou svakog panela, otpornost za senčenje	Skuplji sistem, zahteva više uređaja
Hibridni Inverter	Mogućnost skladištenja energije, viša fleksibilnost	Skuplji sistem, zahteva baterije za optimalnu funkciju

Opseg MPPT invertera

MPPT opseg definiira minimalni i maksimalni radni napon invertera pri kojem postiže maksimalnu efikasnost. Prilikom dimenzionisanja:

- Ukupan napon stringa mora se nalaziti unutar MPPT opsega invertera,
- Voditi računa o temperaturnim varijacijama koje mogu povećati ili smanjiti napon,
- Prekoračenje MPPT opsega može dovesti do gubitaka u proizvodnji ili čak oštećenja invertera.

Ventilacija i hlađenje invertera

Efikasnost invertera zavisi i od sistema hlađenja koji sprečava pregrevanje:

- Prirodna ventilacija – pasivno hlađenje putem dizajna kućišta,
- Prisilan protok vazduha – ugrađeni ventilatori koji smanjuju radnu temperaturu,
- Ugradnja u provetrenim prostorima – preporučuje se postavljanje invertera na lokacije sa dobrim protokom vazduha kako bi se izbegla prekomerna toplota i smanjio rizik od smanjenja efikasnosti. U solarnim sistemima, MPPT je ključna komponenta string invertera, mikroinvertera i solarnih regulatora punjenja. Povezivanje sa inverterom se vrši na način da omogućava:
- Optimalan DC napon na ulazu invertera za maksimalnu konverziju u AC struju,
- Sprečavanje preopterećenja i oštećenja fotonaponskih modula usled promena uslova rada,
- Povećanje stabilnosti rada sistema, smanjenje fluktuacije napona i povećanje energetske efikasnosti.

Korišćenjem ove metode, solarni fotonaponski sistemi mogu značajno poboljšati svoju efikasnost, smanjiti energetske gubitke i omogućiti maksimalnu iskoristivost dostupne solarne energije. Integracija MPPT kontrolera sa inverterima osigurava stabilan i pouzdan rad sistema u svim vremenskim uslovima.

Dimenzionisanje stringova i MPPT u solarnim fotonaponskim sistemima

Analiza tehničke specifikacije (*data sheet*) panela i invertera

Prilikom projektovanja solarnih fotonaponskih sistema, potrebno je razumeti tehničke specifikacije (*data sheet*) fotonaponskih panela i invertera. Svaki panel i inverter ima svoje radne karakteristike koje definišu:

- Nazivni napon (V_{mp}) i struju (I_{mp}) pri maksimalnoj snazi,
- Napon otvorenog kola (V_{oc}) i struju kratkog spoja (I_{sc}),
- Temperaturne koeficijente koji definišu promene napona u zavisnosti od temperature okoline,
- Broj MPPT ulaza i maksimalni dozvoljeni napon i struju na DC ulazu invertera.

Napon na DC strani sistema i dimenzionisanje stringova

Solarni fotonaponski sistemi obično rade sa naponom na DC strani između 600-800V, a dimenzionisanje stringova vrši se na osnovu:

- **Radnih karakteristika invertera** – svaki inverter ima minimalni i maksimalni napon rada (npr. 200V - 1000V) i optimalni MPPT opseg.
- **Uticaja temperature** – pad temperature povećava napon panela, što može dovesti do prekoračenja maksimalnog napona invertera.
- **Dužine kablova i padova napona** – pravilno dimenzionisani kablovi smanjuju gubitke i održavaju stabilan rad sistema.
- **Kritičnih vrednosti na -10°C** – Pri niskim temperaturama napon panela može dostići kritične vrednosti, što može dovesti do oštećenja invertera ako se broj panela u stringu ne odredi pravilno.

MPPT i važnost pravilnog određivanja broja panela u stringu

Maksimalno praćenje tačke snage (MPPT) omogućava optimizaciju rada solarnih panela. Ključno je da se broj panela u stringu dimenzioniše tako da se njihov ukupni napon u svim vremenskim uslovima nalazi unutar MPPT opsega invertera.

- Ako je napon nizak, sistem neće raditi efikasno.
- Ako je napon previsok, može doći do oštećenja invertera.

Pravilo dimenzionisanje stringova:

- Proračunati napon otvorenog kola (Voc) na najnižim temperaturama (npr. -10°C) koristeći temperaturne koeficijente iz data sheet panela.
- Osigurati da ukupan napon stringa ne premašuje maksimalni dozvoljeni napon invertera.
- Voditi računa o MPPT opsegu kako bi se obezbedila optimalna proizvodnja energije.

Instalacija i povezivanje DC razvodnog ormara

DC razvodni ormar predstavlja ključni element u sistemu solarnih fotonaponskih elektrana, jer služi kao centralna tačka za povezivanje solarnih panela sa inverterom, omogućavajući zaštitu sistema i efikasno upravljanje protokom električne energije. Njegova pravilna montaža i povezivanje su od suštinskog značaja za siguran i pouzdan rad instalacije.

Unutar DC razvodnog ormara nalaze se sledeće komponente:

- **Osigurači** – štite sistem od preopterećenja i kratkih spojeva, čime se sprečava oštećenje električnih komponenti.
- **DC prekidači** – omogućavaju bezbedno isključivanje sistema radi servisiranja i održavanja
- **Prenaponska zaštita** – štiti sistem od udara groma i drugih prenaponskih pojava, čime se produžava vek trajanja opreme.

Postupak montaže DC razvodnog ormara:

Odabir i priprema lokacije za montažu

- Izabrati odgovarajuću lokaciju koja je zaštićena od vlage i direktne izloženosti Sunčevoj svetlosti.
- Obezbediti dovoljnu ventilaciju oko ormara kako bi se sprečilo pregrevanje unutrašnjih komponenti.
- Očistiti i pripremiti površinu na koju će se montirati ormar.

Fiksiranje razvodnog ormara

- Pomoću bušilice izbušiti otvore za tiple ili anker vijke, u zavisnosti od vrste podloge.
- Postaviti DC razvodni ormar na predviđeno mesto i pričvrstiti ga pomoću šrafa.
- Proveriti stabilnost i nivelaciju kako bi se osiguralo pravilno postavljanje.

Povezivanje dolaznih kablova iz solarnih panela

- Identifikovati pozitivne i negativne priključke na panelima i pravilno rasporediti kablove.
- Koristiti odgovarajuće kablove otporne na UV zračenje i temperaturne varijacije.
- Provući kablove kroz predviđene ulaze u ormaru i osigurati ih pomoću kablovskih stezaljki.
- Povezati kablove na odgovarajuće priključke osigurača i prekidača, vodeći računa o ispravnoj polarizaciji.

Ugradnja zaštitnih elemenata

- Instalirati DC osigurače i prekidače prema tehničkoj dokumentaciji.
- Postaviti prenaponsku zaštitu kako bi se smanjio rizik od udara groma i prenapona.
- Osigurati pravilno povezivanje svih zaštitnih komponenti prema šemi instalacije.

Povezivanje izlaznih kablova ka inverteru

- Pravilno identifikovati i povezati izlazne kablove prema polaritetu invertera.
- Koristiti visokokvalitetne priključne terminale kako bi se smanjili gubici energije.
- Proveriti sve spojeve i pričvršćivanje kablova kako bi se izbegli labavi kontakti.

Finalna provera i testiranje

- Multimetrom proveriti ispravnost spojeva i kontinuitet strujnog kola.
- Osigurati da su svi kablovi propisno izolovani i zaštićeni od spoljnih uticaja.
- Izvršiti probno puštanje sistema u rad i nadgledati eventualne nepravilnosti.

Pravilna montaža i povezivanje DC razvodnog ormara obezbeđuje dugotrajan i bezbedan rad solarnih fotonaponskih sistema, smanjujući rizik od kvarova i poboljšavajući efikasnost sistema.

Povezivanje DC instalacije sa inverterom

Povezivanje DC instalacije sa inverterom je ključan korak u integraciji solarnih fotonaponskih sistema, jer se na ovom mestu konvertuje jednosmerna (DC) struja proizvedena u solarnim panelima u naizmeničnu (AC) struju pogodnu za upotrebu u mreži ili domaćinstvu. Ovaj proces zahteva preciznost i pažljivo pridržavanje tehničkih specifikacija kako bi se osigurala ispravnost i dugotrajnost sistema.

Pre početka povezivanja, potrebno je proveriti tehničku dokumentaciju i osigurati da su svi spojevi pravilno dimenzionisani, a napon sistema odgovara specifikacijama invertera. Takođe, neophodno je koristiti odgovarajuće alate i zaštitnu opremu kako bi se sprečili električni udari ili kratki spojevi.



Inverterski kablovi 5AWG 16mm² – komplet sa kablovskim terminalima. Bakarna solarna žica sa ušicama.

Provera tehničke dokumentacije i alata

Pre bilo kakvog povezivanja, potrebno je pregledati uputstva proizvođača invertera i tehničku dokumentaciju instalacije. Takođe, obavezno je pripremiti odgovarajući alat, uključujući:

- Multimetar za proveru napona,
- Klešta za sečenje i skidanje izolacije kablova,
- Ključeve i odvijače za pričvršćivanje priključaka,
- Izolacione rukavice i zaštitne naočare.

Provera napona i polariteta kabla

Pre povezivanja kablova, koristi se multimetar za merenje napona dolaznih DC kablova iz razvodnog ormara. Polaritet se mora jasno označiti kako bi se sprečilo pogrešno spajanje, koje može dovesti do oštećenja invertera.

Povezivanje pozitivnog (+) i negativnog (-) kabla

- Crveni (pozitivni) kabl povezuje se na odgovarajući + priključak na inverteru.
- Crni (negativni) kabl povezuje se na - priključak invertera.
- Konektori moraju biti čvrsto pričvršćeni kako bi se sprečili gubici energije i zagrevanje spojeva.



Solarni kabl fotonaponske žice 4mm² za PV priključke

Osiguravanje kablova i zaštita spojeva

- DC kablovi se provlače kroz odgovarajuće zaštitne cevi ili pričvršćuju UV otpornim vezicama kako bi se sprečila mehanička oštećenja ili habanje.
- Spojevi se dodatno pričvršćuju pomoću stezaljki kako bi se sprečilo pomeranje kablova usled vibracija ili spoljnih uticaja.

Provera i testiranje sistema

- Pre puštanja u rad, još jednom se meri napon na priključcima invertera kako bi se osiguralo da vrednosti odgovaraju projektovanim parametrima.
- Proverava se da li su svi priključci pravilno zategnuti i zaštićeni.
- Nakon toga, inverter se uključuje i testira njegov rad, u skladu sa procedurom proizvođača.

Dokumentovanje i finalna inspekcija

- Nakon uspešnog povezivanja, svi spojevi se dokumentuju i evidentiraju u tehničkoj dokumentaciji sistema.
- Izvodi se završni pregled celog DC sklopa kako bi se osiguralo da nema nepravilnosti koje bi mogle ugroziti rad ili sigurnost sistema.

Povezivanje DC instalacije sa inverterom mora biti izvedeno precizno i u skladu sa standardima kako bi se osigurala pouzdanost sistema i sprečili eventualni kvarovi. Kvalitetna instalacija i pravilno testiranje garantuju dugotrajn i efikasan rad solarnih fotonaponskih sistema.

Sigurnosni aspekti pri izvođenju DC instalacija

Prilikom izvođenja DC električne instalacije neophodno je pridržavati se sigurnosnih mera:

- **Rad sa isključenim naponom** – DC kablovi uvek treba da budu bez napona pre povezivanja.
- **Korišćenje zaštitne opreme** – gumene rukavice, zaštitne naočare i izolovani alati.
- **Sprečavanje pregrevavanja kablova** – pravilnim dimenzionisanjem i osiguranjem dobre ventilacije.
- **Upotreba odgovarajućih osigurača i prekidača kako bi se izbegle prenaponske i strujne anomalije.**

Testiranje i provera ispravnosti DC instalacije

Testiranje instalacije podrazumeva:

- Merenje napona i struje pomoću multimetra.
- Proveru ispravnosti zaštitnih elemenata kao što su osigurači i prekidači.
- Testiranje kontinuiteta spojeva kako bi se osigurao kvalitetan kontakt.
- Dokumentovanje svih merenja i evidentiranje eventualnih nepravilnosti.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Povezivanje fotonaponskih panela u nizove

Poveži fotonaponske panele u serijske i paralelne nizove, uz proveru polariteta i merenje napona kako bi se osigurala pravilna konfiguracija sistema.

Materijal i alat:

- Fotonaponski paneli;
- DC kablovi sa MC4 konektorima;
- Multimetar;
- UV otporne vezice;
- Izolacione rukavice.

Postupak:

1. Organizuj panele prema projektnoj dokumentaciji.
2. Poveži panele u serijske nizove tako što ćeš spojiti pozitivni kraj jednog panela s negativnim krajem drugog.
3. Izvrši paralelno povezivanje tako što ćeš spojiti sve pozitivne krajeve zajedno, a zatim sve negativne.
4. Osiguraj kablove pomoću UV otpornih vezica i zaštitnih cevi.
5. Proveri polaritet i izmeri napon niza koristeći multimetar.

Završna provera:

- Proveri čvrstoću konektora i zaštitu spojeva.
- Uporedi izmerene vrednosti s tehničkom dokumentacijom.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Montaža i povezivanje DC razvodnog ormara

Montiraj i poveži DC razvodni ormar, uz pravilno postavljanje zaštitnih osigurača i prekidača prema tehničkoj dokumentaciji.

Materijal i alat:

- DC razvodni ormar;
- DC kablovi;
- Osigurači i prekidači;
- Multimetar;
- Set izolovanih ključeva;
- Vijci i pričvrсни material.

Postupak:

1. Pripremi mesto za postavljanje razvodnog ormara i proveri njegovu stabilnost.
2. Pričvrsti ormar na zidni nosač ili podnu konstrukciju pomoću odgovarajućih pričvrsnih elemenata.
3. Postavi i pričvrsti osigurače, DC prekidače i prenaponske zaštite.
4. Poveži dolazne kablove iz solarnih panela prema tehničkoj dokumentaciji.
5. Poveži izlazne kablove ka inverteru, vodeći računa o pravilnoj polarizaciji.

