

Providoli Stefan

Osnove fotonapona



**SOLARTEUR**[®]
www.solarteure.ch

Energieakademie Toggenburg / Technische Fachschule Bern / Polybau

Osnove fotonapona



Nosilac

Ovaj priručnik je urađen po nalogu partnerskih škola "Technische Fachschule Bern", "Energieakademie Toggenburg" kao i udruženja "Verein Polybau".

Osnova priručnika su već postojeći dokumenti udruženih saveza i organizacija vezanih za instalacije i građevinarstvo, kao i aktuelne tehničke regulative.

Autor: Providoli Stefan

QS: Energieakademie Toggenburg / Technische Fachschule Bern

Uz odobrenje sponzora

Prevod: Adnan Harbić, Tuzla, BiH

Tehnička obrada: Sejfudin Agić, Tuzla, BiH

Štamparija BiH: OFF-SET d.o.o. Tuzla, BiH

Finansijska podrška: REPIC (Švicarska), Swisslos Kanton Basel-Landschaft (Švicarska)

Priručnik je preveden na bosanski jezik u okviru projekta "Solarna energija za Tuzlu" koji realizira Centar za ekologiju i energiju u saradnji sa Ministarstvom obrazovanja i nauke Tuzlanskog kantona, Građevinsko-geodetskom školom iz Tuzle, Elektrotehničkom školom iz Tuzle i Švicarskim Caritas-om, REPIC-om, Swisslos Kantom Basel-Landschaft, Förderverein-om i Polybau školom.

Tuzla, septembar 2024.

Osnove fotonapona – OFN

Sadržaj:

1	Osnove solarne energije.....	5
1.1	Elektrana sunce.....	6
1.2	Solarna konstanta E_s	7
1.3	Spektar sunčevog zračenja	8
1.4	Vazдушna masa	9
1.5	Globalno zračenje	10
	Globalno zračenje u Bosni i Hercegovini	11
	Globalno zračenje širom svijeta.....	11
	Energija prema klasi ozračavanja	12
	Energija ozračavanja po mjesecima	12
1.6	Dijagram položaja sunca.....	13
1.7	Površine sa nagibom	14
1.8	Potencijal sunčevog ozračavanja širom svijeta.....	15
1.9	Potencijal sunčevog ozračavanja u svijetu	16
	Primjer izvoda iz solarnog katastra	17
1.10	Obračun potencijala iz solarnog katastra	18
2	Potrošnja energije.....	19
2.1	Svjetska energetska potrošnja.....	19
2.2	Potrošnja energije u Švicarskoj.....	20
2.3	Švicarska statistika o električnoj energiji.....	21
3	Tržišni potencijal u Švicarskoj	22
4	Iskoristivost sunčevog zračenja.....	23
4.1	Fotonaponski sistemi.....	24
	4.1.1 Off-grid samostalni ili ostrvski sistemi.....	25
	4.1.2 On-grid ili sistemi uvezani u mrežu.....	26
	4.1.3 Sistem sa rezervnim sistemom akumulacije električne energije	27
4.2	Fotonaponski efekat.....	28
	4.2.1 Princip funkcionisanja solarne ćelije	28
	4.2.2 Periodni sistem elemenata	31
	4.2.3 Struktura kristalne silicijske solarne ćelije	32
	4.2.4 Podjela solarnih ćelija	33
4.3	Proizvodnja solarnih ćelija.....	34
5	Komponente fotonaponskog sistema.....	46
5.1	Fotonaponski modul (solarni modul)	46
5.2	DC – istosmjerni fotonaponski kablovi	58
5.3	Priključci za istosmjernu struju	60
5.4	Razvodna kutija generatora (GAK)	61
5.5	Inverter/i	62
5.5.1	Koncepti invertera	62

Osnove fotonapona – OFN

5.5.2	Vrste invertera	63
5.5.3	Tipovi invertera	64
	Gubitak toplote	78
	Dimenzioniranje	78
5.6	DC prekidač	80
	Opasnost prilikom odvajanja DC priključka!	80
5.7	AC instalacija	81
5.7.1	Kablovi za izmjeničnu struju – AC kablovi	81
5.7.2	Prekidač za izmjeničnu struju – AC prekidač	83
5.7.3	Kablovski kanali	83
5.7.4	Zaštitne cijevi	84
5.7.5	Razvođenje elektro instalacija	84
5.7.6	Blok šema rada HV/UV-PVA (visoki/niski FN)	87
5.8	Senzori	88
5.8.1.	Piranometar	88
5.8.2.	Referentna ćelija	88
5.8.3	Meteo stanica	88
5.8.4	Noćni prekidač	88
5.8.5	Univerzalni mjerni uređaji (UMG)	89
5.9	Montažni sistemi	89
5.9.1	Sistemi na kosom krovu	90
5.9.2	Sistemi integrisani u krov	93
5.9.3	Sistemi na ravnom krovu	95
5.9.4	Fasadni sistemi	99
5.9.5	Sistemi na otvorenom prostoru	101
6	Fotonaponski generator	104
6.1	Serijsko spajanje fotonaponskih modula	104
6.2	Paralelno spajanje fotonaponskih modula	104
6.3	Kombinovano spajanje fotonaponskih modula	105
6.4	Dimenzioniranje odgovarajućeg invertera	105
6.4.1	Osnovne informacije o dimenzioniranju	105
6.4.2	Manuelna instalacija u hitnom slučaju	106
6.4.3	Četiri kriterija za izbor invertera	106
6.4.4	Proračun napona generatora	107
6.4.5	Proračun struje generatora	108
6.4.6	MPP prozor	108
6.5	Kriteriji za odabir osigurača za nizove	109
	Opterećenost povratnim strujama	110
	Dimenzioniranje osigurača niza	111
6.6	Dimenzioniranje električnih vodova	111

Osnove fotonapona – OFN

6.6.1	Polaganje električnih vodova	111
6.6.2	Poredak električnih vodova	112
6.6.3	Polaganje električnih vodova u krov	112
	Odabir i uređenje prema uticajima okoline	112
7	Uzemljenje, izjednačenje potencijala i gromobranska zaštita	113
7.1	Sistem uzemljenja	113
7.2	Izjednačenje potencijala	113
7.3	Sistem gromobranske zaštite	113
7.3.1	Varijante prema normi SN 411000: 2020 NIN.....	114
7.4	Prenaponska zaštita	116
7.4.1	Prenaponska zaštita izmjenične struje - AC	117
7.4.2	Prenaponska zaštita istosmjerne struje - DC.....	119
7.4.3	Kontaktna korozija.....	121
8	Električni priključak fotonaponskog sistema	123
8.1	Obaveza pribavljanja odobrenja za montažne radove.....	123
8.2	Instalacija izmjenične struje i napona - AC instalacija	124
8.3	Označavanje svih komponenti	124
8.4	Postupak prijave.....	126
	Zahtjev za tehnički priključak (TAG)	126
	Prijava instalacije (IA)	126
	Predložak ESTI (Švicarski inspektorat za jaku struju) plana.....	126
	Dijagram toka sistema za proizvodnju energije EEA	127
8.5	Kontrola sistema	128
	Prvo ispitivanje u toku gradnje / završna kontrola / kontrola po preuzimanju.....	128
8.5.2	Obavezna mjerenja.....	129
8.5.3	Periodična kontrola	131
8.5.4	Audit (revizija) / Certificiranje fotonaponskog sistema.....	132
8.5.5	Švicarski sistem o dokazu porijekla - Pronova.....	133
8.5.6	Jednokratna nadoknada (EIV)	134
8.5.7	Naknada za isporuku električne energije – EVS	135
8.5.8	Ponovna revizija – Re-Audit	135
8.6	Mjerni koncepti proizvodnog sistema	135
8.6.1	Mjerenje neto proizvedene energije.....	135
8.6.2	Mjerenje viška energije u sistemima do 30kVA.....	136
8.6.3	Mjerenje viška energije u sistemima većim od 30kVA.....	136
9	Nastavak za voditelje projekta solarne montaže	137

Osnove fotonapona – OFN

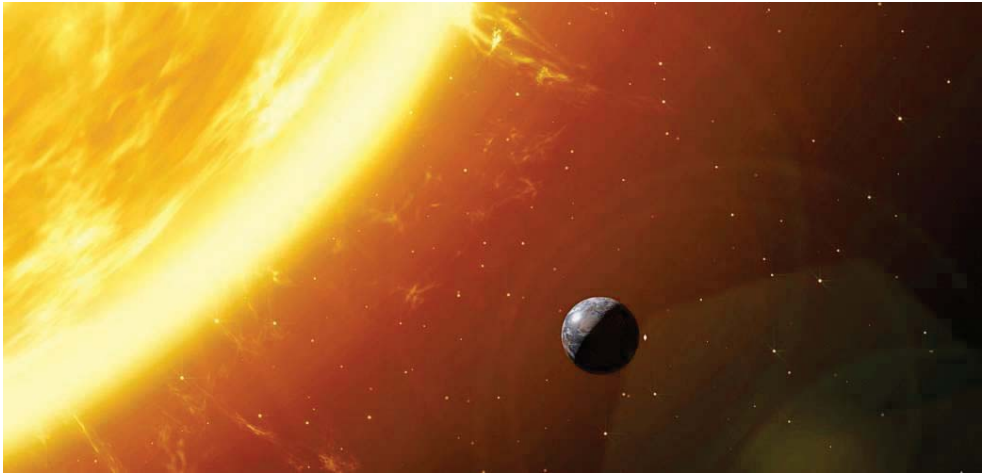
1 Osnove solarne energije

Užareno vruće, smrtonosno zračeći i gutajući sve što ulazi u njegovo područje privlačenja. Uprkos tome njegova svjetlost važi za izvor života na zemlji. Kako to ide zajedno?

Sunce je ogroman atomski reaktor u centru našeg sunčanog sistema. U procesu koji traje milijardama godina pretvara se vodonik u helij – pri nezamislivih 15 miliona stepeni Celzijusa unutar sunca. Pri tome se oslobađa gigantska količina energije. Ona struji kao zračenje sa površine u svemir, grije našu planetu i pokreće mnoge hemijske i fizikalne procese.

Bez sunčeve svjetlosti bi na zemlji izgledalo mračno – u pravom smislu te riječi. Ne bi bilo biljaka, životinja i ljudi kao ni bilo koji drugi oblik života. Također ne bismo imali fosilna goriva kao što su ugljik, nafta i prirodni plin, koje koristimo za proizvodnju energije.

Sunce održava proces cirkulacije vode: isparavanje → stvaranje oblaka → padavine. I oblikuje vrijeme na zemlji na način da različito zagrijava površinu zemlje. Vjetroelektrane i hidroelektrane, solarni sistemi. Bez sunca to ne bi bilo moguće.



Slika 1: Sunce, užarena zvijezda na nebu, izvor života na zemlji

Pozicija Zemlje u planetarnom sistemu je optimalna. Ona ima idealnu udaljenost od sunca. Mi smo dovoljno udaljeni da ne izgorimo dok na Zemlju dolazi tačno toliko toplote koliko ljudi, životinje i biljke trebaju za život.

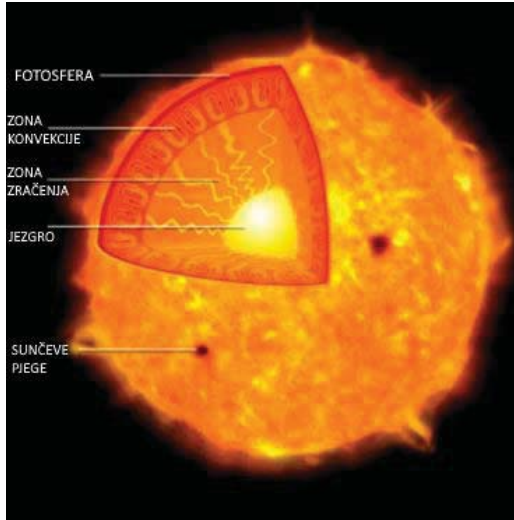
Bez sunca život više ne bi bio moguć na zemljinoj površini i to već nakon nekoliko sedmica.

Zadaci: Riješite nakon završetka poglavlja 1 zadatke od 1 do 7 u radnoj knjizi "Osnove fotonapona".



Osnove fotonapona – OFN

1.1 Elektrana sunce



Sunce je zvijezda koja je najbliža zemlji i čini središte našeg sunčevog sistema. Sunce je patuljasta zvijezda, ali i pored toga sadrži 99,86% mase sunčevog sistema i ima prečnik od 1,4 miliona kilometara.

Energija sunčevog zračenja nastaje iz fuzije vodonika u helij.

Efektivna temperatura sunca na površini iznosi 5.778 stepeni Kelvina ili 5.505°C.

Srednja udaljenost od Zemlje je 1AJ - astronomska jedinica, što odgovara oko 149,6 miliona kilometara.

Slika 2: Struktura sunca, www.raumfahrer.net

Osnove fotonapona – OFN

1.2 Solarna konstanta E_s

Sunce predstavlja gigantski fuzijski reaktor u čijoj unutrašnjosti se stapaju po četiri atomska jezgre vodonika u jedno atomsko jezgro helija. Kod ove atomske fuzije nastaju temperature od 15 miliona stepeni K (Kelvina). Oslobođena energija se ispušta u svemir u obliku zračenja.

Tabela 3: Poređenje: sunce - zemlja

Karakteristike	Sunce	Zemlja
Prečnik	1.392.520 km	12.756 km
Temperatura na površini	5.778 K	288 K
Temperatura u centru	15.000.000 K	6.700 K
Izlazna snaga zračenja	3,845 x 10 ²⁶ W	-
Međusobna udaljenost	149,6 miliona km	

Sunce zrači kontinuirano sa snagom zračenja od 3,845x10²⁶ W u svim pravcima. Na zemlji primamo samo minimalni dio ovog izlaznog zračenja.



Slika 4: Konstanta zračenja, K. Mertens www.textbook-pv.org

Kako bi izračunali konstantu zračenja, zamislimo "kuglu sa ovojnicom" oko sunca koja pokazuje radijus R_{SE} (R_{SE} odgovara razmaku između Zemlje i Sunca)."

Snaga koju sunce emitira u tom razmaku se dijeli na cijelu površinu kugle, na taj način se da obračunati sljedeća snaga gustoće odnosno jačina zračenja na zemlju:

$$E_s = \frac{\text{Snaga zračenja}}{\text{Površina kugle}} = \frac{P_{\text{Sunce}}}{4 \cdot \pi \cdot R_{SE}^2} = \frac{3,845 \cdot 10^{26} \text{ W}}{4 \cdot \pi \cdot (1,496 \cdot 10^{11})^2} = 1,367 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Rezultat E_s se označava kao solarna konstanta sa snagom od **1.367W/m²**. Ona važi za jačinu zračenja izvan zemljine atmosfere (na gornjoj granici atmosfere).

Zbog eliptične orbite zemlje oko sunca solarna konstanta E_s ipak varira. Udaljenost sunca od zemlje varira između 147,1 milion kilometara na datum 21.12. i 152,1 miliona km na datum 21.06.

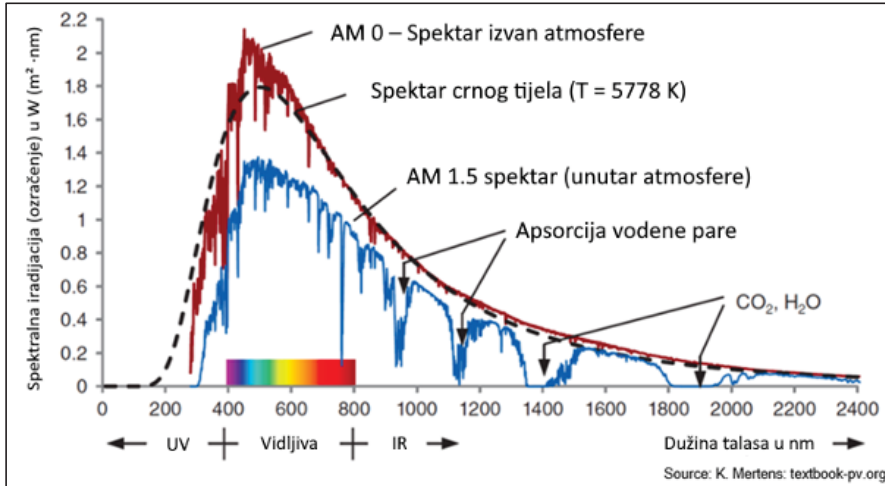


Napomena: Uvijek ćemo računati sa solarnom konstantom $E_s = 1.367\text{W/m}^2$.

Osnove fotonapona – OFN

1.3 Spektar sunčevog zračenja

Zračenje sunca se sastoji od širokog spektra različitih talasnih dužina.



Slika 5: Spektar sunčevog zračenja, K. Mertens www.textbook-pv.org

Svako vruće tijelo emitira zračenje u svoju okolinu, a spektar zračenja određuje temperaturu površine (Plankov zakon zračenja).

Na slici 4 prikazano je poređenje Sunca, sa temperaturom površine od 5.778K, u odnosu na idealizirani spektar crnog tijela, na slici prikazan isprekidanom crnom linijom.

Spektar zračenja izmjeren izvan atmosfere prati ovu približno idealnu liniju i definiše se kao AM 0. Oznaka AM 0 označava vazдушnu masu 0, što znači da to svjetlost nije prošlo kroz atmosferu.

Ukoliko se saberu svi pojedinačni iznosi, tj. jačine ovog spektra dobiva se jačina zračenja od 1.367W/m², dakle već poznata solarna konstanta.

Osnove fotonapona – OFN

1.4 Vazдушna masa

Za vrijeme prolaska sunčeve svjetlosti kroz atmosferu mijenja se spektar zračenja.

Za to postoje različiti razlozi:

1. Refleksija svjetlosti

U atmosferi dolazi do refleksije, te se na taj način reducira zračenje koje dolazi do zemlje.

2. Apsorcija svjetlosti

Kod određenih talasnih dužina se neke molekule (O_2 , O_3 , H_2O , CO_2 itd.) podstiču na apsorpciju (upijavanje) dijela njihovog zračenja.

3. Rayleigh-ovo raspršivanje

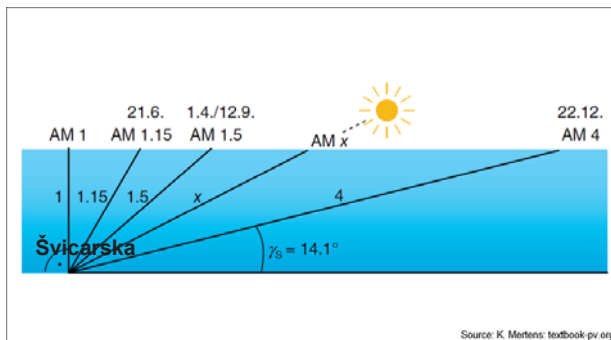
Ukoliko svjetlost pada na čestice koje su manje od talasne dužine padajuće svjetlosti, onda dolazi do tzv. Rayleigh-ovog raspršivanja. Ono je jako zavisno o talasnim dužinama, tako da se kraće talasne dužine posebno jako raspršavaju.

4. Raspršivanje aerosola i čestica prašine

Ovdje se radi o česticama koji su velike naspram talasne dužine svjetlosti. U tom slučaju se govori od Mie-raspršavanju. Snaga tog raspršavanja ovisi jako o lokaciji, a to znači da je najveća u gusto naseljenim područjima sa industrijom.



Zapamti: Što je duži put svjetlosti kroz atmosferu, utoliko je jača promjena spektra zračenja.



Na ovoj slici je prikazan princip uticaja vazdušne mase.

Vazдушna masa 1 (AM 1) znači, da će svjetlost pasti vertikalno na određenu tačku.

U Švicarskoj se to nikad neće desiti, jer Švicarska leži suviše daleko od ekvatora. Identičan zaključak vrijedi i za Bosnu i Hercegovinu.

Slika 6: Uticaj vazdušne mase, K. Mertens www.textbook-pv.org

Ipak, na dan ljetnog solsticija (početak ljeta, 21.06.) se može izračunati vazдушna masa od 1,15, a vazдушna masa od 4 se može izračunati na dan zimskog solsticija (početak zime 22.12.). Između toga u danima ekvinocija (21.03. i 23.09.) pokazuje se vazдушna masa od 1,5, što znači da je svjetlost prešla 1,5 puta veću udaljenost u odnosu na vertikalni prolazak kroz atmosferu.

Kao standardni spektar za mjerenja na solarnim panelima uzima se spektar AM 1.5, pošto on nastupa u proljeće i jesen, pa se u izvjesnoj mjeri može posmatrati kao prosječni godišnji spektar.

Osnove fotonapona – OFN

1.5 Globalno zračenje

Različiti efekti kao što su raspršivanje i apsorpcija utiču na slabljenje AM 0 spektra, koji dolazi iz svemira. Pri AM 1.5 stiže do površine zemlje samo 835W/m^2 kao tzv. direktno zračenje zato što nastaje raspršivanje svjetlosti zbog oblaka, planina, jezera, zgrada i u samoj atmosferi, a također i zbog difuznog zračenja.



Podjela zračenja:

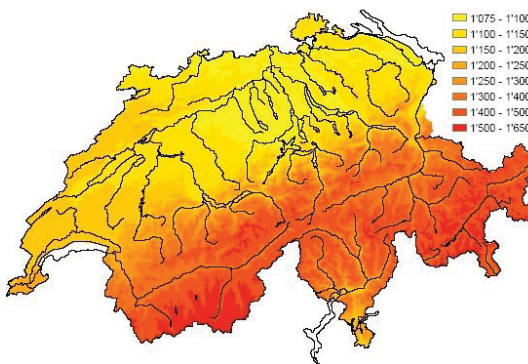
- Direktno zračenje (Bh),
- Direktno normalno zračenje (Bn ili DNI),
- Difuzno zračenje (Dh ili DHI),
- Globalno zračenje (Gh ili GHI).

Slika 7: Direktno i difuzno zračenje www.dqs.de

Kod direktnog zračenja (Bh) se radi o direktnom zračenju sunca na horizontalnoj ravnini. Nasuprot tome, direktno normalno zračenje (Bn ili DNI) je ono koje reflektira direktno zračenje od strane sunca na ravni koja stoji vertikalno u odnosu na sunce. Kod difuznog zračenja se radi o onom zračenju koje se ne kreće na direktnom putu od sunca do ravni zamlje.

Globalno zračenje obuhvata cjelokupno dolazeće zračenje na ravan zemlje, dakle radi se o jednoj mješavini direktnog i difuznog zračenja.

Snaga zračenja i njegova podjela na direktno i difuzno zračenje može varirati u zavisnosti od naoblačenja i doba dana. Kad je vrijeme lijepo dominira direktno zračenje, a kod jake oblačnosti i magle je prisutno pretežno difuzno zračenje. Prosječni udio difuznog zračenja u ukupnom zračenju iznosi za naše geografske širine između 50 do 60%. Prema odnosu direktno-ka-difuznom može se za svaku poziciju izvesti optimalni ugao nagiba.



U planinskim predjelima su zahvaljujući refleksiji moguće vrijednosti do 1.500W/m^2 , u nizinama se može računati sa 1.000W/m^2 , zavisno od regije do regije.

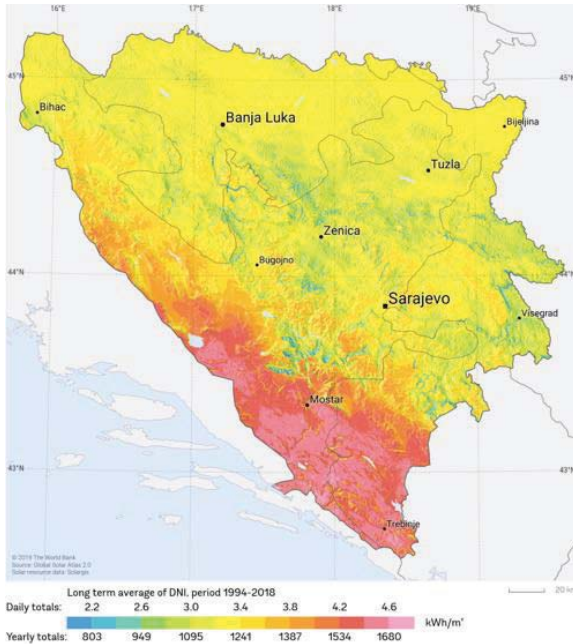
Pomoću tzv. "karti ozračenja" se mogu pregledno predstaviti regionalne razlike globalnog zračenja (Gh ili GHI). Takve karte postoje za svaki kontinent, svaku zemlju i svaku regiju na svijetu.

Posjetite: <https://everywhere.solar/>

Slika 8: Sunčevo zračenje Švicarska www.solar-hirsch.de

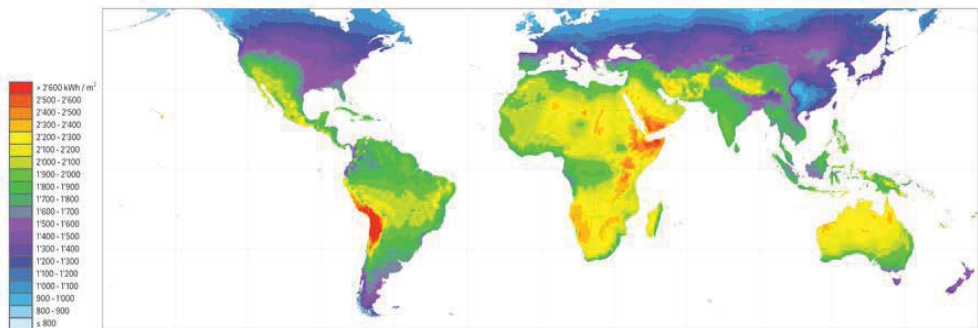
Osnove fotonapona – OFN

Globalno zračenje u Bosni i Hercegovini



Slika 9: Godišnje sunčevo zračenje Bosna i Hercegovina www.m-kvadrat.ba

Globalno zračenje širom svijeta



Slika 10: Godišnji zbir globalnog zračenja www.meteororm.ch

Na slici 9 je godišnje globalno zračenje (GHI) sa razlučivošću od 8km u periodu od 1996. do 2015. Regionalne razlike na zemlji se prostire preko područja od 800 - 2.600kWh/m² sa prosjekom od oko 1.500kWh/m².

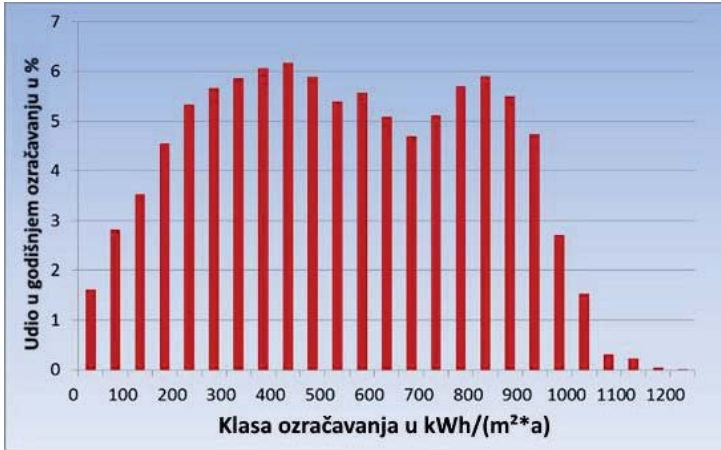


Zapamti: Postoje karte ozračenja koje predstavljaju snagu u W/m², a druge vizualiziraju energiju u kWh/m².

Osnove fotonapona – OFN

Energija prema klasi ozračavanja

Podjela energije ozračavanja po klasi ozračenja

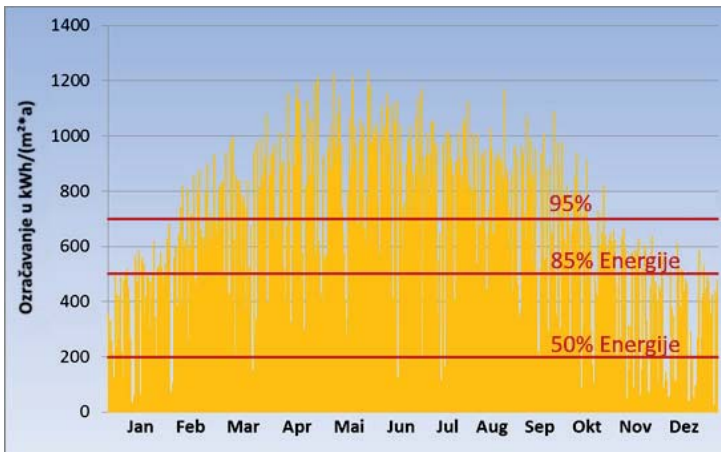


- Lokacija: Bern
- Smjer: Jug
- Nagib: 10°
- Rezolucija: 1 min. prosječne vrijednosti

Slika 11: Energija prema klasi ozračavanja, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Energija ozračavanja po mjesecima

Mjesečna podjela energije



- Lokacija: Bern
- Smjer: jug
- Nagib: 10°
- Rezolucija: 1 min. prosječne vrijednosti

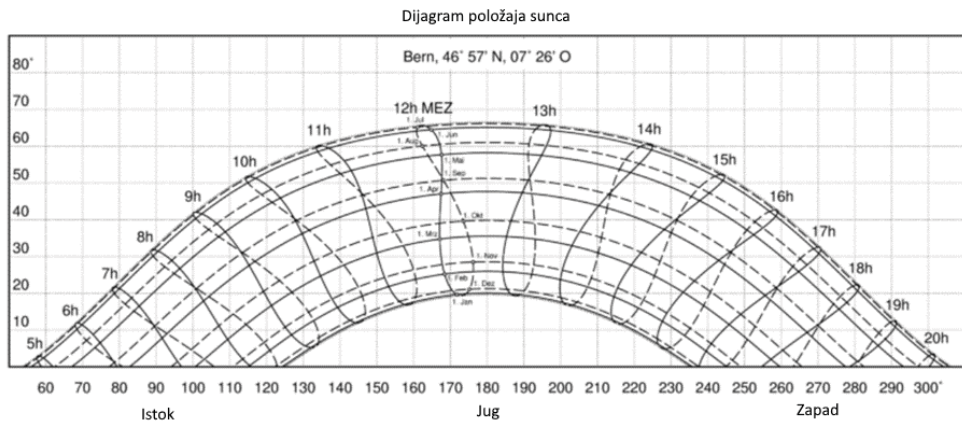
Slika 12: Energija ozračavanja po mjesecima, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Osnove fotonapona – OFN

1.6 Dijagram položaja sunca

Dijagram položaja sunca je osni dijagram koji predstavlja zavisnost između horizontalnih koordinata visine i pravca kretanje sunca po nebeskom svodu (azimut). U pravilu se dijagram predstavlja u x-y osi i u njega unose sljedeće nepromjenjive ekvatorijalne koordinate, kao parametar:

- 1) Satni ugao, uglavnom kodiran kao doba dana u kojem ima sunčeve svjetlosti,
- 2) Ugao deklinacije (promjene), uglavnom kodiran kao nagib sunca koji je u vezi sa godišnjim dobom (mjesecima).

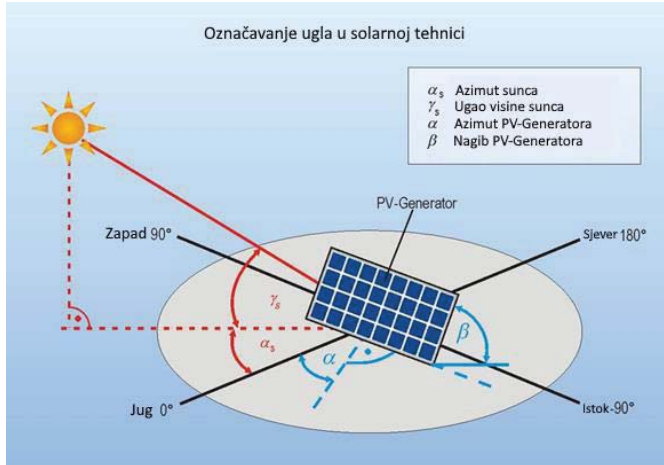


Slika 13: Dijagram stanja sunca za grad Bern u Švicarskoj www.wikipedia.org

Sličan dijagram, kao za grad Bern u Švicarskoj, može se primjeniti na sve naseljena mjesta koja su otprilike na oko 45° sjeverne geografske širine, ili pogledati u drugim izvorima (www.izdanja.smeits.rs/index.php/kgf/article/view/1861/1876).

Osnove fotonapona – OFN

1.7 Površine sa nagibom



Slika 13 prikazuje označavanje uglova u solarnoj tehnici.

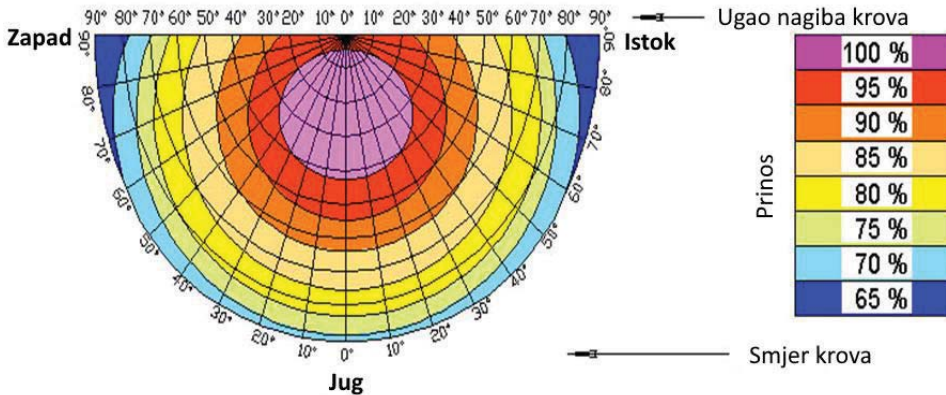
Zbunjujuće je da se često pravac prema jugu navodi sa 0° (ne uvijek). Zavisno od prostorne orijentacije varira godišnji prinos.

Optimalne vrijednosti su fleksibilne, to znači, mala odstupanja od smjera poravnanja imaju samo male efekte na prinos.

Slika 14: Površine sa nagibom www.dgs.de

Slika 14 prikazuje godišnji prinos u odnosu na optimalanu prostornu orijentaciju. Npr. za cijeli prostor Švicarske i Bosne i Hercegovine od 34°S do 37°S.

U svakom slučaju treba obratiti pažnju da optimalno važi samo ukoliko instalirani solarni sistemi primaju preko cijele godine istu naknadu za obnovljive izvore energije. Ukoliko bi se npr. zimski obračun energije ili energija tokom večeri skuplje plaćala, mogli bi se postići drugi optimumi.

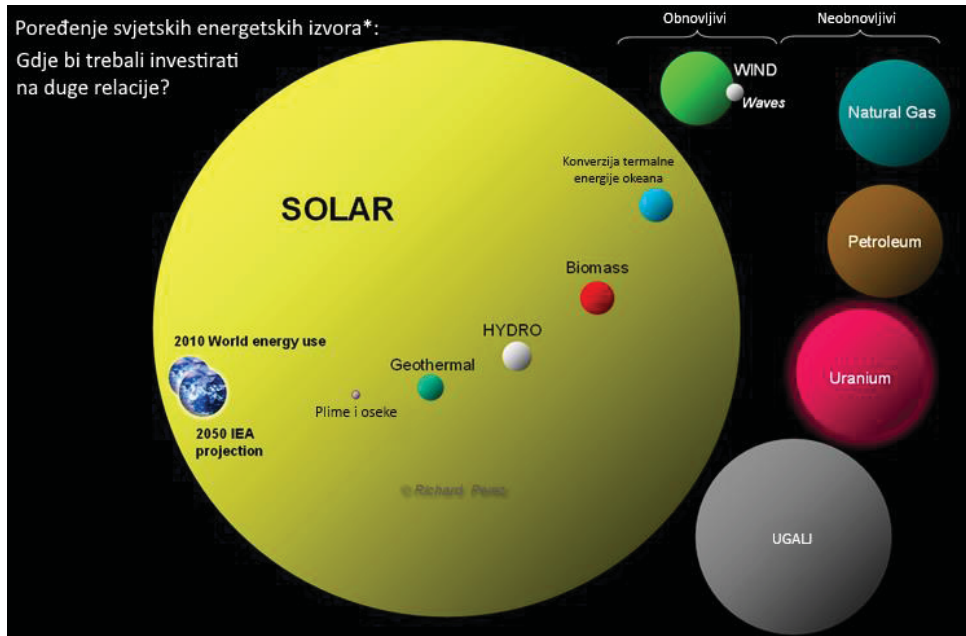


Slika 15: Godišnji prinos energije www.dgs.de

Osnove fotonapona – OFN

1.8 Potencijal sunčevog ozračenja širom svijeta

Sunčeva svjetlost u jednom satu dozrači (prema sunčanom satu švicarskog grada Berna) toliko energije na zemlju, koliko cijelo čovječanstvo potroši u jednoj godini. Kada bi se uspjelo pretvoriti samo 0.01% sunčeve energije u iskoristivu energiju, ne bismo više imali problema sa energijom.



Slika 16 : Usporedba svjetskih energetskih resursa www.asrc.albany.edu

U poređenju sa sunce postojeći potencijal svakog od energetskih resursa odgovara površini pojedinačnih krugova.

Razlikuju se sljedeće kategorije:

1. Obnovljivi resursi (godišnji obnavljajući potencijal prikazan gore)

- Sunce (1.500 x potreba u svijetu / godina),
- Vjetar / Biomasa / Geotermija,
- OTEC (Okeanska termalna energija),
- Talasi / Voda / Plima.

2. Neobnovljivi resursi (ograničeni potencijal prikazan gore)

- Prirodni plin,
- Nafta,
- Uranij,
- Ugalj.

Osnove fotonapona – OFN

1.9 Potencijal sunčevog ozračenja u svijetu

Zavisno o regiji, godišnjem dobu ili dobu dana je zračenje u Švicarskoj, odnosno širom svijeta, različito. Područje Alpa ima značajan efekat na ovaj trend.

Tabela 17: Primjeri globalnog zgračenja (Gh) prema mjestu i mjesecu u kWh/m²

	Februar	April	Juni	August	Oktoibar	Decembar	Ukupno/ god.
Tokio	86	129	117	129	82	67	1.218
Bern	54	130	179	153	68	27	1.230
Lausanne	57	138	187	158	75	29	1.292
Chur	69	151	188	159	87	39	1.385
New York	73	144	177	174	108	52	1.431
Zermatt	83	170	208	176	96	46	1.557
Singapur	145	140	130	139	136	123	1.641
Abu Dhabi	129	193	220	200	160	109	2.028

Godine 2016. objavljen je zajednički projekat, aplikacija "Solarni katastar" švicarskog ureda za energiju BFE, švicarskog ureda za državnu topografiju (swisstopo) kao i saveznog ureda za meteorologiju i klimatologiju "MeteoSchweiz".

Aplikacija povezuje u saradnji sa "Meteotest" podatke od "Swisstopo" o veličini i orijentaciji svake pojedinačne krovne površine sa podacima o zračenju sunca bazirajući se na satelitskim podacima "MeteoSchweiz".



Slika 18: Solarni katastar Švicarske www.sonnendach.ch



Osnove fotonapona – OFN

Primjer izvoda iz solarnog katastra



Lokacija:

Chottengass 6, 6264 Pfaffnau

Pristupačnost:

Izvrсна

El. energija u solarnoj energiji:

Do 30.900kWh (Puni kapacitet)

Energija u solarnoj toploti (za solarne kolektore):

Do 11.600kWh (Puni kapacitet)

Površina krova:

Nagib 36°/smjer jug/155m²

Ozračenje na površini krova:

1.463kWh/m²

Ukupno: 227.181kWh

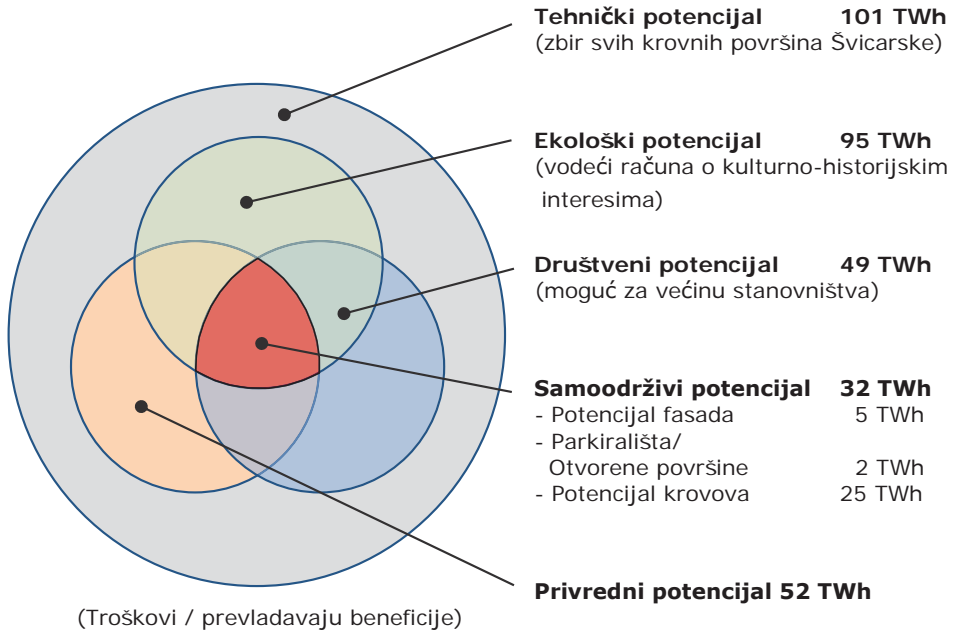
Solarni potencijal općine:

30,73GWh električne energije
 6,4GWh toplote

Slika 19: Izvod iz solarnog katastra za općinu Pfaffnau u Švicarskoj

Osnove fotonapona – OFN

1.10 Obračun potencijala iz solarnog katastra



Slika 20: Obračun potencijala iz solarnog katastra

Ovaj obračun solarnih potencijala se bazira na jednoj studiji koju je 2017. godine proveo "Meteotest" po nalogu "Swissolar". Ocjenjeni su svi krovovi i fasade koje se baziraju na solarnom katastru i koje su podijeljene na odgovarajući način u kategorije.

Osnove fotonapona – OFN

2 Potrošnja energije

Zadaci: Rješite nadovezujući se na poglavlje 2 zadatke 8 do 10 radne knjige "Osnove fotonapona".



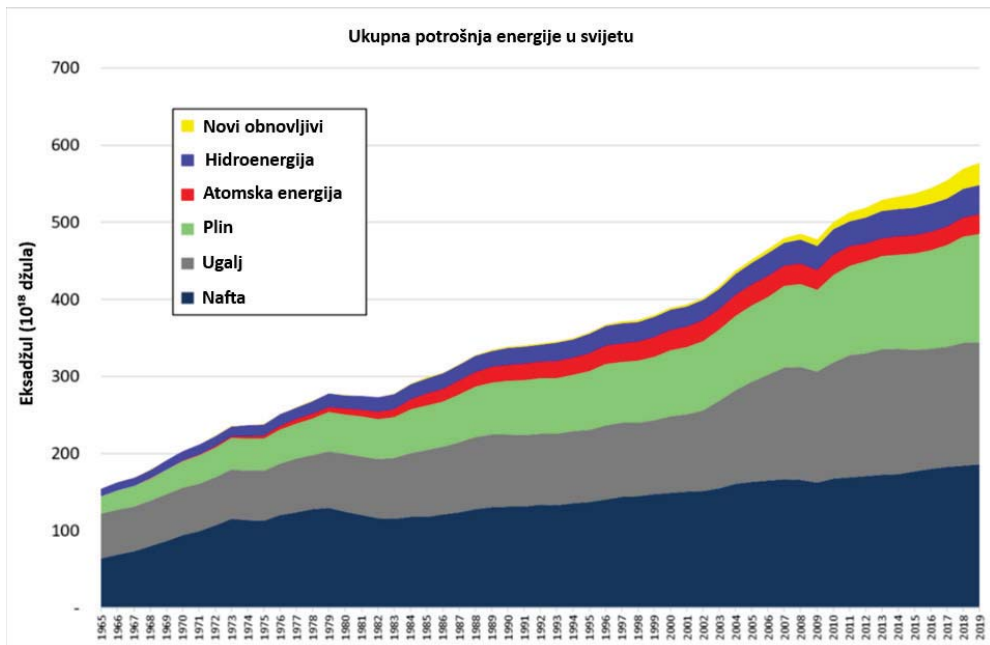
2.1 Svjetska energetska potrošnja

Svjetska energetska potrošnja se u zadnjih 30 godina gotovo udvostručila. Najveći udio u proizvodnji imaju neobnovljivi izvori energije kao uglj, nafta, plin ili nuklearna energija.

Potencijal neobnovljivih nosilaca energije nije beskonačan i to je samo jedan od mnogih problema.

Pored toga nastaju sljedeći:

- Poticanje globalnog zagrijavanja,
- Zavisnost o zemljama sa nepredvidivom vladama,
- Pitanja sigurnosti i problematika otpada,
- Djelimično vrlo dugi putevi transporta i pri tome dodatno opterećenje okoliša.



Slika 21: Ukupna svjetska energetska potrošnja www.stromkunden.ch

Osnove fotonapona – OFN

Ukupna potrošnja energije u svijetu 2019. godine:

- Naftna goriva	193.03 EJ
- Ugalj	157.86 EJ
- Prirodni plin	141.45 EJ
- Atomska energija	24.92 EJ
- Hidroenergija	37.66 EJ
- Obnovljivi izvori	29.98 EJ
Ukupna potrošnja	583.90 EJ

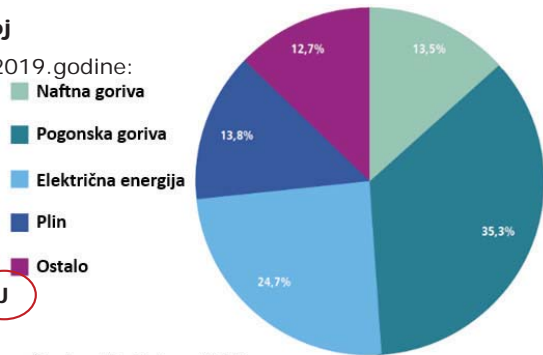
1 EJ = 1 x 10¹⁸ J

2.2 Potrošnja energije u Švicarskoj

Ukupna finalna potrošnja u Švicarskoj 2019. godine:

- Naftna goriva	112.310 TJ	Naftna goriva
- Pogonska goriva	294.360 TJ	Pogonska goriva
- Električne energija	205.910 TJ	Električna energija
- Plin	115.200 TJ	Plin
- Ostatak	106.430 TJ	Ostalo
Ukupna potrošnja	834'210 TJ	

1 TJ = 1 x 10¹² J



Švicarska statistika globalne energije 2019
 BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Fig. 2)
 OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (fig. 2)

Slika 22: Statistika potrošnje energije za 2019. godinu

Od ukupne potrošnje energije (finalne potrošnje) u Švicarskoj otpada okruglo 1/4 na električnu energiju.

Veći dio, ili okruglo 1/3 se odnosi na potrošnju pogonskih goriva. Ovaj dio se dalje dijeli, na 39% dizel, 33% benzin i 27% pogonsko avio gorivo.

Detaljne podatke o potrošnji energije u Bosni i Hercegovini u svim energetske sektorima možete pronaći na linku:

<https://reic.org.ba/wp-content/uploads/2020/11/Atlas-energetske-tranzicije-u-Bosni-i-Hercegovini.pdf>



Cjelokupna energetska statistika Švicarske iz 2019. godine se može preuzeti sa ovog QR koda.

Za podsjećanje i poređenje: 1 Džul je potreban kako bi se 1 kilogram podigao za 10 centimetara.

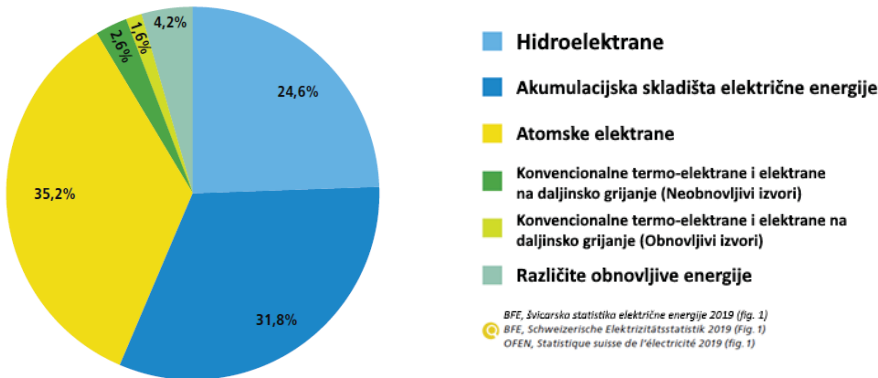
Osnove fotonapona – OFN

2.3 Švicarska statistika o električnoj energiji

Nasuprot potrošnje energije stoji proizvodnja energije. Ovdje ćemo se fokusirati ipak na proizvodnju električne energije.

Proizvodnja električne energije u Švicarskoj 2019.g. (proizvodnja unutar zemlje):

- Hidroenergija 71,9 TWh,
- Atomska energija 40,5 TWh,
- Konvencionalne termoelektreane i termoelektreane na daljinsko grijanje iz neobnovljivih izvora 1,9 TWh,
- Konvencionalne termoelektreane i termoelektreane na daljinsko grijanje iz obnovljivih izvora 1,2 TWh,
- Razne obnovljive energije (drvo, bio gas, fotonapon, energija vjetra) 3,0 TWh.



Slika 23: Proizvodnja električne energije za 2019. godinu

Iz kategorije "različite obnovljive energije" potiče okruglo 2,2TWh samo od fotonaponskih sistema.

Na taj način proizvode svi instalirani fotonaponski sistemi u saveznoj mreži u 2019. godini okruglo 3.8% električne energije čime su pokrili 0.94% cjelokupne potrebe za energijom u Švicarskoj.



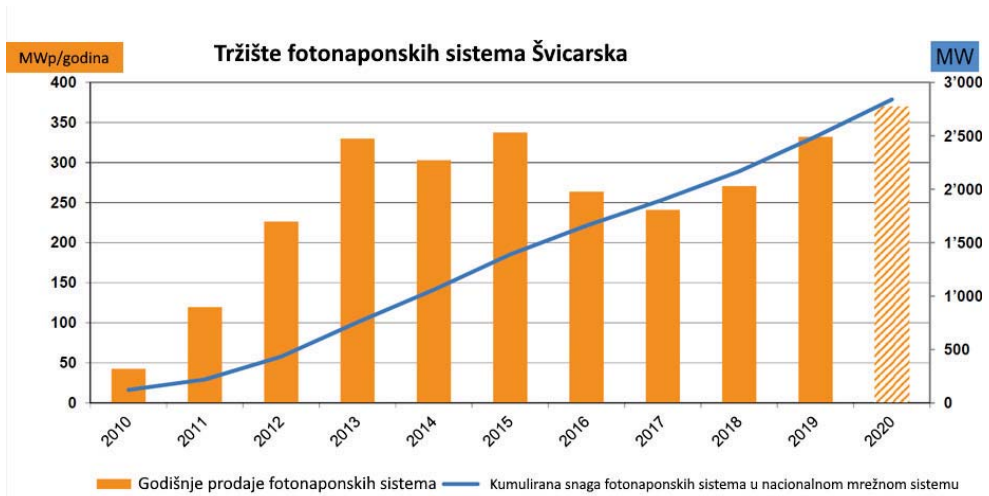
Švicarska statistika električne energije za 2019. godinu se može preuzeti sa ovog QR koda.

Osnove fotonapona – OFN

3 Tržišni potencijal u Švicarskoj

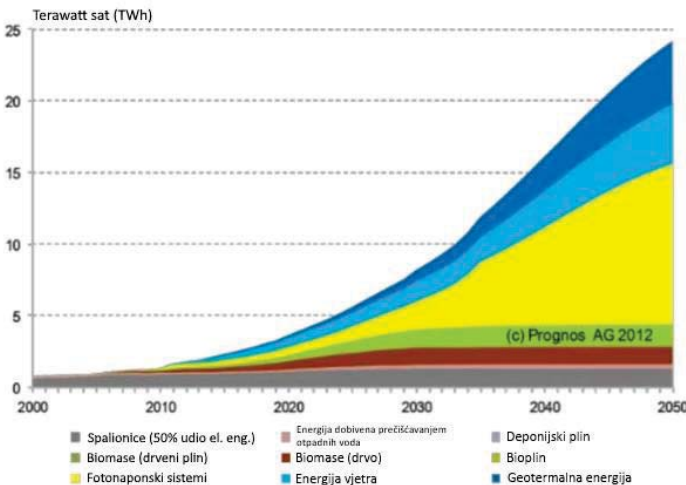
Godine 2019. se moglo zahvaljujući skraćenim rokovima čekanja na jednokratnu naknadu instalirati okruglo 20% više energije iz fotonaponskih sistema nego u prethodnoj godini, ali još uvijek manje nego 2015. godine.

Uprkos pandemiji Covid 19 tržište je raslo. Za postizanje klimatskih i energetskih ciljeva bi se godišnje proširenje trebalo povećati za pet puta.



Slika 24: Fotonaponsko tržište Švicarske www.swissolar.ch

Fotonaponski ciljevi prema energetskej strategiji 2050



Cilj:

- 2035 7.000 GWh
- 2050 11.000 GWh

Aktuelno stanje:

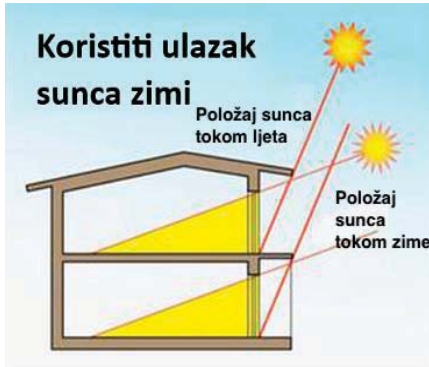
- 2017 1.683 GWh
- 2018 1.945 GWh
- 2019 2.177 GWh

Slika 25: Prognoza proizvodnje energije iz obnovljivih izvora www.home.zhaw.ch

Osnove fotonapona – OFN

4 Iskoristivost sunčevog zračenja

Postoje različite forme za korištenje sunčevog zračenja i energije koju ono nosi sa sobom. Iako se u ovoj knjizi ograničavamo na fotonapon (FN), neophodno je poznavati i ostale mogućnosti primjene.



Slika 26: Iskoristivost sunčevog zračenja www.energiesparen-im-haushalt.de

Korištenje energije sunca se može podijeliti na:

- pasivni i
- aktivni oblik korištenja energije.

Pod pasivnim korištenjem se podrazumjevaju pretežno arhitektonska rješenja za dobijanje toplote putem sunčevog ozračivanja.

Aktivno korištenje sunčeve energije se može ponovo podijeliti na:

- toplotno/termičko i
- električno/fotonapon.

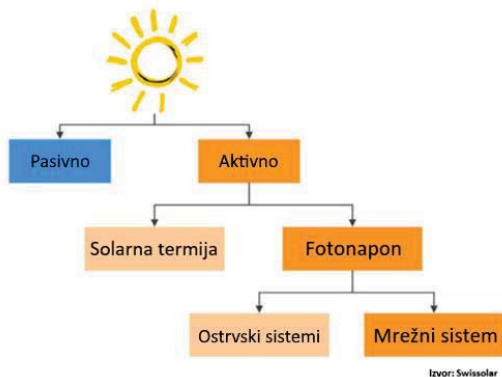
Toplota sunčevog zračenja se koristi u različitim solarnim kolektorskim sistemima.

Električno korištenje sunčeve energije se naziva fotonapon.

Fotonaponski sistemi se dijele na: samostalne, ostrvske ili off-grid sisteme i na mrežne ili on-grid sisteme.

Kod off-grid sistema se solarni prinos energije usklađuje sa energetske potrebama objekta. Kod on-grid sistema javni distributer električne energije služi kao "skladište energije".

Najveći broj fotonaponskih sistema priključen je kao on-grid, mrežni sistem, ali npr. objekti na planinama ili objekti udaljeni od električne mreže se snabdjevaju energijom iz off-grid, samostalnih sistema.



Slika 27: Korištenje solarne energije, Swissolar

Zadaci: Riješite nakon poglavlja 4 zadatke 11 i 15 iz radne knjige "Osnove fotonapona".

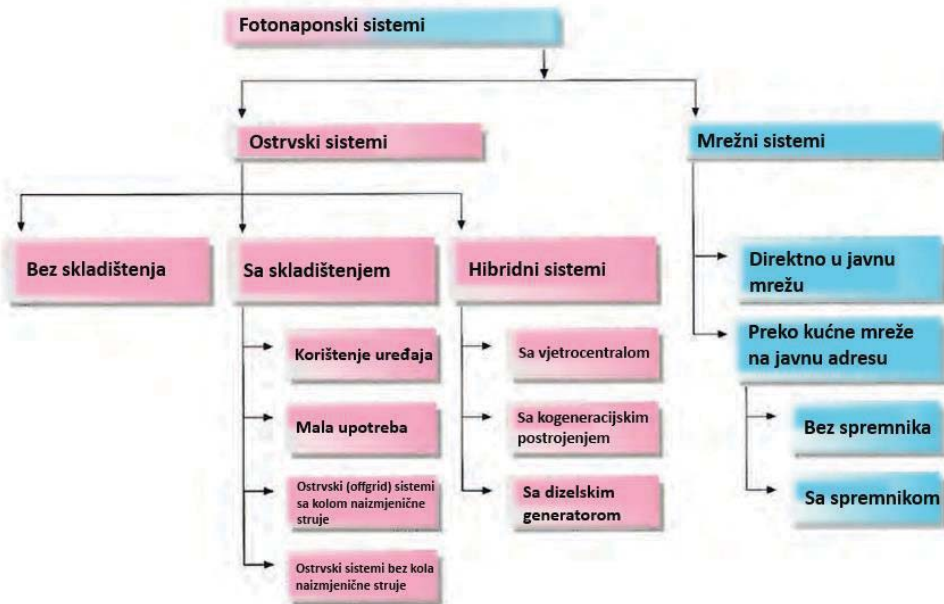


Osnove fotonapona – OFN

4.1 Fotonaponski sistemi

Širom svijeta se koristi većinom fotonaponski sistemi povezani na javnu elektroenergetsku mrežu, pri čemu se dobivena solarna energija ili kompletno predaje u javnu mrežu ili se jedan dio koristi za potrebe vlasnika, a samo višak predaje u mrežu.

U budućnosti se može računati sa visokim udjelom off-grid, samostalnih sistema samo u zemljama u razvoju. Kako god, u svijetu danas živi još 30% stanovništva bez električne energije. U ovim zemljama fotonapon može odigrati odlučujuću ulogu kod postepene elektrifikacije sa malim pojedinačnim napajanjima električnom energijom za domaćinstva kao i zajedničkim snabdjevanjima sela izmjeničnom energijom.



Slika 28: Fotonaponski sistemi www.dgs.de

Osnove fotonapona – OFN

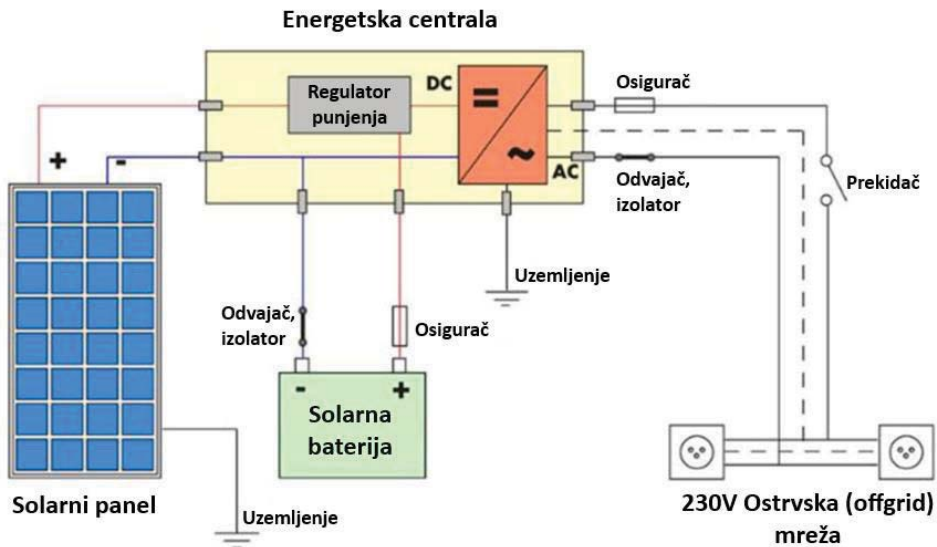
4.1.1 Off-grid samostalni ili ostrvski sistemi

Svuda gdje nije moguće, isplativo ili poželjno napajanje električnom energijom preko javne niskonaponske mreže, može se fotonaponski sistem koristiti u off-grid, samostalnom radu (bez priključka na mrežu).

Ovo područje primjene stalno raste. Kao što je već spomenuto, postoji veliki potencijal za korištenje off-grid sistema u zemljama u razvoju, gdje velika kopnena područja često moraju moraju rješavati svoje potrebe za energijom bez javne niskonaponske mreže.

Sve je šire području primjena solarna energija za tzv. male potrošače: kalkulatori, satovi, punjači baterija, baterijske svjetiljke, solarni radio uređaji, mobilni uređaji za punjenje itd. što su, također, poznati primjeri uspješne primjene off-grid solarnih sistema.

Šematski prikaz rada jednog off-grid sistema je na sljedećoj slici.



Slika 29: Sema spajanja off-grid ostrvskog sistema www.swissolar.ch

Uzemljenju sistema se mora posvetiti posebna pažnja kako bi se osigurala zaštita kako sistema tako i ljudi. Off-grid sistemi se u ovoj knjizi neće dalje obrađivati.

Osnove fotonapona – OFN

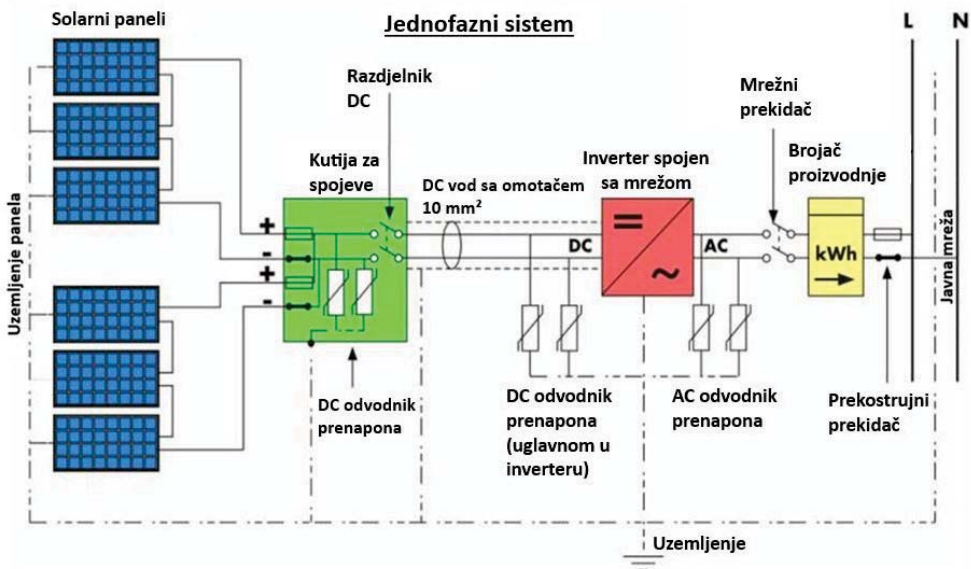
4.1.2 On-grid ili sistemi uvezani u mrežu

Ukoliko se fotonaponski sistem priključi na niskonaponsku elektroenergetsku javnu mrežu niskog govori se o on-grid ili sistemu u mreži. Ovim uvezivanjem se osigurava da u svakom trenutku za proizvedenu energiju ima dovoljno potrošača. Na taj način nije nužno potrebno privremeno akumuliranje, skladištenje solarne energije, odnosno tu funkciju preuzima javna niskonaponska mreža.

U početku su dominirali fotonaponski sistemi koji su koristili krovove poljoprivrednih objekata, a danas se sve više koriste najrazličitije vrste objekata, kao što su porodične kuće, kuće za više porodica, škole, skladišne hale itd. Osim toga se za fotonaponske primjene sve više koriste drugi građevinski objekti kao što su zidovi sa zvučnim barijerama, autobuske nadstrešnice ili nadstrešnice za automobile.

Mogućnosti projektiranja i integracije fotonaponskih sistema u objekte sada su vrlo raznolike i stalno se proširuju.

Šematski princip rada jednog on-grid sistema spojenog na mrežu je na slici.



Slika 30: Šema spajanja sistema na mrežu www.swissolar.ch

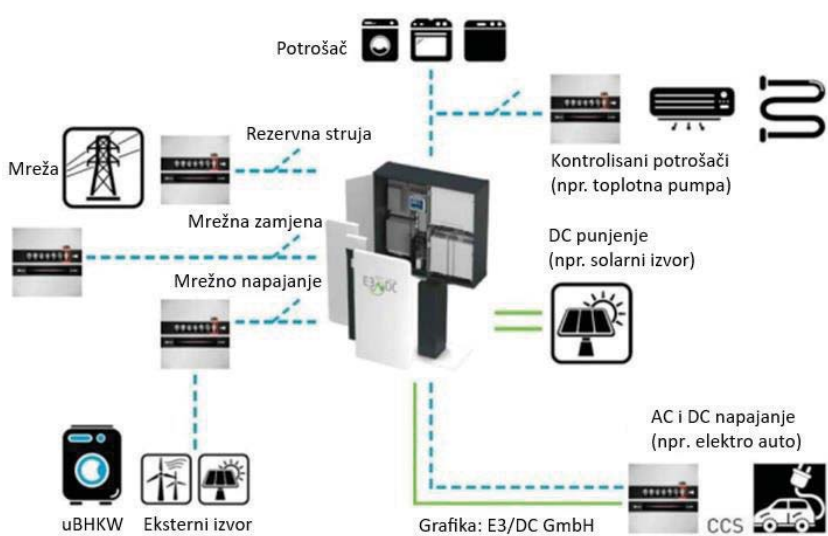
Osnove fotonapona – OFN

4.1.3 Sistem sa rezervnim sistemom akumulacije električne energije

Fotonaponski sistem sa akumulacijskom sistemom je kombinacija on-grid, sistema priključenog na mrežu i off-grid, samostalnog sistema.

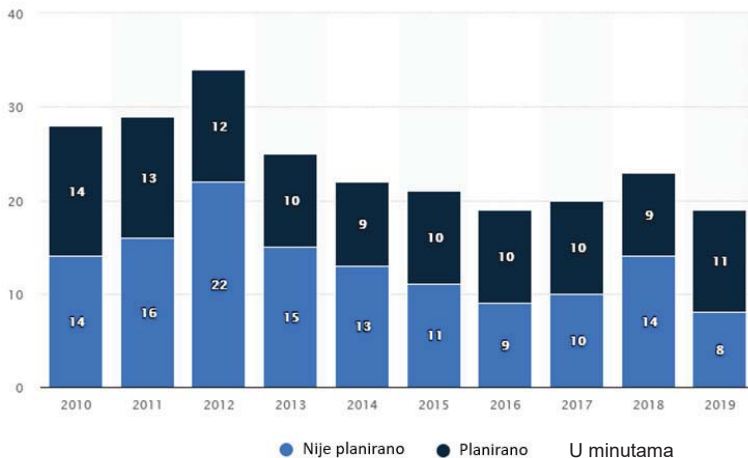
U normalnom radu inverteri predaju proizvedenu solarnu energiju pomoću fotonaponskog sistema u javnu elektroenergetsku mrežu. Tek kada dođe do ispada mreže aktivira se akumulacijski sistem, uređaj za odvajanje prebacuje fotonaponski sistem i priključene potrošače sa mreže i potrošači se nakon nekoliko milisekundi snabijevaju iz akumulatora/baterije. U ovom slučaju od mrežnog sistema postaje off-grid samostalni sistem.

Šema sistema sa akumulacijskom podrškom je na slici.



Slika 31: Šema E3/DC www.e3dc.com

Pogledajmo koliko dugo traje prekid snabdjevanja prosječno po stanovniku godišnje?



Slika 32: Godišnji prekid snabdjevanja www.de.statista.com

Osnove fotonapona – OFN

4.2 Fotonaponski efekat

Pod fotonaponskim efektom se podrazumjeva direktna konverzija svjetlosne u električnu energiju pomoću solarnih ćelija. Za ovo se koriste poluprovodni materijali kao silicij, galijum-arseni, kadmium-telurid ili bakar-indij-diselenid.

Najviše se koristi kristalna silicijum solarna ćelija.

4.2.1 Princip funkcionisanja solarne ćelije

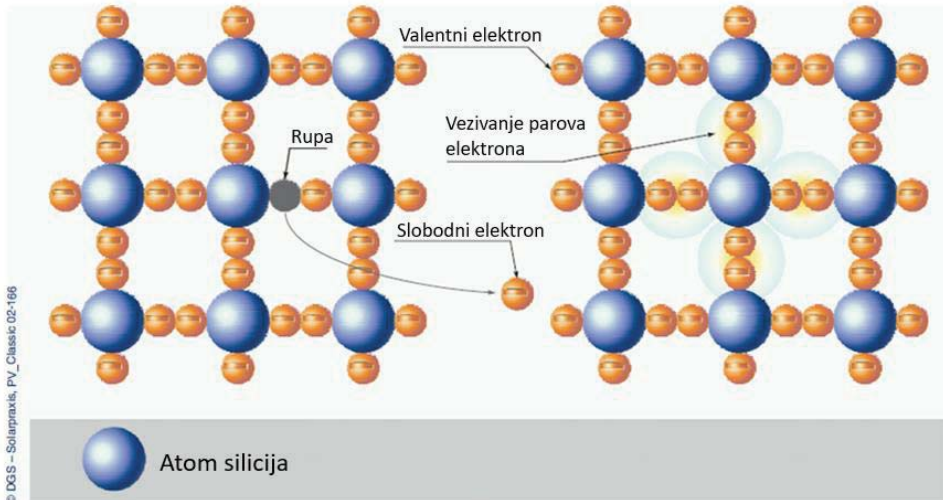
Princip funkcionisanja će se nadalje pojasniti pomoću kristalne silicijske solarne ćelije.

Za proizvodnju solarnih ćelija je neophodan čisti, visoko kvalitetni, kristalni silicij.

Zbog toga mora silicij odgovarati minimalnoj čistoći 9N. Radi poređenja: za primjenu u mikroelektronici mora se postići čistoća 11N, što odgovara čistoći od minimalno 99.9999999999%.

Atomi čistog silicija međusobno se vežu u stabilnu kristalnu rešetku. Svaki atom silicija raspolaže sa četiri valentna elektrona u svom spoljnom elektronskom omotaču. Kako bi postigao stabilnu konfiguraciju elektrona u kristalnoj strukturi svaki put se dva susjedna elektrona spajaju i formiraju elektronske parove. Spojeni elektronski parovi sada sa četiri susjedna atoma silicij stvaraju stabilnu konfiguraciju od osam elektrona.

Zbog uticaja neke dodatne energije, npr. svjetlosti ili toplote može se ovaj spoj prekinuti. Elektron sa viškom energije može se slobodno kretati i ostaviti rupu (tzv. šupljinu) u kristalnoj rešetci. Taj proces se naziva samokondukcija (samoprovodljivost).

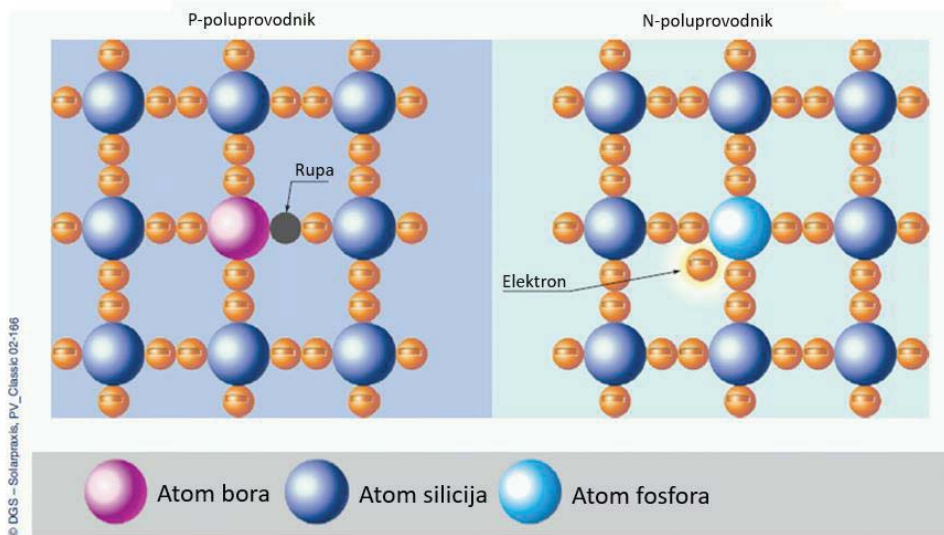


Slika 33: Kristalna struktura silicija i samokondukcije

Osnove fotonapona – OFN

Čisti silicijum je električki neutralan jer je broj elektrona i rupa (šupljina) u njemu uvijek isti. Kako bi kristal silicija mogao funkcionirati kao proizvođač energije ugrađuju se u kristalne rešetke ciljane nečistoće, tzv. donorske i akceptorske nečistoće, odnosno atomi. Ovaj proces se naziva obogaćivanje silicija.

Za obogaćivanje se po pravilu koriste donorski atomi koji imaju u svom vanjskom elektronskom omotaču jedan elektron više (npr. fosfor) ili akceptorski atomi, koji imaju jedan elektron manje (npr. bor). Atomi nečistoća uzrokuju u kristalnoj rešetci pojavu dodatnih nosilaca naelektrisanja koju ćemo posebno opisati.



Slika 34: Formiranje p- i n-tipa poluprovodnika

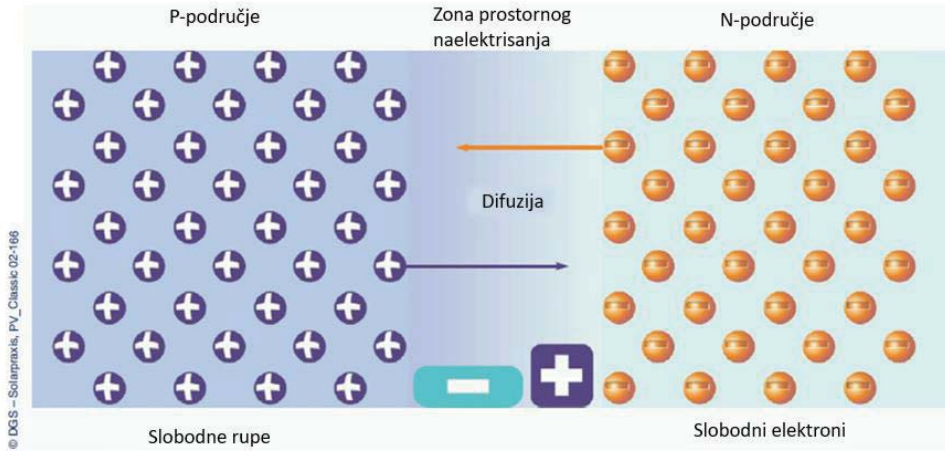
Kod obogaćivanja fosforom za svaki ugrađeni atom fosfora u kristalnoj rešetci dobije se jedan viška jedan elektron i u kristalnoj rešetci čvrsto vezani, pozitivno naelektrisani, donorski atom. Taj elektron se može slobodno kretati u kristalu i na taj način učestvovati u provođenju električne struje. Na opisani način se formira n-tip poluprovodnika.

Kod obogaćivanja borom za svaki ugrađeni atom bora dobije se jedna jedna šupljina - rupa na raspolaganju i u kristalnoj rešetci čvrsto vezani, negativno naelektrisani, akceptorski atom. Elektroni susjednih silicijjskih atoma mogu ispuniti tu šupljinu, ali se onda na drugom mjestu formira nova šupljina. Tako se formirao p-tip poluprovodnika.