Završna provera:

- Proveri ispravnost svih veza i osiguraj da su konektori dobro pričvršćeni.
- Testiraj naponske vrednosti pomoću multimetra.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 3: Povezivanje invertera sa DC instalacijom

Zadatak: Izvrši pravilno povezivanje invertera sa DC razvodnim ormarom, uz proveru spojeva i merenje napona pre puštanja u rad.

Materijal i alat:

- Inverter;
- DC kablovi;
- Multimetar;
- Klešta za MC4 konektore;
- Vijci i pričvrtni materija.

Postupak:

1. Pripremi inverter i odaberi odgovarajuće mesto za njegovu montažu.
2. Pričvrsti inverter na nosač prema tehničkim specifikacijama.
3. Poveži pozitivni i negativni kabl iz DC razvodnog ormara na odgovarajuće priključke invertera.
4. Osiguraj kablove pričvršćivanjem na konstrukciju i zaštiti ih od mehaničkih oštećenja.
5. Izmeri napon na ulaznim priključcima invertera pre puštanja u rad.

Završna provera:

- Proveri da li su svi spojevi ispravno izvedeni i dobro pričvršćeni.
- Potvrdi ispravnost napona na priključcima invertera pre puštanja sistema u rad.

6.3. Izvođenje AC električne instalacije solarnih fotonaponskih sistema

Izvođenje AC (naizmjenične) električne instalacije predstavlja ključni segment u instalaciji solarnih fotonaponskih sistema, jer omogućava konverziju proizvedene jednosmerne struje (DC) u naizmjeničnu struju (AC) koja se može koristiti za napajanje potrošača ili distribuirati u elektrodistributivnu mrežu. Ovaj proces zahteva precizno planiranje, pravilno polaganje kablova, ugradnju zaštitnih sistema i testiranje funkcionalnosti sistema.

Namena AC instalacije u solarnim fotonaponskim elektranama

Naizmjenična struja (AC), generisana putem invertera, mora biti efikasno prenesena i distribuirana kroz sistem do krajnjeg potrošača ili elektrodistributivne mreže. AC instalacija omogućava:

- **Distribuciju energije** – Prenos električne energije od invertera do priključne tačke na mrežu (PCC) ili lokalnih potrošača unutar objekta.
- **Zaštitu sistema** – Implementaciju sigurnosnih uređaja kao što su osigurači, prekidači i odvodnici prenapona.
- **Praćenje i kontrolu** – Merenje ključnih električnih parametara kao što su napon, struja i snaga.
- **Integraciju sa mrežom** – On-grid sistemi zahtevaju pravilnu sinhronizaciju s elektrodistributivnom mrežom kako bi se omogućila stabilna isporuka električne energije.

AC instalacije moraju biti izvedene u skladu sa standardima za distribuciju naizmjenične struje, sa integrisanim zaštitnim uređajima za preopterećenje, kratki spoj i druge abnormalnosti.

Elementi AC instalacija

AC instalacija se sastoji od nekoliko ključnih elemenata koji omogućavaju siguran i efikasan rad sistema:

AC kablovi i konektori

Kablovi i konektori služe za prenos električne energije od invertera do AC razvodnog ormara (AC RO) i dalje do mreže ili potrošača. Oni moraju biti pravilno dimenzionisani kako bi osigurali minimalne gubitke energije i dug vek trajanja sistema.

Pri odabiru AC kablova važno je uzeti u obzir:

- Presek provodnika u odnosu na snagu sistema,
- Otpornost na spoljne uticaje (UV zračenje, vlagu, mehanička oštećenja),
- Korišćenje izolovanih konektora kako bi se sprečili električni gubici i povećala sigurnost.

AC razvodni ormar (AC RO)

AC razvodni ormar služi kao centralna tačka za povezivanje invertera sa mrežom ili potrošačima. U njemu se nalaze:

- **Sabirnice** – Distribuiraju struju između različitih dijelova sistema.
- **Osigurači** – Štite sistem od preopterećenja i kratkih spojeva.
- **Prekidači** – Omogućavaju kontrolu i zaštitu strujnih tokova unutar sistema.
- **Odvodnici prenapona** – Štite sistem od oštećenja usled prenapona.
- **Merni uređaji** – Ampermetri, voltmetri i vatmetri za merenje struje, napona i snage unutar AC sistema.

Priključna tačka na mrežu (PCC)

U slučaju *on-grid* sistema, solarna elektrana se povezuje sa elektrodistributivnom mrežom putem priključne tačke na mrežu (PCC). Ovaj segment uključuje:

- Sinhronizaciju rada invertera sa mrežom,
- Postavljanje zaštitnih uređaja koji sprečavaju povratnu struju,
- Merenje parametara mreže pre priključenja kako bi se osigurala kompatibilnost sistema.

Proces izvođenja AC instalacije Polaganje i povezivanje AC kablova

Pravilno polaganje AC kablova minimizira gubitke energije i povećava dugotrajnost sistema. Postupak obuhvata:

- Planiranje rute kablova kako bi se smanjili gubici i izbegla preklapanja sa drugim instalacijama,
- Korišćenje odgovarajuće izolacije i zaštitnih cevi kako bi se sprečila oštećenja,
- Fiksiranje kablova kablovskim nosačima kako bi se osigurala stabilnost instalacije.

Povezivanje invertera sa AC razvodnim ormarom

Povezivanje invertera sa AC razvodnim ormarom je ključan korak u integraciji solarne elektrane. Postupak uključuje:

- Povezivanje faznog, neutralnog i zaštitnog voda prema tehničkim specifikacijama,
- Postavljanje zaštitnih prekidača i osigurača kako bi se sprečila oštećenja sistema,
- Provera ispravnosti priključaka pre puštanja u rad.

Instalacija i povezivanje AC razvodnog ormara

Postavljanje AC razvodnog ormara zahteva preciznu instalaciju kako bi se osigurala efikasna distribucija energije. Proces uključuje:

- Montažu ormara na predviđeno mesto,
- Povezivanje svih dolaznih i odlaznih vodova,
- Testiranje ispravnosti električnih spojeva pomoću mernih instrumenata.

Testiranje i puštanje u rad AC instalacije

Nakon završetka instalacije, neophodno je izvršiti detaljna testiranja:

- Merenje napona i struje na ključnim tačkama sistema,
- Simulacija rada sistema pod različitim opterećenjima,
- Provera zaštitnih uređaja i njihove funkcionalnosti.

Sigurnosni aspekti pri izvođenju AC instalacija

Prilikom izvođenja AC električne instalacije neophodno je pridržavati se sigurnosnih mera:

- Korišćenje zaštitne opreme – rukavice, zaštitne naočare i izolovani alati,
- Rad na isključenom sistemu – AC instalacija se povezuje dok sistem nije pod naponom,
- Provera ispravnosti zaštitnih uređaja – svi osigurači, prekidači i odvodnici prenapona moraju biti testirani pre puštanja sistema u rad.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Montaža i povezivanje AC razvodnog ormara

Izvrši montažu i povezivanje AC razvodnog ormara, uključujući instalaciju sabirnice, zaštitnih prekidača i mernih uređaja, u skladu sa tehničkom dokumentacijom.

Materijal i alat:

- AC razvodni ormar;
- Sabirnice;
- Zaštitni prekidači (osigurači, automatski prekidači, diferencijalni prekidači);
- Merni uređaji (voltmetar, ampermetar, vatmetar);
- Električni kablovi;
- Klešta za kablove i čelični nosači;
- Izolacioni alat;
- Zaštitna oprema (rukavice, naočare).

Postupak:

1. Pripremi radno mesto
 - Pregledaj tehničku dokumentaciju i plan montaže.
 - Osiguraj da je radna površina čista i sigurna za rad.
2. Postavi i fiksiraj AC razvodni ormar
 - Odredi tačnu poziciju montaže ormara prema tehničkom planu.
 - Pričvrsti ormar pomoću tipli i šrafa na odgovarajuću površinu.
3. Instaliraj sabirnice
 - Postavi sabirnice unutar ormara prema specifikacijama.
 - Proveri ispravnost spojeva i osiguraj sigurno pričvršćivanje.
4. Postavi i poveži zaštitne prekidače
 - Instaliraj osigurače i automatske prekidače na predviđena mesta.
 - Poveži ih sa sabirnicama prema tehničkoj dokumentaciji.
5. Ugradi merne uređaje
 - Postavi voltmetre, ampermetre i vatmetre na predviđene pozicije.
 - Poveži ih sa odgovarajućim kablovima i sabirnicama.
6. Izvrši vizuelnu i funkcionalnu proveru
 - Proveri sve priključke i osiguraj da su čvrsto povezani.
 - Pregledaj da li je sistem ispravno instaliran pre testiranja.

Završna provera:

- Proveri fizičku stabilnost ormara i komponenti.
- Pregledaj sve priključke i proveri da li su dobro izolovani.
- Proveri tehničku dokumentaciju i potvrdi da su sve komponente ispravno povezane.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Povezivanje invertera sa AC sistemom

Izvrši povezivanje invertera sa AC sistemom, uključujući spajanje AC kablova prema tehničkoj dokumentaciji i proveru napona pre puštanja u rad.

Materijal i alat:

- Inverter;
- AC kablovi;
- Klešta za kablove;
- Multimetar za merenje napona;
- Izolacioni alat;
- Električne stezaljke;
- Zaštitna oprema (rukavice, naočare).

Postupak:

1. Pripremi radno mesto
 - Pregledaj tehničku dokumentaciju i plan povezivanja.
 - Osiguraj da su svi potrebni materijali i alati dostupni.
 2. Proveri ispravnost invertera i AC sistema
 - Osiguraj da je inverter isključen iz napajanja.
 - Proveri napon AC instalacije koristeći multimetar.
 3. Poveži AC kablove iz invertera
 - Pronađi odgovarajuće priključke za fazu (L), nulu (N) i uzemljenje (PE).
 - Poveži AC kablove prema tehničkoj dokumentaciji i osiguraj ih stezaljkama.
 4. Izvrši zaštitu i organizaciju kablova
 - Postavi kablove u zaštitne cevi ili kanale kako bi se sprečila oštećenja.
 - Osiguraj da su svi spojevi dobro izolovani.
 5. Proveri spoj i testiraj sistem
 - Multimetrom izmeri napon na izlazu invertera pre uključivanja.
 - Simuliraj rad sistema i proveri da li se inverter ispravno povezao sa mrežom ili lokalnim potrošačima.
- Završna provera:
- Pregledaj sve priključke i potvrdi da su čvrsto spojeni.
 - Proveri napon i struju na priključnim tačkama invertera.
 - Osiguraj da su svi kablovi pravilno postavljeni i zaštićeni od mehaničkih oštećenja.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 3: Ispitivanje električne instalacije solarnih fotonaponskih sistema prema IEC 60364-6

Testiranje električne instalacije solarnog fotonaponskog sistema u skladu sa zahtevima standarda IEC 60364-6. Testiranje će obuhvatiti neprekidnost provodnika, polaritet, otpor izolacije, funkcionalne testove i druge ključne parametre, kako bi se osigurao ispravan rad solarnog fotonaponskog sistema.

Materijal i alat

- Multifunkcionalni tester za ispitivanje električnih instalacija (npr. Fluke 1664 FC, Megger MFT);
- Digitalni multimetar;
- Klešta za merenje struje;
- Tester izolacije (megger);
- Šema solarnog fotonaponskog sistema sa tačkama ispitivanja;
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare, tester napona).

Postupak

1. Ispitivanje neprekidnosti provodnika za uzemljenje i izjednačavanje potencijala
 - Proveriti kontinuitet provodnika uzemljenja pomoću testera kontinuiteta.
 - Spojiti jednu sondu testera na glavni uzemljivač, a drugu na zaštitni provodnik.
 - Očitati rezultat i uporediti sa standardnim vrednostima prema IEC 60364-6.
2. Test polariteta
 - Pomoću digitalnog multimetra proveriti da li je fazni provodnik pravilno povezan.
 - Prisloniti jednu sondu na fazni provodnik, a drugu na zaštitni provodnik i proveriti očitane vrednosti napona.
 - Ako se napon ne podudara s očekivanim, proveriti i ispraviti povezivanje.
3. Test kombinovane kutije (string kombiner kutije)
 - Proveriti osigurače, zaštitne sklopke i priključke u kombiner kutiji.
 - Izvršiti ispitivanje napona na ulaznim i izlaznim terminalima.
 - Proveriti rad zaštitnih uređaja ispitivanjem prekidača uzemljenja.



PRAKTIČNA VEŽBA

4. Ispitivanje napona otvorenog kola (Voc) ili HSA
 - Odspojiti fotonaponski string od invertera.
 - Pomoću multimetra meriti napon otvorenog kola između pozitivnog i negativnog terminala fotonaponskog stringa.
 - Uporediti izmerene vrednosti sa očekivanim, prema tehničkoj dokumentaciji panela.
 5. Ispitivanje kratkog spoja (Isc) ili radne struje
 - Spojiti ampermetar u strujni krug fotonaponskog stringa.
 - Kratko spojiti pozitivni i negativni terminal i očitati struju kratkog spoja.
 - Uporediti izmerene vrednosti sa podacima proizvođača.
 6. Funkcionalni testovi
 - Povezati fotonaponski sistem na inverter i mrežu.
 - Proveriti rad invertera pri različitim nivoima osunčanja.
 - Testirati rad zaštitnih uređaja isključenjem fotonaponskog stringa.
 - Proveriti da li inverter ispravno prati MPPT tačku.
 7. Ispitivanje otpora izolacije DC kola
 - Isključiti inverter i fotonaponske stringove.
 - Spojiti tester izolacije (megger) na DC kablove i provesti ispitivanje pri naponu od 500V ili 1000V.
 - Proveriti da li izmerene vrednosti zadovoljavaju minimalne zahteve standarda.
- Završna provera
- Uporediti sve izmerene vrednosti sa specifikacijama proizvođača i IEC 60364- 6 standardom.
 - Identifikovati eventualne greške u instalaciji.
 - Dokumentovati rezultate ispitivanja u kontrolni list.