Na ovaj način smo u kristalnoj rešetci, zbog atoma nečistoća, dobili dodatnu provodljivost. Međutim, dobiveni nosioci neelektrisanja u n-tipu i p-tipu poluprovodnika nemaju određen smjer kretanju.

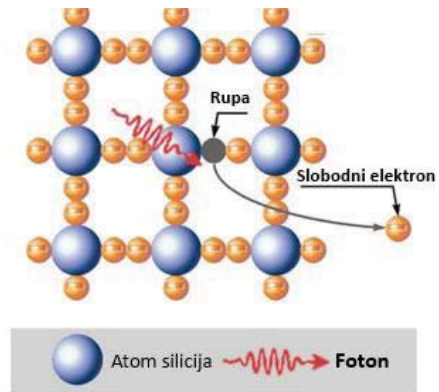
Kontroliranim tehnološkim procesom obogaćivanja mogu se n-tip i p-tip poluprovodnika povezati, pa se stvara pn-spoj. U trenutku dodira na dodirnoj površini dolazi do difuzije viška elektrona iz n-tipa u p-tip poluprovodnika. Nastaje područje bez slobodnih nosilaca naelektrisanja, tj. formira se zona prostornog naelektrisanja ili granični sloj. U n-području prelaza ostaju pozitivno nabijeni donorski, u p-području negativno nabijeni akceptorski atomi. Zbog toga nastaje električno polje koje je usmjereno suprotno kretanju nosilaca naboja, tako da se difuzija ne nastavlja beskonačno.

Osnove fotonapona – OFN



Slika 35: Stvaranje zona prostornog naboja na pn-spoju

Ako se sada formirani pn-spoj izloži svjetlosti čiji fotoni sa sobom nose energiju, elektroni apsorbiraju energiju fotona. Posljedica toga je da se veze između elektrona prekidaju, a novi, slobodni elektroni, pod uticajem električnog polja budu prebacivani u n-područje. Šupljine, koje su pri tom nastale, kreću se u suprotnom pravcu, u p-područje. **Cijeli proces se zove fotonaponski efekat.**



Slika 36: Fotoefekt

Kažemo da je uspostavljen napon otvorenog kruga (praznog hoda), a kada se strujni krug zatvori, teče električna struja.



Interesantan video sa pojašnjenjem funkcioniranja opisane solarne ćelije se može pogledati preko QR koda.

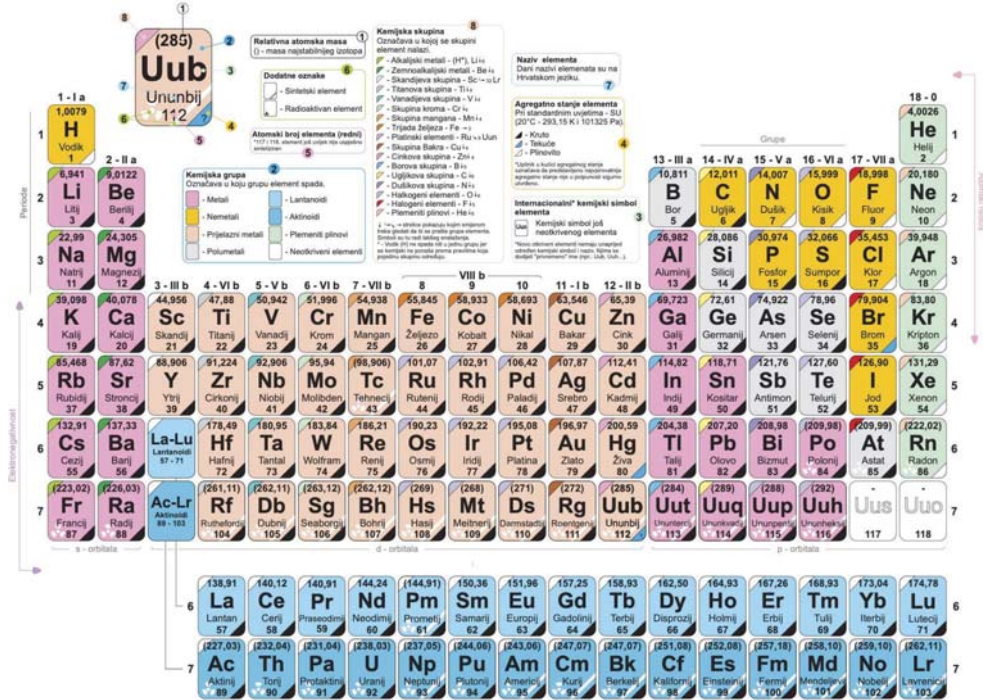
Osnove fotonapona – OFN

4.2.2 Periodni sistem elemenata

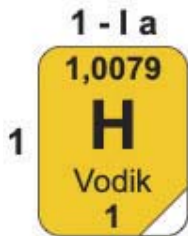
Periodni sistem elemenata je tablični poredak hemijskih elemenata koji odražava njihovu atomsku građu i sličnost njihovih fizikalnih i hemijskih osobina.

Struktura periodnog sistema:

- Svi elementi se navode sa rednim brojem i simbolom elementa,
- Periode su vodoravne ćelije,
- Upravne kolone se nazivaju grupe. Svi atomi jedne grupe, npr. grupa III, imaju 3 elektrona u zadnjoj atomskoj ljusci.



Slika 37: Periodni sistem elemenata



Prikaz:

- Slovo "H" je simbol elementa, često početno slovo elementa,
- Skraćeno je sa latinskog ili grčkog jezika,
- Donji, cijeli broj "1" je redni broj,
- Gornji, drugi broj "1,0079" je relativna atomska masa.

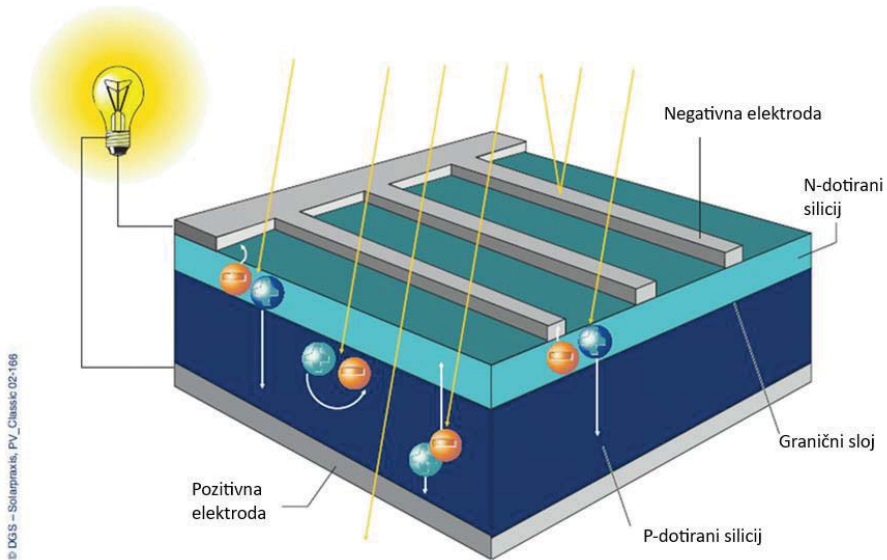
Materijali koji se koriste za izradu za solarnih ćelija:

- Si
- GaAs
- InP
- Ge
- ZnO
- CdTe
- CuInSe

Osnove fotonapona – OFN

4.2.3 Struktura kristalne silicijske solarne ćelije

Klasična kristalna silicijumska solarne ćelja se sastoji od dva različito obogaćena silicijumska sloja, n-tip i p-tip poluprovodnika.



Slika 38: Struktura i način funkcionisanja kristalne solarne ćelije

Sloj koji je okrenut prema sunčevoj svjetlosti je n-tip, obogaćen sa fosforom, a sloj ispod je p-tip, obogaćen sa borom. Na dodirnoj površini, u zoni bez pokretnih nosilaca naelektrisanja, nastaje električno polje koje potpomognuto uticajem energije svjetlosnih fotona izaziva razdvajanja slobodnih nosilaca naelektrisanja, elektrona i šupljina. Kako bismo solarne ćeliju mogli spojiti u strujni krug moraju se na prednjoj i stražnjoj strani postaviti metalni kontakti. Za to se koristi tzv. tehnika sito štampe.

Na polođeni je moguće nanošenje metalnog, kontaktnog sloja preko cijele površine p-tipa, pomoću aluminijske ili srebrene paste. Prednja strana (n-tip) mora nasuprot tome biti što je moguće više svjetlosno propusna. Zato je ovaj kontakt uglavnom u obliku tanke rešetke ili drvene strukture.

Smanjivanje svjetlosne refleksije, tzv. antirefleksni sloj se može postići rezanjem ili nanošenjem pare tankog sloja od silicijumtrida ili titandioksida na prednjoj strani solarne ćelije.

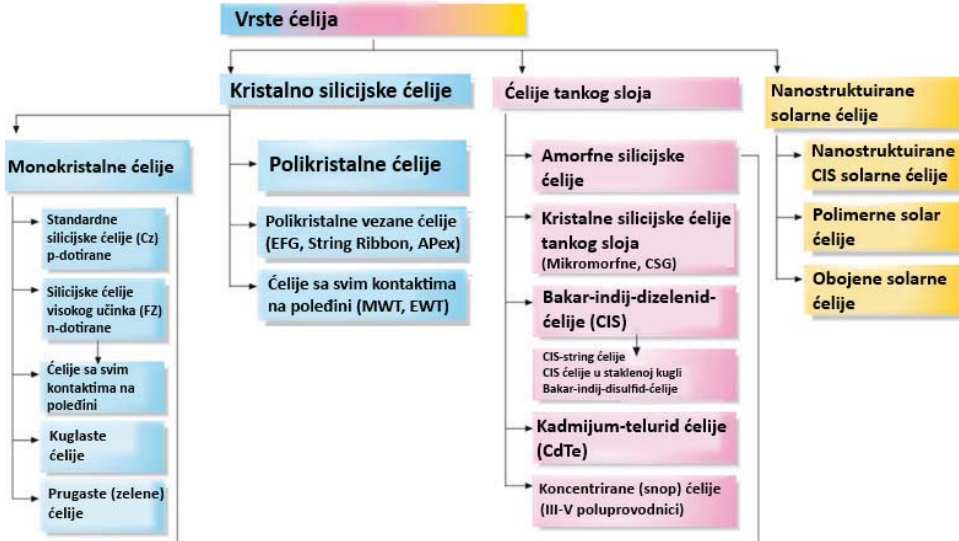
Standardna solarne ćelija od kritalnog silicija postiže istosmjerni napon otvorenog kola $U_{oc} \approx 0.6 - 0.7V$ i istosmjernu struju kratkog spoja $I_{sc} \approx 10 - 11A$.

Osnove fotonapona – OFN

4.2.4 Podjela solarnih ćelija

Tehnologije izrade solarnih ćelija se može podijeliti u tri grupe:

- I grupa su kristalne ćelije silicija, koje su zalemljene zajedno u modulu kao pločice sa slojevima poluprovodnika debljine oko 200µm (mikrometara), zatim,
- II grupa, ćelije tankog sloja, kod kojih je minimalna debljina ćelijskog sloja na prednjoj strani staklene folije izolirana slojem vodene pare/otiska i
- III grupa su nanostrukturirane ćelije koje se nalazu na tržištu u kojima se formiraju i međusobno povezuju ćelije nanometarske veličine.



Slika 39: Vrste ćelija www.dgs.de

Trenutno dominiraju kristalne silicijumske ćelije sa udjelom na tržištu od 90 – 95%. U budućnosti se očekuje porast ćelija sa tankim slojem i pojava nanostrukturalne ćelije.

Tabela 40: Usporedba ćelijske tehnologije

Ćelijska tehnologija	Prednosti	Nedostaci
Kristalni silicij (Monokristal Si)	<ul style="list-style-type: none"> • Visok stepen efikasnosti • Vrlo dug vijek trajanja • Silicijska masa • Sinergija sa ET-om 	<ul style="list-style-type: none"> • Energetski zahtjevna proizvodnja slojevitih poluprovodničkih pločica • Sastavljanje pojedinačnih poluprovodničkih pločica
Kristalni silicij (Polikristalini Si)	<ul style="list-style-type: none"> • Visok stepen efikasnosti • Vrlo dug vijek trajanja • Silicijska masa • Sinergija sa ET-om 	<ul style="list-style-type: none"> • Energetski zahtjevna proizvodnja slojevitih poluprovodničkih pločica • Sastavljanje pojedinačnih poluprovodničkih pločica
Tanki sloj (Amorfni Si)	<ul style="list-style-type: none"> • Moguća proizvodnja na traci • Potencijal smanjenja troškova • Homogen izgled 	<ul style="list-style-type: none"> • Nizak stepen efektivnosti • Degradacija
Tanki sloj (kadmij-telurid i CIS)	<ul style="list-style-type: none"> • Moguća proizvodnja na traci • Potencijal smanjenja troškova 	<ul style="list-style-type: none"> • Nizak stepen efektivnosti • Degradacija
Novi materijali	<ul style="list-style-type: none"> • Potencijal smanjenja troškova • Potencijal smanjenja resursa 	<ul style="list-style-type: none"> • (još) nisu certificirani za proizvodnju energije

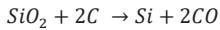
Osnove fotonapona – OFN

4.3 Proizvodnja solarnih ćelija

4.3.1 Kristalni silicij

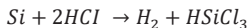
Nakon kisika silicij je najčešći element zemljine kore. Silicij, nažalost, ne postoji u čistom obliku, već samo kao hemijski spoj sa kisikom u obliku kvarca i pijeska. Morski pijesak je npr. silicijski pijesak u pravom smislu te riječi.

- 1) Najprije se mora odvojiti neželjeni kisik od silicijum dioksida. Zbog toga se kvarcni pijesak zagrijava dodavanjem uglja u elektrolučnoj peći na 1.800 do 1.900°C.



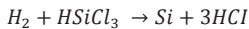
Pri tome nastaje tzv. metalurški silicij sa čistoćom od oko 98%.

- 2) Metalurški silicij se dalje čisti hemijskim putem. On se fino melje i miješa sa plinovitim hlorovodonikom prelazeći u vodonik i trihlorsilan (tečnost koja vri na 31°C).



- 3) U više uzastopnih faza se trihlorsilan destilira dok udio nečistoća ne padne ispod zahtjevane vrijednosti, teži se čistoći od 9N ili djelimično 11N.

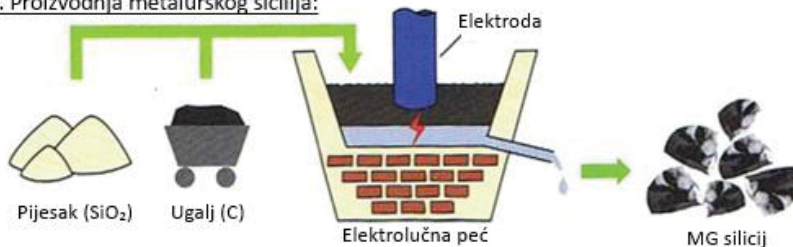
- 4) U daljem postupku se dobiva najčišći silicij pomoću hemijskog odvajanja plinske faze od triklorosilana i vodonika u tzv. Siemens-ovom postupku.



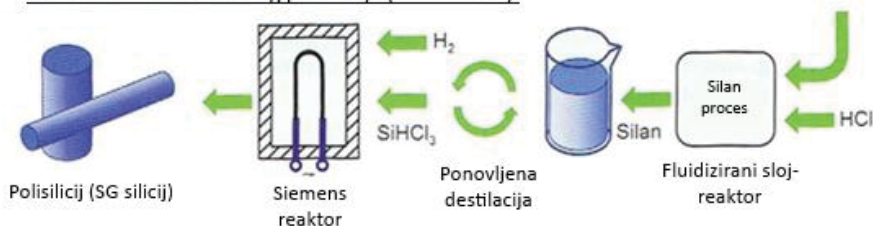
Oba plina se upuhuju u reaktor na 1.000 – 2.000°C u kojem se nalaze tanke, vrele šipke od silicija visoke čistoće.

5. Na tim zagrijanim silicijskim šipkama raste tzv. polisilicij. Hlorovodonik se vraća na korak 2. Polisilikonske šipke koje su narasle do promjera 10 - 15 cm se lome u komade i služe kao osnovni materijal za mono i polikristalne silicijeve slojevite pločice (wafer-e) sa još većim stepenom čistoće.

1. Proizvodnja metalurškog silicija:



2. Obrada do visoko čistog polisilicija (solarni nivo):



Slika 41: Proizvodnja MG-Si www.steemit.com



Slika 42: Wacker Chemie AG tvornica, Burghausen www.wacker.com

Na slici 39 može se iz zraka vidjeti "Wacker Chemie AG" u Burghausen-u u Njemačkoj. Ova tvornica ima oko 20% udjela na tržištu u proizvodnji silicija.

Tvornica se proteže na površini od 2,6km², kao okruglo 364 fudbalska igrališta.

Potrošnja električne energije Wacker Chemie AG iznosila je 2016. godine 4.103GWh. Ovo odgovara okruglo 7,2% potrošnje električne energije cijele Švicarske ili 0.8% potrošnje električne energije cijele Njemačke.

Kretanje cijena:

U svijetu je 2004. godine instalirano oko 0,3 GWp, a 2006. godine 6,1GWp. Taj eksponencijalni rast je doveo do manjka sirovina, a time i do veće cijene. Rast cijena je i posljedica poticajnih programa za energiju iz fotonapona u Španiji i Njemačkoj.

Međutim, od 2008. i 2009.godine su izgrađene mnoge nove fabrike polisilicija (najviše u Kini).

2019. godine je instalirano 103.9GWp a u 2020.godini se predviđa 117GWp, što je i pored pandemije Covid-19 postignuto.

Po Wattpeak-u kristalnih solarnih ćelija je potrebno oko 3 – 5 grama polisilicija. To znači da pri 100GWp govorimo o 300 - 500 miliona tona polisilicija širom svijeta.

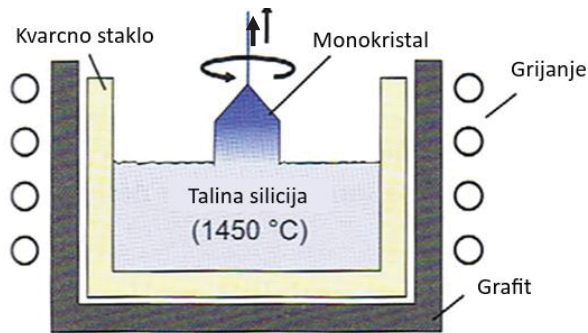
Osnove fotonapona – OFN

4.3.2 Monokristalni silicij (Wafer pločice)

Za proizvodnju monokristalnog silicija se koristi postupak izvlačenja rastaljenog silicija, tzv. Czochral-ski postupak.

U ovom procesu, polikristalni početni materijal (polisilicij) se topi u kvarcnoj cigli na oko 1.450°C, a klica (osnova) kristala nanosena na metalnu šipku se uranja u talinu odozgo.

Nakon toga se šipka polako, uz lagano okretanje povlači prema gore, pri čemu se tekući silicij nakuplja i kristalizira. Na taj način nastaje postupno monokristalna silicijska šipka (ingot), čija se debljina može podešavati mijenjanjem temperature i brzine izvlačenja.



Na taj način se daju proizvesti štapovi sa prečnikom od 30cm i dužinom od 200cm.

U fotonaponskoj industriji se koristi prečnik od 12,5 – 15cm.

Slika 43: Proizvodnja monokristalnih silicijumskih šipki www.steemit.com

Silicijum monokristal (ingot)



- mogući prečnik do 30cm,
- moguća dužina do 200cm,
- težina do 20kg.

Slika 44 Silicijumski ingot

Kako bi se povećao kvalitet može se još koristiti dosta skuplji proces tzv. otapanje zona (Float-Zone proces). Ovo se ipak preporučuje samo u izuzetnim slučajevima.

Osnove fotonapona – OFN

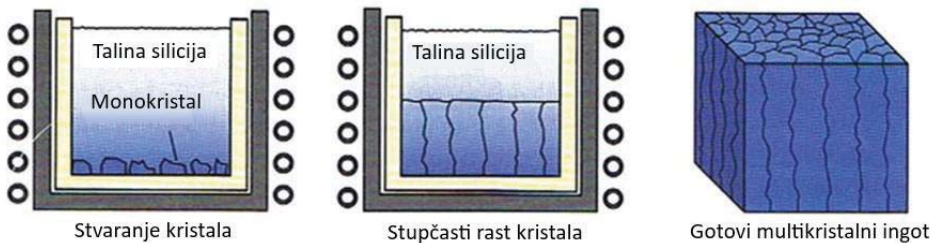
4.3.3 Polikristalni silicij (Wafer-slojevite pločice)

Dosta jednostavnija je proizvodnja polikristalnog (multikristalnog) silicija. U posudi od grafitu se istresaju komadići polisilicija i putem indukcijskog zagrijavanja dovode do taljenja (taline).

Nakon toga se posuda ohladi sa donje strane tako što se prstenovi za grijanje lagano povlače prema gore. Na dnu posude se stvaraju, na različitim mjestima ledeni kristali, koji tako dugo rastu sa bočne strane dok se ne sudare.

Vertikalnim procesom hlađenja rastu kristali koji potom dalje napreduju u obliku stuba prema gore. Na graničnim spojevima se stvaraju dislokacije kristala koji kasnije postaju centri ponovnog spajanja ili rekombinacije u ćeliji.

Iz tog razloga se pokušavaju dobiti što je moguće veći monokristali. Nakon kristalizacije cjelokupne taline dijeli se silicijski blok (ingot) u blokove (brikove) sa dužinom ivica od 12,5 – 15cm.



Slika 45: Proizvodnja multikristalnih silicijskih šipki www.steemit.com

Silicijum multikristal (ingot)

- DxŠxV (često): 100x100x40cm,
- Težina do 1.000kg.



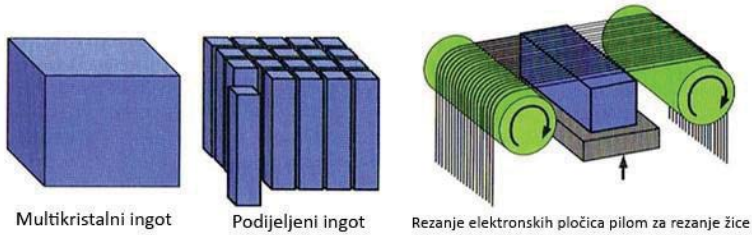
Slika 46: Polikristalni silicij

Osnove fotonapona – OFN

4.3.4 Proizvodnja wafer-a

Nakon proizvodnje se moraju blokovi (brikovi) razrezati u pojedinačne poluprovodničke elektronske pločice – wafer. Za to se koriste npr. žičane pile. Vod debljine 100 - 140 μ m prolazi velikom brzinom kroz pastu (kašastu masu) od glikola i izuzetno tvrdih zrnaca silicijevog karbida i uvlači ih u procjep za rezanje (piljenje) silicija.

Radi se dakle više o postupku brušenja umjesto efektivnog piljenja. Nastajući procjep za piljenje od minimalno 120 μ m se nažalost gubi, budući da se uklonjeni komadići silicija ne mogu izvući iz kašaste mase s dovoljnom čistoćom.



Slika 47: Proizvodnja multikristalnog ingota www.steemit.com



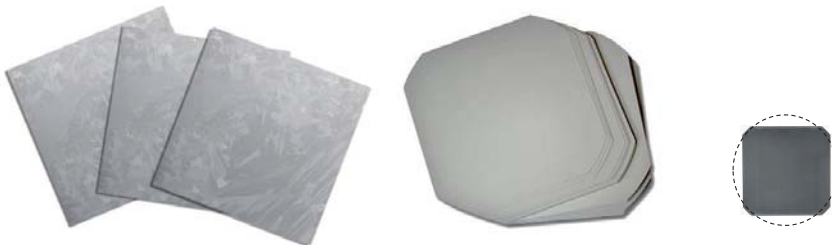
Slika 48: Pila za rezanje žice DW288-S4 www.precision-surface.ch

Sve češće proizvođači koriste dijamantnu žicu, gdje razmak pri piljenju ovisi o modelu, a time i gubitak pri piljenju između 60 – 100 μ m.

Dijamantna nit unutar "mašine za rezanje" iznosi 30 μ m.

Silicijske wafer pločice

Veličina uglavnom 156 x 156mm, debljina iznosi oko 180 – 250 μ m.
 (za poređenje: debljina vlasi kose 60 – 80 μ m)



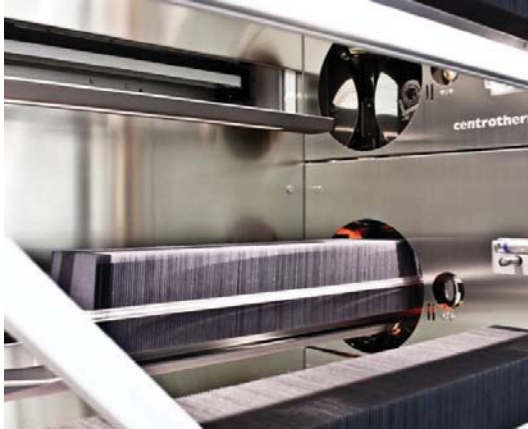
Slika 49: Pločica od multikristalnog silicija (lijevo) i od monokristalnog silicija (desno)

Osnove fotonapona – OFN

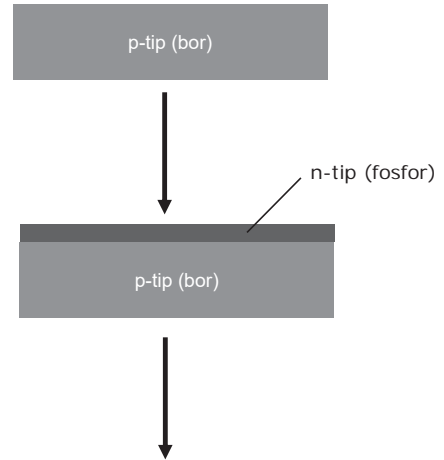
4.3.5 Sljedeći koraci u proizvodnji

Izrezana pločica se uranja u kupku za jetkanje kako bi se uklonila oštećenja od kristala i nečistoće, proces se naziva jetkanje oštećenja. Nakon toga slijedi površinsko teksturiranje pomoću kalijeve lužine.

Energetski vrlo intenzivan proces pri temperaturi od 900°C u atmosferi $\text{POCl}_3\text{-N}_2$ je stvaranje pn-spoja. Za vrijeme difuzije se početni materijal (p-tip poluprovodnika, wafer) dodavanjem novih primjesa (fosfora) presvlači sa tankim n-tipom poluprovodnika.



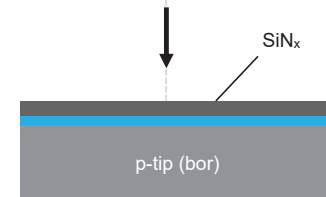
Slika 50: Difuzijska peć www.centrotherm.de



Potom slijedi nanošenje antirefleksivnog sloja. Zbog toga se na prednjoj strani (gornjoj strani) ćelije nanosi sloj od 70nm SiN_x i odvaja u $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$ atmosferi. Na taj način se postiže redukcija moguće refleksije crvenog svjetlosti dok se plava svjetlost slabo reflektira (zbog toga ćelija ima tipičnu plavu boju).



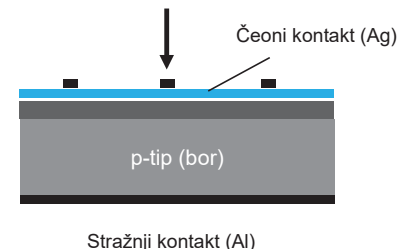
Antirefleksivni sloj www.wikipedia.org



Nakon toga se metalni kontakti nanose postupkom sito štampe. Postavlja se specijalna maska na ćeliju i premažu se i gornja i donja strana sa srebrenom metalnom pastom. Za kontakt na gornjoj strani se koristi srebro – Ag, a kontakt na poleđini se potpuno prekriva s aluminijumom – Al.

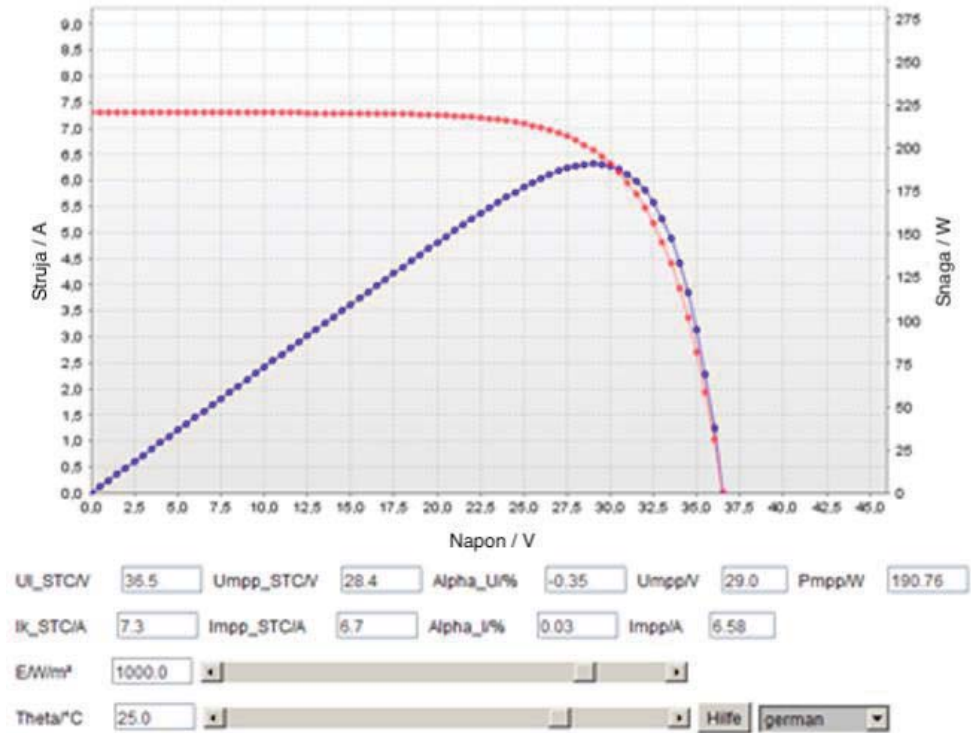


Čeoni / stražnji kontakt www.wikipedia.org



Osnove fotonapona – OFN

Kod pretposljednjeg koraka se obnavlja rubno područje, koje je također dotirano n-tipom. Ivice ćelija se izoliraju pomoću procesa jetkanja i laserskog rezanja. Suština postupka je da se isključi mogući kratak spoj preko ivica.



Slika 51: Strujno – naponska karakteristika solarne ćelije

Nakon završetka tog procesa provodi se mjerenje I/U- karakteristike solarne ćelije, kako bi se saznala klasa kvaliteta dobivene ćelije.

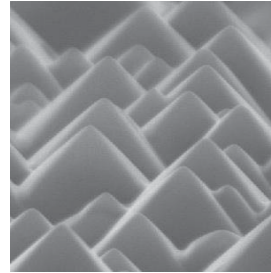
Ovako napravljene solarna ćelija se sada može produktivno koristiti u fotonaponskim modulima.

Osnove fotonapona – OFN

4.3.6 Povećanje stepena efikasnosti / optimizacija ćelije

Tekstuiranje površina

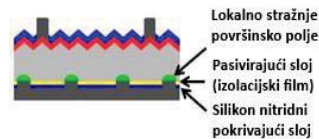
Ovim korakom se načini hemijskim jetkanjem prednja površina ćelije grubom. Kod monokristalne pločice na taj način nastaju pravilne piramide koje su velike oko $10\mu\text{m}$. Zato se sada reflektira manje svjetla, jer se površina povećala, a uz to se površina solarne ćelije ne pojavljuju više kao plavičasta, već je potpuno crna. Ovaj proces je postao standardni tehnološki proces.



Slika 52: Tekstuiranje površina
www.pveducation.org

PERC-ćelija

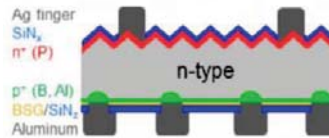
Passivated Emitter Rear Cell (stražnja ćelija pasiviziranog emitera); pločica solarne ćelije dolazi u kontakt samo još na mjestima na zadnjoj strani, koja su u obliku tački i pasivirana posebnim premazom (npr. aluminijevim oksidom).



Slika 53: PERC ćelija www.isfh.de

Bifacijalna ćelija

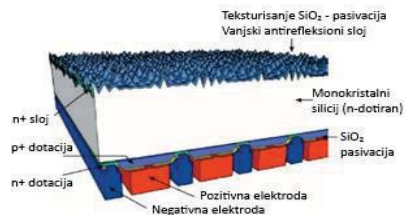
Ona su logički nastavak razvoja PERC-ćelije. Pored tačkastih, poleđinskih kontakata, nanosi se transparentno SiN_x – i AlO_2 sloj. Time se postiže veći prinos (veći stepen efektivnosti) zbog pada svjetlosti na poleđinu uzrokovan refleksijom od površine.



Slika 54: Bifacijalna solarne ćelija www.isfh.de

Ćelija visoke efikasnosti, IBC

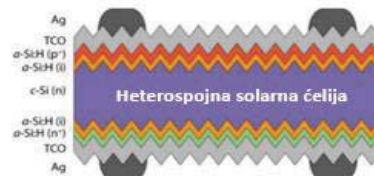
Interdigitated Back Contact; pločica ove solarne ćelije ne raspolaže kontaktima na prednjoj strani, što znači da je moguće maksimalno hvatanje svjetlosti. Na pozadini su izmjenično prisutne p- i n-zone. Ipak, proizvodnja ovakvih solarnih ćelija je vrlo zahtjevna.



Slika 55: IBC solarne ćelije www.dqs.de

Ćelija visoke efikasnosti, HIT

Heterojunction solarne ćelija; formira se nanošenjem tankog sloja od a-Si:H na obje strane n-tipa poluprovodnika. Time ne postoji difuzija pn-spoja. Mofučće je odlično pasiviranje i slaba rekombinacija. Visok je i stepen efikasnosti, ali proizvodnja je složena.



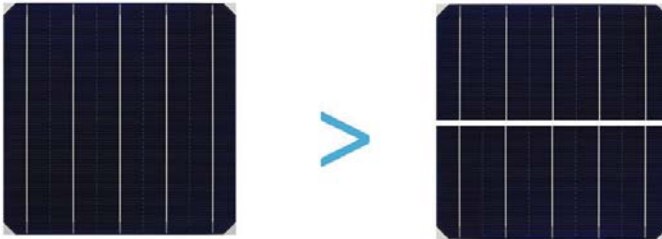
Slika 56: HIT solarne ćelije www.csem.ch

Osnove fotonapona – OFN

4.3.7 Polučelijski moduli

Prvi polučelijski moduli su nastali 2019. godine, a od 2020. godine nazivaju su "polurezane solarne ćelije" ili "polučelijski moduli".

Sve višim klasama efikasnosti i poboljšanim karakteristikama solarnih panela pri STC (Standard Test Conditions - standardnim testnim uslovima) mogu se smanjiti cijene panela. Novi način kojim se to postiže je dijeljenje ćelija na "polučelije". Na prvi pogled ulazni materijal je isti, ali dijeljenjem ćelija se mogu vidno smanjiti neki gubici i na taj način povećati stepen efikasnosti.

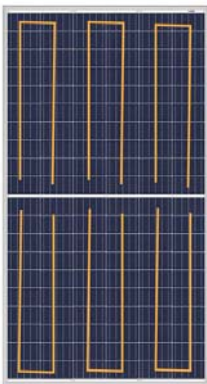


Slika 57: Dijeljenje solarne ćelije na polučelije www.memodo.de

Podjelom ćelije se povećava ukupna površina ćelijskih međuprostora na površini modula. To rezultira manjim dobitkom usljed refleksije preko folije na pozadini panela.

Veći uticaj ima smanjenje električnih gubitaka u konektoru ćelije i poprečnom konektoru.

Kod polučelijskih panela je broj ćelijskih spojeva naspram panela s punim ćelijskim panelima udvostručen. Time se reducira električni otpor spoja i tako se omogućuje sa istom ćelijom proizvodnja sa većim efikasnošću za 2-3%.



Korištenjem 120 polučelija može se pretpostaviti viši napon otvorenog kola i niža struja. Ali to nije slučaj.

Polučelijski moduli imaju dvostruko veći broj ćelija u odnosu na module sa punim ćelijama sa 60 ćelija.

U unutrašnjosti je, međutim, kao i kod modula sa punim ćelijama, 20 ćelija povezano u seriju. Ukupno, umjesto 3 x 20 ćelija, u modulu je paralelno povezano 6 x 20 polučelija.

Svaka 2x20 ćelija zaštićena je unutar modula preko bypass-premosne diode.

Prema vani, polučelijski modul se ponaša u električnom smislu kao modul sa punim ćelijama i stoga se može koristiti i spojiti normalno.

Slika 58: Polučelijski modul www.memodo.de

Zaključak: Dobili smo više snage na istoj površini i po povoljnijoj cijeni.

Osnove fotonapona – OFN

4.3.8 Solarne ćelije tankog sloja

Od 1990. godina se sve više razvijaju postupci nanošenja tankog sloja za proizvodnju solarnih ćelija.

U tom postupku se fotoaktivni poluprovodnici nanose kao tanki sloj na nosećem materijalu (u većini slučajeva staklo), uglavnom pomoću fizikalnog vakumskog taloženja (magnetronsko raspršivanje=katodno raspršivanje) ili hemijskog vakumskog taloženja.

Direktni poluprovodnici imaju visok koeficijent apsorpcije, na taj način je moguće da se sunčeva svjetlost apsorbira u ćeliji tankog filma veličine od 1 μ m (radi poređenja, elektronska pločica od kristalnog silicija je debljine između 180 – 250 μ m).

Prednosti ove tehnologije su:

- Potrebno je manje poluprovodničkog materijala,
- Manja potrošnja energije kod proizvodnje,
- Interesantni nivelirani (skalirani) procesi proizvodnje,
- Veličina modula je neovisna od veličine wafer pločice

U vremenu kada je premalo polisilicija bilo raspoloživo na svjetskom tržištu (2005. – 2008.), interes za ćelije tankog sloja se jako povećao. Prvi fotonaponski masovni proizvod sa ćelijom tankog sloja je kalkulator.

4.3.9 Tipovi ćelija tankog sloja (folija)

Amorfna silicijska ćelija

Ova ćelija je homogena, tamnog izgleda, jednostavna za proizvodnja, na velikim površinama (do 4x4m). Postoje sličnosti sa tehnologijom ravnog ekrana, sa niskim troškovima proizvodnje, manjom zavisnošću od temperature nego kod izrade ćelija od kristalnog silicija, ali su i manje efikasne.

Stepen efektivnosti: 6 – 10%

Bakar-Indijeva diselenidna ćelija

Homogena, potpuno crnog izgleda. Jednostavna proizvodnja moguća i na folijama, velika površina (do 4x4m), manja zavisnost o temperaturi poput ćelija od kristalnog silicija, najskuplji standardni tankoslojni modul, ali zato s najvećom efektivnošću. Moguće su mnoge različite kombinacije elemenata (CIS, CISE, CIGS, CIGSe).

Stepen efektivnosti: 13 – 22%

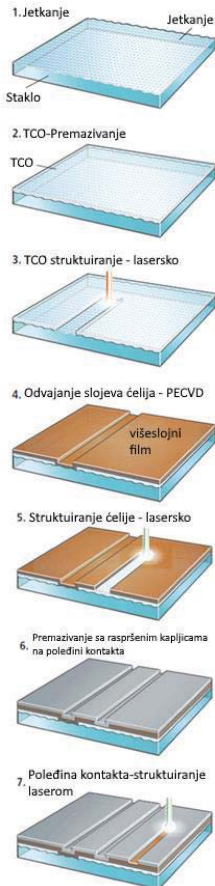
Kadmij-telurid ćelija

Homogena, potpuno crnog izgleda. Jednostavna proizvodnja pri nižem utrošku energije, manja temperaturna zavisnost kao kod ćelija od kristalnog silicija, sporna zbog korištenja kadmija (otpadni proizvod iz rudarenja cinka) i u nekim zemljama čak nije komercijalizirana.

Stepen efektivnosti: 17 – 18%

Osnove fotonapona – OFN

4.3.10 Postupci za proizvodnju



1. Jetkanje

Kako bi se realizirao ulazak svjetla u ćelije jetka se najprije nosivo staklo.

2. TCO-premaz

Kod modula sa tankim slojem funkciju frontalnog kontakta preuzima sloj visoko transparentnog i provodnog sloja metal oksida, takozvani TCO premaz.

3. TCO-struktura

Putem tekstuiranja TCO kontakta se može realizirati funkcija ulaska svjetla. TCO se reže pomoću lasera u pruge širine 0,5cm.

4. Odvajanje ćelijskog sloja

Ovdje se koristi hemijsko ili fizikalno vakumsko taloženje.

5. Struktuiranje ćelije

Nakon toga laser reže ćelije malo pomaknute u odnosu na TCO rezove.

6. Premaz stražnjeg kontakta

Premazivanje stražnjeg kontakta kao sljedeći korak slijedi uglavnom pomoću postupka raspršivanja.

7. Struktuiranje stražnjeg kontakta

Na kraju, još jednim laserskim rezom se odvajaju malo pomaknute pojedinačne ćelijske pruge i istovremeno se stvara unutarnja ćelijska veza.

Slika 59: Postupci za proizvodnju ćelija tankog sloja www.dqs.de

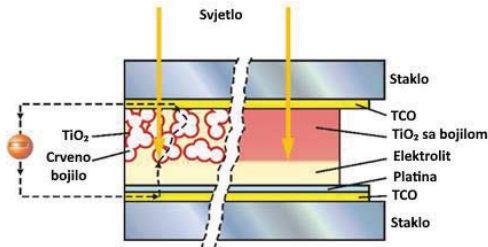
Činjenice:

- Ćelija i modul se proizvode u jednom radnom koraku. To znači da je modul odmah završen i može se koristiti/montirati. Nije potreban proces proizvodnje modula.
- Za proizvodnju se koriste temperature od samo 200 – 600°C umjesto 1.000 – 1.500°C kao kod kristalnih silicijskih pločica.
- Moguć je visok stepen automatizacije (proces "Roll-to-Roll – R2R").
- Utrošak materijala višestruko je niži nego kod ćelija sa kristalnim silicijem.

Osnove fotonapona – OFN

4.3.11 Novi koncepti ćelija

Solarna ćelija osjetljiva na boje (DSSC)



Slika 60: DSSC www.dqs.de

- Poluprovodnik: TiO_2
- Apsorpcija svjetla pomoću organske molekule osjetljive na boju (čime se svjetlosna energija pretvara u električnu energiju).

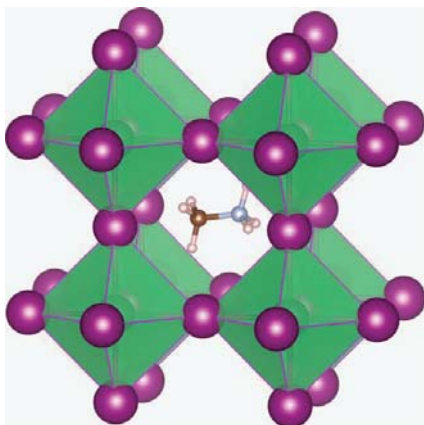
Organska solarna ćelija (OPV)



Slika 61: Organska ćelija - OPV www.heliatek.com

- Poluprovodnici: organske molekule sa poluprovodničkim osobinama (n- i p-tipa),
- Aktivni sloj ekstremno tanak 100nm,
- Utrošak materijala: $1\text{gr}/\text{m}^2$,
- Jednostavna proizvodnja,
- Mogući fleksibilni moduli.

Solarna ćelija od perovskites molekula



Slika 62: Perovskites molekula www.wikipedia.org

- Tipična perovskites molekula: $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$,
- Sadrži samo povoljan/jeftin materijal,
- Visoka efektivnost, brz napredak,
- Rastvara se u kontaktu sa vodom,
- Sadrži (minimalne količine) olova.

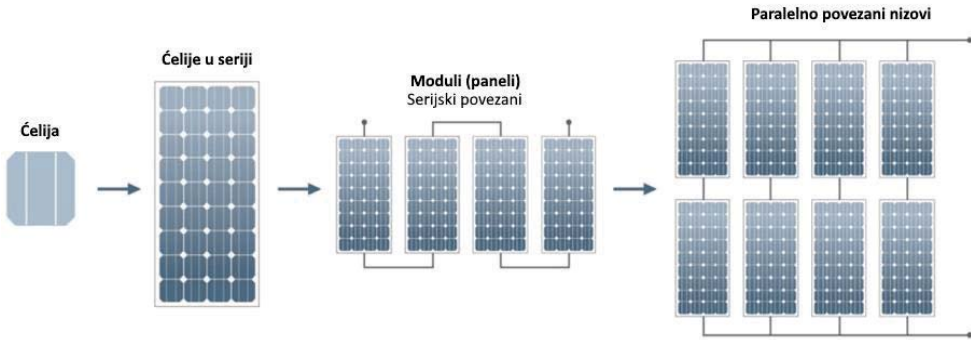
Osnove fotonapona – OFN

5 Komponente fotonaponskog sistema

Zadaci: Riješite nakon poglavlja 5 zadatke 16 i 18 iz radne knjige "Osnove fotonapona"



5.1 Fotonaponski modul (solarni modul)



Slika 63: Od ćelije do modula www.i.pinimg.com/originals/e

Proizvodnja fotonaponskog modula/panela počinje spajanjem pojedinačnih ćelija u seriju, a zbog njihove male vlastite snage (podsjećamo: $U_{oc} \approx 0,6 - 0,70V$; $I_{sc} \approx 10 - 11A$) i kako bi se proizvela veća snaga te ista transportovala sa malim gubicima.

Standardni modul za upotrebu u domaćinstvima ima električnu snagu 320 – 500 Wp. Tehnika se izuzetno brzo razvija tako da postoje industrijski paneli snage do 1.000 Wp.

Ako je više modula povezano u seriju to se naziv **niz** (engl. string). Ako su oni paralelno povezani sa drugim nizovima (string-ovima), to se naziva **polje nizova** (engl. array). Cjelokupnost svih serijskih nizova i polja nizova formiraju **fotonaponski generator**.



Tipične karakteristike jednog solarnog modula

- Dimenzije: 1.650 x 990mm
- Težina: 18 – 22kg
- Snaga: 320 – 500Wp
- Napon otvorenog kruga/praznog hoda: 36 – 45V
- Prednja strana: Kaljeno staklo (idR 3,2mm)
- Stražnja stana: Folija
- Okvir: Aluminijum

Slika 64: Tipične fizičke i električne karakteristike solarnog modula

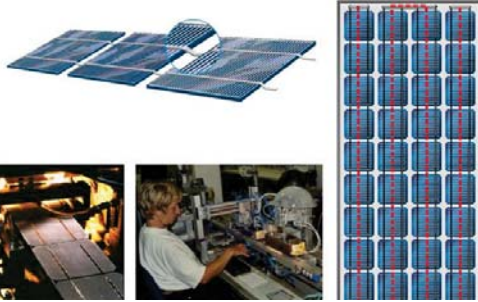


Zapamti: Ove karakteristike jednog modula su tipične, ali nisu standard. To znači: mogu se očekivati odstupanja od tipa do tipa i od proizvođača do proizvođača.

Osnove fotonapona – OFN

5.1.1 Proizvodnja modula (panela)

Moduli na bazi silicijskih ćelija imaju za cilj isporučiti maksimalni energetske prinos po kvadratnom metru uz najnižu moguću cijenu. To su često staklo-staklo ili staklo-film-laminati u čvrstoj kapsuli/okviru. Dostupni su sa i bez okvira, različitih snaga, veličina i formi.



Korak 1: Lemljenje pločica - ćelija

Pojedinačne ćelije se leme u ćelijske nizove (podnizove) u seriji. Nizovi se sastoje često od 36 - 72 ćelije (ili polućelije). Unutar jednog modula ćelije se ne spajaju samo u seriju, već se i pojedinačni podnizovi (sub string-ovi) spajaju paralelno pomoću prenosne – baypas diode.

Slika 65: Lemljenje ćelija www.dqs.de

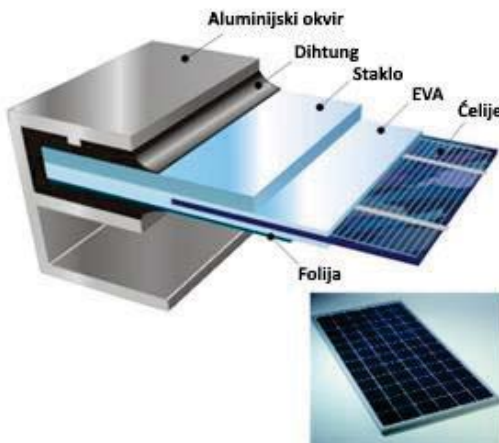


Korak 2: Spajanje više slojeva modula

Nizovi ćelija (polućelija) se laminiraju (spajaju) između prednjeg stakla i stražnje folije, odnosno stakla. Kao vezni materijal se u 95% svih slučajeva koristi EVA (etilenvinil acetat). Taj proces vakumske laminacije se odvija na temperaturama od 150°C.

Ostali materijali za kapsuliranje uključuju PVB (kod tankog sloja), smole za lijevanje, teflon, silikone i ionomere.

Slika 66: Laminiranje ćelija u modul www.sm-innotech.de



Korak 3: Ugradnja okvira

Ugradnja aluminijškog okvira, čija debljina varira u zavisnosti od proizvođača između 32 – 45mm.

Slika 67: Ugradnja okvira www.dqs.de

Osnove fotonapona – OFN



Slika 68: Električni priključak modula www.kostal.com

Korak 4: Električni priključak modula

U pravilu se na poleđini modula nalaze jedna ili dvije utičnice za priključenje modula sa integrisanim baypas diodama. Danas su uobičajne 3 prenosne diode po modulu. Priključci sa utikačem istosmjerne struje (DC) također su standardni.

IP zaštita odgovara minimalno standardu IP55.

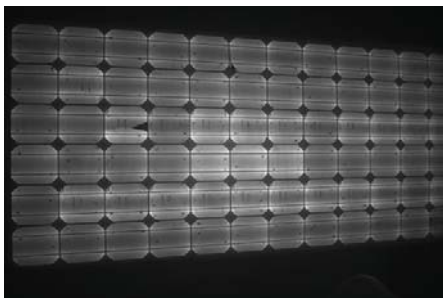


Slika 69: Mjerenje električnih osobina www.jvg-thoma.de

Korak 5: Kontrola / Mjerenje

Pomoću jedne bljeskavice (eng. flasher) se mjere električne karakteristike svakog modula i bilježe u listu. Ova lista/deklaracija bi trebala biti uključena uz svaku isporuku modula.

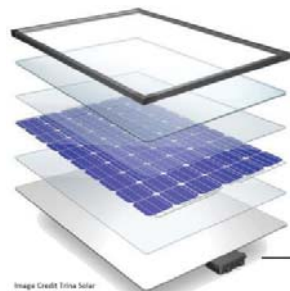
Na listi su rezultati mjerenje električnih osobina uobičajenih na tržištu i na temelju vlastite deklaracije proizvođača.



Slika 70: Elektroluminiscencija www.solartechnik-bayern.de



Zapamti: Tipična struktura standardnog fotonaponskog modula baziranog na solarnim ćelijama, kao što je prikazano desno, može se dovršiti u zadatku 17 radne knjige.



Slika 71: Tipična struktura modula

O proizvodnji fotonaponskih modula (panela) tankog sloja u poglavlju 4.3.10.

Osnove fotonapona – OFN

5.1.2 Standardni testni uslovi (Standard Test Conditions – STC)

Kako bi se mogli nezavisno upoređivati i ocjenjivati različiti fotonaponski moduli iz različitih proizvodnih serija ili različitih proizvođača, koriste se jedinstveni, normirani testni uslovi.

Oni se nazivaju standardni testni uslovi ili skraćeno STC.

Tabela 72: Standardni testni uslovi – STC

Uslov	Vrijednost	Obrazloženje
Jačina ozračenja	1.000W/m ²	Odgovara ljetnom danu bez oblačnosti sa direktnim usmjerenjem prema suncu na nivou mora (0 m n.v.)
Vazдушna masa (Air mass)	AM 1,5	Odgovara zračenju bočno stojećeg prijedpodnevnog/ poslijepodnevnog sunca.
Temperatura	25°C (ćelija)	-
Spektar osvjetljenja	Odgovara normi IEC 904-3 dio III	-

Kada se fotonaponski moduli ispituju prema standardnim testnim uslovima – STC, obično se očitavaju/određuju sljedeći parametri:

- Struja kratkog spoja I_{SC}
- Napon praznog hoda (otvorenog kola) U_{OC}
- Maksimalna snaga P_{MPP}
- Radna struja I_{MPP}
- Radni napon U_{MPP}
- Faktor punjenja FF
- Step en efikasnosti η

Koliko imaju smisla testovi prema STC?

Kao što je već spomenuto, glavni razlog STC je mogućnost upoređivanja različitih panela. S podacima dobivaju solarni inženjeri pregled onoga što bi izabrani fotonaponski panel/sistem mogao učiniti, a može se idealno usporediti odnosijene i efikasnosti.

U stvarnosti je, međutim, gotovo nemoguće identično predstaviti temperaturu ćelije i normativni spektar.



Zapamti: U svim proračunima i projektima, kako u ovoj obuci tako i kasnije u praksi, uvijek se prvo izračunavaju STC vrijednosti.

Osnove fotonapona – OFN

5.1.3 Normalna radna temperatura ćelije (NOCT – Normal Operation Cell Temperatur)

Radi izjednačenja imenovanih kritičkih tačaka (temperatura / spektr) može se koristiti drugi testni uslov koji je približniji realnosti fotonaponskih sistema na licu mjesta.

Taj je uslov naziva normalna radna temperatura ćelije – NOCT, pri čemu se uzima u obzir čak mala brzina vjetra od 1m/s.

Tabela 73: Uslovi NOCT-a

Uslov	Vrijednost	Obrazloženje
Jačina ozračivanja	800W/m ²	Odgovara uobičajenom ljetnom danu u centralnoj Evropi, nivo mora (0 m n.v.)
Vazдушna masa (Air Mass)	AM 1,5	Odgovara zračenju bočno stojećeg prijedpodnevnog/ poslijepodnevnog sunca.
Temperatura	20°C (okolina)	-
Temperatura	45°C (rad ćelije)	-
Spektar osvjetljenja	Odgovara normi IEC 904-3 dio III	-
Brzina vjetra	1m/s	Donje područje jačine vjetra (3,6km/h)

5.1.4 Stepenn efektivnosti fotonaponskih modula

Stepenn efikasnosti je općenito odnos predate i isporučene snage. Razlika koja pri tome nastaje se naziva gubicima ili kao gubitak snage.

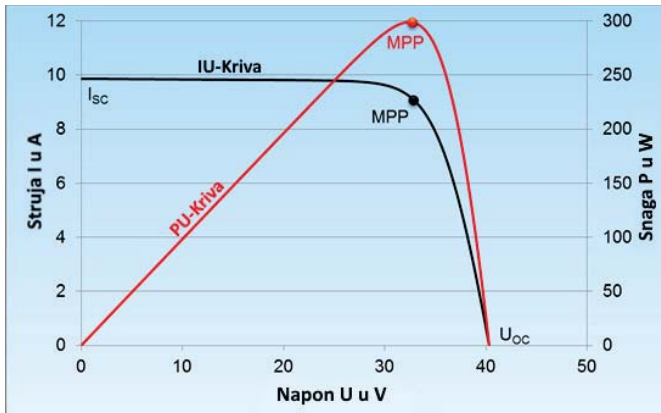
Navedeni stepenn efikasnosti na listu sa podacima nekog fotonaponskog modula odnosi se – ako drugačije nije navedeno – na izmjerene parametre prema STC.

$$\eta = \frac{P_{Modul}}{P_{Sol}} = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{A \cdot I_{rr}} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot U_{OC}}{A \cdot I_{rr}} = \left(\frac{\text{Nominalna snaga modula in } W_p}{\text{Površina modula u } m^2 \cdot 1.000 \frac{W}{m^2}} \cdot 100 \right)$$

Osnove fotonapona – OFN

5.1.5 Parametari jednog fotonaponskog modula

Na slici 69 je prikazana strujno-naponska karakteristika fotonaponskog modula pod standardnim testnim uslovima (STC). Snaga fotonaponskih modula se navodi sa Wp (Watt peak), ovo zapravo ne bi bilo u potpunosti tačno budući da se pojam Wp ne pojavljuje u SI sistemu jedinica i morao bi glasiti samo W (watt). Ipak Wp se internacionalno etablirao i svima je dobro razumljiv.



U_{oc} = napon praznog hoda/otvorenog kola (open circuit),

U_{MPP} = radni napon, pri max tački snage,

I_{sc} = struja kratkog spoja (short circuit),

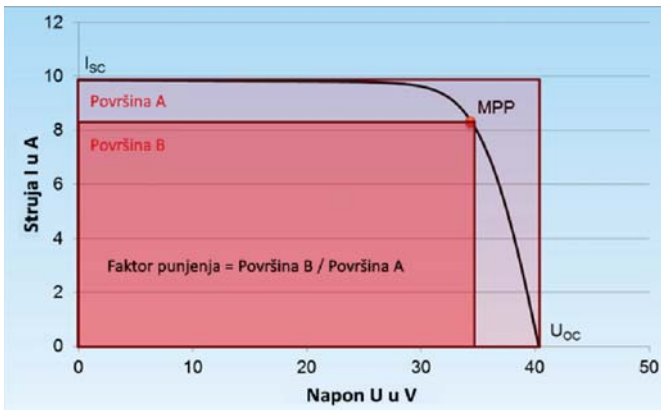
I_{MPP} = radna struja, pri max tački snage.

Slika 74: IU karakteristika FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

5.1.5.1 Faktor punjenja (FF)

Faktor punjenja jednog fotonaponskog modula je mjera za serijske i paralelne gubitke unutar fotonaponskog modula, odnosno ćelije.

Što je veći faktor punjenja utoliko manje gubitaka ima fotonaponski modul.



Vrijednosti FF na primjeru:

Kristalini Si: 0,75 – 0,85

Amorofni Si: 0,56 – 0,66

Mikroamorf.: 0,60 – 0,70

CIS: 0,64 – 0,75

CdTe: 0,47 – 0,70

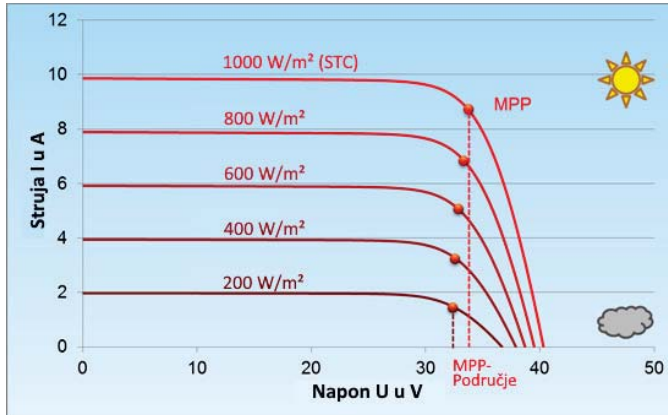
Slika 75: Faktor punjenja FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Osnove fotonapona – OFN

5.1.5.2 Zavisnost od temperature i osunčanosti

Fotonaponski sistemi rade u odnosu na druge tehničke uređaje rijetko u nominalnom pogonu. Kao nominalni pogon se podrazumijevaju svi električni parametri po STC uslovima.

Vrijednosti struje i napona fotonaponskih modula su zavisne od temperature i osunčanosti.



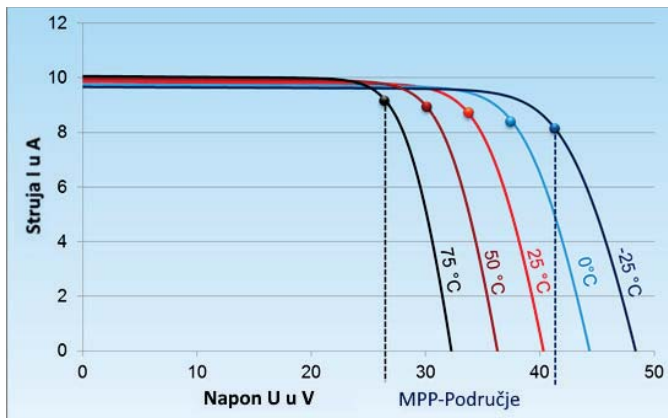
Slika 76: Uticaj osunčanosti, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Osunčanost najviše utiče na **vrijednost struju** u fotonaponskom modulu.

Porast struje je prilično linearan u odnosu na osunčanost. (na slici 71).

U_{MPP} je, nasuprot tome, skoro konstantan. Samo malo se mijenja sa povećanim osunosti.

Isto vrijedi i za U_{oc} .



Slika 77: Uticaj temperature, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Temperatura modula/ćelije najviše utiče na **vrijednost napon** u fotonaponskom modulu.

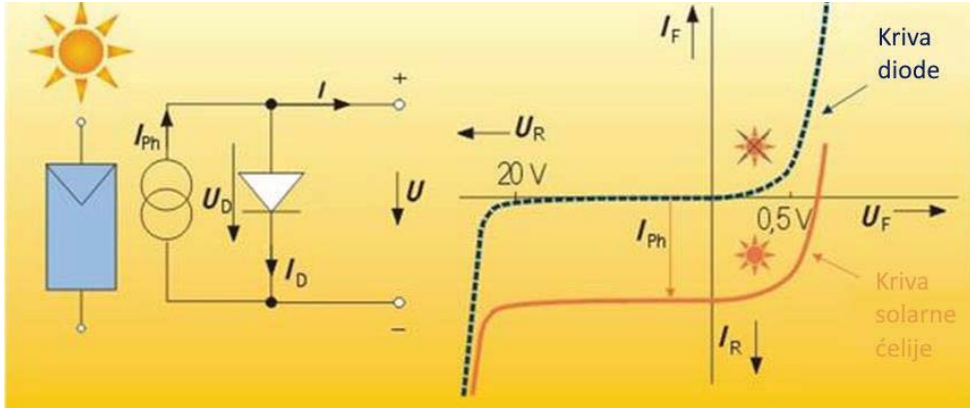
Sa povećavanjem temperature opada napon, ali povećava se struja i opada izlazna snaga.

Efekat smanjenja napona je ipak dominantniji od struje i snage.

Okvirna vrijednost: izlazna snaga opada za 0.5% po °C.

Osnove fotonapona – OFN

5.1.5.3 Strujno-naponska karakteristika solarne ćelije



Slika 78: I-U karakteristika solarne ćelije www.dgs.de

I Kvadrant (gore desno)

Silicijska solarna ćelija koja nije osunčana se ponaša kao obična poluprovodnička dioda (na slici "Kriva diode"). Ukoliko se takva dioda direktno polariše naponom $U_F \geq 0,5-0,6V$, tj. da je na anodi napon za 0,6V viši od napona na katodi, počinje kroz nju proticati struja.

II Kvadrant (gore lijevo)

U ovom području (kvadrantu) ni poluprovodnička dioda ni solarna ćelija nema funkciju.

III Kvadrant (dole lijevo)

Ukoliko se na poluprovodničku diodu dovede inverzni napon U_R , ona provodi veoma malu struju, ali ako se pretjera sa vrijednošću napona, preko granice proboja, može doći do uništenja diode.

S druge strane, kada se solarna ćelija osunča, na njoj se pojavi inverzni napon i počinje teći konstantna, inverzna struja I_{ph} . Za datu osunčanost ova struja predstavlja radnu struju solarne ćelije. I ovdje treba paziti da se ne pretjera sa inverznim naponom, jer postoji opasnost od uništenja.

IV Kvadrant (dole desno)

Čim postoji pad osunčanosti ili umjetne svjetlosti u spektru IEC 904-3, statička karakteristika se pomjera u IV kvadrant. Struja se značajno smanjuje, ali ako je strujni krug zatvoren struja teče.



Zapamti: Na listovima sa podacima o modulu prikazuje se samo kvadrant IV. Radi jasnoće, ove krive se prikazuje horizontalno (uporedi 5.1.5).

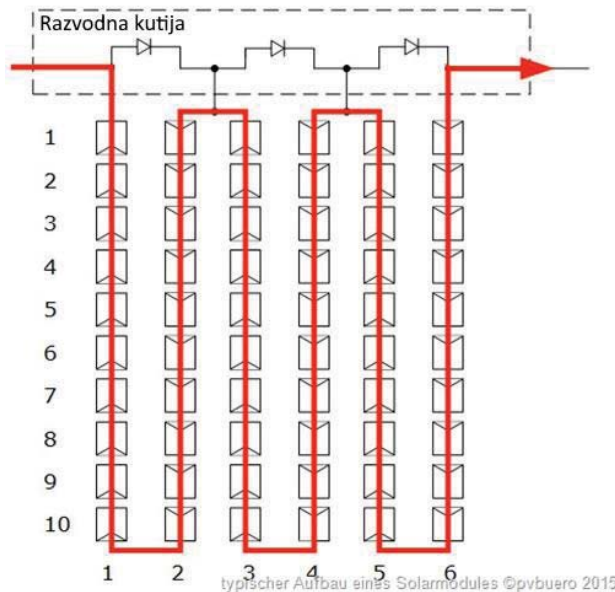
Osnove fotonapona – OFN

5.1.5.4 Premosna – bypass dioda

Pod određenim radnim uslovima pojedine ćelije u fotonaponskom modulu ne proizvode nikakvu energiju i postaju potrošači (prelazak iz kvadranta IV u kvadrant III).

Uzrok za to može biti zasjenjivanje ili oštećenje ćelija, kao npr. prelomi. Zasjenjena ćelija može se tako jako zagrijati da se ošteti ćelijski materijal, stvaraju se tzv. vruće tačke (eng. hot spots).

Jedna vruća tačka smanjuje snagu fotonaponskog modula (osim ako nije na provodnom pojasu), ali prilikom svakog ponovljenog zasjenjenja povećava se vjerovatnost kvara ćelije ili modula.



Tipično spajanje bypass diode unutar fotonaponskog modula

Kod ovog primjera modul ima 60 ćelija. Od toga je 20 ćelija u seriji spojena u tzv. podniz (eng. sub-string).

Tri (3) postojeća podniza su paralelno spojena preko 3 premosne – bypass diode.

Slika 79: Bypass diode www.photovoltaiquero.de

Ove bypass diode unutar fotonaponskog modula imaju dva zadatka/funkcije:

1. Bypass diode štite fotonaponski modul od toplotnog uništenja. U slučaju da je više ćelija zasjenjeno i postoji opasnost od jedne ili dvije vruće tačke, bypass dioda postaje provodna, odnosno direktno polarisana, jer je napon na njenoj anodnoj strani viši od napona na njenoj katodnoj strani.
2. Problem serijskog spajanja ćelija je što kroz svaki element protiče ista struja. Dakle, ukoliko je jedna ili više ćelija zasjenjeno, onda se struja smanjuje (kao crijevo za vodu sa dugmetom). Da ne bi dolazilo do smanjenja toka struje kroz panel, a postoje uslovi za otvaranje bypass dioda, one provedu i preusmjeravaju strujni tok.

Oba zadatka su direktno ovisna jedan o drugom, odnosno idu zajedno.

Osnove fotonapona – OFN

Primjer 1. Djelimično zasjenjenje modula

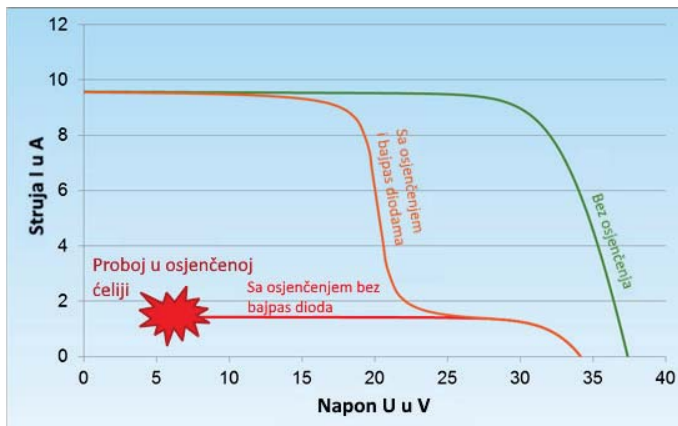
Neka je npr. jedna ćelija zasjenjena zbog dimnjaka. Na slici je jasno vidljiva osnovna sjena.

Načelno pravila za osnovnu sjenu je faktor 10. To znači, ako cijev dimnjaka ima prečnik od 10cm, osnovna sjena je duga $10 \times 10 = 100\text{cm}$.

Sve preko toga se može smatrati kao difuzna sjena, a udio difuznog osvjetljenja (Dh ili DHI) kompenzirao je udio nedostajućeg direktnog osvjetljenja (Bh).



Slika 80: Zasjenjenje modula



Slika 81: Zasjenjenje ćelije/modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Neka u ovom slučaju fotonaponski modul ima tri bypass diode.

Prepoznaju se karakteristične krive:

- bez zasjenjenja,
- sa zasjenjenjem i aktivnim bypass diodama i
- bez bypass dioda.

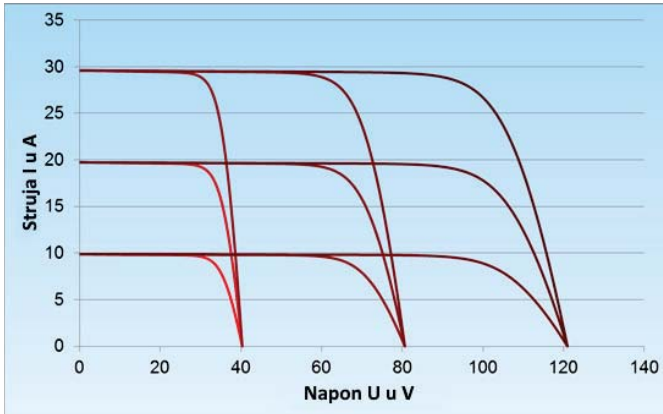
Bez bypass diode bi ćelija u probuju proizvela vruću tačku (hot spot) i snaga cijelog niza (string-a) bi bila reducirana.



Zapamti: Da bi bypass dioda postala aktivna, mora probojni napon ćelije/ćelija biti veći od probojnog napona bypass diode. To znači da u pravilu najmanje dvije ćelije moraju biti zasjenjene. Što je modul veće snage, veća je vjerovatnoća da će jedna ćelija biti dovoljna.

Osnove fotonapona – OFN

Primjer 2. Djelimično zasjenjivanje u serijskom i paralelnom spoju



Ukoliko dođe do zasjenjenja, bypass dioda je odgovorna za proporcionalni gubitak prinosa.

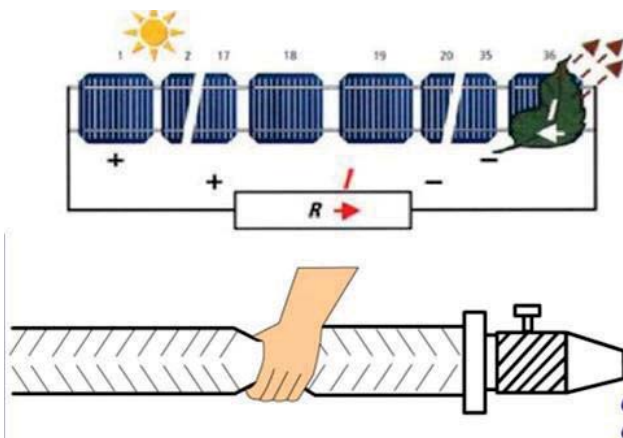
Bypass dioda će ili:

- sniziti napon u svim serijskim nizovima,
- ne provodi,
- reducira struju u svim modulima jednog niza.

Slika 82: Djelimično zasjenjivanje, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

5.1.5.5 Činjenice o bypass diodama

- Bypass dioda bi trebala premostiti najviše toliko ćelija da je njihov maksimalni napon manji od probojnog napona ćelije.
- Bypass dioda ne bi trebala biti potrebna u normalnom radu, jer i nije napravljena za neprekidni rad. Inače može veoma brzo ostariti.
- Bypass dioda može za vrijeme trajnog rada sama postati vruća tačka, pa postoji opasnost nestanka toplote.
- Bypass dioda je tipična slaba tačka u fotonaponskim modulima, danas je nažalost ne može zamijeniti, jer je ona uglavnom islivena u priključnoj kutiji modula.
- U praksi je veća vjerojatnost da će sjena pogoditi jednu cijelu ćeliju kristalnog fotonaponskog modula nego ćeliju modula tankog filma.
- Moduli sa tankim slojem reaguju slabije na osjenčenje jer je u pravilu potpuno osjenčenje jedne ćelije manje vjerovatno.



- Najzasjenjenija ćelija definira struju u nizu/string-u,

- Iz toga dolazi kao rezultat proporcijalno smanjenje prinosa,

- Bypass dioda minimizira taj efekat, ali nije ni rješenje za svaku situaciju kod zasjenjenja.

Slika 83: Uz objašnjenje zasjenjenja www.dqs.de

Osnove fotonapona – OFN

5.1.5.6 Norme za fotonaponski modul

Za sigurnost fotonaponskih sistema pri upotrebi u fotonaponskim energetskim sistemima postoje dvije relevantne norme, koje bi trebale biti vidljive na listu sa podacima fotonaponskih sistema.

- (SN) EN 61730, Fotonaponski modul – Certifikat o sigurnosti,
- (SN) EN 61215, Fotonaponski modul montiran na zemlji – Dozvola za upotrebu sa tehničkim karakteristikama.

Tabela 84: Podjela modula u tri klase

Klasa	Područje upotrebe	Minimalni zahtjev
Klasa A	Primjena u objektima na istosmjernim sistemima > 50V ili > 240W (javno pristupačni)	Moduli zaštitne klase II
Klasa B	Primjena u solarnim elektranama zaštićena konstrukcija sistema (javno nepristupačan)	Moduli zaštitne klase 0
Klasa C	Primjene u području malog istosmjernog napona i snage < 50V ili < 240W	Moduli zaštitne klase III

Direktiva EU o niskom naponu zahtjeva obaveznu oznaku CE za istosmjerne sisteme između 75 – 1.500V, ali oprez:



Oznaka CE: "Communauté Européenne", u prevodu "Evropska usklađenost".

CE oznaka simbolizira usklađenost proizvoda sa važećim zahtjevima, koje Evropska Unija zahtjeva od proizvođača.

Slika 85: Oznaka Evropske usklađenosti proizvoda

Stavljanjem CE oznake odgovorna osoba potvrđuje da je proveden odgovarajući postupak ocjene usklađenosti i da je proizvod u skladu sa svim važećim EU propisima.

Oznaka CE nije oznaka kvalitete ili porijekla.

CE oznaka je oznaka autentičnosti i službeni pečat Conformite Europeenne govori o usklađenosti s evropskim sigurnosnim standardima

S druge strane kineska oznaka CE govori samo da je proizvod dolazi iz Kine i da vjerovatno ne ispunjava evropske zahtjeve za sigurnost proizvoda, jer CE=China export znači "kineski izvoz". Ovaj kineski znak je imitacija.

Kod kineskih proizvoda se savjetuje oprez, jer proizvođači ili unaprijed znaju da njihovi proizvodi ne zadovoljavaju evropske standarde ili su toliko neupućeni da se ni ne trude testirati svoje proizvode.

Osnove fotonapona – OFN

5.2 DC – istosmjerni fotonaponski kablovi

Svaki modula u pravilu ima priključnu kutiju za spajanje istosmjernih spojnih kablova. Dužina kabla varira zavisno o proizvođaču, ali obično je okruglog presjeka i za "+" i "-" pol i mogu biti različite boje izolacije.