6.4. Izvođenje instalacije uzemljenja i gromobranske instalacije solarnih fotonaponskih sistema

Instalacija uzemljenja i gromobranske zaštite ključna je komponenta sigurnosnog sistema solarnih fotonaponskih sistema. Ove instalacije osiguravaju zaštitu ljudi i opreme od električnih udara i atmosferskih pražnjenja, minimizirajući rizike od kvarova i požara.

Instalacija uzemljenja

Uzemljenje u solarnim fotonaponskim sistemima ima ključnu ulogu u sigurnosti sistema. Osigurava zaštitu metalnih delova opreme, sprečava pojavu opasnih naponskih razlika i omogućava sigurno odvođenje struje u zemlju, u slučaju kvara.

Elementi instalacije uzemljenja

Uzemljenje se sastoji od nekoliko osnovnih komponenti:

- **Uzemljivači** – metalne šipke, trake ili ploče zakopane u zemlju koje osiguravaju dobar kontakt sa tlom.
- **Uzemljeni provodnici** – kablovi koji povezuju opremu sa uzemljivačima.
- **Sabirnice za uzemljenje** – uređaji koji povezuju više uzemljenih provodnika radi osiguravanja jedinstvenog uzemljenja sistema.

Pripremni radovi za instalaciju uzemljenja

Pre izvođenja instalacije uzemljenja, neophodno je izvršiti niz pripremnih aktivnosti:

- **Analiza tehničke dokumentacije** – pregled projektne dokumentacije radi utvrđivanja zahteva za uzemljenje.
- **Doprema opreme i alata** – osiguravanje potrebnih materijala i alata.
- **Čišćenje i nivelisanje terena** – uklanjanje prepreka i priprema tla.
- **Obeležavanje položaja za uzemljivače** – određivanje tačnih lokacija za postavljanje uzemljivača.
- **Iskopavanje rovova** – prilagođeno specifičnostima terena i dubini potrebnoj za uzemljivače.
- **Provera kvaliteta tla** – ispitivanje provodljivosti tla kako bi se osigurala efikasnost uzemljenja.

Montaža i povezivanje sistema uzemljenja

Pravilna montaža i povezivanje sistema uzemljenja ključni su koraci u osiguranju sigurnosti solarnih fotonaponskih elektrana. Sistem uzemljenja omogućava sigurno odvođenje viška električne energije u zemlju, štiteći opremu i osoblje od mogućih strujnih udara i prenapona.

Postupak montaže uzemljenja uključuje sledeće korake:

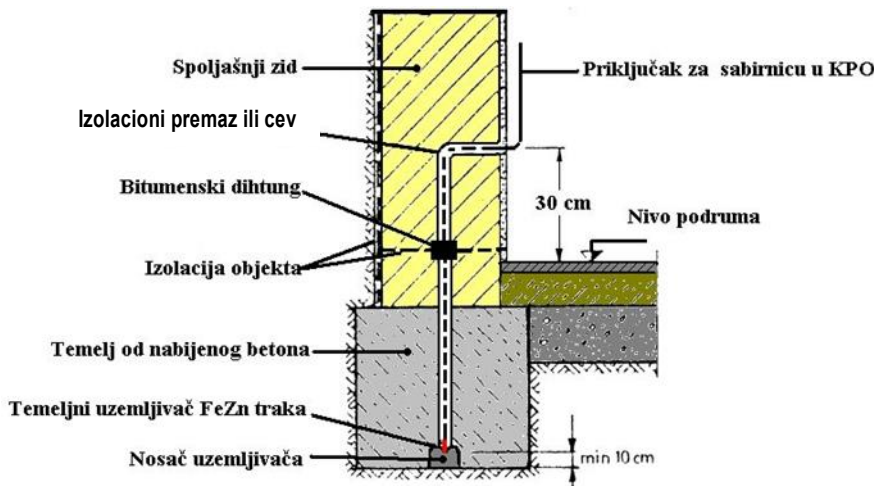
Postavljanje uzemljivača – Metalne šipke ili trake se postavljaju u tlo u skladu s tehničkim zahtevima i standardima. Pre postavljanja vrši se analiza tla kako bi se odredila najpovoljnija lokacija za uzemljivače. Uzemljivači se mogu postavljati vertikalno (pobijanjem u tlo) ili horizontalno (polaganjem u iskopane rovove). Nakon postavljanja, proverava se njihov stabilan kontakt sa zemljom.

Povezivanje sabirnica i vodova – Uzemljeni provodnici povezuju se sa sabirnicama pomoću stezaljki, spojnih elemenata i bakrenih traka. Spojevi moraju biti mehanički čvrsti i električno provodljivi kako bi se obezbedio neprekinut protok struje u slučaju atmosferskog pražnjenja ili kvara na sistemu. Upotreba zavarenih spojeva ili posebno dizajniranih stezaljki poboljšava dugotrajnost i otpornost na koroziju.

Uspostavljanje spojeva sa elektroenergetskim sistemom – Nakon postavljanja uzemljivača i povezivanja sabirnica, sistem uzemljenja se spaja na metalne delove elektroenergetskih instalacija solarnog fotonaponskog sistema. Ovaj korak uključuje povezivanje uzemljenja sa metalnim kućištima invertera, razvodnim ormarima i konstrukcijom panela. Povezivanje se vrši pomoću specijalnih vodova sa niskim otporom, čime se osigurava efikasno provođenje električne energije u tlo.

Provera kontinuiteta spojeva – Nakon montaže i povezivanja svih elemenata sistema uzemljenja, neophodno je izvršiti testiranje kako bi se osiguralo ispravno funkcionisanje. Merenje otpora uzemljenja vrši se pomoću specijalizovanih mernih instrumenata (npr. merača otpora uzemljenja). Cilj je da izmereni otpor bude unutar dozvoljenih granica prema standardima, kako bi se obezbedila sigurna disipacija struje u slučaju udara groma ili kvara na sistemu.

Sistem uzemljenja solarnih fotonaponskih sistema mora biti izveden prema važećim propisima i tehničkim normama kako bi se osigurala dugoročna funkcionalnost i bezbednost celog sistema.



Izvođenje temeljnog uzemljivača

Instalacija gromobranske zaštite

Gromobranska zaštita štiti solarne fotonaponske sisteme od atmosferskih pražnjenja preusmeravanjem energije udara groma u zemlju. Time se smanjuje mogućnost oštećenja električne i mehaničke opreme, ali i potencijalnih požara.

Elementi instalacije gromobranske zaštite

- **Gromobranske šipke (hvataljke)** – postavljene na najvišim tačkama objekta privlače gromove i usmeravaju energiju ka uzemljenju.
- **Provodnici za prenos munje** – metalni provodnici povezuju gromobranske šipke sa uzemljivačem.
- **Uzemljivači** – metalne šipke zakopane u zemlju preusmeravaju energiju groma na siguran način.

Pripremni radovi za gromobransku instalaciju

- **Analiza projektne dokumentacije** – pregled tehničkih zahteva.
- **Doprema materijala i alata** – osiguravanje potrebnih komponenti za instalaciju.
- **Čišćenje i priprema radnog prostora** – uklanjanje prepreka za siguran rad.
- **Postavljanje zaštitne opreme** – osiguravanje zaštite radnika.
- **Obeležavanje lokacije za montažu gromobrana** – određivanje pozicija elemenata sistema.

Montaža i povezivanje sistema gromobranske zaštite

Montaža i povezivanje sistema gromobranske zaštite ključni su koraci u osiguravanju zaštite solarnih fotonaponskih sistema od atmosferskih pražnjenja. Ovaj proces obuhvata instalaciju svih neophodnih komponenti, njihovo povezivanje i testiranje kako bi se osigurala njihova funkcionalnost i dugoročna pouzdanost.

Prvi korak u procesu jeste montaža gromobranskih šipki, koje se postavljaju na strateške tačke objekta ili solarnih panela. Njihova uloga je da privuku atmosfersko pražnjenje i usmere ga ka sigurnom odvodu. Prilikom postavljanja, neophodno je obezbediti čvrsto pričvršćivanje šipki pomoću odgovarajućih nosača i sidrenih elemenata, čime se

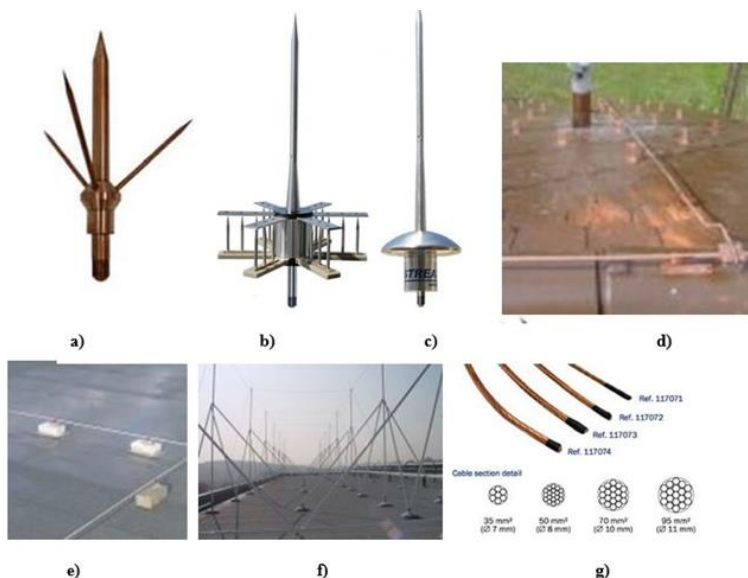
osigurava otpornost na vremenske uslove i mehaničke sile. Pozicija hvataljki mora biti usklađena sa tehničkom dokumentacijom, kako bi se osiguralo optimalno pokrivanje zaštićenog područja.

Nakon postavljanja šipki, pristupa se povezivanju provodnika za odvod munje, koji preusmeravaju elektricitet iz atmosferskog pražnjenja prema zemlji. Ovi provodnici izrađeni su od visoko provodljivih materijala, kao što su bakar i aluminijum, i moraju biti pravilno povezani sa gromobranskim hvataljkama. Prilikom povezivanja važno je koristiti odgovarajuće spojne elemente, poput stezaljki, šarafa i specijalnih spojeva, koji osiguravaju pouzdan i dugotrajan kontakt.

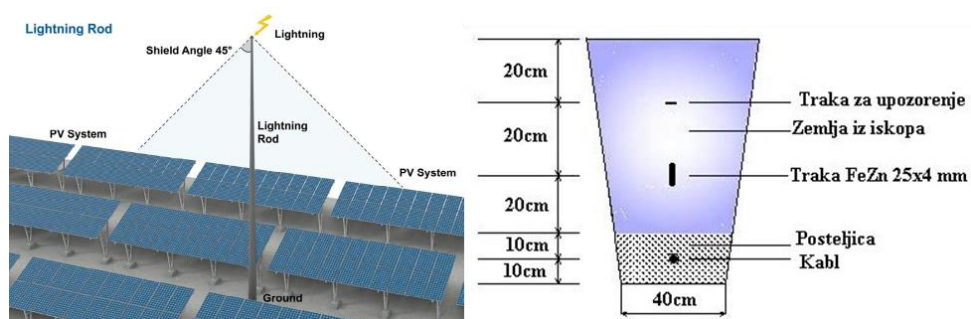
Zatim sledi postavljanje i povezivanje uzemljivača, koji predstavljaju završni element u odvajanju viška elektriciteta u tlo. Ovi uzemljivači mogu biti izvedeni u obliku metalnih šipki zabijenih u tlo ili metalnih traka ukopanih u zemlju, a njihova pozicija i broj zavise od specifičnih zahteva sistema. Povezivanje uzemljivača sa gromobranskim provodnicima vrši se pomoću visokokvalitetnih spojeva, koji obezbeđuju minimalne gubitke energije i dugotrajnu otpornost na koroziju.

Poslednji korak u procesu jeste merenje otpora gromobranske zaštite, kako bi se osigurala njena funkcionalnost. Ova provera se vrši pomoću posebnih mernih instrumenata koji omogućavaju precizno određivanje efikasnosti sistema. Ako izmerene vrednosti otpora ne zadovoljavaju tehničke standarde, potrebno je preduzeti dodatne mere, kao što su povećanje broja uzemljivača ili poboljšanje spojeva između komponenti.

Pravilno izvedena gromobranska zaštita ključna je za sigurnost solarnih fotonaponskih elektrana, jer minimizira rizik od požara i oštećenja električnih komponenti usled udara groma. Zbog toga je važno pridržavati se tehničkih propisa i standarda prilikom izvođenja svih radova na ovom sistemu.



Prihvatni sistemi: a) gromobranski razučeni šiljak; b) gromobranski šiljak; c) gromobranski šiljak sa pojačanim elektronskim dejstvom (ESE Early Streamer Emission); d) pocinčane trake na ravnom krovu (Faradejev kavez); e) izolovani sistem hvataljki; f) sistem sa razapetim žicama; g) preseći bakarnih žica za gromobransku instalaciju



Gromobran postavljen iznad solarnih panela kako bi se osigurao zaštitni konus

Zaštita od atmosferskih pražnjenja podzemnog kabla pomoću FeZn 25x4mm trake

Testiranje i verifikacija instalacija uzemljenja i gromobranske zaštite

Nakon instalacije, potrebno je izvršiti testiranje funkcionalnosti sistema:

- Merenje otpora uzemljenja – kako bi se osigurala efikasnost odvoda struje u zemlju.
- Testiranje kontinuiteta provodnika – provera kvaliteta svih spojeva.
- Inspekcija mehaničke stabilnosti – provera svih komponenti na otpornost na vremenske uslove.
- Provera spojeva i električnih kontakata – kako bi se osigurao dugoročan rad bez prekida.



Testiranje gromobranske instalacije



KVIZ

Kviz 10: Uzemljenje i gromobranska zaštita solarnih fotonaponskih elektrana:

<https://forms.office.com/e/d8mq2j23jd>.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Montaža i povezivanje sistema uzemljenja

Izvrši montažu i povezivanje sistema uzemljenja solarnog fotonaponskog sistema, uključujući postavljanje uzemljivača, povezivanje provodnika i merenje otpora uzemljenja.

Materijal i alat:

- Uzemljivačke šipke ili ploče;
- Bakarni ili pocinčani provodnici;
- Stezaljke, papučice i spojni elementi;
- Iskopna oprema (ašov, pijuk);
- Merač otpora uzemljenja;
- Klešta i odvijači;
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare).

Postupak:

1. Pripremi teren tako što ćeš obeležiti lokacije za uzemljivače i očistiti prostor od prepreka.
2. Postavi uzemljivače tako što ćeš zabiti metalne šipke u tlo ili postaviti trake u iskopane rovove.
3. Poveži uzemljivače sa sabirnicama pomoću odgovarajućih provodnika i pričvrsti ih stezaljkama ili zavarenim spojevima.
4. Izvrši povezivanje sistema uzemljenja sa metalnim delovima solarne instalacije koristeći bakarne ili pocinčane kablove.
5. Izmeri otpor uzemljenja pomoću mernog instrumenta i proveri da li zadovoljava propisane standarde.

Završna provera:

- Pregledaj sve spojeve i pričvršćene provodnike.
- Verifikuj otpor uzemljenja i uporedi sa referentnim vrednostima.
- Dokumentuj postupak i evidentiraj eventualne nepravilnosti.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Montaža i povezivanje gromobranske instalacije

Postavi i poveži elemente gromobranske zaštite solarnog fotonaponskog sistema, uključujući gromobrane, provodnike i uzemljivače.

Materijal i alat:

- Gromobranske šipke (hvataljke);
- Bakarni ili aluminijumski provodnici;
- Uzemljivačke šipke;
- Spojni elementi (stezaljke, šrafovi, spojne trake);
- Bušilica, klešta, odvijači;
- Izolaciona zaštitna oprema.

Postupak:

1. Odredi tačke postavljanja gromobrana prema tehničkoj dokumentaciji i označi montažne lokacije.
2. Postavi gromobranske šipke na predviđena mesta i učvrsti ih pomoću nosača.
3. Poveži hvataljke sa provodnicima za odvod munje pomoću odgovarajućih spojnih elemenata i osiguraj čvrste spojeve.
4. Instaliraj uzemljivače za gromobranski sistem i poveži ih sa provodnicima prema tehničkoj dokumentaciji.
5. Proveri električnu provodljivost sistema pomoću mernog uređaja.

Završna provera:

- Vizuelno pregledaj sve spojne tačke i montažne elemente.
- Verifikuj električnu provodljivost i osiguraj da svi spojevi zadovoljavaju standarde zaštite.
- Dokumentuj postupak i eventualne korekcije.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 3: Testiranje uzemljenja i gromobranske zaštite

Izvrši testiranje sistema uzemljenja i gromobranske zaštite pomoću odgovarajućih merenja i provere spojeva.

Materijal i alat:

- Merač otpora uzemljenja;
- Testni instrument za gromobransku zaštitu;
- Klješta i odvijači;
- Zaštitna oprema (rukavice, naočare).

Postupak:

1. Izmeri otpor uzemljenja pomoću mernog instrumenta i zabeleži vrednosti.
2. Proveri integritet svih spojeva unutar uzemljenja i gromobranske instalacije.
3. Testiraj provodljivost provodnika gromobranskog sistema kako bi se osigurala funkcionalnost zaštite od udara munje.
4. Analiziraj rezultate merenja i uporedi ih sa standardima.
5. Ukloni eventualne nepravilnosti i ponovi testiranje nakon korekcija.

Završna provera:

- Osiguraj da svi izmereni parametri zadovoljavaju propisane standarde.
- Dokumentuj sva merenja i eventualne korekcije.
- Pripremi izveštaj o verifikaciji ispravnosti sistema.

6.5. Najčešće greške prilikom instalacije solarnog fotonaponskog sistema

Instalacija solarnog fotonaponskog sistema zahteva precizno planiranje i izvođenje kako bi se obezbedila optimalna efikasnost i dugotrajnost sistema. Najčešće greške koje se dešavaju u praksi uključuju:

Pogrešno dimenzionisanje sistema

- **Nepravilno izračunata snaga sistema** – Ako je sistem premali, neće moći pokriti potrebe potrošnje; ako je prevelik, ulaganje neće biti isplativo.
- **Neusklađenost invertera i panela** – Ako inverter nije pravilno dimenzionisan, može doći do smanjenja efikasnosti konverzije energije.
- **Nedovoljno uzeta u obzir lokalna potrošnja energije** – Planiranje sistema bez analize energetske potrebe objekta može dovesti do neefikasnosti.

Loše postavljena orijentacija i nagib panela

- Paneli nisu orijentisani prema optimalnoj strani (jug u severnoj hemisferi, sever u južnoj hemisferi).
- Nepravilno podešen nagib panela – Fiksni paneli bi trebalo da budu pod uglom koji odgovara geografskoj širini kako bi maksimalizovali proizvodnju tokom cele godine.
- Neusklađenost sa sezonskim varijacijama – U nekim sistemima je bolje koristiti prilagodljive nosače koji menjaju nagib sezonski.

Nepravilna montaža nosača i strukture

- **Neadekvatno pričvršćivanje na krov** – Može dovesti do oštećenja krova ili nestabilnosti sistema pri jakim vetrovima.
- **Korišćenje neodgovarajućih materijala** – Podložnost koroziji i degradaciji može značajno smanjiti trajnost konstrukcije.
- **Loša primena balastnih sistema na ravnim krovovima** – Ako se ne izračuna tačna težina balasta, vetar može pomeriti ili oštetiti panele.

Greške u električnim instalacijama

- **Loše dimenzionisani kablovi** – Preveliki gubici energije usled nedovoljno debelih kablova.
- **Neodgovarajuće povezivanje DC strane sistema** – Ako se paneli ne povežu pravilno u stringove, može doći do neravnomerne raspodele opterećenja i gubitaka snage.
- **Pogrešna zaštita od prenapona i loše uzemljenje** – Nedostatak adekvatne zaštite može dovesti do oštećenja invertera i panela tokom udara groma.
- **Loša veza između invertera i mreže** – Može izazvati oscilacije napona i probleme sa stabilnošću mreže.

Senčenje i pogrešno raspoređeni paneli

- Nisu uzeti u obzir objekti koji prave senku – Drveće, dimnjaci, stubovi i okolne zgrade mogu značajno smanjiti proizvodnju.
- Nepravilno korišćenje optimizatora i MPPT ulaza – Ako optimizatori nisu pravilno postavljeni, može doći do neravnomerne proizvodnje unutar istog stringa panela.
- Loše pozicioniranje panela na različitim krovnim površinama – Ako su stringovi postavljeni pod različitim uglovima bez optimizacije, sistem neće raditi efikasno.

Zanemarivanje termičkih efekata

- **Loša ventilacija panela** – Ako nema prostora između panela i krova, može doći do pregrevanja i smanjenja efikasnosti.
- **Nedovoljna otpornost komponenti na visoke temperature** – Nepravilno izabrani kablovi i konektori mogu se pregrevati i izazvati kvarove.

Nedostatak zaštite i sigurnosnih mera

- **Nepostojanje zaštite od požara** – solarni fotonaponski sistemi mogu izazvati požar ako nisu pravilno osigurani termičkim i električnim zaštitama.
- **Loše uzemljenje i neadekvatni osigurači** – Može dovesti do povećane opasnosti od strujnog udara i kratkog spoja.
- **Neusklađenost sa lokalnim propisima i standardima** – Nepravilna instalacija može dovesti do pravnih i tehničkih problema.

Nedostatak sistema za monitoring i održavanje

- **Neinstaliran sistem za nadzor (datalogeri, optimizatori, analizatori)** – Bez praćenja rada sistema, teško je otkriti kvarove ili gubitke energije.
- **Zanemarivanje održavanja (čišćenje panela, proveru kablova i konektora)** – Vremenom se može smanjiti efikasnost sistema zbog nakupljanja prašine i neispravnih spojeva.

Kako izbeći ove greške?

- Pažljivo planiranje i dimenzionisanje sistema pre instalacije.
- Korišćenje softvera za simulaciju solarnog fotonaponskog sistema proizvodnje (PVGIS, PVSyst, SAM) kako bi se procijenila optimalna konfiguracija.
- Pridržavanje tehničkih standarda i propisa pri instalaciji.
- Redovno održavanje i monitoring kako bi se sprečili kvarovi i degradacija sistema.

7. POGON I ODRŽAVANJE SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA

7.1. Pripremni radovi i početno testiranje solarnih fotonaponskih sistema

Pre puštanja solarnih fotonaponskih sistema u rad, neophodno je sprovesti niz pripremnih aktivnosti i testiranja kako bi se osigurala ispravnost i sigurnost sistema. Ova faza uključuje pregled tehničke dokumentacije, pripremu alata i opreme, planiranje intervencija i testiranje funkcionalnosti svih ključnih komponenti.

Pregled tehničke dokumentacije i ključnih parametara sistema

Svaki solarni sistem ima specifične tehničke karakteristike koje treba analizirati pre pokretanja. Pregled tehničke dokumentacije obuhvata:

- **Električne šeme sistema** – Prikazuju način povezivanja fotonaponskih panela, invertera, razvodnih ormara, zaštitnih uređaja i potrošača.
- **Podatke o sistemu** – Napon, struja, snaga i efikasnost sistema.
- **Specifikacije ključnih komponenti** – Podaci o panelima, inverterima, baterijama (ako postoje), zaštitnim sklopovima i uzemljenju.
- **Sigurnosne smernice** – Propisi za zaštitu od električnog udara, pravila za rad na visini i preporučene procedure za testiranje sistema.
- **Garancije i uputstva proizvođača** – Pravilno korišćenje i održavanje opreme u skladu s uputstvima.

Priprema alata, opreme i zaštitnih sredstava

Za pravilno testiranje sistema potrebno je koristiti odgovarajuće alate i zaštitnu opremu:

- Merni instrumenti:
 - Multimetar – za merenje napona i struje u DC i AC delu sistema.
 - Klešta ampermetar (amper klešta) – za proveru struje opterećenja.
 - Termovizijska kamera – za otkrivanje pregrevavanja komponenti.
 - Ispitivač uzemljenja – za proveru kontinuiteta uzemljenja.
- Ostala oprema:
 - Izolovani odvijajući i ključevi – za siguran rad sa električnim komponentama.
 - Kablovske vezice – za osiguranje kablova i konektora.
 - Laptop sa softverom za monitoring sistema – za proveru daljinske komunikacije i parametara rada.
- Zaštitna oprema:
 - Izolacione rukavice i zaštitne naočare.
 - Sigurnosni pojasevi za rad na visini.
 - Antistatička obuća za sprečavanje električnog pražnjenja.

Planiranje aktivnosti i raspored intervencija

Kako bi se izbegle greške i osigurao efikasan proces, potrebno je unapred isplanirati sve aktivnosti:

- **Izrada rasporeda testiranja** – Definisanje redosleda provere sistema (vizuelna inspekcija, električna merenja, test opterećenja).
- **Dodela zadataka** – Tehničari i električari se raspoređuju prema kompetencijama (testiranje invertera, provera elektroinstalacija, provera uzemljenja itd.).

- **Procena vremenskih uslova** – Planiranje radova u optimalnim vremenskim uslovima kako bi se izbegli problemi poput kondenzacije na panelima.
- **Koordinacija s mrežnim operaterom** – Ako se sistem povezuje na elektrodistributivnu mrežu, potrebno je dogovoriti termin za zvanično priključenje.

Provera sistema pre pokretanja i testiranje komponenti

Pre zvaničnog puštanja sistema u rad, vrši se niz provera kako bi se osiguralo da svi delovi funkcionišu ispravno:

- **Vizuelna inspekcija:**
 - Pregled spojeva i konektora – Provera da li su svi spojevi pravilno povezani i čvrsto pričvršćeni.
 - Provera kablovske instalacije – Osiguravanje da su kablovi pravilno organizovani, bez mehaničkih oštećenja.
 - Inspekcija zaštitnih uređaja – Pregled DC i AC osigurača, prekidača i odvodnika prenapona.
- **Merenje napona i struje:**
 - Testiranje DC napona između solarnih panela i invertera.
 - Provera AC izlaznog napona iz invertera.
 - Merenje struje opterećenja pri radu sistema pod različitim uslovima.
- **Testiranje uzemljenja:**
 - Merenje otpora uzemljenja pomoću ispitivača uzemljenja.
 - Provera kontinuiranosti uzemljenja od panela do glavne sabirnice.
 - Ispitivanje zaštitnih uzemljivačkih sklopova i provera ispravnosti gromobranske zaštite.

Aktivacija invertera i solarnih panela uz kontrolu rada

Nakon što su obavljene sve provere, može se pristupiti aktivaciji sistema:

- **Uključivanje invertera** – Postepeno uključivanje invertera i provera rada zaštitnih sklopova.
- **Postavljanje inicijalnih parametara** – Unos vrednosti maksimalne snage, napona i frekvencije sistema.
- **Praćenje inicijalnih podataka** – Posmatranje prvih merenja izlazne snage i radnih parametara kako bi se uočile eventualne nepravilnosti.
- **Simulacija opterećenja** – Testiranje rada sistema pod manjim i većim opterećenjem kako bi se proverila stabilnost rada.

Verifikacija komunikacionih sistema i zaštitnih uređaja

Moderni solarni sistemi često uključuju nadzorne sisteme i zaštitne uređaje koji moraju biti ispravno konfigurisani:

- **Provera komunikacije sa softverom za praćenje** – Povezivanje invertera sa monitoring sistemom i provera prenosa podataka.
- **Testiranje zaštitnih uređaja** – Simulacija kvarova (preopterećenje, kratki spoj) radi provere reakcije zaštitnih uređaja.
- **Verifikacija podešavanja automatskog isključivanja** – Osiguravanje da se sistem automatski isključuje u slučaju opasnosti.
- **Završno dokumentovanje** – Beleženje svih merenja i rezultata testiranja u tehničku dokumentaciju.

Pravilno izvođenje pripremnih radova i početnog testiranja sistema od ključnog je značaja za siguran i efikasan rad solarnih fotonaponskih sistema. Ova faza omogućava identifikaciju mogućih problema pre nego što sistem zvanično uđe u pogon. Nakon uspešnog testiranja, solarna elektrana je spremna za kontinuiran rad i nadzor.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak: Početno testiranje solarnog fotonaponskog sistema

Izvrši vizuelnu inspekciju, električna merenja i aktivaciju solarnog fotonaponskog sistema, prateći tehničku dokumentaciju i sigurnosne smernice.