Kablovi za nizove (string) i polja (array) koriste solarni / fotonaponski kabl koji mora ispuniti povećane zahtjeve.



Dopunite u dostupnoj radnoj knjizi tačke 1 do 4, kod zadatka 20.

Slika 86: DC kablovi www.leoni.com

Ostali zahtjevi:

- Visoka postojanost na temperaturu -40 do +100°C,
- Maksimalna dozvoljena temperatura na kablovima 90°C, često do 120°C,
- Dobra otpornost prema toplini, hladnoći, uljima, habanju, UV zračenju, ozonskom zračenju i vremenskim promjenama,
- Bez halogena, bez dima, mala toksičnost,
- Fleksibilna dvostruka izolacije, koja se može skidati (posebno izoliran),
- Područje radnog istosmjernog napona do 1.000VDC (noviji do 1.500VDC).

Strujno opterećenje kablova:

Pri dimenzioniranju kablova trebao se presjek kabla tako izabrati da njegova strujna opterećenost veća od maksimalne struje koja može teći u normalnim uslovima. Samim time ne smije se prekoračiti ni granična temperatura koju može izdržati izolacija omotača kablova. Uslovi koje je potrebno uzeti u obzir su između ostalog:

- Temperatura okruženja,
- Opterećenost kablova,
- Vrsta polaganja (otvoreni u zraku, ili u toplotno izoliranom materijalu u zidu, ...),
- Maksimalna dozvoljena temperatura u kابلu / vrsta izolacije.

Kao opće pravilo važe sljedeće vrijednosti:

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| - 2,5mm ² max 16A | - 6,0mm ² max 25A |
| - 4,0mm ² max 20A | - 10,0mm ² max 40A |

Kod nesigurnosti ili ukoliko se jedan od gore navedenih uslova ne smatra "uobičajenim", elektroinstalater se referira na postojeće norme, npr. za Švicarsku: SN 411000:2020 NIN.

Osnove fotonapona – OFN

Tabela 87: Strujna opterećenost vodova

	25°C	35°C	70°C
Strujno opterećenje /CU 4mm²/ Tip polaganja A1			
1) jednožilni kabl	1) 29,1A	1) 26,9A	1) 16,2A
2) 90°C dozvoljena temperatura provodnika	2) 23,7A	2) 21,8A	2) 13,2A
- ostali provodnici:	3) 20,7A	3) 19,2A	3) 11,6A
3) jedan, tri ili pet provodnika,	4) 18,9A	4) 17,5A	4) 10,6A
4) sedam provodnika			
Strujno opterećenje /CU 4mm²/ Tip polaganja B1			
1) jednožilni kabl	1) 34,9A	1) 32,3A	1) 19,5A
2) 90°C dozvoljena temperatura provodnika	2) 28,4A	2) 26,2A	2) 15,8A
- ostali provodnici:	3) 24,9A	3) 23,0A	3) 13,9A
3) jedan, tri ili pet provodnika,	4) 22,7A	4) 21,0A	4) 12,7A
4) sedam provodnika			
Strujno opterećenje /CU 4mm²/ Tip polaganja F (E)			
1) jednožilni kabl	1) 40,8A	1) 37,6A	1) 22,7A
2) 90°C dozvoljena temperatura provodnika	2) 33,1A	2) 30,6A	2) 18,5A
- ostali provodnici:	3) 29,0A	3) 26,8A	3) 16,2A
3) jedan, tri ili pet provodnika,	4) 26,5A	4) 24,5A	4) 14,8A
4) sedam provodnika			

Strujno opterećenje /CU 6mm²/ Tip polaganja A1			
1) jednožilni kabl	1) 37,4A	1) 34,6A	1) 20,9A
2) 90°C dozvoljena temperatura provodnika	2) 30,4A	2) 28,1A	2) 17,0A
- ostali provodnici:	3) 26,7A	3) 24,6A	3) 14,9A
3) jedan, tri ili pet provodnika,	4) 24,3A	4) 22,5A	4) 13,6A
4) sedam provodnika			
Strujno opterećenje /CU 6mm²/ Tip polaganja B1			
1) jednožilni kabl	1) 44,9A	1) 41,5A	1) 25,1A
2) 90°C dozvoljena temperatura provodnika	2) 36,5A	2) 33,7A	2) 20,4A
- ostali provodnici:	3) 32,0A	3) 29,5A	3) 17,9A
3) jedan, tri ili pet provodnika,	4) 29,2A	4) 27,0A	4) 16,3A
4) sedam provodnika			
Strujno opterećenje /CU 6mm²/ Tip polaganja F (E)			
1) jednožilni kabl	1) 52,4A	1) 48,4A	1) 29,2A
2) 90°C dozvoljena temperatura provodnika	2) 42,6A	2) 39,3A	2) 23,8A
- ostali provodnici:	3) 37,3A	3) 34,5A	3) 20,8A
3) jedan, tri ili pet provodnika,	4) 34,1A	4) 31,4A	4) 19,0A
4) sedam provodnika			



Zapamti: Kako bi se dobila maksimalna kontinuirana struja niza ili polja, mora se ISC korištenog modula pomnožiti, pod STC uslovima s faktorom 1.25, koji je propisan standardima.

Osnove fotonapona – OFN

5.3 Priključci za istosmjernu struju

Fotonaponski priključci za istosmjernu struju (skraćeno DC priključci) se koriste za spajanje od jednog do drugog modula i od fotonaponskog generatora do invertera. Čine važan spojni element preko kojeg cjelokupan sistema mora pouzdano i besprijekorno funkcionisati.

Zbog toga je važno da se spajaju kompatibilni i certificirani DC priključci od istog proizvođača, dakle, bez korištenja DC priključaka različitih proizvođača.

DC priključci predstavljaju nepropusni spoj i pružaju zaštitu od prodora vode i prljavštine, čime sprečavaju koroziju i osiguravaju efikasan prenos energije, bez gubitaka.

Samo visoko kvalitetni proizvodi mogu izdržati velike temperaturne razlike (dan/noć, ljeto/zima), kišu, oluju i UV zračenje tokom dugog vijeka trajanja sistema, 20 – 30 godina.



Slika 88: MC4 priključci www.ec.staubli.com

Osobine **MC4** priključka:

- Potreban set alata za kreplovanje,
- Sistem se zaključava,
- Odvoja se sa alatom,
- Siguran na dodir,
- UV postojan,
- Zaštitna klasa II,
- Vrsta zaštite IP 67,
- Max 1.000V (MC4)/1.500V (MC4),
- Max 30A pri 4mm².



Slika 89: Sunclix www.phoenixcontact.com

Osobine **Sunclix** priključka:

- Nije potreban alat za kreplovanje,
- Sistem se zaključava,
- Odvaja se sa alatom,
- Siguran na dodir,
- UV postojan,
- Zaštitna klasa II,
- Vrsta zaštite IP 68 (priključen),
- Max 1.100V, 40A pri 4mm².



Slika 90: PV stik www.weidmüller.com

Karakteristike **PV stika**:

- Nije potreban alat za kreplovanje,
- Sistem se zaključava,
- Može se odvojiti sa alatom,
- Siguran na dodir, UV postojan,
- Zaštitna klasa II,
- Vrsta zaštite IP 67 (priključen),
- Max 1.500V, 30A pri 4mm².



**Zapamti: DC priključke nikada ne vući na silu! Opasnost od električnog luka!
 U nepriključenom stanju (za vrijeme gradnje na krovu) priključci se obavezno moraju izolirati (dostupni su odgovarajući čepovi).**

Osnove fotonapona – OFN

5.4 Razvodna kutija generatora (GAK)

Fotonaponski sistemi sa više serijskih nizova (stringova) se spajaju u razvodnu kutiju generatora. Razvodna kutija generatora se može naručiti sa širokim izborom komponenti, u različitim veličinama i varijantama i od različitih proizvođača.

Komponente koje su standardno sastavni dio razvodne kutije generatora:

- DC odvodnici prenapona (tip može varirati),
- DC prekidač,
- DC osigurači za serijske nizove,
- DC nadzor kablova i serijskih nizova,
- DC diode za serijske nizove.



Slika 91: GAK sa osiguračima www.aflury.ch

GAK sa osiguračima za serijske nizove:

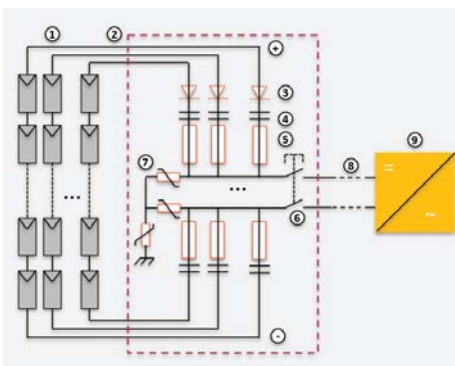
- Razvodna kutija za generator,
- 4 string IN / 1 string OUT,
- Ugradbeni držači osigurača,
- Odvodnici prenapona SPD T1 + T2,
- Pločica za uzemljenje.



Slika 92: GAK bez osigurača www.aflury.ch

GAK bez osigurača za serijske nizove:

- Razvodna kutija generatora,
- 4 stringa IN / 2 stringa OUT,
- Odvodnici prenapona SPD T1 + T2,
- Pločica za uzemljenje,
- Ugradbeni priključak za uzemljenje.



Pojednostavljena šema principa rada jednog GAK-a

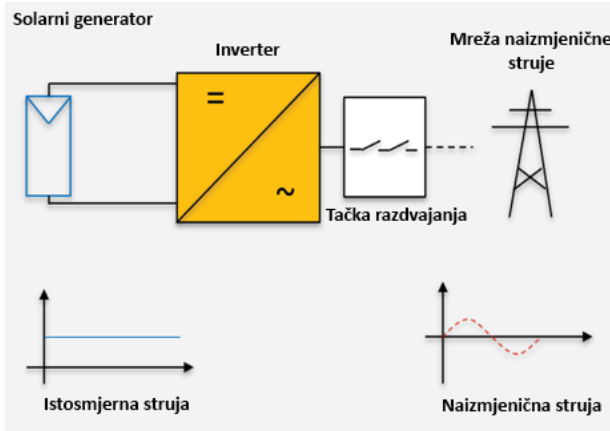
Dopunite tačke 1 do 9 u radnoj knjizi kod zadatka 23

Slika 93: Princip rada GAK-a, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Osnove fotonapona – OFN

5.5 Inverter/i

Inverter je uređaj/sklop koji se nalazi između fotonaponskog generatora i niskonaponske javne mreže. Njegov osnovni zadatak je da transformiše istosmjerni (DC) napon i struju iz fotonaponskih modula u izmjenični (AC) napon i struju niskonaponske mreže te iste prilagodi na postojeću frekvenciju od 50Hz i naponu 230 V.

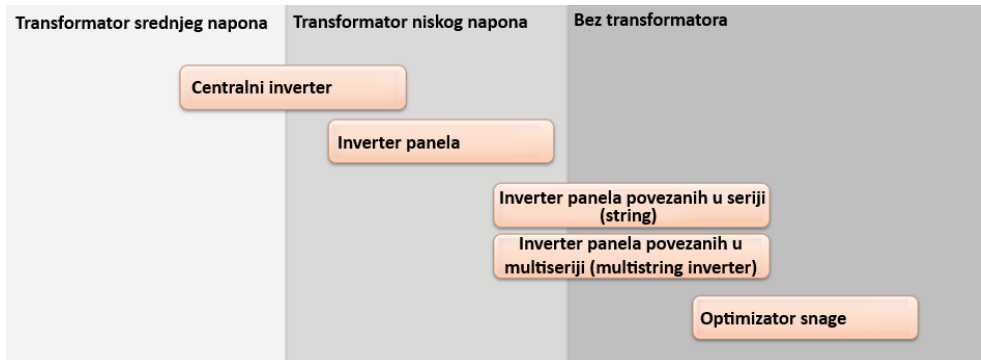


Osnovne funkcija invertera:

- DC: Pomoću DC invertera osigurava se operativno upravljanje solarnim generatorom (MPP-Tracking).
- Prilagođavanja različitih nivoa napona, od različitih stringova, na različitim MPP trekerima
- DC-AC pretvarač koji pretvara istosmjerni – DC u izmjenični – AC napon

Slika 94: Funkcija invertera, Samuel Summermatter, BE Netz AG

5.5.1 Koncepti invertera



Slika 95: Koncepti invertera, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Ovih pet koncepata invertera su danas uobičajeni. Odabir se vrši na temelju finansijskih kriterija (jedan veliki inverter je povoljniji nego više mali inverteri), ali i prema lokalnim tehničkim uslovima.

Načelno važi:

Ako je prisutno višesegmentno zasjenjenje na fotonaponskom sistemu on bi trebao imati više MPP trekera. Zato je za krovne sisteme sa mnogo krovnih konstrukcija prikladniji sistem sa više invertera u odnosu na jedan centralni inverter.

Optimizatori snage i/ili pretvarači modula uglavnom se koriste kada se ne može spriječiti jako zasjenjenje pojedinačnih modula. Za velike sisteme na otvorenim površinama (npr. na krovovima) pretežno se koriste veliki centralni inverteri.

Osnove fotonapona – OFN

5.5.2 Vrste invertera

Pored različitih koncepata invertera isti se dijele i po drugim kategorijama, npr. na invertere sa i bez transformatora, odnosno sa ili bez galvanske izolacije.

Tabela 96: Vrste invertera

	Prednosti	Nedostaci
Inverteri sa mrežnim transformatorom (sa galvanskom izolacijom)	<ul style="list-style-type: none"> - nije potrebna RSD* zaštita - robusni, malo ispada - bez odvodnih struja - nije potreban SPA 	<ul style="list-style-type: none"> - slabija efektivnost - mogu "brujati" - teški i veliki - skup
Inverteri sa HF*-transformatorom (sa galvanskom izolacijom)	<ul style="list-style-type: none"> - nije potrebna RSD zaštita - robusni, manje ispada - visoka efektivnost - bez propusnih struja - nije potreban SPA - lagan i mali 	<ul style="list-style-type: none"> - skup - potrebna dodatna energetska elektronika - osjetljivi na temperaturne oscilacije
Inverteri bez transformatora (bez galvanske izolacije)	<ul style="list-style-type: none"> - Maksimalna efektivnost - Troškovno povoljni - Lagani i mali 	<ul style="list-style-type: none"> - više podložan smetnjama - RSD/SPA potreban - kritičniji na elektromagnetnu toleranciju (EMV)

* RSD ili FID sklopka ima funkciju zaštita instalacije od električnog udara (neposrednog i posrednog dodira) te dodatna zaštita od požara.

* HF – VF visokonaponski transformator

Manja težina i dimenzije, maksimalna efikasnost i niži troškovi su doveli do toga da se danas pretežno koriste inverteri bez transformatora. Inverteri sa transformatorima se danas koriste više ciljano kako bi se preventivno spriječile razne smetnje ili kako bi se reducirale nastale smetnje.

Toako npr. kod poljoprivrednih objekata, gdje prije svega krave reagiraju na curenja struja, preporučuje se korištenje invertera sa transformatorom.

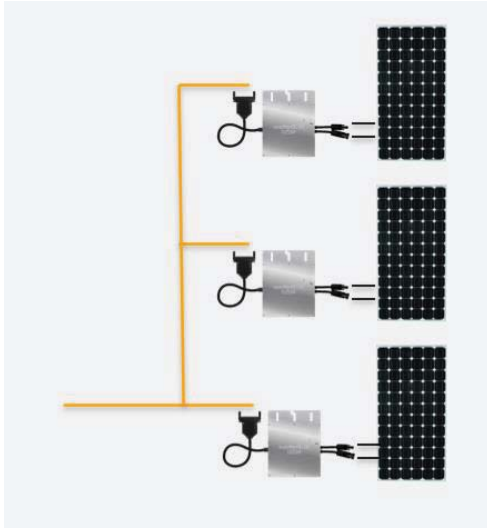
Prije su se koristili fotonaponski paneli koji se nisu morali uzemljiti ni na plus ni na minus strani. Svako uzemljavanje uzrokuje korištenje invertera sa transformatorom.

Inverter bez transformatora bi detektovao grešku u izolaciji i ne bi se uključio. Na ovo se treba obratiti pažnja kada se inverter mora zamijeniti kod starijeg sistema.

Osnove fotonapona – OFN

5.5.3 Tipovi invertera

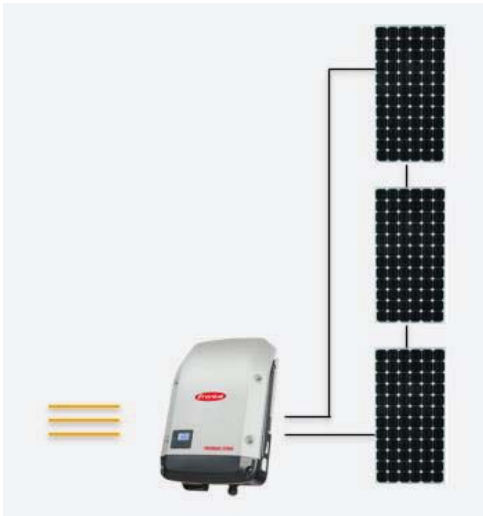
5.5.3.1 Modulski inverteri



- Upotreba kod malih sistema (balkonski/ stoni paneli),
- Dostupna samo jednofazna verzija (maks. asimetrija 3,6kVA),
- Komunikacija preko PLC (Power Line Communication),
- Paneli su paralelno povezani, bez visokog DC napona,
- MPP traganje na nivou jednog panela,
- Isključenje sistema moguće do nivoa jednog panela,
- Mnogo elektronskih uređaja, povećani troškovi servisa,
- Relativno skupi, nisu u širokoj upotrebi.

Slika 97: Modulski inverteri, Samuel Summermatter, BE Netz AG

5.5.3.2 String (serijski) inverteri

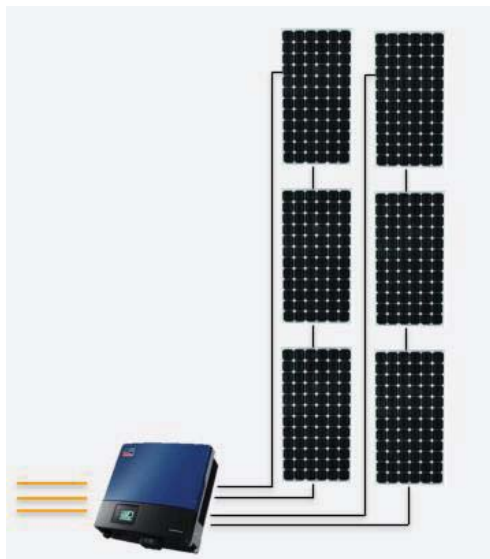


- Upotreba kod malih fotonaponskih sistema,
- Inverter raspolaže sa jednim MPP tragačem,
- Dostupan u jednofaznoj ili trofaznoj izvedbi,
- Uglavnom bez galvanske izolacije,
- Kada ima galvansku izolaciju, onda često ima HF trafo,
- Najviše u upotrebi.

Slika 98: Serijski inverter, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Osnove fotonapona – OFN

5.5.3.3 Multiserijski inverteri



- Upotreba od srednjih do velikih fotonaponskih sistema,
- Inverteri raspolažu sa više MPP tragača,
- Dostupan u jednofaznoj i trofaznoj izvedbi,
- Uglavnom bez galvanske izolacije,
- Kada ima galvansku izolaciju, onda ima HF trafo,
- Idealni za sisteme istok-zapad,
- Trenutno najviše zastupljeni.

Slika 99: Multiserijski inverter, Samuel Summermatter, BE Netz AG

5.5.3.4 Serijski inverteri sa optimizatorom snage



- Upotreba od malih do velikih FN sistema,
- Inverter nema MPP tragač,
- MPP traganje je na nivou modula (optimizator),
- Isključenje sistema moguće do nivoa Panela,
- Dostupni u jednofaznoj i trofaznoj izvedbi,
- Uglavnom bez galvanske izolacije,
- Komunikacija preko PLC (Power Line Communication),
- Idealni za zasjenjena područja/sisteme,
- Mnogo elektronskih uređaja, povećani troškovi servisa.

Slika 100: Serijski inverter sa optimizatorom, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Osnove fotonapona – OFN

5.5.3.5 Centralni inverter



- Upotreba kod velikih FN sistema,
- Inverter raspolaže sa više MPP tragača,
- Često u kombinaciji sa DC sabirnim kutijama,
- Mali negativni uticaji na mrežu,
- Uglavnom direktni napajanje (MS) putem vlastitog trafoa,
- Mogući podređeni (Master-Slave) ili timski koncept,
- Održavanje od strane proizvođača,
- Visoka pouzdanost, ali i visoki troškovi.

Slika 101: Serijski inverter sa optimizatorom, Samuel Summermatter, BE Netz AG

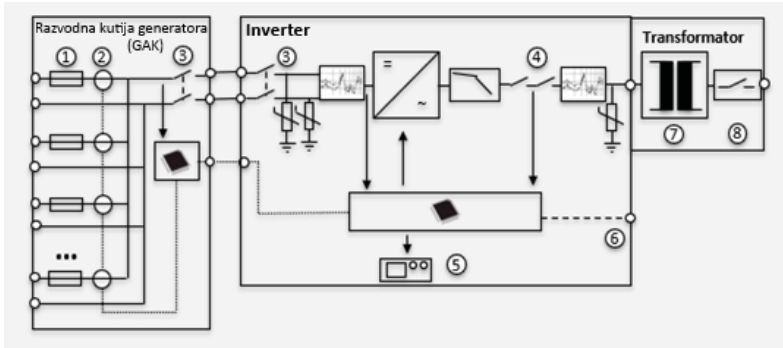


Zapamti: Pravi inverter na pravom sistemu smanjuje mnogo nepotrebnih troškova. Svaki sistem se treba individualno ispitati i planirati na licu mjesta, prema stvarnoj situaciji.

Osnove fotonapona – OFN

5.5.4 Blok šeme invertera

5.5.4.1 Blok šema centralnog invertera



1. Osigurači za serijski niz
2. Mjerač energije
3. DC prekidač
4. Odvajanje od mreže
5. Ekran i opsluživanje
6. Komunikacijsko sučelje
7. Mrežni trafo (NS/MS)
8. AC sklopka

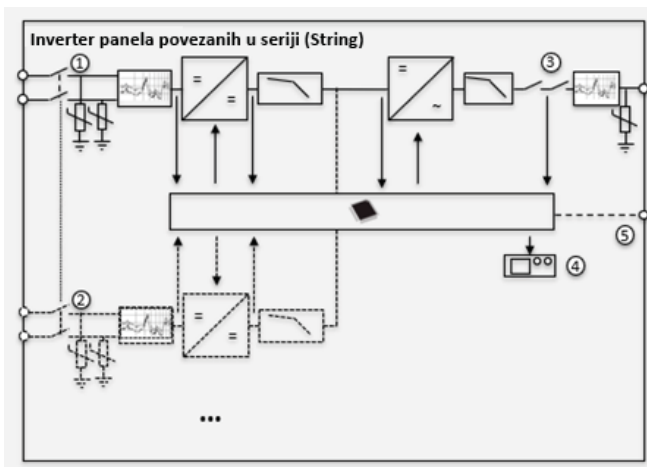
Slika 102: Blok šema centralnog invertera, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Centralni inverteri imaju uglavnom trafo. Na taj način se prema inverteru mogu optimalno prilagoditi naponski nivoi, što npr. dozvoljava direktni dovod energije u niskonaponsku mrežu. Zbog optimalnog prilagođavanja nivoa napona invertera, izlazni napon iza invertera, a prije trafoa, je nešto niži od napona mreže, što povećava efikasnost invertera.

Na taj način je postignuta galvanska izolacija (razdvajanje) fotonaponskog generatora i niskonaponske mreže, čime se nestabilnost sistema smanju na minimum.

Centralni inverter nema DC-DC pretvarač, jer DC-AC pretvarač preuzima traženje MPP. Kao posljedica toga je raspon ulaznog napona ovih invertera ipak manji od promjena kod serijskog niza (stringa) sa DC-DC pretvaračem.

5.5.4.2 Blok šema serijskog i multiserijskog invertera



1. MPP tragač za ulaz 1
2. MPP tragač za ulaz 2...
3. Mjesto odvajanja od mreže
4. Ekran i opsluživanje
5. Komunikacijsko sučelje

Slika 103: Serijski i multiserijski inverter, Samuel Summermatter, BE Netz AG

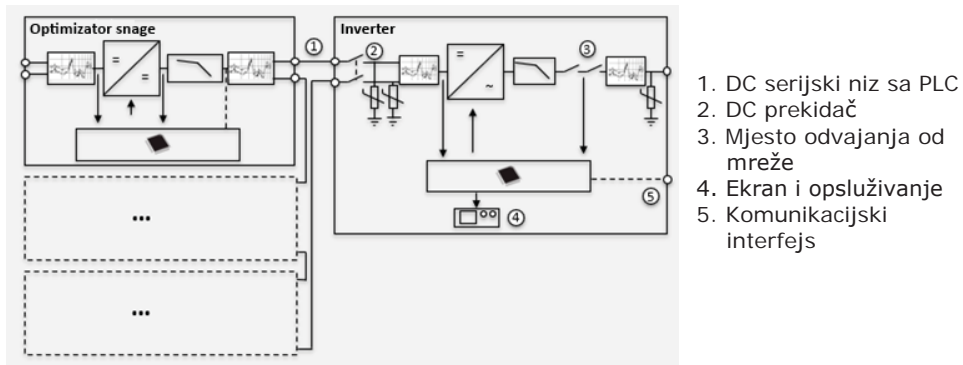
Osnove fotonapona – OFN

Inverter za serijski ili multiserijski niz je uglavnom u izvedbi sa jednim (ili više) DC-DC pretvarača na ulazu. Ovo značajno povećava raspon ulaznog napona čime se dužina serijskog niza može birati vrlo fleksibilno i prilagoditi objektu.

Ako postoji nekoliko DC-DC pretvarača sa odvojenim tragačima MPP, zbir svih DC snaga je obično veći nego AC snaga, čime se dobija mogućnost da se poveže čak i stringovi manje snage, kao npr. kod korištenja male krovne nadstrešnice suprotnog usmjerenja ili orijentacije.

Osim toga, npr. kod sistema usmjernog u pravcu istok-zapad, DC-AC pretvarač se može izabrati manji nego DC-DC pretvarač, jer snaga na pojedinačnom DC-DC pretvaraču ne nastupa istovremeno.

5.5.4.3 Blok šema serijskog invertera sa optimizatorom snage



Slika 104: Serijski inverter sa optimizatorom snage, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Sa optimizatorima snage, DC-DC pretvarač se ugrađuje direktno u polje modula, po svakom modulu ili po više modula. Maksimalna fleksibilnost se postiže jer se MPP praćenje može odvijati na nivou modula.

Cjelokupni napon serijskog niza je prethodno zadat od strane invertera. Kod SolarEdge je u trofaznom sistemu definisan nominalni napon od 750V, a kod jednofaznih sistema nominalni napon od 350V.

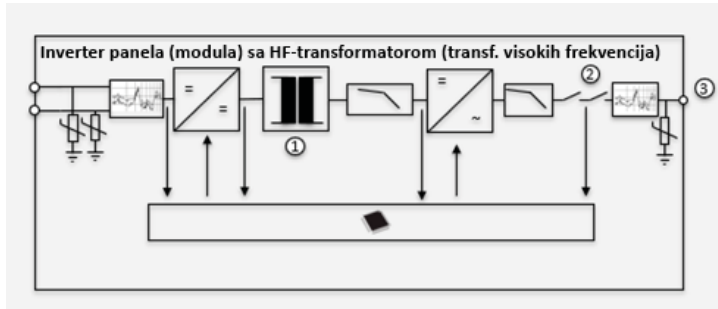
Struja niza se postavlja na osnovu raspoložive snage i ista je za svaki optimizator, ali ovdje postoji vlastito ograničenje sistema od 15A (takođe se odnosi na SolarEdge).

Cijeli napon niza se raspoređuje između optimizatora prema distribuciji snage optimizatora. Da bi serijski niz funkcionisao kao celina, neophodan je sofisticirani sistem upravljanja i komunikacije. Komunikacija se obično odvija preko PLC-a (Power Line Communication).

Budući da se DC-DC pretvarač nalazi na više mjesta u polju panela, raste učestalost grešaka i vjerovatnoća ispada koja se ne da izbjeći.

Osnove fotonapona – OFN

5.5.4.4 Blok šema moduskog invertera



1. HF-Trafo u DC/DC pretvaraču
2. Mjesto odvajanja od mreže
3. Komunikacijski interfejs

Slika 105: Blok šema moduskog invertera, Samuel Summermatter, BE Netz AG

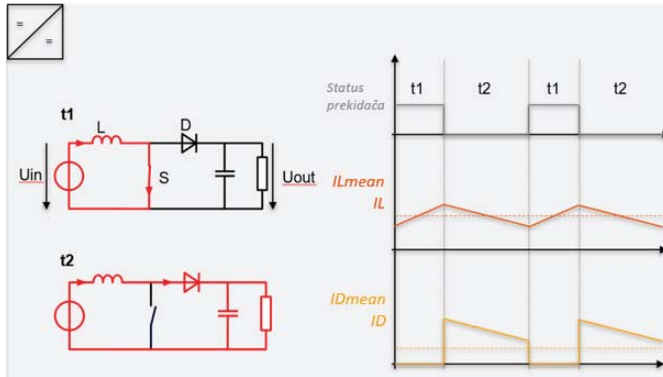
Modularni inverter ima uvijek transformator, budući da se mali ulazni napon sa modula može efikasno transformirati samo sa transformatorom. Obično se uvijek koristi visokofrekventni (VF) transformator, budući da ima manje dimenzije i veću efikasnost.

Budući da se DC-DC pretvarač nalazi na više mjesta u polju panela, raste učestalost grešaka i vjerovatnoća ispada koja se ne da izbjeći.

Osnove fotonapona – OFN

5.5.5 Princip funkcionisanja

5.5.5.1 DC-DC pretvarač (Boost-Converter)



Parametri:

- I_{Lmean} = ulazna struja
- I_{Dmean} = izlazna struja
- U_{in} = ulazni napon
- U_{out} = izlazni napon

Slika 106: DC-DC pretvarač, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Boost konverter je DC-DC pretvarač, koji povećava napon na način da se prekidač S prebacuje u brzim taktovima. Ako je prekidač S zatvoren, "puni se" magnetno polje zavojnice L brzo rastućom strujom. Ako se prekidač S otvori, povećava se napon na diodi dok dioda D ne postane provodna. Magnetno polje zavojnice L se "prazni", a istovremeno se energija akumulira u kondenzatoru.

Upravljanjem ciklusa uključivanja i isključivanja dolazi se do odnosa napona U_{in}/U_{out} . Iz toga se može podesiti rezultujući protok struja modula, što je potrebno za MPP praćenje.

Što se prekidač S brže prebacuje, utoliko manja može biti akumulacija energije (u L i C), što reducira troškove i gubitke. Ukoliko se povećava frekvencija, rastu gubici. Optimalna frekvencijom prebacivanja prekidača je između 10 – 100 kHz.

Mosfet tranzistori se koriste kao prekidači S u DC-DC pretvaračima, jer se mogu vrlo brzo uključivati i isključivati, a prikladni su za kontinuirane struje koje se javljaju (mali gubici).

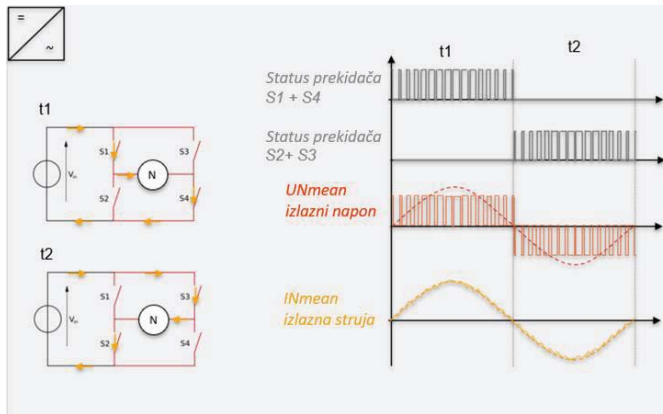
Za još više frekvencije prebacivanja s manje gubitaka danas se koriste mosfet tranzistori od silicij-karbida.

Izlazni napon DC-DC pretvarača/konvertora se može izračunati kako slijedi:

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{1}{(1 - D)} = U_{in} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{t1}{(t1 + t2)}\right)} [V]$$

Osnove fotonapona – OFN

5.5.5.2 DC-AC pretvarač (H-most)



Parametri:

- I_{Nmean} = izlazna struja
- U_{Nmean} izlazni napon
- N = mreža sa LC-filterom

Slika 107: DC-DC pretvarač, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Najjednostavnije invertersko kolo se zove H-most, što odgovara obliku njegovog strujnog kruga. Ako se na sklopku S1 – S4 doda i kratki spoj preko mrežnog filtera kada je sklopka isključena, dobiva se pretvarač sa tri nivoa koji je patentiran za jednofazne uređaje od strane *Fraunhofer Instituta* za tehnologiju pod imenom *HERIC*.

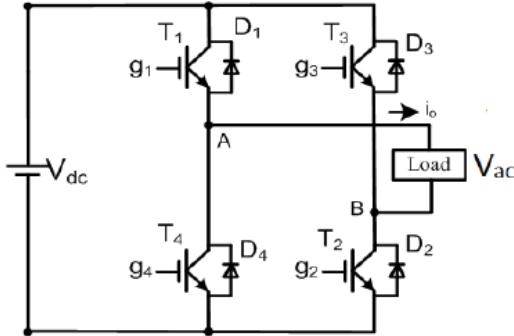
Princip funkcionisanja je sličan kao kod boost konvertera, iako dobivamo nešto umanjen napon kola. Budući da je uvijek poznat mrežni napon, kod invertera se reguliše struja.

U pozitivnom mrežnom polutalasu, sklopka S1 i S4 se uključuju i isključuju istovremeno. Regulator N brine za to da se osigurava stvaranje sinusne struje u mreži. Kako bi se mogao generirati negativna poluperioda struje, polarizacija se odvija u negativnom polutalasu preko prekidača S3 i S4.

Budući da postoji direktna veza sa mrežom i ulazni napon je polaritetom obrnut sa svakim polutalansom, na izlazu nastaje izmjenični napon frekvencije 100Hz između DC+ ili DC- u odnosu na zemlju. Zato se ne može uzemljiti DC pol generatora bez galvanske izolacije od transformatora.

Osnove fotonapona – OFN

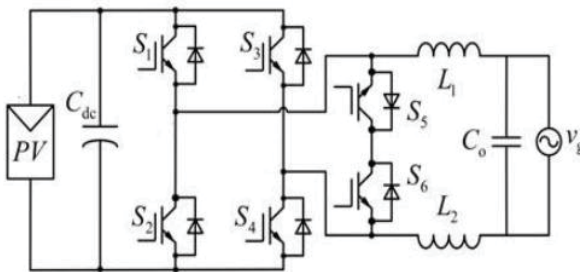
5.5.5.3 Topologije invertera



Slika 108: Most H4

Premosnik ili most H4:

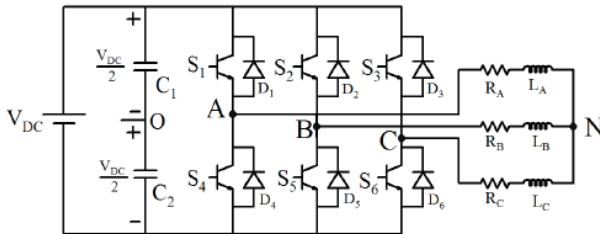
Najjednostavnija jednofazna inverterska topologija sa relativno visokim gubicima i velikim skupim magnetnim dijelovima.



Slika 109: HERIC inverter – most H5

HERIC inverter ili most H5:

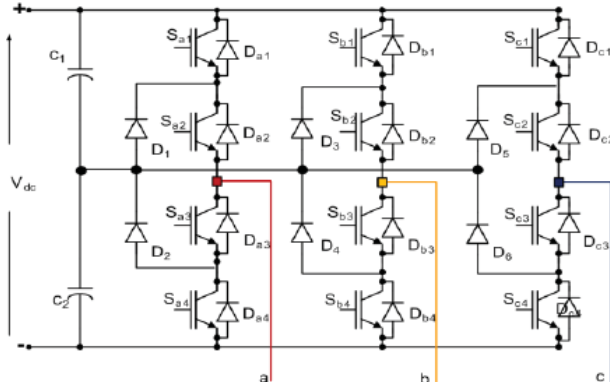
Efikasna topologija pretvarača koja štedi na magnetnim komponentama, koja je patentirana od Frauenhofer ISE.



Slika 110: Most H6

Premosnik ili most H6:

Najjednostavnija trofazna topologija invertera sa relativno visokim gubicima i velikim, skupim magnetnim dijelovima.



Slika 111: Multilevel – NPC inverter

Multilevel ili NPC inverter:

Efikasna topologija pretvarača koja štedi na magnetnim komponentama

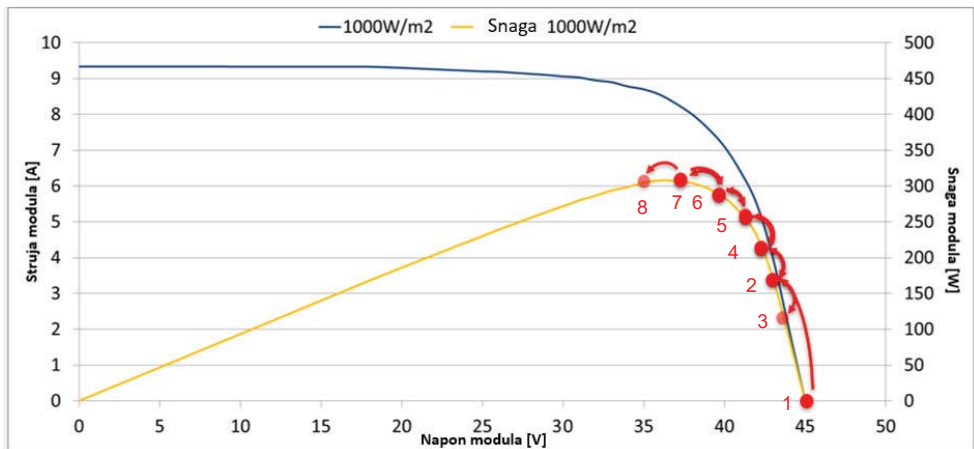
Osnove fotonapona – OFN

Kako bi se došlo od jednofaznog do trofaznog invertera potreban je samo jedan dodatni strujna veza. Inverter se pravi kao H6 most u trokutastom električnom kolu čime je moguće simetrično napajanje.