Materijal i alat:

- Multimetar (za merenje napona i struje);
- Klešta ampermetar;
- Termovizijska kamera;
- Ispitivač uzemljenja;
- Laptop sa softverom za monitoring Sistema;
- Izolovani odvijači i ključevi;
- Zaštitna oprema (rukavice, naočare, antistatička obuća).

Postupak:

1. Pregled tehničke dokumentacije
 - Analiziraj električne šeme sistema i proveri specifikacije ključnih komponenti.
 - Identifikuj lokacije fotonaponskih panela, invertera, razvodnih ormara i zaštitnih uređaja.
2. Priprema alata i zaštitne opreme
 - Osiguraj da svi potrebni alati i merni instrumenti budu spremni za upotrebu.
 - Pravilno koristi zaštitnu opremu kako bi se osigurao siguran rad.
3. Vizuelna inspekcija sistema
 - Pregledaj spojeve i konektore, osiguraj da nema labavih priključaka.
 - Proveri organizaciju i integritet kablovske instalacije.
 - Inspekcijom proveri uzemljenje i zaštitne uređaje.
4. Merenje napona i struje
 - Pomoću multimetra izmeri DC napon između solarnih panela i invertera.
 - Proveri AC izlazni napon invertera i izmeri struju opterećenja pod različitim uslovima rada.
5. Testiranje uzemljenja
 - Koristi ispitivač uzemljenja za proveru kontinuiteta spojeva i merenje otpora uzemljenja.



PRAKTIČNA VEŽBA

6. Aktivacija sistema i početno testiranje

- Uključi inverter i prati inicijalne parametre rada (napon, struja, snaga).
- Proveri komunikaciju sa softverskim sistemom za monitoring.
- Simuliraj različite radne uslove i testiraj zaštitne uređaje.

7. Verifikacija rezultata i dokumentovanje

- Zabeleži sva merenja i rezultate u tehničku dokumentaciju.
- Identifikuj i prijavi eventualne nepravilnosti.

Završna provera:

- Potvrdi ispravnost svih priključaka i sistema zaštite.
- Dokumentuj postupak i evidentiraj rezultate merenja.
- Osiguraj da sistem funkcioniše u skladu sa zadatim parametrima pre zvaničnog puštanja u rad.

7.2. Praćenje radnih parametara sistema

Kontinuirano praćenje radnih parametara solarnih fotonaponskih elektrana od suštinskog je značaja za optimizaciju rada, detekciju nepravilnosti i produženje radnog veka sistema. Parametri poput napona, struje, snage, temperature i intenziteta Sunčevog zračenja omogućavaju analizu performansi sistema i brzo reagovanje na potencijalne kvarove.

Kontinuirano praćenje napona, struje i snage

Pre početnog testiranja i pokretanja solarnih fotonaponskih sistema, neophodno je definisati ključne radne parametre sistema koji omogućavaju efikasan i siguran rad. Kontinuirano praćenje ovih parametara omogućava pravovremenu detekciju odstupanja, prevenciju kvarova i optimizaciju rada elektrane.

Ključni radni parametri koji se prate u solarnim fotonaponskim elektranama su:

- **Napon (V)** – Ključno je pratiti napon solarnih panela, napon na DC sabirnicama i izlazni napon invertera. Pad napona može ukazivati na probleme sa panelima, loše konektorske spojeve ili degradaciju kablova.
- **Struja (A)** – Struja se meri kako bi se proverila ravnomernost opterećenja u solarnom sistemu. Nagla odstupanja u vrednostima mogu signalizirati probleme sa ožičenjem ili neispravne fotonaponske module.
- **Snaga (W, kW, MW)** – Analiza trenutne snage i ukupne proizvedene energije omogućava predikciju performansi sistema i poređenje sa projektovanim.
- **Energija (Wh, kWh, MWh)** – ukupna proizvedena energija u određenom vremenskom periodu.
- **Temperatura panela (°C)** – temperatura površine fotonaponskih modula, jer visoke temperature mogu smanjiti njihovu efikasnost.
- **Intenzitet Sunčevog zračenja (W/m^2)** – količina Sunčeve energije koja pada na površinu panela, što direktno utiče na proizvodnju električne energije.
- **Frekvencija mreže (Hz)** – u mrežnim sistemima potrebno je održavati stabilnost frekvencije.
- **Efikasnost sistema (%)** – procena koliko efektivno sistem pretvara Sunčevu energiju u električnu energiju.

Merenje solarne iradijacije u realnom vremenu - Iradiacionometri

Iradiacionometri su specijalizovani senzori koji mere solarnu iradijaciju (W/m^2) u realnom vremenu, omogućavajući precizno praćenje dostupne Sunčeve energije na lokaciji sistema. Postavljaju se tako da prate nagib panela, čime omogućavaju:

- Praćenje očekivane proizvodnje energije,
- Očitavanje ključnih električnih parametara (napon, struja, snaga),
- Verifikaciju rada fotonaponskog sistema i prepoznavanje anomalija.

Prednosti korišćenja iradiacionometara su precizno praćenje Sunčevog zračenja što omogućava optimizaciju proizvodnje, dijagnostiku problema odnosno prepoznavanje gubitaka zbog neispravnih komponenti, prilagođavanje rada prema realnim uslovima i dugoročnu analizu performansi solarnog fotonaponskog sistema.

Njihova upotreba omogućava tačne analize rada sistema, otkrivanje problema i optimizaciju proizvodnje energije. Njihova integracija sa sistemima za daljinsko upravljanje značajno poboljšava efikasnost i dugoročnu stabilnost solarnog sistema.

Značaj praćenja radnih parametara

Praćenje radnih parametara ključno je za osiguravanje pouzdanog i efikasnog rada solarnih fotonaponskih elektrana. Precizni podaci omogućavaju detekciju potencijalnih problema u ranoj fazi – na primer, nagli pad napona ili snage može ukazivati na neispravan panel ili problem u povezivanju, zatim analizu performansi sistema odnosno poređenje očekivane i stvarne proizvodnje energije. Praćenjem temperature i intenziteta zračenja može se poboljšati efikasnost, na primer, čišćenjem panela ili podešavanjem nagiba, dok kontrola prenapona, preopterećenja i temperatura smanjuje rizik od kvarova i požara.

Radni parametri se prate putem različitih metoda, uključujući ručna merenja multimetrom, analizatore snage, termalne kamere za nadzor temperature, kao i napredne softverske sisteme za daljinsko praćenje koji omogućavaju automatsku analizu i generisanje izveštaja.

Metode praćenja:

- Korišćenje multimetara i analizatora električnih parametara za lokalna merenja.
- Implementacija digitalnih senzora i mernih stanica za stalni nadzor.
- Korišćenje invertera sa integrisanim praćenjem električnih parametara.

Nadzor temperature panela i intenziteta Sunčevog zračenja

Efikasnost solarnih panela značajno zavisi od njihove temperature i količine primljenog Sunčevog zračenja. Visoke temperature mogu smanjiti efikasnost panela, dok neujednačeno osvetljenje može izazvati probleme sa senčenjem i smanjenje proizvodnje energije.

- Merenje temperature panela:
 - Koriste se termalni senzori i infracrvene kamere za detekciju pregrevavanja.
 - Normalne operative temperature solarnih panela kreću se od 25°C do 60°C, ali mogu dostići i više vrednosti tokom letnjih meseci.
 - Neravnomerno zagrevavanje može ukazivati na probleme sa pojedinačnim ćelijama u panelima (tzv. *“hot-spot”* efekat).
- Merenje intenziteta Sunčevog zračenja:
 - Koriste se piranometri i solarni senzori kako bi se izmerila količina Sunčeve energije (W/m^2) koja dolazi do panela.
 - Očekivani intenzitet Sunčevog zračenja varira u zavisnosti od geografske lokacije, doba dana i godišnjeg doba.
 - Povezanost temperature panela i intenziteta zračenja može pomoći u proceni gubitaka i optimizaciji performansi.

Sistemi za nadzor i optimizaciju rada fotonaponskih elektrana

Sistemi za nadzor solarnih fotonaponskih elektrana omogućavaju kontinuirano praćenje performansi, dijagnostiku kvarova i optimizaciju proizvodnje energije. Ovi sistemi pružaju korisnicima podatke u realnom vremenu i omogućavaju bolju kontrolu nad radom solarnih panela i invertera.

Komponente sistema za praćenje

Solarni fotonaponski sistemi koriste razne uređaje za prikupljanje i analizu podataka:

- **Senzori** – mere Sunčevo zračenje, temperaturu, vlažnost i električne parametre fotonaponskih sistema.
- **Inverteri sa nadzornim funkcijama** – konvertuju jednosmernu (DC) u naizmeničnu (AC) struju i beleže podatke o proizvodnji energije.
- **Registratori podataka (datalogeri)** – snimaju i arhiviraju ključne podatke o radu fotonaponskih sistema.
- **Korisnički interfejsi** – omogućavaju vizualizaciju podataka putem mobilnih aplikacija, veb portala ili centralnih upravljačkih panela.

Tehnologije za optimizaciju i sigurnost

Napredne tehnologije omogućavaju ne samo nadzor, već i automatizaciju i povećanje efikasnosti fotonaponskih elektrana. Ključni uređaji uključuju:

- **Kontroleri za nadzor fotonaponskih sistema**
 - Povezani su sa inverterima i senzorima za praćenje napona, struje i temperature.
 - Optimizuju rad sistema u zavisnosti od vremenskih uslova.
 - Detektuju kvarove i šalju alarmne signale operaterima.

- **Mrežni analizatori**
 - Prate kvalitet isporučene energije i stabilnost mrežnog napajanja.
 - Detektuju harmonijske distorzije, oscilacije napona i prenapone.
 - Pomažu u optimizaciji integracije solarnog fotonaponskog sistema u distributivnu mrežu.
- **Datalogeri i dugoročna analiza podataka**
 - Beleže istorijske podatke o radu fotonaponskih sistema.
 - Pomažu u identifikaciji trendova degradacije panela.
 - Omogućavaju napredne analize performansi putem softverskih alata.
 - Optimizatori za praćenje rada panela i sprečavanje požara
 - Optički optimizatori – analiziraju osunčanje, refleksiju i senčenje panela.
 - Elektronski optimizatori – mere napon, struju i temperaturu panela, identifikujući potencijalne probleme.
 - Sprečavaju požare detekcijom pregrevanja i loših električnih spojeva.
 - Automatski isključuju problematične module kako bi zaštitili sistem.



Nadzor i optimizacija rada solarnog fotonaponskog sistema

Proces prikupljanja i analize podataka

- **Prikupljanje podataka** – senzori i inverteri mere električne i ekološke parametre.
- **Prenos podataka** – podaci se šalju putem Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth ili žičanih veza.
- **Skladištenje podataka** – datalogeri čuvaju informacije za kasniju analizu.
- **Analiza podataka** – softver obrađuje podatke, detektuje anomalije i daje preporuke.
- **Vizualizacija rezultata** – korisnici putem aplikacija prate stanje sistema i dobijaju upozorenja.

Tipovi sistema za nadzor fotonaponskih elektrana

- **Sistemi za praćenje u realnom vremenu** – omogućavaju trenutni uvid u stanje solarnog fotonaponskog sistema.
- **Offline sistemi** – čuvaju podatke lokalno za kasniju analizu.
- **Inteligentni sistemi sa automatizacijom** – koriste mašinsko učenje i naprednu analitiku za prediktivno održavanje.

Praktični primeri primene

Kontroleri za nadzor sistema – Na velikoj solarnoj farmi od 1 MW, kontroler prati rad invertera i detektuje pad snage u jednom stringu zbog senčenja, šaljući alarm operaterima.

Mrežni analizatori – U industrijskom solarnom fotonaponskom sistemu, analizator detektuje oscilacije napona, omogućavajući podešavanje invertera kako bi se stabilizovala isporučena energija.

Datalogeri – Na rezidencijalnoj solarnoj elektrani od 10 kW, dugoročna analiza pokazuje postepeni pad efikasnosti od 5% godišnje, što ukazuje na potrebu za čišćenjem panela.

Optimizatori za zaštitu sistema – Na krovu poslovnog objekta, optimizator detektuje pregrevanje jednog panela i automatski isključuje modul, sprečavajući kvar ili požar.

Isplativost i ekonomske prednosti

Investicija u sisteme za nadzor i optimizaciju fotonaponskih elektrana donosi dugoročne finansijske benefite:

- **Povećana energetska efikasnost** – optimizacija rada smanjuje gubitke energije.
- **Ušteda na računima za struju** – bolje planiranje potrošnje omogućava maksimalno iskorišćenje proizvedene solarne energije.
- **Dugoročna održivost sistema** – preventivno održavanje smanjuje troškove popravki i produžava vek trajanja opreme.

Integracija naprednih sistema za nadzor i optimizaciju fotonaponskih elektrana omogućava:

- Povećanu efikasnost i stabilnost rada.
- Smanjenje kvarova kroz ranu detekciju problema.
- Daljinsko upravljanje i automatsku optimizaciju sistema.

Kombinacija kontrolera, mrežnih analizatora, datalogera i optimizatora ključna je za dugoročnu pouzdanost i sigurnost fotonaponskih sistema.

Korišćenje softverskih sistema za daljinsko praćenje

Moderni solarni sistemi koriste napredne softverske platforme za daljinsko praćenje i analizu performansi elektrane. Ovi sistemi omogućavaju stalni nadzor, pravovremene alarme u slučaju odstupanja i generisanje izveštaja o radu sistema.

- Osnovne funkcije softverskih sistema:
 - Automatsko prikupljanje podataka sa senzora i invertera.
 - Detekcija odstupanja i generisanje upozorenja.
 - Praćenje istorijskih podataka i analiza performansi.
 - Integracija sa meteorološkim podacima za predviđanje proizvodnje energije.
- Primeri softverskih rešenja:
 - SCADA sistemi za industrijski nadzor velikih solarnih elektrana.
 - Veb i mobilne aplikacije proizvođača invertera (SMA, Huawei, Fronius, SolarEdge).
 - Open-source platforme poput PVsyst-a za modeliranje i analizu podataka.

Prednosti daljinskog praćenja:

- Smanjuje potrebu za fizičkim inspekcijama i optimizuje troškove održavanja.
- Omogućava ranu detekciju problema i sprečava gubitke u proizvodnji.
- Pruža detaljan uvid u rad sistema i pomaže u donošenju odluka o unapređenjima.

Primena savremenih softverskih sistema dodatno olakšava nadzor i smanjuje troškove održavanja, čineći solarne fotonaponske sisteme održivim i pouzdanim izvorom energije.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Korišćenje online softvera za predikciju proizvodnje fotonaponskih sistema od 10 kW

Zadatak

Učenici će koristiti online softver za predikciju proizvodnje električne energije kako bi analizirali očekivanu godišnju i mesečnu proizvodnju solarnog fotonaponskog sistema snage 10 kW na određenoj lokaciji. Takođe, simuliraće uticaj različitih faktora (nagib, orijentacija, lokacija) na proizvodnju energije i optimizovati sistem.

Materijal i alat

- Računari ili tableti sa internet pristupom.
- Online softveri za predikciju (npr. PVGIS, PVsyst, SAM, HOMER Energy).
- Specifikacije solarnog fotonaponskog sistema od 10 kW:
 - 25 panela snage 400 W svaki,
 - Inverter snage 10 kW,
 - Standardna fiksna konstrukcija.
- Mapa solarnog zračenja za izabrane regije.

Postupak

1. Unos lokacije – Učenici unose geografske koordinate (grad/država) u softver.
2. Definisanje parametara solarnog fotonaponskog sistema:
 - Ukupna snaga: 10 kW.
 - Nagib panela: 30° (standardna optimizacija za srednje geografske širine).
 - Orijentacija: Južno (180°).
 - Koeficijent gubitaka: 15% (kablovi, prljavština, temperatura).
3. Pokretanje simulacije – Softver izračunava očekivanu mesečnu i godišnju proizvodnju energije.
4. Analiza rezultata:
 - Uporediti proizvodnju u različitim mesecima.
 - Proceniti kako godišnje doba utiče na proizvodnju.
 - Porediti rezultate za različite lokacije (npr. priobalna regija nasuprot planinskoj regiji).



PRAKTIČNA VEŽBA

5. Optimizacija sistema:

- Simulirati promenu nagiba panela (15° , 45°) i analizirati uticaj.
- Promeniti orijentaciju (jugoistok, jugozapad) i uporediti rezultate.
- Analizirati kako senčenje ili prljavština smanjuju proizvodnju.

Evaluacija i diskusija:

- Koja konfiguracija daje najbolju proizvodnju?
- Kako geografski položaj i klima utiču na efikasnost solarnog fotonaponskog sistema?
- Kako softver pomaže u realnom planiranju solarnih elektrana?

Završna provera

- Učenici upoređuju dobijene rezultate sa teoretskim očekivanjima.
- Diskutuju kako različiti faktori mogu uticati na performanse solarnog fotonaponskog sistema.
- Izvode zaključke o optimalnim parametrima za određenu lokaciju.

7.3. Preventivno održavanje i dijagnostika

Preventivno održavanje solarnih fotonaponskih sistema ključno je za očuvanje njihove efikasnosti, produženje veka trajanja sistema i sprečavanje neplaniranih kvarova. Redovna inspekcija i dijagnostika omogućavaju rano otkrivanje problema i optimizaciju rada svih komponenti. Ovaj proces obuhvata vizuelni pregled sistema, čišćenje solarnih panela i drugih komponenti, kao i ispitivanje ključnih električnih spojeva i zaštitnih uređaja.

Vizuelni pregled elemenata solarnog fotonaponskog sistema

Vizuelna inspekcija je prvi i osnovni korak u preventivnom održavanju. Njome se proverava stanje svih ključnih komponenti sistema, a posebna pažnja posvećuje se sledećim elementima:

- **Noseća konstrukcija** – Proverava se stabilnost i integritet konstrukcije, prisustvo korozije, oštećenja ili labavih spojeva. Ukoliko se primeće labavi vijci ili deformacije, vrši se dodatno učvršćivanje i podešavanje.
- **Fotonaponski paneli** – Pregledava se fizičko stanje panela, uključujući pojavu pukotina, ogrebotina, delaminacije ili zamućenja zaštitnog sloja. Takođe se proverava prisustvo prljavštine, lišća, ptica i insekata koje mogu smanjiti efikasnost.
- **Kablovi i konektori** – Pregledava se izolacija kablova, stanje MC4 konektora i zaštitnih cevi. Oštećeni kablovi ili labavi spojevi mogu dovesti do gubitaka energije i predstavljaju sigurnosni rizik.
- **Regulator punjenja i baterijski sistem** – Proverava se da li su baterije pravilno povezane i da li postoje znakovi curenja elektrolita, korozije ili pregrevavanja. Takođe se proveravaju indikatorske lampice i funkcionalnost zaštitnih sklopova.
- **Inverter** – Pregledava se fizičko stanje invertera, prisustvo neobičnih zvukova, pregrevavanje, kao i ispravnost ventilacionih otvora.
- **Električne instalacije** – Pregledavaju se svi spojevi, osigurači i prekidači kako bi se osiguralo da nema znakova pregrevavanja, oksidacije ili labavih spojeva.
- **Instalacija uzemljenja** – Proverava se da li su uzemljivači i uzemljivački vodovi u dobrom stanju, te da nema oštećenja na spojevima.
- **Gromobranska instalacija** – Pregledava se ispravnost gromobrana, spojnih vodova i stezaljki kako bi se osiguralo da sistem pruža adekvatnu zaštitu od udara groma.

Pranje i čišćenje solarnih panela i drugih komponenti

Prljavština i naslage prašine mogu značajno smanjiti proizvodnju električne energije fotonaponskih panela. Redovno čišćenje panela i ostalih delova sistema osigurava optimalne performanse.

Čišćenje solarnih panela:

- Koristi se čista voda ili posebna sredstva za čišćenje panela koja ne sadrže abrazivne sastojke.
- Mekane četke i suđeri koriste se za uklanjanje tvrdokorne prljavštine, dok se visokopritisni uređaji izbegavaju kako bi se sprečila oštećenja površine.
- Čišćenje se vrši ujutro ili uveče kada su paneli hladni, kako bi se izbeglo termalno šokiranje i pucanje staklenih površina.



VIDEO

Postupak čišćenja fotonaponskih

panela: <https://www.instagram.com/smarthome.co.me/reel/C4fjybxlrch/>. Postupak

čišćenja fotonaponskih panela: https://www.youtube.com/watch?v=Q6_bFdkuhOk

Čišćenje ostalih komponenti:

- **Noseća konstrukcija** – Uklanja se prašina, lišće i ostaci insekata koji mogu narušiti stabilnost ili uzrokovati koroziju.
- **Konektori i spojevi** – Proverava se čistoća konektora i spojeva kako bi se sprečila oksidacija i osigurao dobar kontakt.
- **Kablovi** – Proverava se da li su kablovi prekriveni prašinom, blatom ili insektima koji mogu ugroziti izolaciju.
- **Ventilacioni otvori invertera** – Čiste se kako bi se sprečilo pregrevanje i osigurao nesmetan rad.
- **Kućište baterijskog sistema** – Uklanja se prašina i nečistoće kako bi se sprečilo pregrevanje i produžio vek trajanja baterija.
- **Kontakti uzemljenja i gromobranski vodovi** – Proverava se da li su spojevi čisti i u dobrom kontaktu kako bi osigurali funkcionalnost.

Ostali preventivni radovi na komponentama solarnih fotonaponskih sistema

Osim vizuelne inspekcije i čišćenja, preventivno održavanje uključuje niz intervencija koje pomažu u očuvanju stabilnosti i efikasnosti sistema.

- **Podešavanje pozicija solarnih panela** – Ako sistem koristi mehaničke nosače sa promenljivim uglom nagiba, periodično podešavanje optimizuje proizvodnju energije tokom godine.
- **Zamena rashodovanih ili istrošenih delova** – Ukoliko se otkriju istrošene stezaljke, korodirani vijci ili dotrajali konektori, neophodno je izvršiti njihovu zamenu.
- **Kalibracija senzora i mernih uređaja** – Senzori koji mere intenzitet Sunčevog zračenja, temperaturu panela ili električne parametre moraju biti precizno podešeni kako bi pružali tačne podatke.
- **Kontrola stabilnosti i zatezanje spojeva noseće konstrukcije** – Vremenom, zbog vremenskih uslova i vibracija, spojevi konstrukcije mogu popustiti, pa je neophodno periodično proveriti i učvrstiti spojeve.
- **Zamena oštećenih konektora i kablova** – Bilo kakva mehanička oštećenja kablova ili konektora mogu dovesti do prekida rada sistema ili električnih problema.
- **Merenje otpora uzemljenja** – Korišćenjem mernih instrumenata proverava se efikasnost uzemljenja i po potrebi se vrše korekcije.
- **Testiranje funkcionalnosti zaštitnih prekidača i osigurača** – Ispravnost zaštitnih uređaja ključna je za sprečavanje kvarova i sigurnost sistema.
- **Testiranje uzemljenja i zaštitnih uređaja** – Testiranje uzemljenja obuhvata merenje otpora uzemljenja pomoću specijalizovane merne opreme. Ovo osigurava efikasnu zaštitu od električnih udara i prenapona.
- **Provera elektroinstalacija i priključnih tačaka** – Pored pregleda vidljivih elemenata sistema, neophodno je redovno proveravati ispravnost elektroinstalacija. Ova provera uključuje proveru priključnih tačaka na solarne panele, razvodne ormare i invertore.

Jedan od ključnih koraka u preventivnom održavanju je ispitivanje sistema pod opterećenjem. To uključuje simulaciju različitih nivoa potrošnje električne energije kako bi se proverila stabilnost napona i reakcija sistema na povećane zahteve. Ovi testovi pomažu u identifikaciji potencijalnih slabih tačaka u sistemu.

Analiza podataka o radu sistema omogućava predviđanje potencijalnih kvarova i problema pre nego što se oni zaista dogode. Softverski alati omogućavaju praćenje performansi sistema, poređenje sa istorijskim podacima i detekciju neobičnih oscilacija u proizvodnji energije. Ovi podaci su ključni za dugoročnu optimizaciju rada solarnih fotonaponskih elektrana.

Redovni vizuelni pregledi, čišćenje i zamena oštećenih elemenata smanjuju mogućnost kvarova i optimizuju rad solarnog fotonaponskog sistema. Korišćenjem modernih alata za dijagnostiku i kontrolu sistema, moguće je preduprediti potencijalne probleme i produžiti vek trajanja ključnih komponenti.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Vizuelna inspekcija i čišćenje solarnih panela i komponenata sistema

Izvrši vizuelnu inspekciju i čišćenje solarnih panela, kablova, konektora i drugih komponenti solarnog fotonaponskog sistema. Kroz ovaj zadatak naučićeš kako prepoznati potencijalne probleme, oceniti stanje sistema i pravilno očistiti panele i druge elemente kako bi se osigurala njihova dugotrajnost i optimalna efikasnost.

Materijal i alat:

- Zaštitne rukavice i naočare;
- Mekana četka ili sunđer;
- Destilovana voda i blagi deterdžent;
- Krpe od mikrofibera;
- Prskalica za vodu ili sistem za ispiranje;
- Inspeksijsko ogledalo;
- Infracrvena kamera (opciono);
- Ručni multimetar za osnovnu proveru spojeva

Postupak:

1. Izvrši vizuelni pregled solarnih panela
 - Pregledaj površinu panela na pukotine, ogrebotine i znakove oštećenja.
 - Proveri da li ima naslaga prljavštine, lišća, ptičjeg izmeta ili drugih nečistoća.
2. Pregledaj mehaničke i električne spojeve
 - Proveri pričvršne elemente nosača panela i osigurače na spojevima.
 - Pregledaj kablove i konektore na znakove pregrevanja, oksidacije ili labavih spojeva.
3. Očisti solarne panele i nosače
 - Koristi meku četku i blagi deterdžent sa destilovanom vodom kako bi uklonio nečistoće.
 - Paneli se peru kružnim pokretima, bez prejakog pritiska, kako bi se sprečilo oštećenje površine.
 - Nakon čišćenja, isperi ih vodom i ostavi da se prirodno osuše.
4. Očisti konektore, kablove i električne komponente
 - Obriši prašinu sa kablova i konektora suvom krpom.
 - Proveri konektore na znakove korozije i, ako je potrebno, očisti ih specijalnim sredstvom za kontaktne spojeve.



PRAKTIČNA VEŽBA

5. Testiraj sistem nakon čišćenja

- Ponovo izvrši vizuelni pregled kako bi proverio da su svi spojevi na mestu.
- Koristi multimetar da izmeriš napon i struju sistema pre i posle čišćenja i uporedi rezultate.

Završna provera:

- Proveri da li su svi paneli čisti i da nema zaostalih nečistoća.
- Dokumentuj eventualne nepravilnosti i oštećenja kako bi se preduzele odgovarajuće mere.
- Uporedi radne parametre pre i posle čišćenja i evidentiraj eventualne promene u efikasnosti sistema.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Testiranje uzemljenja i zaštitnih uređaja

Izvrši proveru sistema uzemljenja i testiranje zaštitnih uređaja solarnog fotonaponskog sistema. Kroz ovaj zadatak naučićeš kako koristiti odgovarajuće instrumente za merenje otpora uzemljenja, proveru zaštitnih osigurača i prekidača te osiguranje ispravnog rada zaštitnih mehanizama sistema.

Materijal i alat:

- Merač otpora uzemljenja;
- Multimetar;
- Izolovane klešta i šrafciğer;
- Stezaljke i spojni elementi;
- Zaštitna oprema (rukavice, naočare).

Postupak:

1. Pregledaj sistem uzemljenja
 - Vizuelno proveriti uzemljivače i povezane kablove.
 - Proveriti stezaljke i spojeve kako bi se osiguralo da su čvrsto pričvršćeni.
2. Izmeri otpor uzemljenja
 - Prikluči merač otpora uzemljenja na tačke sistema.
 - Uporedi izmerene vrednosti sa standardnim granicama (obično ispod 10 Ω).
 - Ako je otpor previsok, identifikuj uzrok i preduzmi korektivne mere (npr. dodatni uzemljivači ili zamena oštećenih spojeva).
3. Testiraj zaštitne prekidače i osigurače
 - Proveri da li zaštitni prekidači funkcionišu ispravno simulacijom kratkog spoja.
 - Proveri automatske osigurače i njihove reakcije na preopterećenje.
 - Evidentiraj sve neispravnosti i predloži rešenja.
4. Ponovno povezivanje i završna testiranja
 - Nakon svih provera, osiguraj da su svi spojevi čvrsto pričvršćeni.
 - Izvrši završno testiranje sistema i uporedi rezultate sa prethodnim merenjima.