Pri tome neutralni provodnik obično služi samo kao referenca za mjerenje i kroz njega ne teče struja.

Pošto se tri faze prebacuju sa uglom pomaka od 120° , to rezultira znatno manjom valovitosti struje na ulaznom naponu, pri čemu se mogu koristiti bitno manji kondenzatori. Uz to se i osciliranje napona smanjuje.

5.5.5.4 MPP traganje



Slika 112: MPP traganje, Samuel Summermatter, BE Netz AG

U većini slučajeva se koristi se samo jedan postupak MPP traganja. Prilikom startanja inverter zna da je uvijek prilično udaljen od MPP, zbog čega on obično napravi skok ulaznog napona od 20%. Nakon toga se ulazni napon povećava i smanjuje za manje naponske korake i traži optimalna snaga.

Tri prve dobijene vrijednosti se upoređuju jedna s drugom pri čemu se koristi maksimalna vrijednost snage kao početna tačka za sljedeće korake. Optimalna veličina koraka napona varira zavisno od karakteristične krive.

Dobri MPP algoritmi prilagođavaju odgovarajuće korake dinamički u zavisnosti od okomitosti karakteristične krive. Djelimično algoritmi čak uče, što može pomoći kod djelimičnih zasjenjenja kako bi se izbjeglo zaustavljanje traženja na lokalnim maksimumima.

Što inverter bolje nađe MPP, utoliko veći stepen efektivnosti ima MPP.

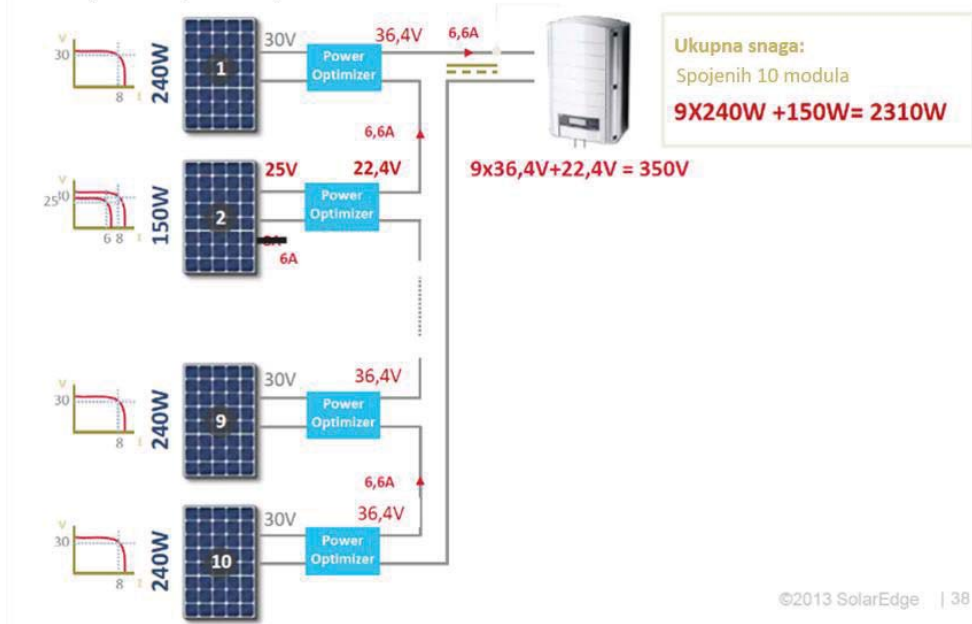


Napomena: Ukoliko se za fotonaponski generator koriste različite orijentacije i nagibi, nužno je koristiti inverter sa više MPP tragača. Serijski nizovi različitih orijentacija se ne mogu spojiti zajedno na jedan MPP tragač.

Osnove fotonapona – OFN

5.5.5.5 Optimizator snage

■ Napon stringa fiksno pri 350V



Slika 113: Optimizator snage www.solaredge.com

Zavisno o izvedbi, optimizatori snage se mogu spojiti na sve vrste invertere, ali načelno se daje prednost specijalnim inverterima.

Kod prikazanom primjeru se radi o sistemu s jednofaznim inverterom firme *SolarEdge* kao i o optimizatorima snage istog proizvođača. Optimizatori snage isporučuju istu struju serijskog niza, napon serijskog niza se reguliše na optimalni napon za inverter (jednofazno 350V/trofazno 750V) i svaki modul radi u MPP rasponu, a optimizator snage isporučuje odgovarajući djelimični napon.

Komunikacija između pojedinačnih optimizatora snaga se odvija putem PLC tehnike, dok isto tako postoji sigurna funkcija istosmjerne struje koja garantuje isključenje cijelog sistema sve do nivoa panela.

Ali oprez; svaki sistem donosi i prednosti i nedostatke.

Npr. optimizatori snage nisu sposobni prenositi struju groma i zbog toga nisu prikladni u kombinaciji s vanjskim sistemom gromobranske zaštite: Osim toga oni uzrokuju smetnje s radijskim i drugim frekvencijama elektromagnetskog spektra.

Već se događalo da su se takvi sistemi, nakon kontrolnih mjerenja na licu mjesta isključivali iz pogona ili su se morao obnoviti ili popraviti o trošku vlasnika.

Osnove fotonapona – OFN

5.5.5.6 Stepen efikasnosti invertera

Stepen efikasnosti opisuje gubitke nastale transformacijom istosmjerne u izmjeničnu snagu. Stepen efikasnosti najviše zavisi od ulazne snage.

$$\eta_{um} = \frac{P_{Ulaz}}{P_{Izlaz}} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Moderni inverter mora, između ostalog, da osigura optimalno prilagođavanje karakterističnoj krivi fotonaponskog generatora. Kako bi se maksimalna solarna snaga P_{DC} uvijek pretvorila u izmjeničnu P_{AC} usklađenu s mrežom, inverter mora automatski postaviti i pratiti optimalnu MPP radnu tačku. Kvaliteta ovog prilagođenja invertera optimalnoj radnoj tački se opisuje putem **stepena efikasnosti prilagođenja**:

$$\eta_{an} = \frac{P_{trenutna\ ulazna\ djelatna\ snaga}}{P_{maks.\ trenutna\ snaga\ generatora}} = \frac{P_{DC}}{P_{MPP}}$$

Statička efikasnost – koja se djelimično zove i stepen ukupne efikasnosti – je proizvod stepena efikasnosti i stepena prilagođenja. Ona se može istražiti za različite slučajeve, koji se prikazuju u karakterističnoj krivi stepena efikasnosti.

$$\eta_{WR} = \eta_{um} * \eta_{an} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} * \frac{P_{DC}}{P_{MPP}} = \frac{P_{AC}}{P_{MPP}}$$

Efikasnost invertera jako je zavisna od njegove rasterećenosti. Rasterećenost opisuje odnos trenutne snage i nominalne (nazivne) snagu.

$$\eta_{WR} = f \left(\frac{P}{P_N} \right)$$

Kako bi se olakšalo poređenje različitih invertera u odnosu na njihovu efikasnost uveden je **Evropski stepen efikasnosti**. To je dinamički stepen efikasnosti prilagođen prema evropskoj klimi.

Pri tome je primjenjeno sljedeće prilagođenje:

$$\eta_{euro} = 0.05 * \eta_{5\%} + 0.06 * \eta_{10\%} + 0.13 * \eta_{20\%} + 0.10 * \eta_{30\%} + 0.48 * \eta_{50\%} + 0.20 * \eta_{100\%}$$

Pračenjem stepena efikasnosti se može izračunati stepen efikasnosti za različite klase izlazne snage.

Za srednjoevropsku klimu je definisan prethodni prilagođeni stepen efikasnosti. Za zemlje južne Evrope s većim stepenom sunčanog zračenja, definisana je tzv. kalifornijska efikasnost, koja se obračunava s drugačijom raspodjelom sunčanog zračenja, te isporučuje realnije rezultate za te geografske širine.

Evropski stepen efikasnosti je obično naveden pri nominalnim radnim uslovima. Detalji se mogu pronaći u listu sa podacima invertera koji se koristi.

Osnove fotonapona – OFN

5.5.6 Zaštitne funkcije

5.5.6.1 Inverterske norme

Za sigurnost invertera prilikom primjene u fotonaponskim sistemima postoje dvije relevantne norme koje trebaju biti vidljive na listu sa podacima o inverteru.

1. (SN) EN 62109-1, opšti zahtjevi:

- Zahtjevi za protivpožarnom zaštitom (kućište za zaštitu od požara/prepoznavanje strujnih grešaka/detekcija struje kvara),
- Zaštita od električnog udara (klasa izolacije /prekostrujni zaštitni uređaji),
- Zaštita od pogrešnog upravljanja,
- Zaštita od mehaničkih opasnosti,
- Zaštita od preopterećenja (ograničenje snage i struje na ulazu i izlazu).

2. (SN) EN 62109-2, posebni zahtjevi:

- Zahtjevi za funkcijama osnovne zaštite u odnosu na granične napone i frekvence,
- Zahtjevi za zaštitom kod struje s greškom,
- Zahtjevi za prepoznavanjem izolacije.

5.5.6.2 Interne zaštitne funkcije

1. Zaštita lica:

- Samotestiranje uređaja prije mrežne sinhronizacije/mrežnog povezivanja,
- Otkrivanje kvara na izolaciji prilikom uključivanja,
- Detekcija strujnog kvara;
 - 300mA (sporo povećanje protivpožarne zaštite),
 - 30mA (brzo povećanje lične zaštite),
- Prepoznavanje ostrvske/offgrid mreže (samostalnog mrežnog sistema).

2. Zaštita uređaja:

- Ograničenje nominalne snage na ulazu i izlazu,
- Ograničenje ulaznih i izlaznih struja pomjeranjem radne tačke na fotonaponskoj statičkoj karakteristici/krivoj,
- Ograničenje temperature redukcijom snage.



Napomena: Sve sigurnosne funkcije su "aktivne na jednu grešku" i odmah aktiviraju tačku odvajanja od mreže.

Osnove fotonapona – OFN

5.5.6.3 Tehnički parametri i podaci

Kako bi se razumjele sve karakteristične vrijednosti / parametri / tehnički podaci na listu sa podacima treba pomoći sljedeća tabela.

Tabela 114: Objašnjenje karakterističnih vrijednosti / parametara

Karakteristična vrijednost	Opis
Nominalna snaga	Maksimalna snaga napajanja pri $\cos\phi = 1$
Max teoretska snaga	Maksimalna teoretska snaga, obično ista kao i nazivna snaga, znači redukciju aktivne snage pri napajanju jalovom snagom.
Max AC-struja	Maksimalna struja napajanja, dijelom veća od P_N / U_N
Nominalni mrežni napon	U pravilu 1x230V / 3x400V
Nominalna frekvencija	Za Evropu 50Hz / Za Ameriku 60Hz
Faktor snage	Parametri za $\cos\phi$ (jaka ili slaba pobuda)
Mrežni priključak	Jednofazni ili trofazni
Prijem snage u toku noći	Kod sistema sa DC napajanjem obično postoji aktivna snaga od 0 W, ali jalova snaga može biti veća
Koncept sklopke (vrsta pretvarača)	Bez trafoa / sa trafoom / sa VF-trafoom
Broj MPPT	Broj nezavisnih MPP tragača
Max ulazna struja	Maksimalna moguća ulazna radna struja koja je ograničena inverterom
Raspon DC ulaznog napona	Radni opseg: ispod U_{min} se inverter isključuje, iznad U_{max} prijete opasnost od uništenja invertera
DC-startni napon	Minimalni napon, koji je potreban za pokretanje invertera
MPP raspon napona	Preporučeni MPP raspon napona pod svim radnim uslovima (ozračivanje i temperatura)
MPP raspon napona za P_{Nenn}	Preporučeni MPP raspon napona za MPP napon ispod STC uslova
Max snaga generatora	Preporučena vrijednost za maksimalni proizvod $U \times I$
Stepen efikasnosti	Maksimalni i evropski stepen efikasnosti
Dimenzija / Težina	Važni parametri za potrebni za mjesto instalacije
Vrsta zaštite	Zaštita od uticaja okoline (prašina i voda)
Zaštitna klasa	Zaštitna klasa I / Zaštitna klasa II / Zaštitna klasa III
Uslovi okruženja	Temperatura, vlaga, maksimalna visina iznad površine mora
Emisija buke	Podaci u dBA (sa i bez ventilatora)
Prenaponska zaštita	Koji tip zaštite postoji i koji je integrisan
DC sklopka	Integrisana ili eksterna

Osnove fotonapona – OFN

Gubitak toplote

Cjelokupni gubici invertera se ispuštaju u obliku toplote u okolinu. Pri priključenoj snazi od 20kWp i efikasnosti od 95% iznosi gubitak najmanje 1kW toplinske snage. Zbog toga inverter mora biti postavljen i montiran na dobro prozračnom mjestu, na nezapaljivoj površini i u skladu sa specifikacijama proizvođača.

Inverter se normativno posmatra kao kombinacija prekidačkih uređaja, a to da nije dozvoljen raspored invertera na vertikalnom evakuacijskom (protivpožarnom), a na horizontalnom evakuacijskom putu samo pod određenim uslovima (vlastiti požarni odjeljak).

Dimenzioniranje

S tehničke i ekonomske tačke gledišta može imati smisla malo smanjiti ili povećati snagu invertera. Kod većine invertera su izlazi iznad nazivnog izlaza regulisani graničnikom snage.

Kod sistema okrenutom prema jugu, može se pojaviti povećanje istosmjerne snage od 105 – 115%, a to npr. znači da se generatora istosmjerne snage od 22kWp spaja na inverter nominalne snage od 20kW.

Kod sistema okrenutom u smjeru istok-zapad također se može pojaviti povećanje istosmjerne snage od 125 – 135%, što znači da se na invertera sa 20kW nominalne snage može priključiti istosmjerni fotonaponski generator snagom 27kWp.

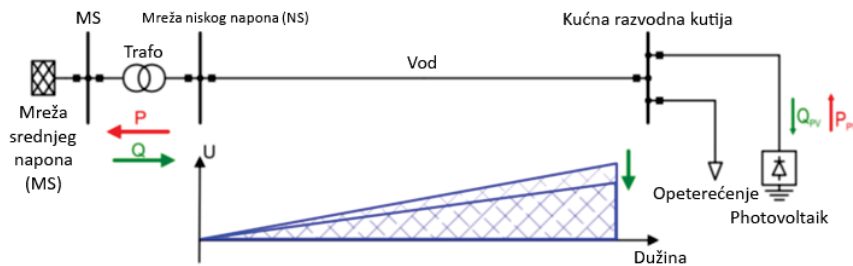
Osnove fotonapona – OFN

5.5.6.4 Smanjenje snage invertera

S tehničke i ekonomske tačke gledišta ima smisliti smanjiti snagu invertera. U većini slučajeva, su karakteristike distribucijske mreže te koji nakon primanja zahtjeva za tehnički priključak propisuju smanjenje ili pojačanje snage invertera. Smanjenje snage je uvijek povoljnija varijanta.

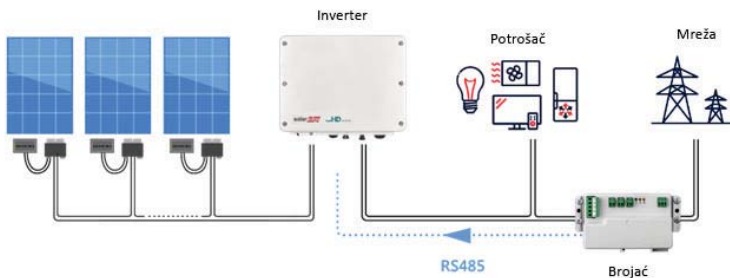
Postoje 3 mogućnosti da se realizira smanjenje snage invertera:

1. Inverter se fiksno ograničava na maksimalnu snagu koju može predati u mrežu. To znači, da se polazi od 0% vlastite potrošnje i da se prema tome inverter blokira.
2. Provođenjem postupka regulacija jalove snage. Q/U regulativa je postupak regulacije jalove snage u zavisnosti od napona. Što je veći napon na mrežnom priključku utoliko više inverter prihvata jalove snage iz mreže. Dakle, pošto se može povući induktivna jalova snaga kroz inverter može se smanjiti i napon na mjestu priključka na mrežu ili općenito u mreži.



Slika 115: Smanjenje snage invertera www.mediatum.ub.tum.de

3. Inverter se varijabilno ograničava na maksimalnu snagu koja se smije plasirati u mrežu. To znači mjeri se vlastita potrošnja pomoću brojača viška energije. Brojač komunicira sa inverterom i može, ukoliko je potrebno, ograničiti predaju snage invertera za vrijeme manje od 1s.

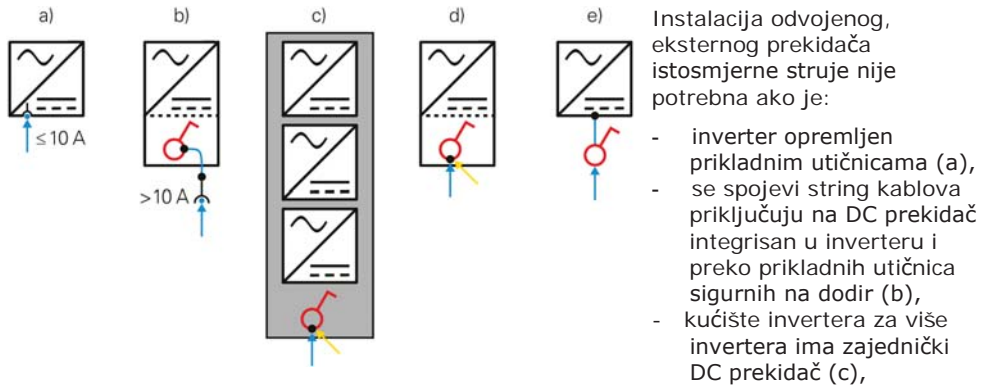


Slika 116: Varijabilno ograničenje snage www.solaredge.com

Osnove fotonapona – OFN

5.6 DC prekidač

Za provođenje radova održavanja na fotonaponskim sistemima moraju se dijelovi sistema i prekidači, za odvajanje i prebacivanje fotonaponskog invertera, instalirati na strani istosmjernog napona (DC).



Slika 117: NIN I NIBT 2020 www.ninonline.electrosuisse.ch

- inverter posjeduje integrisani DC prekidač (d),
- u svim drugim slučajevima je potreban odvojeni, eksterni DC prekidač (e).



*** Napomena: Ako inverter mora promijeniti raspored c) ili d), ova aktivnost pripada metodi: AuS (radovi pod naponom 2).**

Ovaj posao mogu izvoditi samo dva elektroinstalatera koji su posebno za to obučeni. Opcije priključaka c) i d) nisu standardne, pa se zbog toga redosljed a), b) ili e) moraju primjenjivati u praksi.

Opasnost prilikom odvajanja DC priključka!



Slika 118: Opasnost kod DC priključaka www.sma.de

Budući da istosmjerna struja kontinuirano teče, vrlo teško je prekinuti njen tok. Zato se kod isključivanja istosmjerne struje pojavljuje svjetlosni luk sa velikom energijom. Kako bi se to spriječilo, koristi se mehanički ili elektronički prekidač.

1. Mehanički prekidač

- Sa aktivacijom pomoću zatezne opruge sa velikom brzinom prebacivanja,
- Smanjivati napon i struju kroz više kontakata (paralelna kola),
- Svjetlosni luk spriječiti pomoću komore za gašenje u obliku lamele,

2. Elektronički prekidač

- Svjetlosni luk spriječiti elektronskim isključenjem struje prije odvajanja kontakta.



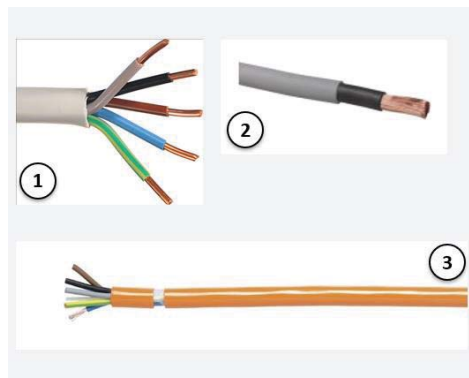
*** Napomena: DC utikače i DC vodove (kablove) nikad ne vući pod opterećenjem! Opasnost od svjetlosnog luka. Prije odvajanja uvijek kontrolisati strujni tok pomoću kliješta za istosmjernu struju.**

Osnove fotonapona – OFN

5.7 AC instalacija

5.7.1 Kablovi za izmjeničnu struju – AC kablovi

U ovom pregledu su navedena samo tri tipa kablova, naravno, postoje deseci drugih tipova kablova. Instalacijski kablovi su često prave sa punim bakarnim provodnicima, a kod teških kablovskih vodova, koji su slabo savitljivi, preporučuju se ipak provodnici sa licnama.



Dopunite tačke 1 – 3, kao i boje pojedinačnih kablova u dostupnoj radnoj knjizi.

TT kablovi su normalni instalacijski kablovi koji su prikladni za unutarnju upotrebu, ali je njihovo područje primjene strogo ograničeno od uvođenja najnovijih propisa o protivpožarnoj zaštiti i smiju se koristiti/installirati samo u stambenim zgradama u kombinaciji bez požarnog puta.

Često se koriste i kablovi bez halogena koji ne proizvode plinove u slučaju požara. Za povećana mehanička opterećenja i za vanjsku upotrebu se preporučuju PUR-PUR kablovi.

Slika 119: Kablovi za izmjeničnu struju www.w-f.com

Strujna opterećenost:

Prilikom dimenzioniranja vodova i kablova treba odabrati nazivni (nominalni) presjek svakog provodnika tako da izdrži maksimalnu struju, koja može teći kroz njega. Pri tome se ne smije prekoračiti granična temperatura za izolaciju ili omotač odgovarajuće vrste kabela.

Uslovi na koje je potrebno obratiti pažnju su:

- Temperatura okoline,
- Nakupljanje velikog broja vodova,
- Način polaganja; zračna linija, u termoizoliranom materijalu u zidu,,
- Maksimalno dozvoljena temperatura provodnika za njegovu vrstu izolacije.

Preporučuju se sljedeće vrijednosti presjeka/struja, ali bez garancije:

- | | | |
|---|----------------------|-----------|
| - | 2,5 mm ² | max 16 A |
| - | 4,0 mm ² | max 20 A |
| - | 6,0 mm ² | max 25 A |
| - | 10,0 mm ² | max 40 A |
| - | 16,0 mm ² | max 63 A |
| - | 25,0 mm ² | max 80 A |
| - | 35,0 mm ² | max 100 A |

Ako nismo sigurnosti ili ukoliko neku od pomenutih vrijednosti ne smatramo "uobičajenom", poziva se elektroinstalater prema SN 411000:2020.

Osnove fotonapona – OFN

Tabela 120: Strujna opterećenost provodnika

	25 °C	35 °C
Strujna opterećenost / Cu 2.5mm² - 70°C dozvoljena temperatura provodnika - višezilni kablovi - 3 opterećena provodnika - ne uzima se u obzir broj provodnika 1) Vrsta polaganja A2; 2) Vrsta polaganja B2; 3) Vrsta polaganja E	1) 18,6A 2) 21,2A 3) 25,4A	1) 16,5A 2) 18,8A 3) 22,6A
Strujna opterećenost / Cu 6mm² - 70°C dozvoljena temperatura provodnika - višezilno kablovi - 3 opterećena provodnika - ne uzima se u obzir broj provodnika 1) Vrsta polaganja A2; 2) Vrsta polaganja B2; 3) Vrsta polaganja E	1) 30,7A 2) 36,0A 3) 40,3A	1) 27,3A 2) 32,0A 3) 35,7A
Strujna opterećenost / Cu 10mm² - 70°C dozvoljena temperatura provodnika - višezilno kablovi - 3 opterećena provodnika - ne uzima se u obzir broj provodnika 1) Vrsta polaganja A2; 2) Vrsta polaganja B2; 3) Vrsta polaganja E	1) 41,3A 2) 48,8A 3) 53,0A	1) 36,7A 2) 43,2A 3) 47,0A
Strujna opterećenost / Cu 16mm² - 70°C dozvoljena temperatura provodnika - višezilno kablovi - 3 opterećena provodnika - ne uzima se u obzir broj provodnika 1) Vrsta polaganja A2; 2) Vrsta polaganja B2; 3) Način polaganja E	1) 55,1A 2) 65,7A 3) 67,8A	1) 48,9A 2) 58,3A 3) 60,2A
Strujna opterećenost / Cu 25mm² - 70°C dozvoljena temperatura provodnika - višezilno kablovi - 3 opterećena provodnika - ne uzima se u obzir broj provodnika 1) Vrsta polaganja A2; 2) Vrsta polaganja B2; 3) Vrsta polaganja E	1) 72,1A 2) 84,8A 3) 86,9A	1) 63,9A 2) 75,2A 3) 77,1A

Osnove fotonapona – OFN

5.7.2 Prekidač za izmjeničnu struju – AC prekidač

Za izvođenje radova na održavanju fotonaponskih sistema moraju se postaviti komponente za isključivanje/odvajanje i uključivanje/prebacivanje invertera na strani izmjeničnog napona.



Instalacija zasebnog, vanjskog AC prekidača nije potrebna ukoliko je pomoćni osigurač invertera u vidnom području.

Prekidač za održavanje mora biti tako postavljen da bude u neposrednoj blizini, na prikladnoj visini npr. 0,80 – 1,60m i uvijek dostupan, bez otvaranja vrata upravljačkog ormara ili slično.

Elektro zajednica ima različite stavove, da li prekidač za održavanje mora uključivati 4P – sve aktivne provodnike ili 3P – sve spoljne provodnike. Normativno, postoje argumenti i za jednu i za drugu opciju. Preporučuje se uvijek 4P, jer on pojednostavljuje održavanje i kontrolu.

Slika 121: DC prekidač www.eaton.com

Ostali normativni zahtjevi koji se odnose na DC prekidač su:

- jasno vidljiv natpis Uključeno / Isključeno (On/Off),
- da je lako prepoznatljiv,
- napravljen u crnoj ili sivoj boji (Crvena-Žuta za hitno zaustavljanje / hitni prekid),
- može se osigurati s 3 brave,
- bez opasnosti i laka dostupnost i za laike,
- uključenje/isključenje moguće i bez da se mora otvoriti električni razvodni ormar,
- načelno tako povezan u sistemu da se ima pregled na isključeni dio sistema.

5.7.3 Kablovski kanali



Kablovski kanali su montirani ili direktno na čvrstoj podlozi, zidnim držačima ili plafonskim nosačima.

Dostupni su različiti tipovi i veličine, sa i bez poklopca, različite legure i klase za zaštitu od požara.

Prilikom instalacije je potrebno voditi računa o otpornosti na koroziju, odgovarajućem izboru komponenata, uputstvu za montažu proizvođača kao i potrebnoj zaštiti ivica prije svega kod zarezanih rubova.

Slika 122: Kablovski kanali www.obo.ch

Osnove fotonapona – OFN

5.7.4 Zaštitne cijevi



Zaštitne cijevi se često koriste za postavljanje DC kablova ispod modula (panela), između prelaza panelskih polja ili kao veza između vodova koji prelaze između spratova. Oni su za razliku od kablovskih kanala znatno fleksibilniji.

Ukoliko vodovi za DC serijske nizove ili DC multiserijske nizove vode preko zapaljivih dijelova objekta (AP), iste moraju biti položene u snažnim vatrootpornim cijevima (RF2 /BKZ 5.2).

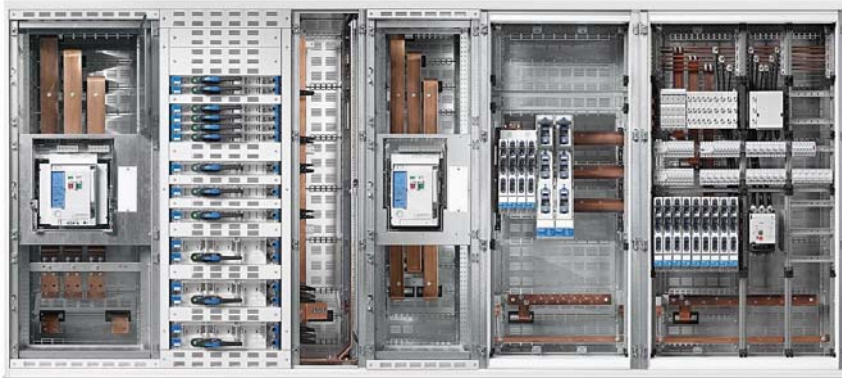
Ukoliko vodovi za DC serijske nizove ili DC multiserijske nizove vode u zapaljive dijelove objekta (UP), iste moraju biti položene u vatrootpornim cijevima (RF1 /BKZ 6 ili 6q).

(Postoje pored ovdje spomenutih naravno i druge mogućnosti polaganja.)

Što je veći udio čađi u proizvodnji cijevi, cijev postaje tamnija (crnija) i utoliko otpornija na UV zračenje.

Slika 123: Zaštitne cijevi www.obo.ch

5.7.5 Razvođenje elektro instalacija



Slika 124: Osnovno razvođenje instalacije www.hdt.de

Niskonaponski uređaja za uključivanje/isključivanje – SGK se sastoje od jednog ili više uređaja niskog napona sa odgovarajućim komponentama za upravljanje, regulaciju, mjerenja, dojavu ili zaštitu sistema.

Norma *SN EN 61439* reguliše sigurnosno-tehničke zahtjeve za takve sisteme. Norme služe licima koja planiraju, sistem inženjerima, elektroinstalaterima i krajnjim kupcima da se pridržavaju sigurnosno-tehničkih zahtjeva. Cilj je osigurati zaštitu ljudi i sistema.

Norma se odnosi na razdjelnike energije, rasklopne i upravljačke uređaje i sisteme, brojila i razvodne ormare u privatnim i poslovnim objektima. Osim toga, ona reguliše zahtjeve za građevinske elektro razvode i kablovske razvodne ormare, kao i za kombinacije sklopnih uređaja u posebnim područjima.

Osnove fotonapona – OFN

Komponente i uređaji u razvodnim ormarima:

 <p>Slika 125: NHS www.hager.de</p>	<p>Niskonaponski osigurač visokih performansi (NHS)</p> <p>Topivi osigurač s termičkom aktivacijom zaštite vodova. NHS smiju odvajati samo na odgovarajući način obučena lica. On po definiciji nije prekidač, već razdjelnik i zbog toga ne može preuzeti funkciju prekidača.</p>
 <p>Slika 126: NLS www.hager.de</p>	<p>Niskonaponski osigurač standardnih performansi (NLS)</p> <p>Topivi osigurač s termičkom aktivacijom zaštite vodova. On ne može, kao ni NHS, preuzeti funkciju prekidača, budući da se ne mogu svi provodnici aktivirati u isto vrijeme.</p>
 <p>Slika 127: LS www.hager.de</p>	<p>Zaštitna sklopka kablova (LS)</p> <p>LS sklopka posjeduje termički i elektromagnetni mehanizam aktivacije za kablove kao i ličnu zaštitu. Postoje različite karakteristike (B, C, D) gdje elektromagnetni aktivacijski parametri između sebe variraju. LS može preuzeti funkciju prekidača za održavanje, ukoliko je montiran u vidokrugu invertera.</p>
 <p>Slika 128: FID (RCD) www.hager.de</p>	<p>Zaštitna sklopka diferencijalne struje – FID (RCD) sklopka</p> <p>Nadzor/mjerenje diferencijalne struje sa nazivnom zaostalom strujom od 300mA. Zaštita od požara i 30mA za ličnu zaštitu. Postoje različiti tipovi FID, tip A, tip EV ili tip B. FID-ova sklopka može obavljati funkciju prekidača za održavanje ako se instalira u vidokrugu invertera.</p>

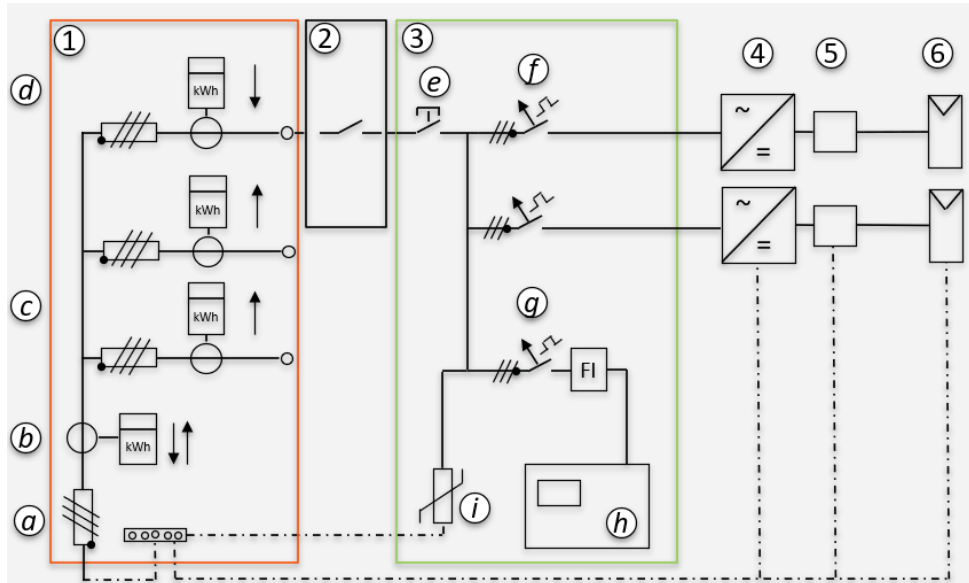
Osnove fotonapona – OFN

 <p>Slika 129: EB www.elektro-material.ch</p>	<p>EB rotaciona sklopka</p> <p>Za manuelno prebacivanje (uključivanje-isključivanje) opterećenja, ali bez zaštitne funkcije. EB rotaciona sklopka, ali i eksterna rotaciona sklopka može preuzeti funkciju prekidača za održavanje ako je montirana u vidokrugu invertera.</p>
 <p>Slika 130: Rele www.ch.rs-online.ch</p>	<p>Rele</p> <p>Rele se uglavnom koristi za slabije struje i struje slabije snage i ne posjeduje odvojene komore za gašenje kako bi se što brže ugasio luk koji nastaje kod odvajanja.</p>
 <p>Slika 131: Kontaktor www.conrad.com</p>	<p>Kontaktor</p> <p>Kontaktor posjeduje dodatno uz relej još odvojene komore za gašenje, zbog čega se može koristiti za veće struje i snage. Uglavnom se kod kontaktora (sklopnika) mogu spojiti / priključiti i drugi pomoćni kontakti.</p>
 <p>Slika 132: Prekidač P www.conrad.com</p>	<p>Prekidač snage/opterećenja sa/bez motornog pogona</p> <p>Prekidač opterećenja je kao "iznaddimenzionalni" prekidač bez dodatne funkcije, ali se može koristiti / upotrijebiti sa ili bez motornog pogona. Prekidač snage ima uz funkciju prebacivanja i podesivu zaštitnu funkciju ugrađenu sa isključivanjem kod prekomjerne struje. Oni su isto tako dostupni sa ili bez motornog pogona. Prekidači postaju sve inteligentniji i intuitivniji i u međuvremenu se djelimično mogu podešavati i očitavati putem aplikacija.</p>

Osnove fotonapona – OFN

 <p>Slika 133: Komponente u razvodnim ormarima www.conrad.com</p>	<p>Podrazvod (mali razvodnik/ razvodni ormar)</p> <p><u>IP zaštitna klasa:</u> Skraćenica IP označava "International Protection" (na bosanskom "zaštita od upada"); prva kodna cifra označava zaštitu od stranih tijela i dodira, druga zaštitu od vode, a treća (po izboru) definiše pristup opasnim aktivnim dijelovima.</p> <p><u>Zračenje (ventilacija):</u> U upravljačkom ormaru se često nalazi topli zrak (zbog komponenti) koji se kondenzuje na hladnom (vanjskom) kućištu. Kako bi se to spriječilo, podrazvod (koji je izvana) se može ili aktivno ventilirati, opremiti membranom ili se održavati suhim pomoću grijača.</p>
--	--

5.7.6 Blok šema rada HV/UV-PVA (visoki/niski FN)



Slika 134: Blok šema rada HV/UV-PVA, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Dopunite tačke 1 do 6 kao i slova a – h, pojedinačnih vodova, u radnoj knjizi.

Osnove fotonapona – OFN

5.8 Senzori

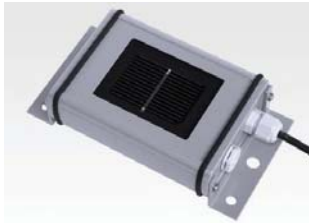
5.8.1. Piranometar



Sa piranometrom se može provesti vrlo tačno mjerenje globalnog ozračivanja kako bi se mogle dobiti što je moguće tačnije mjerne vrijednosti, te se zbog toga mora koristiti ovaj precizni mjerni uređaj. Preračunavanje očekivanog energetskeg prihoda je zahtjevan posao.

Slika 135: Piranometar www.wikipedia.org

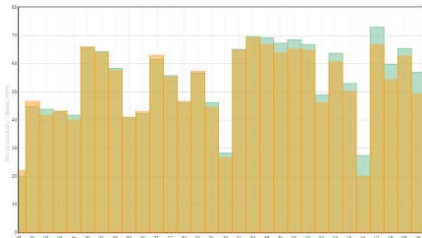
5.8.2. Referentna ćelija



Kalibrirana referentna mjerna ćelija se koristi za mjerenje očekivanog energetskeg prinosa, a opremljena je i dodatnim temperaturnim senzorom. Referentnom ćelijom se može mjeriti i ozračenja. Ako je referentna ćelija napravljena sličnog slicijuma, kao i korišteni fotonaponski paneli, može se mjeriti i spektralna karakteristika. Za razliku od piranometra ovo je relativno povoljniji (jeftiniji) mjerni uređaj.

Slika 136: Referentna ćelija www.solar-log.com

5.8.3 Meteo stanica



Kao alternativa lokalnim senzorima, mogu se koristiti raspoloživi vremenski podaci iz meteoroloških mjernih stanica, a kako bi se izračunali očekivani energetskeg prihodi.

Slika 137: Meteo stanica www.egonline.ch

5.8.4 Noćni prekidač



Neki elektroenergetske kompanije obračunavaju potrošnju jalove snage u toku noći. Budući da je kod nekih invertera EMV filter stalno povezan sa mrežom (čak i kad je inverter isključen), oni troše noću određenu količinu jalove snage.

Kod nekih invertera to može uzrokovati relativno visoke troškove, zbog čega vrijedi potpuno isključiti sistem s mreže preko noći pomoću automatskog spojnog prekidača. Za detekciju zamračenja može se koristiti noćni prekidač.

Slika 138: Noćni prekidač www.w-f.ch

Osnove fotonapona – OFN

5.8.5 Univerzalni mjerni uređaji (UMG)



U osjetljivim okruženjima mogu harmonijske oscilacije uzrokovati oštećenja na drugim uređajima. Ove harmonijske oscilacije proizilaze iz interakcije između regulacijskog rada invertera, impedanse mreže i ostalih potrošača spojenih na mrežu. Sa prikladnim univerzalnim mjernim uređajem – UMG mogu se kontinuirano mjeriti i nadzirati harmonijske oscilacije.

Ukoliko je potrebno, sistem se može odvojiti od mreže pomoću NA zaštitne sklopke.

Slika 139: Univerzalni mjerni uređaj www.optec.ch

Veća industrijska područja nadziru interni tok energije pomoću univerzalnih mjernih uređaja, u koje se može ući (ulogovati) centralno pomoću sistema za upravljanje objektom.

5.9 Montažni sistemi

Kod montažnih sistema dostupan je širok izbor.

Sistemi se daju grubo podijeliti u kategorije:

- na krovu,
- integrisani u krovu,
- ravni krov,
- na otvorenom, ravne površine i
- montaža na fasadi.

Mnogi proizvođači montažnih sistema nude praktične alate za tumačenje sistema ili preuzimaju tumačenje za instalatera.

Prijedlozi za montažu:

Za kose krovove:

- Na krovu
- Krovna integracija



Za ravne krovove:

- Na krovu
- Krovna integracija



Za fasade:

- Ispred fasade
- Hladno/topla fasada



Za ravne površine:

- Fiksno montirano
- Naknadno montirani



Slika 140: Montažni sistemi www.solarmition.ch / www.iwrpressdienst.de



Napomena: Kod svih sljedećih sistema / postrojenja važi obaveza pridržavanja uputstva za montažu i uputa proizvođača koji se tiču statike i opterećenja.

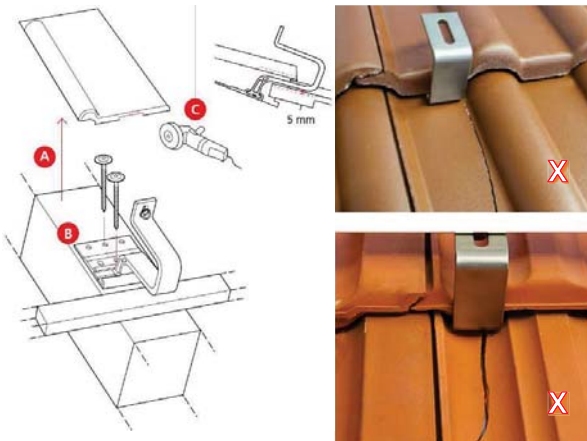
Osnove fotonapona – OFN

5.9.1 Sistemi na kosom krovu

Kod sistema na krovu, konstrukcija se obično montira na postojeći kosi krov. Veza između noseće konstrukcije i krova se izvodi s kukama za krov, vijcima za vješanje solarnih panela ili metalnim preklopnim (falcovanim) stezaljkama. Nepropusnost krova ne smije biti narušena.

Na krovnim pričvršnim tačkama (krovne kuke, vijci za vješanje panela...) se montiraju šine koji prihvataju solarne panele. Na tu konstrukciju se paneli ili umeću, oblažu (sistemi na oblaganje ili umetanje) ili se stežu na konstrukciju (sistemi na stezanje).

5.9.1.1 Učvršćivanje na krovu – krovne kuke



Standardne krovne kuke se mogu koristiti za krovove s standardnim ili betonskim crijepom. Tu postoje različite varijante koje su podesive po visini i dužini, kao npr. biber crijep ili ploče od škriļjca.

Sama krovna kuka ne smiju nalijegati na crijep i stoga treba biti najmanje 5mm udaljena od površine i prednje strane crijepa.

Slika 141: Krovne kuke www.k2-systems.com

5.9.1.2 Pričvršćivanje na crijepu



Na tržištu su dostupni danas različiti pričvršćivači za standardni, betonski ili biber crijep.

Slika 142: Pričvršćivanje na crijepu www.marzari-technik.de/www.slflex.com

Osnove fotonapona – OFN

5.9.1.3 Pričvršćivanje na krovu – Vijci za vješanje panela



Za krovove od valovitog, vlaknastog cementa i šindre, kao i za pričvršćivanje krovnog trapeznog lima su najbolji vijci za vješanje, koji se zavrću u noseću konstrukciju.

Slika 143: Vijci za vješanje panela www.etsnit.ch/www.k2-systems.com

5.9.1.4 Konstrukcija križni (poprečni) spoj



Kod ove konstrukcije je poprečni spoj izgrađen od horizontalnih i vertikalnih šina.

Ova konstrukcija se uglavnom koristi kod sistema za oblaganje, koji nudi visoku fleksibilnost, a krovne neravnine se izravnavaju.

Uspravno polaganje panela na dvije paralelne poprečne šine u nizu je najjednostavnije rješenje za montažu.

Slika 144: Križni, poprečni spoj www.etsnit.ch/www.k2-systems.com

5.9.1.5 Konstrukcija bez šina



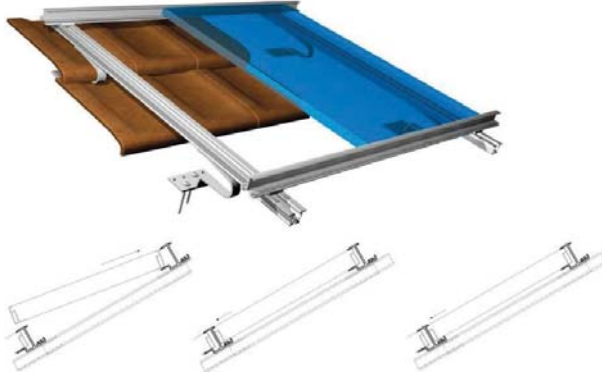
Kod ove konstrukcije se paneli montiraju direktno, bez šina, na krov. Ova vrsta konstrukcije je primjenjiva samo kod trapeznih krovova.

Prednosti su minimalan utrošak materijala, maksimalna ušteda troškova, ali se mora obratiti pažnja na ograničenu fleksibilnost.

Slika 145: Konstrukcija bez šina www.altec-metalltechnik.de /www.k2-systems.ch

Osnove fotonapona – OFN

5.9.1.6 Sistem ulaganja panela



Slika 146: Sistem ulaganja panela www.alustand.ch



Napomena: Oprez kod malih nagiba krova. Paneli se zbog gravitacije povlače prema dole, odnosno u pravcu strehe. Što je fotonaponski sistem ravniji, utoliko je ova sila manja.

Pri nagibima manjim od 10°, paneli se mogu pomicati prema gore zbog toplinskog rastezanja podkonstrukcije i npr. pri jakom vjetru mogu biti iščupani iz noseće konstrukcije zbog usisavanja. Za blago nagnute krovove treba koristiti stezaljke ili spriječiti pomicanje prema gore uloženi panela, npr. umetanjem opruge između gornje šine i solarnog panela.

5.9.1.7 Sistem zatezanja panela



Slika 147: Sistem zatezanja panela www.schweizer.ch/www.k2-systems.com



Napomena: Obavezno obratiti pažnju na područje stezanja panela. Jedan tip stezaljka se ne može postaviti na svakom mjestu. Npr. kod nekih panela je dozvoljeno područje zatezanja između 300 – 400mm od plafona, a i to je dozvoljeno samo na dugoj strani.

Osnove fotonapona – OFN

5.9.1.8 Stezaljke za učvršćivanje



Slika 148: Stezaljke za učvršćivanje www.altec-metalltechnik.de

Stezaljka za učvršćivanje panela mora se izabrati na način da odgovara sistemu i upotrijebljenim panelima.

Za panele bez okvira, tzv. laminati, moraju se koristiti stezaljke obložene sa gumom.

Obavezno obratiti pažnju na uputstvo za upotrebu.

5.9.2 Sistemi integrirani u krov

I fotonaponski laminati bez okvira i moduli s okvirom postali su rašireni kod sistema koji su integrirani u krov. Sistemi integrirani u krov su u ovom obimu, kakve ih poznajemo, ipak specifičnost Švicarske, i nisu dostupni u tolikoj mjeri u drugim zemljama.

5.9.2.1 Fotonaponski lamimatni paneli kao krovni elementi



Slika 149: Paneli kao krovni elementi, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Fotonaponski laminati bez okvira pokrivaju krov poput crijepova ili šindre.

Potrebna podkonstrukciju se sastoji od kanala za odvod vode i kuka za fiksiranje. Na podkonstrukciju se okače fotonaponski elementi pomoću kuka za fiksiranje i kabliraju sa utikačima i utičnicama.

Elemeni se redaju vertikalno jedan preko drugog, pri čemu GFK profili (profili od stakloplastike) služe kao potporne letvice i, istovremeno, kao kanal za vodu.

Osnove fotonapona – OFN

5.9.2.2 Fotonaponski paneli sa specijalnim okvirima



Kod ovog sistema se koriste fotonaponski paneli sa specijalnim okvirom za integraciju u površinu krova. Ovi paneli preuzimaju osobine krovnog pokrova i dostupni su za gotovo svaki oblik krova. Uglavnom se postavljaju na klasičnoj krovnoj konstrukciji sa odgovarajućim instalatersko-linarskim priključcima.

Slika 150: Paneli sa specijalnim okvirima, Samuel Summermatter, BE Netz AG

5.9.2.3 Standardni paneli sa okvirom kao krovni elementi



U ovim sistemima, uokvireni standardni moduli mogu se postaviti sustemom umetanja.

Dostupan je u različitim veličinama panela, montaža panela je i ovdje relativno brzo moguća, a krovna konstrukcija je klasična sa odgovarajućim instalatersko-linarskim priključcima.

Slika 151: Ulaganje panela sa okvirom, Samuel Summermatter, BE Netz AG

5.9.2.4 Fotonaponski sistemi za standardne laminatne panele bez okvira



Kod ovog sistema se mogu standardni paneli bez okvira položiti umetanjem. Dostupan je za različite veličine panela koji se mogu relativno brzo postaviti, a krovna konstrukcija je klasična sa odgovarajućim instalaterskim krajevima.

Krovni prozori i solarni kolektori također se mogu ugraditi u pripadajuće polje

Slika 152: Ulaganje laminatnih panela, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Osnove fotonapona – OFN

5.9.3 Sistemi na ravnom krovu

Sistemi sa ravnim krovovima se mogu podijeliti u sisteme sa lakim i teškim građevinskim konstrukcijama. Kod sistema sa lakim građevinskim konstrukcijama se koristi šljunak ili supstrat za opterećenje konstrukcije, kod sistema sa teškim građevinskim konstrukcijama služe kao teret betonske podloge ili slično.

Osim toga, kod specijalnih krovova postoji mogućnost ankerovanja konstrukcije pomoću odgovarajućih probijanja krovnih vodova (krovni prodori).

5.9.3.1 Postupak gradnje lake i teške konstrukcije

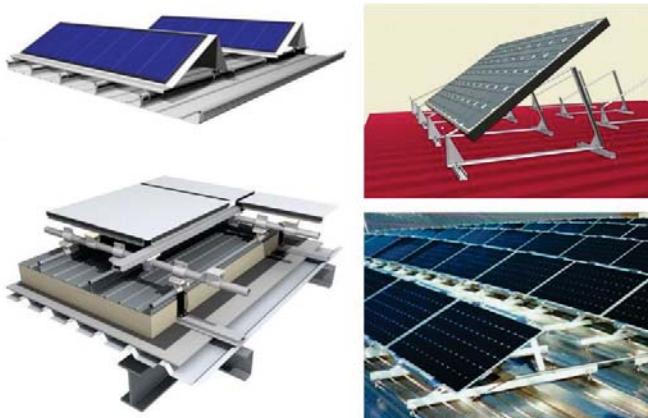


Sisteme na krovu održava njegova ukupna težina. Površina krova se ne buši radi učvršćivanja, ali se ipak mora prethodno ispitati statika krova.

Za povećanje težine stoje na raspolaganju različiti materijali.

Slika 153: Postavljanje lake i teške konstrukcije, www.solarprofessional.com

5.9.3.2 Učvršćivanje direktno na pokrovu



Podkonstrukcije koje se nalaze pričvršćene direktno na krovnom pokrovu od profiliranog lima moraju izdržati i dodatna opterećenja vjetera i snijega.

Slika 154: Učvršćenje na pokrovu www.sonnenhandwerker.de

Osnove fotonapona – OFN

5.9.3.3 Učvršćivanje direktno na ravnom krovu

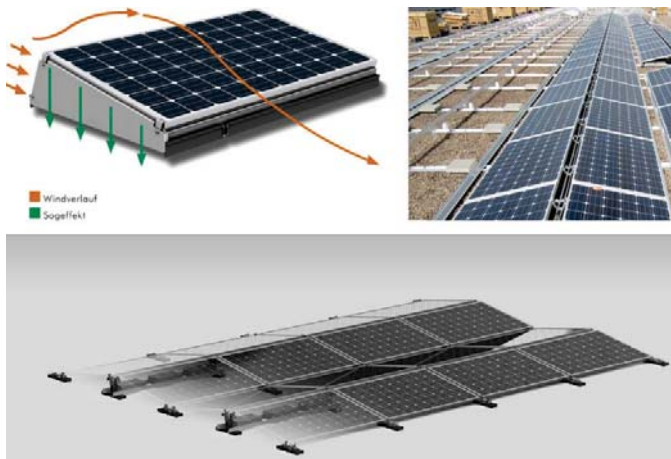


Kod učvršćivanja direktno na krovu, sistem se drži na mjestu bez dodatnog balasta.

Postoji varijanta sa ankerovanjem bez prodiranja i sa prodiranjem kroz krov.

Slika 155: Ravni krov www.tratec-solar.de/www.altec-metalltechnik.de

5.9.3.4 Aerodinamični oblik učvršćivanja



Sistem postavljen u aerodinamičnom obliku smanjuje opterećenje vjetrom, što dovodi do manjeg opterećenja na krovu.

Energetski prinos po jednom panelu je najveći kada je okrenut prema jugu, ali cilj je postići maksimalan prinos i na površini kod sistema istok-zapad.

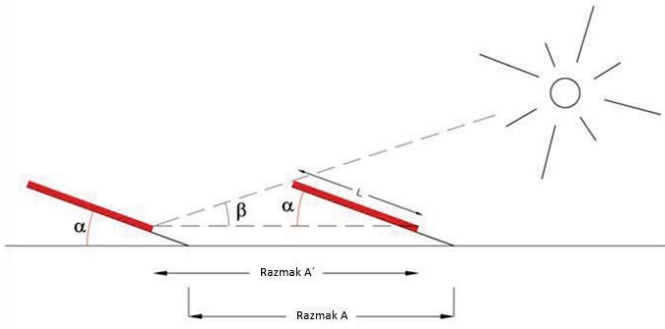
Slika 156: Aerodinamični oblik www.baulinks.de/www.k2-systems.ch

5.9.3.5 Razmak redova na ravnom krovu

Da solarni moduli u prvom redu ne bi zasjenili one u stražnjem redu mora se održavati određeni razmak.

Ovaj razmak se mjeri prema najnižoj poziciji sunca u podne koja je na našoj geografskoj širini 21. decembra pri okruglo 18°, pri čemu se u praksi primjenjuje ugao osjenčenja od 16° do 20°. To znači da su solarni paneli i u toku najdublje zime direktno ozračeni suncem, što u poređenju sa potpuno ravnim horizontom rezultira malim iznosom od okruglo 9%.

Osnove fotonapona – OFN



Slika 157: Razmak redova na ravnom krovu

Razmak redova "A" se obračunava sljedećom formulom:

$$A = \left(\frac{\sin \alpha}{\tan \beta} + \cos \alpha \right) \cdot L$$

5.9.3.6 Učvršćivanje na zeleni krov

Zadnji gornji sloj krova ne smije biti zapaljiv, a krovovi se također posipaju šljunkom ili ozelenjavaju supstratom kako bi postali teži.

Prednosti zelenog krova su bioraznolikosti, estetike i zadržavanje kišnice. Samo 30-50% oborinske vode se sa ovog krova mora odvesti kroz cjevi za odvođenje kišnice (šljunčani krov 95%). Ostatak vlage isparava i dovodi do niže temperature krova, odnosno do manje potrebe za hlađenjem zgrade.

Kada je za vrućih ljetnih dana na krovu umjesto 80°C samo 30°C, solarni sistem može tada proizvesti više energije; praktični prinos je 3-4% viši od prinosa u toku godine.

Jedini izazovi kod zelenih krovova je zahtjev za pojačano održavanje – posebno oko fotonaponskih sistema.



Slika 158: Zeleni krov,
 lijevo : prije gradnje FN sistema,
 desno : godinu nakon gradnje,
 Samuel Summermatter, BE Netz
 AG



Napomena: Gradnja fotonaponskog sistema mijenja mikroklimu na krovu ispod modula u korist povećanog rasta biljaka. Ključna riječ: efekt staklenika.

Osnove fotonapona – OFN

5.9.3.7 Preporuke za sisteme na postojećem zelenom krovu?

Sloj podloge (substrata) mora se održavati tankim (max 5 – 7cm ispred / između panela); to dozvoljava zadržavanje vode (retenciju) samo od 15l/m² umjesto idealnih 30l/m² i samo ekstenzivnu, duboku vegetaciju (mahovine i biljka sa sočnim, mesnatim stabljikama i lišćem koje sadrži vlagu).

Mala debljina podloge s druge strane često nije dovoljna za balast. Ukoliko donja ivica fotonaponskog modula bude 15 – 30cm iznad zelene površine sama konstrukcija nudi veću površinu, koja je izložena vjetru.

Eventualno treba smanjiti sloj supstrata (koji se usklađuje sa retencijskom funkcijom) i/ili ukloniti zelenilo prije ugradnje fotonaponske konstrukcije.

Tabela 159: Montaža sa vegetacijom na krovu

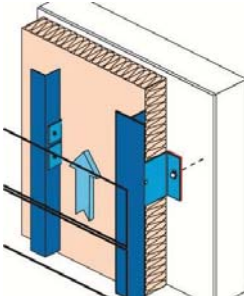
	Varijanta A	Varijanta B
Mogućnost	Gusta i aerodinamična	Sa nosačima
Fotografija za vrijeme montaže		
Težina	< 25kg/m ²	> 100kg/m ²
Nagib	7° - 10°	15° - 30°
Visina konstr.	< 30cm	> 40cm
Približna cijena	40 CHF/m ² (≈80 KM/m ²)	50 CHF/m ² (≈100 KM/m ²)
Opis	<p>Čvrst podloga otporna na rast biljaka ispod polja modula; eventualno potpuno pokrivanje površine sa podkonstrukcijom od lima.</p> <p>U ovom slučaju ipak postoji sakriveni rizik da naknadno rezanje postane još teže izvedivo, posebno ako nešto ipak izraste kroz ventilacijske otvore.</p> <p>Limena podkonstrukcija impresionira sa malim opterećenjem krova. Međutim, zelenilo dolazi do izražaja samo u čistim rubnim područjima i funkcija retencije (zadržavanja) može biti narušena.</p>	<p>Zeleni krov se može formirati ispod specijalno visokih nosača panela. To, međutim, donosi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - više površine na udaru vjetra, - više težine, - smanjena debljina korištenja, - veći troškovi montaže, - eventualno prekopavanje podloge

Osnove fotonapona – OFN

5.9.4 Fasadni sistemi

Većina klasičnih fasadnih sistema za staklene fasade su prikladni kao montažni sistem za solarne fasadne sisteme. Pri tome se radi o tzv. poprečnim sistemima sa ventiliranim fasadama (fasade sa prostorom za prirodnu ventilaciju kroz konstrukciju).

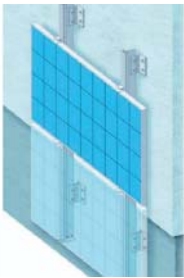
5.9.4.1 Varijante učvršćivanja



Vanjska termoizolacija sa ventilacijskom oplatom

Konzole za učvršćivanje prelaze preko vanjske termoizolacije fasade. Konzole služe za prihvat vertikalnih ili horizontalnih profila (primarna podkonstrukcija). Iste služe za prihvatanje držača panela ili profilnih nosača panela (sekundarna podkonstrukcija).

Između fotonaponskog panela i termoizolacije formira se zračna ventilaciona struja, kao što je označeno na slici.



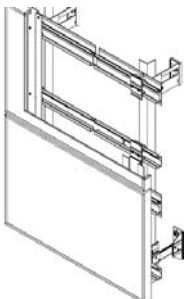
Moduli sa okvirima vidljivo spojeni

Standardni moduli sa okvirima na fasadi su vidljivo spojeni odgovarajućim sistemom spajanja na podkonstrukciji.

Horizontalni i vertikalni susjedni spojevi ostaju otvoreni.

Kao podkonstrukcija se daje prednost aluminiju.

Termoizolacija mora biti postojana na UV zračenje i biti vodootporna.



Moduli sa okvirima nevidljivo spojeni

Standardni paneli sa okvirima mogu se spojiti odgovarajućim sistemom spajanja nevidljivo na podkonstrukciji. U tu svrhu su fotonaponski paneli prethodno montirani na stražnjoj strani.

Horizontalni i vertikalni susjedni spojevi ostaju otvoreni.

Aluminij je poželjan kao podkonstrukcija.

Toplinska izolacija mora biti UV postojana i vodootporna.



Preklopno pokrivanje laminata (panela bez okvira)

Preklopno pokrivanje je standardni fasadni sistem kod kojeg su horizontalne fuge natkrivene po visini.

Vertikalne fuge ostaju otvorene ili se pokrivaju (izoliraju) sa profilima na poledini panela.

Mogu se koristiti drvene i metalne podkonstrukcije.

Osnove fotonapona – OFN



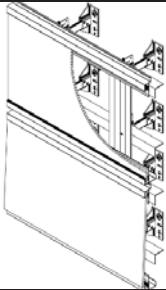
Laminati sa držačem stakla

Osnovna podkonstrukcija se može izvesti sa standardnim sistemima, a sekundarna podkonstrukcija služi za prihvat držača stakla.

Umetnuti (uloženi) gumeni profil presuje panele prema nosaču panela i sprječava bočno pomjeranje.

Horizontalne i vertikalni susjedni spojevi ostaju otvoreni.

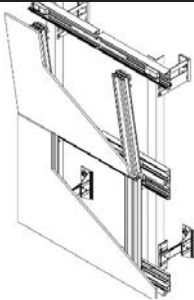
Termoizolacija mora biti vodootporna i postojana na UV zračenje.



Laminati sa sistemom na umetanje (ulaganje)

Osnovna podkonstrukcija može se izvesti sa standardnim sistemima, sekundarna podkonstrukcija služi za ulaganje laminata.

Šine i profili se mogu slobodno dilatirati, moguća je brza montaža modula, tokom radovnog održavanja pojedinačni moduli su zamjenjivi.



Laminati nevidljivo učvršćeni

Osnovna podkonstrukcija može se izvesti sa standardnim sistemima, sekundarna podkonstrukcija se sastoji od horizontalnih profila koja služi za prihvat dva, na poledini laminata pričvršćena vertikalna profila.

Specijalno ljepilo povezuje laminat sa vertikalnim profilima. Panel se mora sastojati od sigurnosnog stakla i svaki panel se može pojedinačno zamijeniti.

Horizontalna i vertikalna fuga ostaje otvorena.

Slika 160: Fotonaponski paneli u fasadnim sistemima

Zaštita od pada

Fotonaponski moduli se sastoje u od kompozita staklo/plastika ili staklo/staklo. Stoga se mogu primjeniti zahtjevi iz oblasti staklenih fasada.

- Ukoliko se koriste stakleni elementi u stražnjoj ventiliranoj fasadi, isti moraju pokazati sposobnost nosivosti u slučaju loma.
- Fotonaponski moduli od laminiranog (kompozitnog) sigurnosnog stakla ili moduli sa okvirom pokazuju treba da pokazuju sposobnost nosivost (treba potvrditi isporučilac).
- Fotonaponski laminati s kompozitom staklo/plastika nemaju sposobnost nosivosti ako se slome.
- Fotonaponski laminati se mogu savijati prema vani i ispasti iz sidrišta ili okvira.
- Ovo uvijek predstavlja sigurnosni rizik.
- Ako fotonaponski laminati nemaju sposobnost nosivosti moraju se opremiti sa dodatnom zaštitom od pada.

Osnove fotonapona – OFN

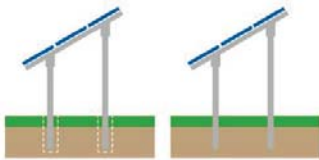
5.9.5 Sistemi na otvorenom prostoru

Kao prikladan sistem za montažu, kod sistema na otvorenom prostoru, se pokazuje sistem sa čeličnim stubovima učvršćen u zemlju ili na odvojenom temelju ili jednostavno ankerovanje konstrukcije direktno u zemlji.

Fotonaponski sistemi na otvorenom, koji se prave na livadama ili poljima, podliježu postupku odobravanja, složeniji su za planiranje/odobravanje i često nailaze na veliki otpor u lokalnoj zajednici.

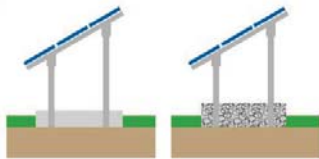
Sistema na otvorenom su, u pravilu, sistemi veoma velike instalirane snage.

5.9.5.1 Postavljanje temelja



Sidrenje:

- Stubovi /čelični vijci za ankerovanje,
- Trakasti ili beton na licu mjesta.



Balastiranje:

- Trakasti ili beton na licu mjesta,
- Mrežni profili punjeni kamenom.

Slika 161: Postavljanje temelja na otvorenom prostoru www.habdank-pv.com

5.9.5.2 Vrste i konstrukcije



Konstrukcija:

- Poredak panela u nizovima,
- Postolje od drveta ili metala,
- Fiksno montirano,
- Jednoosovinski prateći sistemi,
- Dvoosovinski prateći sistemi.

Slika 162: Vrste i konstrukcije kod sistema na otvorenom www.habdank-pv.com

Osnove fotonapona – OFN

5.9.5.3 Jednoosovinski prateći sistemi

Kod ovih sistema se paneli okreću oko osovine, u zavisnosti od pozicije sunca.



Osovina se može različito usmjeriti:

1. Vertikalno,
2. Horizontalno (istok-zapad),
3. Sa nagibom (sjever-jug)

Slika 163: Jednoosovinski prateći sistem, Samuel Summermatter, BE Netz AG

5.9.5.4 Dvoosovinski prateći sistemi

Kod ovih sistema se sistemi okreću oko dvije osovine kako bi moduli bili optimalno okrenuti prema suncu.



Osovina može biti okrenuta na različite načine:

1. Vertikalno/horizontalno
2. Horizontalno nagnuto

Slika 164: Dvoosovinski prateći sistem, Samuel Summermatter, BE Netz AG

Kod dvoosovinskih sistema postoje dvije vrste modula:

- Astronomski: Paneli se usmjeravaju prema poziciji sunca.
- Senzorni: Paneli se usmjeravaju tamo gdje je najsvjetlije. Ovo usmjeravanje odstupa od položaja sunca kod difuznog zračenja i omogućuje veće prinose nego kod astronomskog praćenja.

Prema PV-magazinu (pv-magazine.com), dodatni energetske prinos u poređenju sa trajno instaliranim sistemima okrenutim prema jugu je za dvoosovinske sisteme s astronomskim praćenjem u Njemačkoj oko 32%, a 37% za sisteme kontrolirane senzorima.

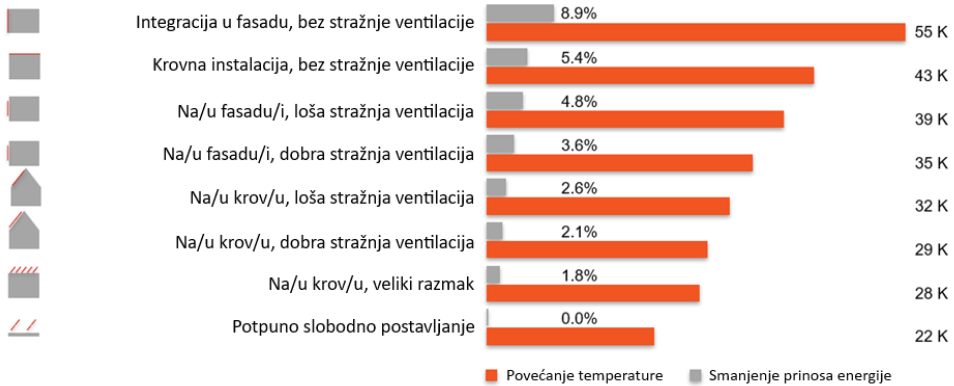
Osnove fotonapona – OFN

5.9.5.5 Smanjenje energetskog prihoda zbog povećanja temperature

Svaka vrsta montaže ima prednosti i nedostatke.

Jedan nedostatak je taj što se u zavisnosti od vrste montaže toplina može odvoditi ponekad bolje ili lošije. To dovodi do neizbježnog povećanja temperature fotonaponskih modula, zbog akumulacije toplote.

Što je fotonaponski modul topliji, to može proizvesti manje energije, što je fotonaponski modul hladniji može proizvesti više energije.



Slika 165: Uticaj temperature na energetski prihod

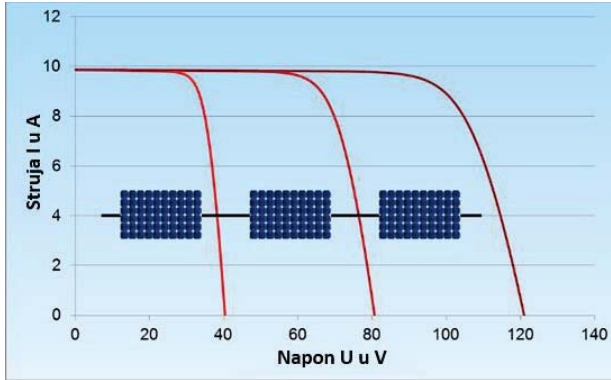
Osnove fotonapona – OFN

6 Fotonaponski generator

U ovom poglavlju ćemo se upoznati sa strukturom i principom funkcionisanja fotonaponskog generatora. Pod tim se podrazumjeva serijsko i paralelno povezivanje fotonaponskih modula i električni parametri dobivenog istosmjernog izvora.

Zadaci: Rješite nakon poglavlja 6 zadatke 29 i 40 u radnoj knjizi Os. fotonapona.

6.1 Serijsko spajanje fotonaponskih modula



Slika 166: Serijsko spajanje FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

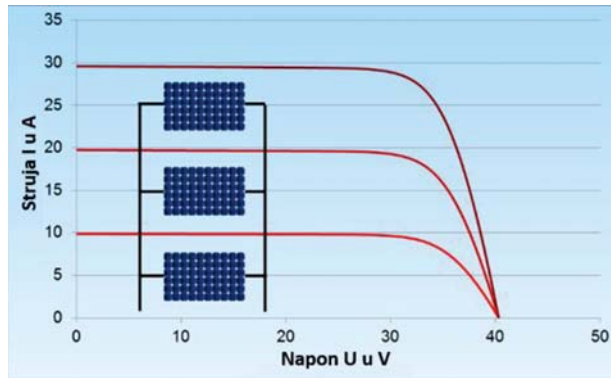
Pošto se radi o istim fotonaponskim modulima struja kroz sve module je identična:

$$I_G = I_1 = I_2 = I_3 = I_n$$

Suma ukupnog napona se sastoji od sume svih jedinačnih napona:

$$U_G = U_1 + U_2 + U_3$$

6.2 Paralelno spajanje fotonaponskih modula



Slika 167: Paralelno spajanje FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Napon u svim fotonaponskim nizovima (stringovima) je identičan:

$$U_G = U_1 = U_2 = U_3 = U_n$$

Suma ukupne struje se sastoji od sume svih jedinačnih struja:

$$I_G = I_1 + I_2 + I_3$$

U prvom koraku spajanja, što je više moguće modula/panela je spojeno u seriju (string ili niz) i koristi se maksimalni mogući napon niza ili polja nizova (eng. array).

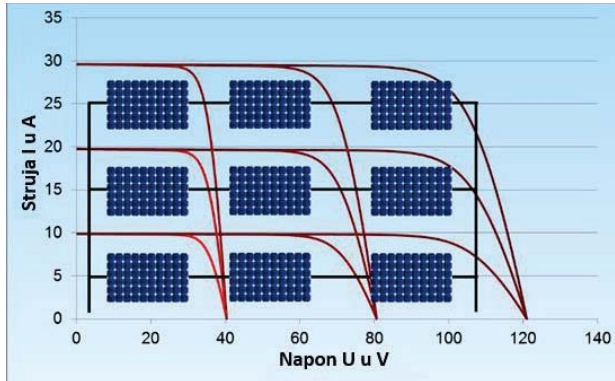
To znači da se teži najvećem mogućem naponu praznog hoda (otvorenog kola) $U_{oc,STC}$.

Drugi način spajanja fotonaponski modula je paralelno.

Više nizova (stringova) spojeni paralelno čine ekvivalentni niz koji se zove polje nizova ili multiniz.

Osnove fotonapona – OFN

6.3 Kombinovano spajanje fotonaponskih modula



Kod najvećeg broja sistema fotonaponski generator je kombinacija serijskih i paralelnih spojeva.

Tako npr. preko izlazne snage od 8kW serijsko spajanje modula više nije dovoljno.

Ako inverter na koji su spojeni moduli ima MPP tragač (Maximum Power Point tracking), onda svi fotonaponski moduli imaju istu radnu tačku.

Slika 168: Kombinovano spajanje FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Suma ukupnog napona fotonaponskih nizova se sastoji od sume svih pojedinačnih napona fotonaponskih modula:

$$U_G = U_1 + U_2 + U_3$$

Suma ukupne struje se sastoji od sume svih pojedinačnih struja fotonaponskih nizova:

$$I_G = I_1 + I_2 + I_3$$

6.4 Dimenzioniranje odgovarajućeg invertera

Svi proizvođači invertera stavljaju na raspolaganje računarske programe (software) za instalaciju. U programima se mogu odabrati podaci o modulu, odvojeno pohraniti i unijeti moguća površinu krova itd.

Pored softverskih rješenja koja su specifična za proizvođača postoje i nezavisni alati za instalaciju od kojih je najpoznatiji PV-Sol (www.valentin.de).

Kao što je već spomenuto u poglavlju 5.5.5, ima smisla predimenzionirati inverter. To npr. znači, zavisno o usmjerenju prema suncu i nagibu ima smisla instalirati 25kWp istosmjerne snage iz generatora na inverter od 20 kW. Maksimalna snaga fotonaponskog generatora je rijetka i zbog toga se ne isplati ograničavati cjelokupan sistem po toj osnovi.

Nazivni odnos snage (engl. *Sizing Ratio*) se obračunava kako slijedi:

$$SR_{AC} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \approx 0.80 - 0.90$$

6.4.1 Osnovne informacije o dimenzioniranju

- Inverter koji je bliže dimenzioniran prema maksimalnoj snazi stari sporije od invertera koji je slabije dimenzioniran.
- Inverter se mora kupiti najmanje dva puta u toku životnog ciklusa sistema, ali što je moguće više izbjegavati specijalna rješenja/posebne instalacije i sl.
- Mali inverter rasterećuje električnu mrežu i, zavisno o sistemu, dovodi do malog gubitka u energetsom prinosu.
- Mali inverter ima manju rezervu za regulaciju jalove snage jer je: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Osnove fotonapona – OFN

6.4.2 Manuelna instalacija u hitnom slučaju

1. Odabir snage sistema pomoću veličine sistema u m²,
2. Privremeni izbor fotonaponskog modula i invertera,
3. Određivanje maksimalnog broja modula / nizova: $n = \frac{U_{OC,Gen,max,STC}}{U_{OC,Modul,STC}}$,
4. Određivanje minimalnog broja modula (min MPP),
5. Određivanje maksimalnog broja modula (max MPP),
6. Odabir prikladne konfiguracije i kombinacije serijsko paralelnog spajanja.

6.4.3 Četiri kriterija za izbor invertera

1. Maksimalni napon praznog hoda (otvorenog kruga) generatora ($U_{OC,Gen,max,STC}$) mora biti manji od maksimalnog ulaznog napona invertera ($U_{WR,max}$).

$$U_{OC,Gen,max,STC} < U_{WR,max}$$

2. Maksimalni MPP napon generatora ($U_{OC,Gen,MPP,max,STC}$) mora biti manji od maksimalnog MPP napona invertera ($U_{WR,MPP,max}$).

$$U_{OC,Gen,MPP,max,STC} < U_{WR,MPP,max}$$

3. Minimalni MPP napon generatora ($U_{OC,Gen,MPP,min,STC}$) mora biti veći od minimalnog MPP napona invertera ($U_{WR,MPP,min}$).

$$U_{OC,Gen,MPP,min,STC} > U_{WR,MPP,min}$$

4. Maksimalna struja kratkog spoja generatora ($I_{SC,max,STC}$) mora biti manja nego maksimalna ulazna struja invertera ($I_{WR,max}$)

$$I_{SC,max,STC} < I_{WR,max}$$

Osnove fotonapona – OFN

6.4.4 Proračun napona generatora

U pravilu se proračuni ne provode ručno već automatski, pomoću odgovarajućeg programskog alata. Ali i pored toga je važno razumjeti i znati primjeniti ove proračune.