Završna provera:

- Osiguraj da su svi delovi sistema uzemljenja u ispravnom stanju.
- Proveri da li su zaštitni prekidači i osigurači pravilno funkcionisali tokom testiranja.
- Dokumentuj rezultate i uporedi ih sa referentnim vrednostima kako bi se osigurala bezbednost sistema.

7.4. Intervencije i sanacija kvarova

Korektivno održavanje solarnih fotonaponskih sistema podrazumeva otkrivanje, dijagnostiku i sanaciju kvarova kako bi se osigurao kontinualan i siguran rad sistema. Pravovremena intervencija i zamena oštećenih komponenti ključni su faktori za minimiziranje zastoja u radu i očuvanje efikasnosti sistema. U ovom segmentu obuhvatićemo proces identifikacije kvarova, potrebne radnje za sanaciju, sigurnosne mere i postupke nakon popravke.

Utvrđivanje mesta i vrste kvara solarnih fotonaponskih sistema

Prvi korak u korektivnom održavanju jeste tačna identifikacija problema. Kvarovi se mogu manifestovati kroz pad performansi sistema, prekide u radu, neispravne signale zaštitnih uređaja ili anomalije u električnim parametrima.

Najčešći kvarovi uključuju:

- **Probleme sa fotonaponskim panelima** – lom stakala, delaminacija, hot-spot efekti.
- **Oštećenja kablova i konektora** – pregoreli ili istopljeni konektori, prekidi u vodovima.
- **Neispravnost invertera** – pregrevanje, greške u pretvaranju struje.
- **Probleme sa zaštitnim uređajima** – kvar osigurača, automatskih prekidača ili uzemljenja.
- **Nedostatak komunikacije sa sistemom za nadzor** – greške u softverskom praćenju parametara.

Utvrđivanje mesta i vrste kvara podrazumeva:

- **Praćenje alarmnih signala i radnih parametara** – mnogi moderni solarni sistemi imaju ugrađene softverske alarme koji signaliziraju neispravnosti u radu (pad napona, nestabilan rad invertera, ispadanje zaštitnih sklopova i sl.).
- **Vizuelna inspekcija** – proverava se fizičko stanje panela, kablova, konektora i ostalih komponentata, tražeći znakove oštećenja, korozije, pregrevanja ili neispravnih spojeva.
- **Termografsko ispitivanje** – korišćenje termalnih kamera za otkrivanje toplih tačaka na solarnim panelima i konektorima, što može ukazivati na loše spojeve ili oštećene ćelije.
- **Merenje električnih parametara** – korišćenjem multimetra i kleštastog ampermetra.
- **Provera se napon, struja i otpor u različitim tačkama sistema kako bi se otkrili eventualni problemi s priključnim tačkama ili neispravnim komponentama.**
- **Provera zaštitnih i sigurnosnih sklopova** – osigurači i prekidači se testiraju kako bi se utvrdilo da li su ispravno reagovali u slučaju kratkog spoja ili preopterećenja.

Dopremanje potrebnih delova, opreme, materijala i alata za izvođenje radova korektivnog održavanja

Nakon dijagnostike, potrebno je pripremiti odgovarajuće komponente i alat kako bi se kvar što brže otklonio. Priprema uključuje:

- **Identifikaciju potrebnih zamenskih delova** – npr. novi solarni paneli, kablovi, inverteri, osigurači.
- **Odabir odgovarajućeg alata** – izolovani alati za električne radove, klešta, odvijači, tester za napone.
- **Osiguravanje zaštitne opreme** – električarske rukavice, zaštitne naočare, sigurnosni pojasevi (za rad na visini).
- **Dopremanje materijala na lokaciju** – organizacija transporta kako bi se radovi izveli u što kraćem roku.

Primena sigurnosnih mera i zaštitnih sredstava i opreme za obavljanje radova korektivnog održavanja

Pre bilo kakve intervencije neophodno je obezbediti sigurno radno okruženje. Primena odgovarajućih sigurnosnih mera minimizira rizik od električnih udara, mehaničkih povreda i požara.

Osnovne sigurnosne mere uključuju:

- **Isključivanje sistema pre intervencije** – potpuno isključivanje AC i DC napona iz sistema.
- **Provera napona pre početka rada** – merenje napona na ključnim tačkama pomoću multimetra.
- **Korišćenje izolovanog alata** – svi alati moraju imati zaštitu od visokog napona.
- **Zaštita od strujnog udara** – korišćenje zaštitnih rukavica, suve obuće i stajanje na izolacionim podlogama.
- **Osiguravanje stabilnosti radne platforme** – kod radova na krovu obavezna je upotreba sigurnosnih pojaseva.
- **Zaštita od požara** – osiguravanje dostupnosti protivpožarne opreme (protivpožarni aparat CO2).

Specifične sigurnosne mere kod sanacije različitih kvarova:

- **Kod popravke invertera** – osigurati da je isključen iz mreže i proveriti kondenzatore.
- **Kod zamene panela** – koristiti ispravne metode za rukovanje staklenim površinama.
- **Kod zamene kablova** – osigurati ispravno povezivanje prema tehničkim standardima.

Proces demontaže elemenata u kvaru i montaže novog elementa

Nakon sprovođenja sigurnosnih mera, pristupa se fizičkom uklanjanju neispravne komponente i instalaciji nove. Proces varira u zavisnosti od tipa kvara i komponente koja se zamenjuje.

Postupak zamene oštećenih solarnih panela:

- Isključiti fotonaponski niz sa sistema i osigurati da nema protoka struje.
- Ukloniti pričvrzne elemente i pažljivo demontirati neispravan panel.
- Postaviti novi panel i pričvrstiti ga odgovarajućim vijcima.
- Povezati panel pomoću MC4 konektora i proveriti polaritet.
- Testirati napon panela pre vraćanja u sistem.

Postupak popravke kablovskih vodova i konektora:

- Identifikovati prekinuti ili oštećeni kabl pomoću testera kontinuiteta.
- Isključiti napajanje i izvršiti izolaciju dela kabla koji se popravljaju.
- Ukloniti oštećeni segment kabla i pripremiti nove krajeve pomoću klešta.
- Povezati novi kabl pomoću odgovarajućih konektora i izolovati spojeve.
- Testirati napon i kontinuitet pre ponovnog puštanja u rad.

Postupak zamene invertera:

- Isključiti inverter i proveriti da nema zaostalog napona.
- Otpustiti AC i DC priključke, a zatim pažljivo ukloniti uređaj sa nosača.
- Postaviti novi inverter i pričvrstiti ga na noseću konstrukciju.
- Povezati AC i DC kablove prema tehničkim specifikacijama.
- Pokrenuti testni rad i proveriti izlazne parametre.

Puštanje u rad zamenjenog ili popravljenog elementa nakon korektivnog održavanja

Nakon sanacije kvara i instalacije novih komponenti, sistem se postepeno vraća u rad uz niz kontrolnih testova.

Koraci puštanja u rad uključuju:

- **Proveru ispravnosti svih spojeva** – fizička inspekcija priključnih tačaka.
- **Merenje napona i struje** – osiguravanje da su električni parametri u dozvoljenim granicama.
- **Testiranje invertera** – provera pretvaranja DC u AC struju bez grešaka.
- **Provera zaštitnih uređaja** – osiguravanje da su svi osigurači i prekidači funkcionalni.
- **Praćenje sistema u prvih nekoliko sati rada** – očitavanje podataka pomoću softverskih alata.

Izrada protokola o izvršenim korektivnim radovima

Svaka intervencija na solarnoj fotonaponskoj elektrani mora biti evidentirana. Dokumentacija korektivnog održavanja služi kao osnov za buduće analize i unapređenje sistema. Dokumentovanje intervencija obuhvata:

- **Evidentiranje izvršenih popravki** – unos podataka o zamenjenim delovima, utvrđenim problemima i primenjenim metodama sanacije.
- **Analiza uzroka kvara** – sagledavanje faktora koji su doveli do problema kako bi se preduzele mere za prevenciju u budućnosti (npr. loš kvalitet komponenti, nepovoljni vremenski uslovi, preopterećenje sistema i sl.).
- **Predlaganje preventivnih mera** – ukoliko se otkrije da je kvar posledica lošeg održavanja ili pogrešne instalacije, neophodno je predložiti izmene i korektivne mere kako bi se sprečilo ponovno javljanje istog problema.

Elektronski zapisi o intervencijama mogu se koristiti za praćenje dugoročnih performansi sistema i optimizaciju održavanja.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Dijagnostika i sanacija kvarova u solarnim fotonaponskim sistemima

Identifikuj i saniraj kvarove u solarnom fotonaponskom sistemu koristeći dostupne dijagnostičke alate. Kroz ovu vežbu steći ćeš vještine vizuelnog pregleda, merenja ključnih parametara i zamene oštećenih komponenti.

Materijal i alat:

- Multimetar i kleštasti ampermetar;
- Termografska kamera;
- Tester kontinuiteta;
- Set izolovanog alata (odvijači, klešta, ključ za MC4 konektore);
- Zamenski i (osigurači, kablovi, konektori);
- Zaštitna oprema (rukavice, naočare, sigurnosni pojas).

Postupak:

1. Vizuelni pregled sistema
 - Pregledaj fotonaponske panele i uoč eventuelna fizička oštećenja (naprsline, delaminacija).
 - Proveri stanje kablova i konektora – uoč znakove pregrevavanja, istopljenih spojeva ili korozije.
 - Pregledaj inverter, baterijski sistem i zaštitne uređaje na prisustvo grešaka ili neispravnih indikatora.
2. Merenje električnih parametara
 - Upotrebi multimetar za merenje napona na izlazu solarnih panela.
 - Koristi kleštasti ampermetar za merenje struje u sistemu i proveri da li je u očekivanim granicama.
 - Termografski pregledom identifikuj eventuelne "hot spot" tačke na panelima ili loše kontakte.
3. Sanacija kvara
 - Ako je otkriven neispravan kabl ili konektor, isključi napajanje i zameni oštećeni deo.
 - U slučaju neispravnog osigurača, zamijeni ga odgovarajućim prema specifikaciji sistema.
 - Proveri sve priključne tačke i učvrsti labave spojeve.
4. Testiranje nakon popravke
 - Ponovo izvrši merenja i proveri da li sistem radi u normalnim parametrima.
 - Prati rad sistema nekoliko minuta kako bi se uverio da nema novih nepravilnosti.

Završna provera:

- Uporedi izmerene vrednosti pre i nakon sanacije.
- Proveri da li je kvar u potpunosti otklonjen i evidentiraj intervenciju.
- Izradi kratki izveštaj o obavljenoj dijagnostici i sanaciji.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Zamena neispravnog fotonaponskog panela

Izvrši demontažu i zamenu neispravnog solarnog panela u sistemu, uz pravilno povezivanje i testiranje funkcionalnosti.

Materijal i alat:

- Novi solarni panel odgovarajućih specifikacija,
- Ključ za MC4 konektore,
- Set izolovanog alata (odvijači, klešta),
- Multimetar za proveru napona,
- Zaštitna oprema (rukavice, naočare, sigurnosni pojas).

Postupak:

1. Priprema za zamenu
 - Isključi sistem i osiguraj da nema napona u krugu koji ćeš servisirati.
 - Proveri tehničku dokumentaciju kako bi utvrdio specifikacije zamenskog panela.
2. Demontaža neispravnog panela
 - Isključi panel iz serijske/paralelne veze pomoću MC4 konektora.
 - Pažljivo ukloni pričvršne elemente nosača i oslobodi panel.
 - Pregledaj kontakte i proveri da li su ispravni za ponovnu upotrebu.
3. Montaža novog panela
 - Postavi novi panel na nosač i osiguraj ga odgovarajućim vijcima.
 - Poveži ga sa ostalim panelima koristeći MC4 konektore, vodeći računa o polaritetu.
 - Proveri sve spojeve kako bi osigurao siguran i stabilan kontakt.
4. Testiranje sistema
 - Multimetrom izmeri izlazni napon i uporedi ga sa očekivanim vrednostima.
 - Uključi sistem i prati rad nekoliko minuta kako bi osigurao stabilnost.

Završna provera:

- Proveri fizičku stabilnost montiranog panela i osiguraj da je pravilno pričvršćen.
- Testiraj da li sistem funkcioniše u skladu sa predviđenim parametrima.
- Dokumentuj izvršenu intervenciju sa podacima o zamenjenoj komponenti i rezultatu testa.

7.5. Sezonske i dugoročne pripreme sistema

Sezonske i dugoročne pripreme solarnih fotonaponskih elektrana ključne su za održavanje efikasnosti i pouzdanosti sistema. Redovne provjere i optimizacija komponenti omogućavaju stabilan rad, smanjuju kvarove i produžavaju vek trajanja sistema.

- Priprema za sezonske promene

Solarne elektrane izložene su različitim vremenskim uslovima, što zahteva prilagođavanje sistema:

- **Zimski uslovi** – Provera stabilnosti konstrukcije, osiguranje adekvatnog nagiba panela za uklanjanje snega i kontrola kapaciteta baterija.
- **Letni uslovi** – Osiguravanje ventilacije invertera i redovno čišćenje panela od prašine i polena.
- **Olujni periodi** – Provera ispravnosti gromobranske zaštite i osiguranje pričvršćivača na konstrukciji.

Revizija i optimizacija sistema

- **Pregled panela i nosača** – Identifikacija oštećenja i pojava poput hot-spot efekata.
- **Provera elektroinstalacija** – Pregled kablova, konektora, uzemljenja i zaštitnih uređaja.
- **Kalibracija senzora i mernih uređaja** – Osiguravanje tačnosti podataka za pravovremenu dijagnostiku.
- **Testiranje zaštitnih sistema** – Simulacija opterećenja za proveru ispravnosti osigurača i prekidača.

Dugoročno održavanje i modernizacija

- **Zamena kritičnih komponenti** – Pravovremena zamena baterija, invertera i osigurača kako bi se izbegli kvarovi.
- **Modernizacija sistema** – Postepena zamena starijih komponenti efikasnijim tehnologijama.
- **Optimizacija softverskih rešenja** – Ažuriranje sistema za daljinsko praćenje i automatsku dijagnostiku kvarova.

Pravilno vođenje tehničke dokumentacije omogućava praćenje performansi i planiranje budućih intervencija. Kroz redovne inspekcije, testiranja, optimizaciju i modernizaciju, osigurava se stabilan rad sistema u svim vremenskim uslovima. Pravilno planiranje i praćenje performansi omogućava pravovremenu sanaciju problema, čime se smanjuju troškovi održavanja i povećava ukupna efikasnost solarne elektrane. Na osnovu evidentiranih podataka, stručnjaci za održavanje predlažu poboljšanja u radu sistema, optimizaciju potrošnje i mogućnosti unapređenja sistema kroz nove tehnologije i poboljšane metode održavanja.



KVIZ

Kviz 11: Pogon i održavanje solarnih fotonaponskih elektrana:

<https://forms.office.com/e/Y4DvWyr6Gg>.

7.6. Finansijski aspekt solarnog fotonaponskog sistema

Investicija u fotonaponski sistem donosi dugoročne finansijske koristi, ali zahteva pažljivu analizu troškova i povrata ulaganja. Razmatranje operativnih troškova, perioda povrata investicije i potencijalnih prihoda ključno je za donošenje ispravne odluke o ulaganju.

Operativni troškovi

Operativni troškovi solarnih fotonaponskih sistema uključuju:

- **Troškove održavanja i popravke** – Redovno čišćenje panela, zamena invertera nakon 10-15 godina, kontrola kablova i konektora.
- **Troškove praćenja i upravljanja sistemom** – Softverski alati za nadzor sistema, daljinsko praćenje performansi, periodična inspekcija.
- **Osiguranje i troškovi licenciranja** – Osiguranje od oštećenja i prirodnih nepogoda, dozvole za priključenje na mrežu.

Povrat ulaganja (ROI) i period povrata investicije

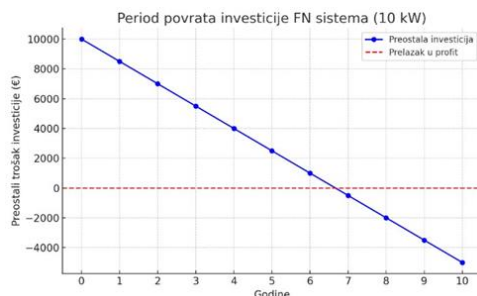
Primer detaljnog proračun troškova kućnog solarnog fotonaponskog sistema instalacije 10 kW (cene mogu varirati u zavisnosti od kompanije koja izvodi radove)

Početna investicija:

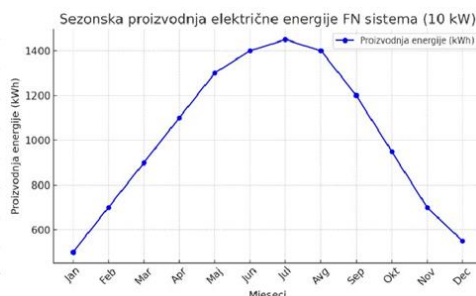
- Solarni paneli (25 panela x 400 W) – 4.500 €;
- Inverter (10 kW, hibridni) – 2.000 €;
- Montaža i konstrukcija – 1.500 €;
- Električna instalacija (kablovi, konektori, osigurači, uzemljenje) – 1.000 €;
- Projektna dokumentacija i dozvole – 500 €;
- Ukupni trošak investicije: 10.000 €.

Godišnje uštede i prihodi:

- Godišnja proizvodnja energije: ~11.000 kWh,
- Godišnja ušteda na računima za struju: 1.500 - 2.000 €,
- Prodaja viška energije mreži (ako je omogućena): 200 - 500 €/godišnje.



Period povrata investicije solarnog fotonaponskog sistema



Grafikon sezonske proizvodnje energije iz fotonaponskog sistema

Half-Cut ćelije pružaju bolju efikasnost i veću otpornost na senčenje, što ih čini isplativijim za instalacije u urbanim područjima ili na lokacijama sa mogućim delimičnim senčenjem. Međutim, njihova početna cena je nešto viša, pa je ekonomski izbor zavistan od budžeta investitora i lokacije sistema.

Nakon perioda povrata, solarni fotonaponski sistem nastavlja generisati uštede i prihod, dok operativni troškovi ostaju niski (prosečno 100 - 200 € godišnje za održavanje i osiguranje).

- Povrat ulaganja (ROI) se računa kao odnos ostvarenih prihoda i ušteda u odnosu na početne investicione troškove.
- Proračun perioda povrata investicije uključuje analizu troškova instalacije, očekivanih godišnjih ušteda i dodatnih prihoda.
- Tipični period povrata se kreće između 5 i 10 godina, zavisno od subvencija, cene električne energije i lokacije elektrane.

Finansijske koristi

- **Uštede na računima za struju** – solarni fotonaponski sistemi značajno smanjuju troškove električne energije, posebno kod potrošača sa velikom dnevnom potrošnjom.
- **Dobit od prodaje viška energije mreži** – U zavisnosti od sistema obračuna (net metering, feed-in tarifa), višak proizvedene energije može se prodavati distributeru.

Novčani tok i analiza životnog ciklusa solarnog fotonaponskog sistema

- Analiza životnog toka novca uključuje predviđanje prihoda i rashoda tokom 25-30 godina rada sistema.
- Godišnja prognoza prihoda i rashoda uključuje operativne troškove, amortizaciju i očekivane prihode.

Finansijska isplativost solarnog fotonaponskog sistema zavisi od operativnih troškova, povrata ulaganja i mogućnosti uštede. Dugoročna analiza novčanog toka pokazuje da solarni fotonaponski sistemi omogućavaju stabilne prihode i značajne uštede tokom svog životnog veka.

8. ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Instalacija i održavanje solarnih fotonaponskih sistema predstavljaju ključni segment u razvoju održivih energetske sistema i tranzicije ka obnovljivim izvorima energije. Ovaj priručnik pruža neophodna teorijska i praktična znanja koja su od suštinskog značaja za sigurno i efikasno izvođenje radova u solarnim fotonaponskim sistemima.

Kroz detaljno razrađene tematske celine, korisnici su upoznati sa osnovnim principima rada solarnih fotonaponskih sistema, komponentama sistema, izvođenjem električnih instalacija, zaštitnim merama, kao i procesima puštanja u rad, nadzora i održavanja. Poseban naglasak stavljen je na praktične vežbe koje omogućavaju polaznicima da stečena teorijska znanja primene u stvarnim uslovima rada.

Pouzdanost i dugovečnost solarnih fotonaponskih sistema direktno zavise od kvaliteta instalacije, pravilnog održavanja i pravovremenog reagovanja na eventualne kvarove. Zato su u priručniku obrađene ključne metode preventivnog i korektivnog održavanja, uz smernice za otkrivanje i sanaciju kvarova. Takođe, posebno je naglašena važnost zaštite na radu, ispravnog rukovanja opremom i primene standarda sigurnosti u svakodnevnom radu.

Globalni trend rasta solarne energije i sve veća potreba za kvalifikovanom radnom snagom u ovom sektoru pružaju odlične prilike za profesionalni razvoj i zapošljavanje. Sve veći broj zemalja investira u solarne elektrane, kako za decentralizovanu proizvodnju energije, tako i za velike mrežne sisteme, što otvara mogućnosti za rad u dinamičnom i perspektivnom sektoru obnovljivih izvora energije.

Kvalitetna edukacija i kontinuirano stručno usavršavanje neophodni su za unapređenje solarne industrije i poboljšanje energetske efikasnosti sistema. Stoga, preporučuje se dalja nadogradnja znanja kroz specijalizovane kurseve, praćenje inovacija u oblasti fotonaponskih tehnologija i usvajanje novih tehnoloških rešenja koja mogu optimizovati rad solarnih fotonaponskih sistema.

Ovaj priručnik ne samo da pruža osnovu za razumevanje i praktičnu primenu solarnih fotonaponskih sistema, već podstiče korisnike na dalja istraživanja, razvoj profesionalnih veština i aktivno učešće u razvoju održivih energetske sistema. Njegova primena će doprineti sigurnijem, efikasnijem i ekološki prihvatljivijem korišćenju solarne energije, čime se osigurava energetska stabilnost i zaštita životne sredine.

Nadamo se da će ovaj materijal poslužiti kao temelj za uspešnu primenu stečenih znanja i veština te doprineti daljem razvoju obnovljivih izvora energije u budućnosti.

Literatura i korišćeni izvori

- Archer, M. D., & Green, M. A. (2003). Clean Electricity from Photovoltaics. Imperial College Press.
- Barac, K., Radić, L. (2006). Bezbednost i zdravlje pri radu na elektroenergetskim objektima sa osvrtom na evropske norme. EDB, Beograd.
- Čalasan, M., Čalasan B. (2013). Električne instalacije i osvetljenja. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Podgorica.
- IEC 61215:2016. Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval. International Electrotechnical Commission (IEC).
- IEC 61730:2016. Photovoltaic (PV) module safety qualification. International Electrotechnical Commission (IEC).
- IEEE 1547-2018. Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces. IEEE Standards Association.
- International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook Special Report on Renewables, Paris, France, 2021.
- Janković, S. (2019). Elektroenergetski sistemi i obnovljivi izvori. Univerzitet u Beogradu.
- Kalogirou, S. (2009). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Academic Press.
- Lekić, M. (2017). Obnovljivi izvori energije. Univerzitet Crne Gore.
- Lovins, A. B. (2011). Reinventing Fire: Bold Business Solutions for the New Energy Era. Chelsea Green Publishing.
- Markvart, T. (2000). Solar Electricity. John Wiley & Sons.
- Messenger, R. A., & Ventre, J. (2010). Photovoltaic Systems Engineering. CRC Press.
- Milovanović, Z. (2021). Tehnička regulativa u elektroenergetici. Građevinski fakultet, Beograd.
- Norton, B. (2006). Solar Energy Thermal Technology. Springer.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2019). Guidelines for Solar Energy Workers - Safety and Best Practices.
- Quaschnig, V. (2016). Understanding Renewable Energy Systems. Earthscan.
- Sauer, D. U. (2003). Solar Photovoltaic Basics. Springer.
- Stevanović, V. (2021). Solarne elektrane – projektovanje i implementacija. Akademski knjiga, Novi Sad.
- Škuletić, S., Sekulić, Z. (2019). Proizvodnja električne energije. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Podgorica.

Organizacije i standardizacijski izvori

- Međunarodna agencija za obnovljive izvore energije (IRENA) – www.irena.org
- International Electrotechnical Commission (IEC) – www.iec.ch
- IEEE Power & Energy Society – www.ieee-pes.org
- European Photovoltaic Industry Association (EPIA) – www.solarpowereurope.org
- National Renewable Energy Laboratory (NREL) – www.nrel.gov
- International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS) – www.iea-pvps.org
- <https://solarstore.hr/hibridni-fotonaponski-sustavi/>
- <https://ba.pv-mounting.com/ground-mounting-system/pile-ground-mounting-system/solar-panel-bracket-ground-mounting-pile.html>
- <https://srla.solar-panel-mounting.com/roof-mounting-system/fold-tri-bracket-solar-panel-mounting.html>
- <https://azimut.rs/optimalan-ugao-za-postavljanje-solarnih-panela/>
- World Bank - Renewable Energy Project Database – www.worldbank.org

Sajtovi sa kojih su preuzete slike

- Wikimedia Commons – www.commonswikimedia.org
- Pexels – www.pexels.com
- Unsplash – www.unsplash.com
- Renewable Energy World – www.renewableenergyworld.com
- European Solar Energy Association – www.eurosolar.org
- Energy.gov – www.energy.gov
- <https://ba.pv-mounting.com/ground-mounting-system/pile-ground-mounting-system/solar-panel-bracket-ground-mounting-pile.html>
- <https://srla.solar-panel-mounting.com/roof-mounting-system/fold-tri-bracket-solar-panel-mounting.html>
- <https://www.leader-solar.com/>

Linkovi za korišćeni video materijal

- <https://www.youtube.com/watch?v=8sPp8G8a48E>
- <https://www.youtube.com/watch?v=nA9oC--tq50>
- https://www.youtube.com/watch?v=qSWm_nprfqE
- <https://www.youtube.com/watch?v=HqCVgRbPQcg>
- https://www.youtube.com/watch?v=fl6BMVw_B-Y
- <https://www.youtube.com/watch?v=vjqdJ8OSmRA>
- <https://www.youtube.com/watch?v=bNBQKIht6rg>
- <https://www.extrica.com/article/20178>
- <https://www.windsystemsmag.com/maintaining-a-maintenance-plan/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=nA9oC--tq50>
- <https://www.instagram.com/smarthome.co.me/reel/C4fjybxlrch/>
- <https://www.google.me/>
- [search?scaesv=96ee89d9f9e65c74&sxsrf=AHTn8zomu22UrhTFCKBuwKTOxQHgOaKcyQ:1740002101282&](https://www.youtube.com/watch?v=8sPp8G8a48E)
- <https://www.youtube.com/watch?v=X51ZnslbWNY>
- <https://www.youtube.com/watch?v=oeFeP0JU28w>
- https://www.youtube.com/watch?v=Q6_bFdkuhOk
- <https://solarstore.hr/hibridni-fotonaponski-sustavi/>

- <https://ba.pv-mounting.com/ground-mounting-system/pile-ground-mounting-system/solar-panel-bracket-ground-mounting-pile.html>
- <https://srla.solar-panel-mounting.com/roof-mounting-system/fold-tri-bracket-solar-panel-mounting.html>
- <https://ba.dsnsolar.com/info/ballasted-solar-mounting-structure-for-flat-ro-47056322.html>
- <https://azimut.rs/optimalan-ugao-za-postavljanje-solarnih-panela/>
- <https://www.solarpowereurope.org/login>