Maksimalni napon praznog hoda/otvorenog kruga se obračunava kako slijedi:

$$U_{OC,Gen,max,STC} = U_{OC,Modul,STC} \cdot \left(1 + (T_{min} - T_{STC}) \cdot \frac{k_{T,UOC}}{100}\right) \cdot n = U_{OC,Modul,STC} \cdot k_{T,NIN} \cdot n$$

Varijanta 1:

Maks. napon otvorenog kruga se izračunava pomoću temperaturnog koeficijenta fotonaponskog modula, uzimajući u obzir minimalnu temperaturu na lokaciji sistema.

Temperaturni koeficijent se može očitati na listu sa podacima proizvođača panela, npr. kod kristalnih modula njegova vrijednost je oko -0.32 %/°K.

Minimalna temperatura je propisana preme najnovijoj normi NIN 2020:

- Lokacija sistema < 800m nv (nadmorske visine), nagib < 15° 0°C
- Lokacija sistema < 800m nv, nagib > 15° - 5°C
- Lokacija sistema > 800 – 1.500m nv - 15°C
- Lokacija sistema > 1.500m nv - 25°C

Varijanta 2:

Maksimalni napon otvorenog kruga se izračunava pomoću normativnog korektivnog faktora u zavisnosti o visini lokacije sistema.

Norma NIN 2020 daje i ovdje normative za ovaj korektivni faktor $K_{T,NIN}$:

- Lokacija sistema < 800m nv Faktor 1,15
- Lokacija sistema > 800 – 1.5000m nv Faktor 1,20
- Lokacija sistema > 1.500m nv Faktor 1,25

Maksimalni MPP napon se obračunava kako slijedi:

$$U_{OC,Gen,MPP,max,STC} = U_{MPPmax,STC} \cdot \left(1 + (T_{min} - T_{STC}) \cdot \frac{k_{T,UOC}}{100}\right) \cdot n$$

Minimalni MPP napon se obračunava kako slijedi:

$$U_{OC,Gen,MPP,min,STC} = U_{MPPmin,STC} \cdot \left(1 + (T_{max} - T_{STC}) \cdot \frac{k_{T,UOC}}{100}\right) \cdot n$$

Osnove fotonapona – OFN

6.4.5 Proračun struje generatora

U pravilu se proračuni ne provode ručno već automatski, pomoću odgovarajućeg programskog alata. Ali i pored toga je važno razumjeti i znati primjeniti ove proračune.

Maksimalna struja kratkog spoja se obračunava kako slijedi:

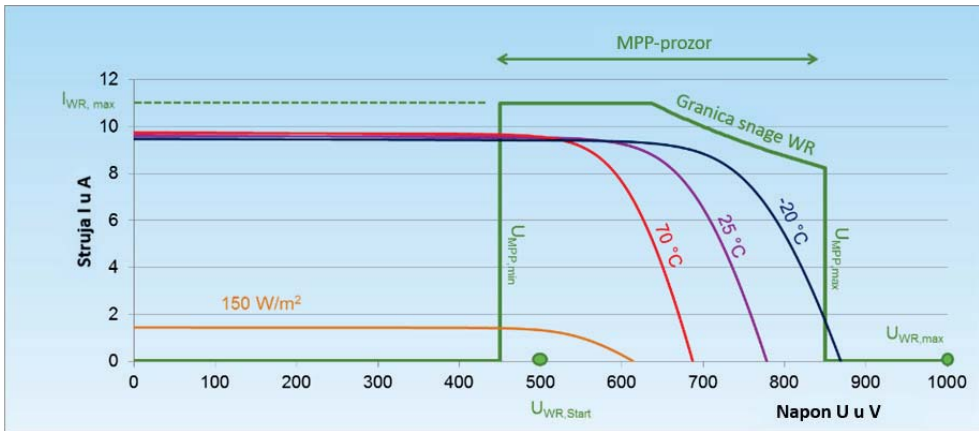
$$I_{SC,Gen,max,STC} = I_{SC,Modul,STC} \cdot \left(1 + (T_{max} - T_{STC}) \cdot \frac{k_{T,ISC}}{100} \right) \cdot m$$

Koeficijent temperature se može očitati na listi sa podacima proizvođača modula, npr. kod kristalnih modula njegova vrijednost je oko 0.3 %/°K.

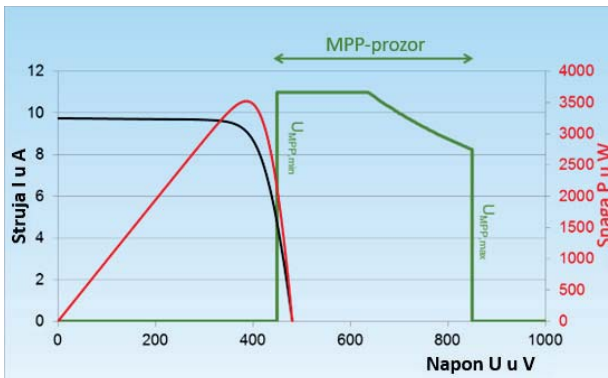
Pošto je ovaj uticaj vrlo mali ova korekcija usljed temperature se može i zanemariti.

6.4.6 MPP prozor

Ukoliko je MPP fotonaponskog generatora unutar MPP prozora, kažemo da inverter radi u optimalnoj radnoj tački.



Slika 169: Optimalna radna tačka, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG



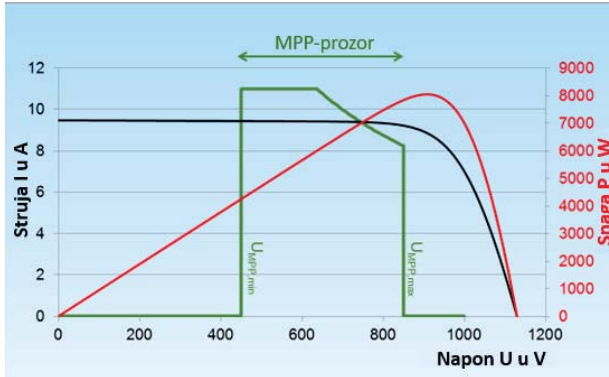
Slika 170: Niski napon fotonaponskog niza, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Ako je napon niza/stringa prenizak, inverter ne može pokrenuti u rad generator u MPP-u.

Razlozi za to mogu biti:

- Predugi kablovi (pad napona),
- Previsoke temperature,
- Prekratki nizovi / stringovi.

Osnove fotonapona – OFN



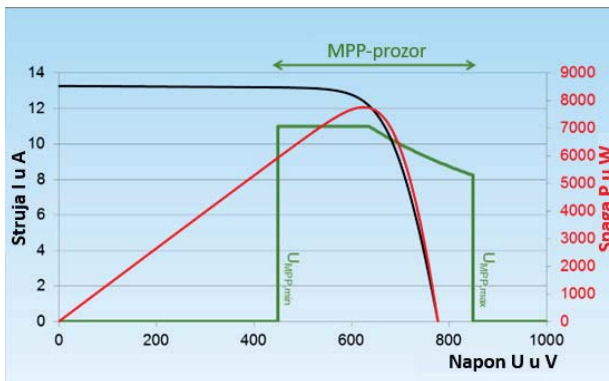
Slika 171: Visoki napon fotonaponskog niza, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Ako je napon niza/stringa previsok postoji opasnost od preopterećenja naponom.

Ova situacija je opasna i mora se spriječiti po svaku cijenu.

Uzroci za to mogu biti:

- Preniske temperature,
- Predugi nizovi/stringovi.



Slika 172: Prevelika struja ili snaga FN niza, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG

Ako je struja ili snaga niza/stringa prevelika, ista se reguliše inverterom.

Međutim, ne navode svi proizvođači jasnu granicu.

Uzroci za to mogu biti:

- Previše paralelnih nizova (stringova),
- Previsoko zračenje (osunčavanje),
- Pogrešno dimenzioniranje.

6.5 Kriteriji za odabir osigurača za nizove

Pošto su struja kratkog spoja I_{SC} i radna struja I_{MPP} fotonaponskog modula vrlo blizu jedna drugoj, zaštitna mjera "zaštita putem automatskog isključivanja" se ne da implementirati tako lako, kao kod kućne instalacije izmjeničnog napona.

Međutim, fotonaponski modul se ne mora obavezno zaštititi, jer može raditi u kratkom spoju onoliko dugo koliko želimo, a da ne dođe do oštećenja.

Tek kada je nekoliko nizova/stringova spojeno paralelno postoji realna opasnost da će struja kratkog spoja, prisutna u jednom stringu, uzrokovati mehaničkom oštećenju fotonaponskih modula. Prije nego se takva situacija dogodi niz se mora zaštititi osiguračima za nizove (prije su tu funkciju preuzimale zaštitne diode).

Kod paralelno spojenih nizova/stringova postoje samo dvije dozvoljene opcije:

1. Sva oprem i uređaji spojeni u serijskom nizu panela se dimenzioniraju na maksimalnu postojeću struju.
2. Osigurači za serijske nizove se koriste čim je struja veća od vrijednosti povratne struje.

Maksimalna struja, koja se može pojaviti, se obračunava kako slijedi:

$$I_{max,STC} = I_{SC,Modul,STC} \cdot 1,25$$

Osnove fotonapona – OFN

Maksimalna povratna struja, koja se može pojaviti, se obračunava kako slijedi:

$$I_{max,Povr.} = I_{SC,Modul,STC} \cdot 1.25 \cdot (n - 1)$$

Da li su sada potrebni osigurači za niz zavisi od toga da li je izračunata maksimalna povratna struja $I_{Povr.}$ veća od dozvoljenog opterećenja panela. Vrijednost dozvoljenog opterećenja se može pročitati na listu sa podacima proizvođača panela.

Osigurači za nizove su neophodni kada je:

$$I_{Povr.} > \text{Maksimalne povratne struje}$$

Opterećenost povratnim strujama

U principu povratna struja može se pojaviti samo onda kada su moduli paralelno spojeni, a napon praznog hoda U_{OC} pojedinačnih paralelno spojenih nizova je različit.

U praktičnoj primjeni se povratne struje izbjegavaju korištenjem nizova iste dužine. Budući da zasjenjenja nemaju bitan uticaj na U_{OC} , u tom posebnom slučaju ne nastaje bitna povratna struja. Za vrijeme neometanog rada ispravno instaliranog fotonaponskog generatora ne može nastati prevelika povratna struja.

Drugačije izgleda kada je zbog greške na fotonaponskom generatoru (npr. kratki spoj jednog ili više panela) napon praznog hoda jednog niza panela znatno ispod napona na priključcima ostalih nizova, paralelno povezanih s njim. Napon na nizu sa greškom postoji onda u najgorem slučaju u području MPP napona (U_{MPP}) preostalog dijela generatora.

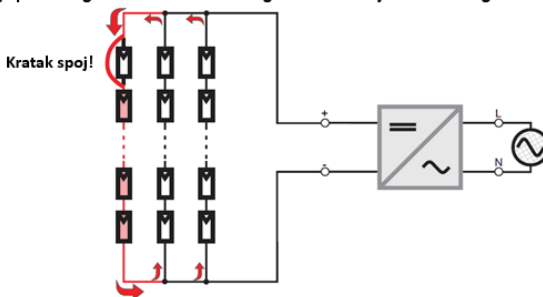
Zbog interne strukture dioda solarnih ćelija teče sada povratna struja kroz niz sa greškom, koja u zavisnosti od jačine struje može dovesti do jakog zagrijavanja, sve do uništenja svih panela jednog niza.

Sljedeće greške bi mogle između ostalog voditi do smanjenja napona praznog hoda jednog niza i na taj način dovesti do povratne struje kod paralelnog spoja:

- Kratak spoj jednog ili više panela,
- Kratak spoj jedne ili više ćelija u panelu,
- Dvostruki spoj sa zemljom jednog panela, odnosno kablova.

Iako su ove greške vrlo malo vjerovatne i rijetko se pojavljuju u praksi, ipak se moraju preduzeti preventivne mjere.

Struja povratnog toka u defektnom stringu = Zbirna struja ostalih stringova



Na kraju, ova greška može biti veoma štetna i opasna, jer se mogu oštetiti svi moduli pogođenog niza, a zbog lokalnog pregrijavanja se ne mogu isključiti sekundarne štete.

Slika 173: Povratne struje u paralelno spojenim nizovima www.files.sma.de

Osnove fotonapona – OFN

Dimenzioniranje osigurača niza

U većini slučajeva se maksimalna dozvoljena veličina osigurača nalazi u listu sa podacima proizvođača. Ukoliko to ne bi bio slučaj, može se računati sa sljedećom preporukom:

$$1,5 \cdot I_{SC} < I_N < 2,4 \cdot I_{SC}$$

Gdje je: I_N vrijednost nominalna veličina osigurača niza.

Osim toga osigurač niza bi trebao pokazati sljedeću naponsku otpornost:

$$U_{osigurač} > 1,2 \cdot U_{OC,niz,STC}$$

6.6 Dimenzioniranje električnih vodova

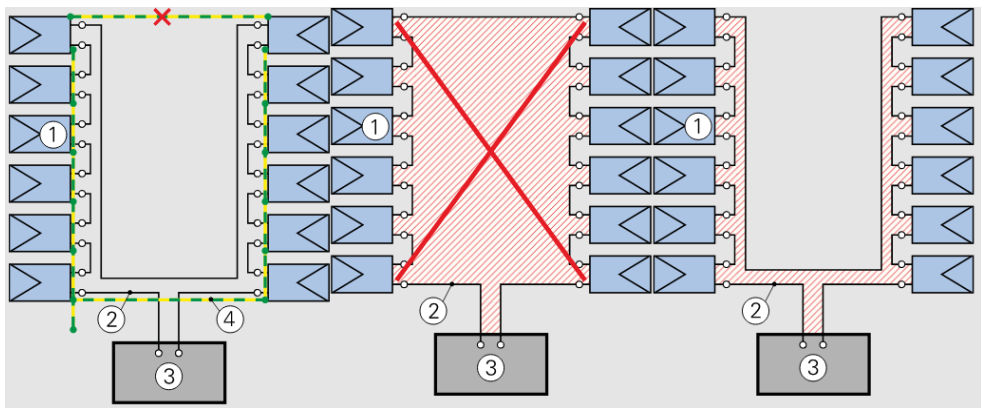
Kod dimenzioniranja električnih vodova, odnosno kablova, nazivni presjek svakog voda treba odabrati tako da njegova opterećenost strujom nije manja od maksimalne kontinuirane struje koja teče kroz vod. Izolacija i omotač relevantnih tipova vodova smiju raditi samo u opsegu graničnih temperatura za te vodove.

Uslovi koji se moraju uzeti u obzir su između ostalog:

- Temperatura okruženja,
- Nagomilavanje vodova/kablova,
- Vrsta polaganja (zračnim putem, u termoizolacionom materijalu u zidu, ...),
- Maksimalno dozvoljena temperatura voda/vrsta izolacije.

Za dimenzioniranje se može koristiti tabela 7 u poglavlju ove skripte koja se odnosi na kabliranje u kolu istosmjernog napona i tabela 10 u poglavlju za kabliranje u kolu izmjeničnog napona.

6.6.1 Polaganje električnih vodova



Slika 174: Polaganje električnih vodova www.ninonline.electrosuisse.ch

Prekrižena varijanta je povoljnija i jednostavnija, ali povećava rizik za inducirane napone kod udara groma. Pri tome se ne radi o direktnim udarima groma već o udarima groma u okolini (indirektno) čije magnetno polje može inducirati visoke napone i struje u petljama vodova. Inducirana energija je proporcionalna površini koju obuhvata petlja vodiča.

Upravo kod sistema istok-zapad je situacija naročito kritična: jer su moduli jednog niza često udaljeni jedan od drugog, postaje petlja vodiča kod pogrešno kabliranog sistema naročito velika.

Osnove fotonapona – OFN

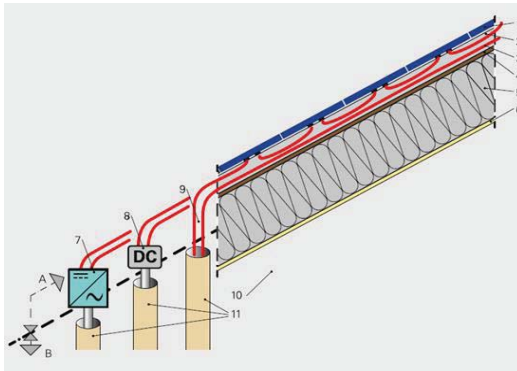
6.6.2 Poredak električnih vodova

Mjesto montaže	Na/u zapaljivim dijelovima objekta	U vatrom ugroženim područjima	Horizontalni izlazi za spašavanje	Vertikalni izlazi za spašavanje	Eksplozijom ugrožena područja
Poredak					
Svi vodovi istosmjerne struje (DC)	Dvostruka izolacija				
	Bez PVC kablova				
Kabliranje panela istosmjernom strujom (DC)	Bez cijevi	☒			☒
Glavni vod ili paralelni (array)/ serijski (string) vod panela istosmjerne struje (DC)	Cijev RF1 BKZ 6.3	Cijev RF1 BKZ 6.3 ^{**1)}		☒ ^{**2)}	
	Cijev RF2 BKZ 5.2	ili			
	Koncentrični PE-provodnik (vodič uzemljenja)				

≈ dozvoljeno
 X nije dozvoljeno
 1 - Mora se spriječiti ulazak glodara,
 2 - Redanje moguće prostornim odvajanjem

Slika 175: Poredak električnih vodova www.ninonline.electrosuisse.ch

6.6.3 Polaganje električnih vodova u krov



1. Fotonaponski modul
2. Krovnište
3. DC-kabliranje modula
4. Potkrov
5. Termo izolacija
6. Stropni sloj
7. Inverter
8. GAK (Priključna kutija generatora)
9. Prelaz na glavni vod istosmjerne struje
10. Prostor u objektu
11. Glavni vod istosmjerne struje

Slika 176: Polaganje vodova www.ninonline.electrosuisse.ch

Odabir i uređenje prema uticajima okoline

Električni vodovi niza, stringa, polja nizova, kao i glavni vodovi moraju se odabrati i urediti na takav način da se minimalizira rizik kratkog spoja sa zemljom ili kratkog spoja voda.

Ovo se može postići pojačanom zaštitom sistema vodova od eksternih uticaja, npr. upotrebom jednožilnih bezhalogenih kablova i/ili kablova s koncentričnim zaštitnim vodom.

Prikladne su sljedeće vrste vodova prikazane detaljno:

- Jednožilni ili višežilni vodovi s dvostrukom ili pojačanom izolacijom,
- Jednostavno izolirani vod u izoliranoj cijevi ili izoliranom kanalu,
- Vod s koncentričnim zaštitnim vodom.

AC i DC vodovi moraju biti odvojeni jedni od drugih (npr. kroz odvojene sisteme usmjeravanja kablova), a "zaštićeni" i "nezaštićeni" vodovi (prije ili poslije odvodnika prenapona) također moraju biti odvojeni lokalno i da nisu položeni na istoj trasi / dionici.

Osnove fotonapona – OFN

7 Uzemljenje, izjednačenje potencijala i gromobranska zaštita

Ova tema je prevelika kako bi išli u dubinu obrade, zbog toga će se pojasniti samo nekoliko tačaka koje su u vezi s fotonaponskim sistemima. Više o temi u stručnoj literaturi.

Zadaci: Rješite nakon završetka poglavlja 7 zadatke 41 i 43 u radnoj knjizi "Osnove fotonapona".



7.1 Sistem uzemljenja

Sistem uzemljenja kod nekog objekta već postoji u trenutku kada se planira ili instalira fotonaponski sistem. Ovaj sistem uzemljenja mora biti instaliran prema odgovarajućoj normi - SNR 464113.

Naročito kod poljoprivrednih objekata može uzemljenja izazvati probleme, prije svega u vezi sa mliječnim kravama. Ako se za vrijeme prve inspekcije farme na licu mjesta spomenu ključne riječi kao "struje curenja, lutajuće struje ili previsok broj ćelija u mlijeku", hitno se preporučuje korištenje invertera s galvanskom izolacijom, zbog koje je fotonaponski sistem odvojen od uzemljenja.

7.2 Izjednačenje potencijala

Ako se invertori koriste bez galvanske izolacije, mogu se pojaviti zbog većih snaga fotonaponskih modula nedopustivo visoki kontakti naponi na metalnim dijelovima sistema, npr. okvir konstrukcije. To bi imalo za posljedicu da dođe do pražnjenja energije preko osobe/stručnog lica prilikom kontakta na dijelovima pod naponom, što bi moglo imati za posljedicu prateću nesreću, poput pada sa visine.

Iz tog razloga se uzemljuju metalni dijelovi sistema koji za vrijeme rada nisu pod naponom i kroz njih ne protiče struju.

Kod objekata koji imaju vanjski sistem gromobranske zaštite, metalni, radni dijelovi sistema, koji nisu pod naponom i kroz koje ne prolazi struja, moraju biti uključeni u vanjski sistem gromobranske zaštite.

Ukoliko objekat nema vanjski sistem gromobranske zaštite, metalni, radni, nenaponski dijelovi sistema moraju biti uključeni u zaštitno izjednačavanje potencijala.

Ako je inverter opremljen galvanskom izolacijom, može se odreći zaštitnog izjednačavanja potencijala, budući da se može isključiti "naelektrisanje – punjenje" nenaponskih metalnih dijelova sistema za vrijeme rada. Presjek voda zaštitnog izjednačavanja potencijala iznosi najmanje 10mm².



Važno: Zaštitno izjednačavanje potencijala mora biti spojeno za vrijeme rada na metalne nenaponske dijelove sistema ako inverter nema galvansku izolaciju i objekat nema vanjsku gromobransku zaštitu.

7.3 Sistem gromobranske zaštite

U normalnom radu, instalacija fotonaponskog sistema ne povećava rizik od udara groma u objekat. To znači da, ugradnja fotonaponskog sistema ne zahtijeva obavezu gromobranske zaštite, ipak, ukoliko gromobranski sistem zaštite postoji, fotonaponski sistem mora biti uključen u sistem gromobranske zaštite.

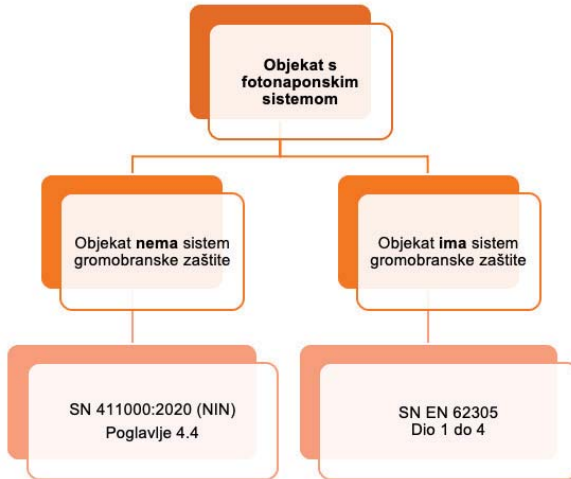
Osnove fotonapona – OFN

Sistem gromobranske zaštite služi prije svega za zaštitu ljudi od direktnog udara groma i kao tehnička zaštita od požara.

Sistem gromobranske zaštite neće moći spriječiti ispad ili kvar komponenti fotonaponskog sistema.

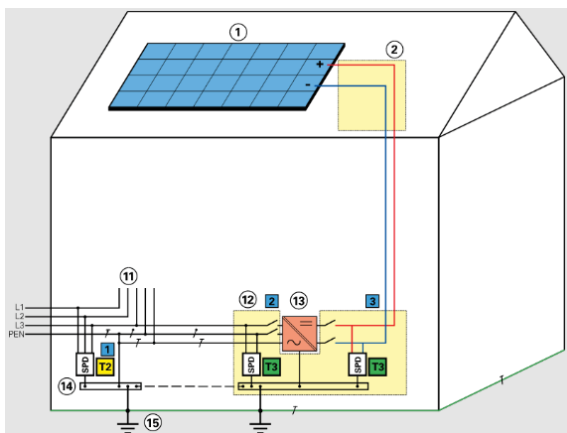
Sistem gromobranske zaštite mora odgovarati normi SN EN 62305. Može se provesti analiza rizika prema normi SN EN 62350-2 i procijeniti opasnost od udara groma i rizik od oštećenja te zavisno od toga može se koristiti drugačiji koncept prenapona/zaštite od groma / uzemljenja.

Ako objekt nema gromobransku zaštitu može se realizirati koncept prenaponske, gromobranske i zaštite uzemljenjem prema normi NIN SN EN 62305. U suprotnom se mora razraditi koncept koji je prilagođen sistemu.



Slika 177: Sistem gromobranske zaštite

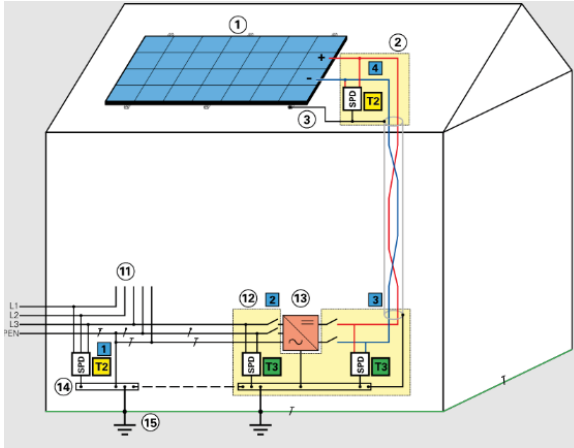
7.3.1 Varijante prema normi SN 411000:2020 NIN



Varijanta 1, uslovi:

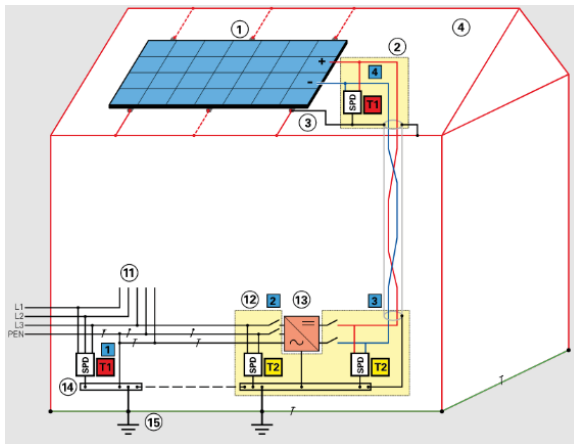
- Objekt nema gromobransku zaštitu,
- Inverter s galvanskom izolacijom,
- SPD zaštita AC,
- SPD zaštita DC.

Osnove fotonapona – OFN



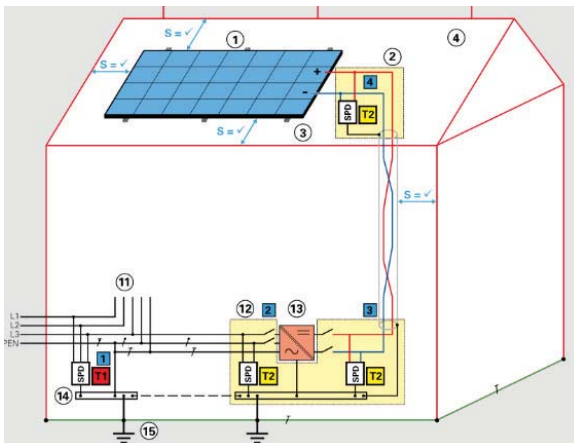
Varijanta 2, uslovi:

- Objekat nema vanjsku gromobransku zaštitu,
- Inverter bez galvanske izolacije,
- SPD zaštita AC,
- SPD zaštita DC.



Varijanta 3, uslovi:

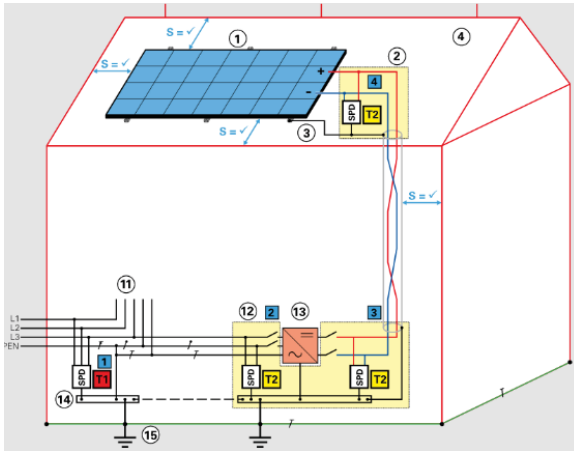
- Objekat ima vanjsku gromobransku zaštitu,
- Inverter bez galvanske izolacije,
- SPD zaštita AC: Da, min. T1 na ulasku u objekat,
- SPD zaštita DC: Da, min. T1 na ulasku u objekat.



Varijanta 4, uslovi:

- Objekat ima vanjsku gromobransku zaštitu,
- Inverter sa galvanskom izolacijom,
- SPD zaštita AC: Da, min. nivoa T1 na ulasku u objekat,
- SPD zaštita DC: Da, min. nivoa T2 na ulasku u objekat.

Osnove fotonapona – OFN

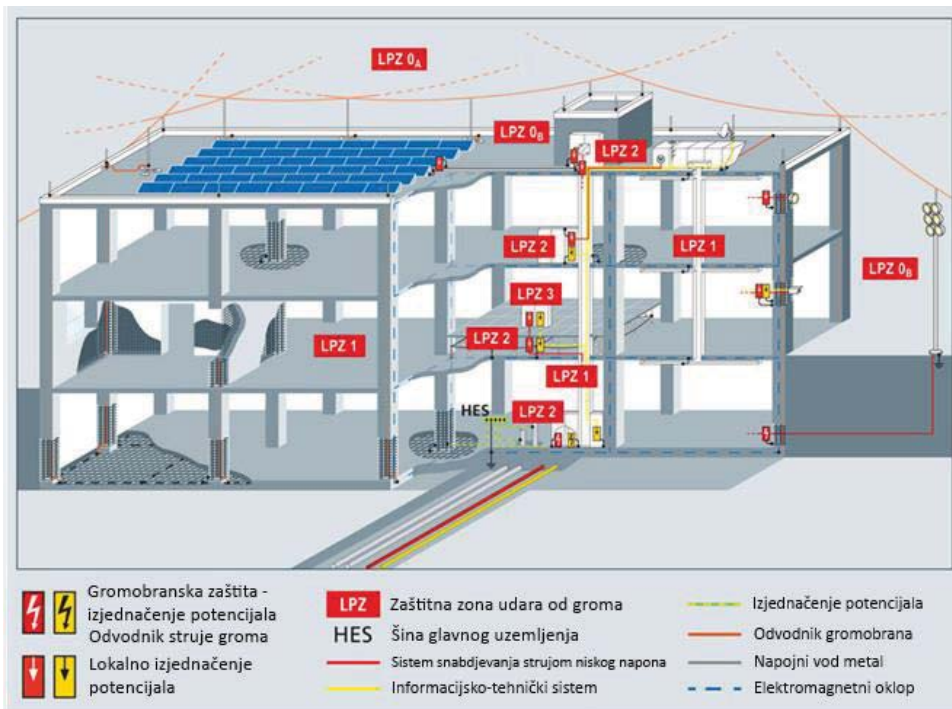


Varijanta 5, uslovi:

- Objekt ima vanjsku gromobransku zaštitu,
- Inverter bez galvanske izolacije,
- SPD zaštita AC: Da, min. nivoa T1 na ulasku u objekt,
- SPD zaštita DC: Da, min. nivoa T2 na ulasku u objekt.

Slika 178: Sistem gromobranske zaštite prema normi SN 411000:2020 NIN

7.4 Prenaponska zaštita



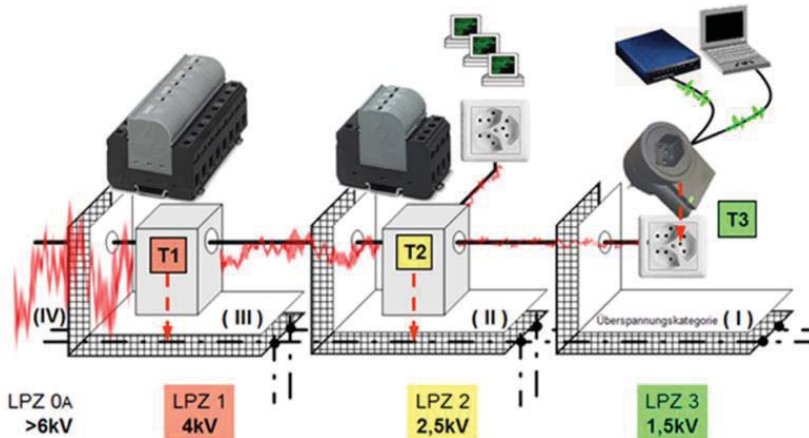
Slike 179: Prenaponska zaštita www.dehn.de

Osnove fotonapona – OFN

Gornji koncept pokazuje različite zone gromobranske zaštite (LPZ_{0A} – LPZ 2), tipove odvodnika prenapona koji se koristi pri ulasku u zgradu kao i vodove za izjednačavanje potencijala.

Koncept mora biti instaliran za cijeli kompleks, što znači, ne samo za fotonaponski sistem, već i za roletne, satelitski priključak, vanjsku rasvjetu, meteorološku stanicu itd. Zaštita od prenapona je kod objekata sa gromobranskom zaštitom veoma važna pomoć.

Prije zaštite od prenapona trebaju se ipak testirati alternative električne zaštite, otpornost izolacije i sigurnost mrežnog priključka. I kada investitor gradnje objekta ne želi nikakve zaštitne mjere, ista se mogu provesti bez preuzimanja odgovornosti.



Slika 180: Nivoi prenaponske zaštite www.phoenixcontact.com

Dakle u praksi se izvode obavezno neki od nivoa prenaponske zaštite, kako slijedi:

SPD T1 (gruba zaštita)

- Ima sposobnost prenosa struje groma,
- Visoki preostali napon od 4kV.

SPD T2 (srednja zaštita)

- Nema sposobnost prenosa struje groma,
- Preostali napon od 2,5kV.

SPD T3 (fina zaštita)

- Nema sposobnost prenosa struje groma,
- Ostatak napona od 1,5kV.

7.4.1 Prenaponska zaštita izmjenične struje - AC

Kao što je to navedeno u prethodnom poglavlju, na slici 169, koje služe kao pomoći pri donošenju odluke, moguće izostaviti prenaponsku zaštitu kod instalacije izmjenične struje samo ako postoji jedan jedini kritični faktor, kritična vrijednost, tzv. "Faktor 50".

U normi SN 411000:2020 NIN piše u Članu 4.4.3.4 sljedeće:

d) U stambenim zgradama, zaštita od prelaznih prenapona se može izostaviti ako je vrijednost napona električnog sistema manja od 50 puta vrijednosti odvodnika prenapona u tački napajanja sistema.

Osnove fotonapona – OFN

Pogledajmo cijene odvodnik prenapona u odnosu na zaštite koje nude?



Odvodnik prenapona ELV/DEHN guard M TNS 275 FM T2/II

EM-Nr. J E952 405 E-Nr. 808427159 Warengruppe 3513
 EAN-Nr. 4013364108462 Hersteller-Artikelnummer 952 405

Spezifikationen

Nettopreis (NP) **128.00 / 1.0 Stk** Listenpreis (LP) **128.00 / 1.0 Stk**

ab EM Lager verfügbar (Cijena u CHF)

BE: 19 RE: 21 CH: 58

- 1 +

Verkaufseinheit: 1.0
 Verpackungseinheit: 15.0

Listen- und Netto-Preise in CHF exkl. MwSt. / Brutto-Preise in CHF inkl. MwSt.

Slika 181: Odvodnik prenapona srednje zaštite www.elektro-material.ch



Kombinovani odvodnik ELV/DEHN ventil M TNS FM T1+T2/I+II

EM-Nr. J E951 405 E-Nr. 808456019 Warengruppe 3513
 EAN-Nr. 4013364108165 Hersteller-Artikelnummer 951 405

Spezifikationen

Nettopreis (NP) **660.00 / 1.0 Stk** Listenpreis (LP) **660.00 / 1.0 Stk**

ab EM Lager verfügbar (Cijena u CHF)

BE: 6 RE: 6 CH: 11

- 1 +

Verkaufseinheit: 1.0
 Verpackungseinheit: 1.0

Listen- und Netto-Preise in CHF exkl. MwSt. / Brutto-Preise in CHF inkl. MwSt.

Slika 182: Odvodnik prenapona grube i srednje zaštite www.elektro-material.ch

Ako objekat nema nikakvu vanjsku gromobransku zaštitu, dovoljan je odvodnik prenapona T2, slika 170. Ako objekat ima vanjsku gromobransku zaštitu, obavezna je upotreba odvodnika prenapona T1, pa se može uštedjeti obračun faktora 50. Odvodnici nivoa SPDT1 su skoro uvijek u kombinaciji s SPDT2.

Obračun troškova:

(Cijena x faktor materijala [mješani faktor 1]) + (Ciljani prihod režijski sat x utrošak uključivih troškove prevoza) + sitni materijali = Prodajna cijena

$(128,00CHF \cdot 1,35) + (89,00CHF/h \cdot 2h) + 50,00CHF = 400,80CHF$ za jedan SPDT2, a

$(660,00CHF \cdot 1,35) + (89,00GHF/h \cdot 2h) + 50,00CHF = 1.119,00CHF$ za jedan SPDT1/T2 kombinovano

Proračun i cijene su samo primjeri temeljeni na stvarnim komponentama. Za vlastite proračune se moraju koristiti vlastita načela i faktori. Međutim, rezultati trebaju odgovarati otprilike odnosu i kretanju cijena komponenti.

Osnove fotonapona – OFN

7.4.2 Prenaponska zaštita istosmjerne struje - DC

Kod prenaponske zaštite istosmjerne struje postoji samo jedan kritični faktor, kod kojeg se može izostaviti zaštita od prenapona, kod instalacije istosmjerne struje, a to je kritična dužina kabela.

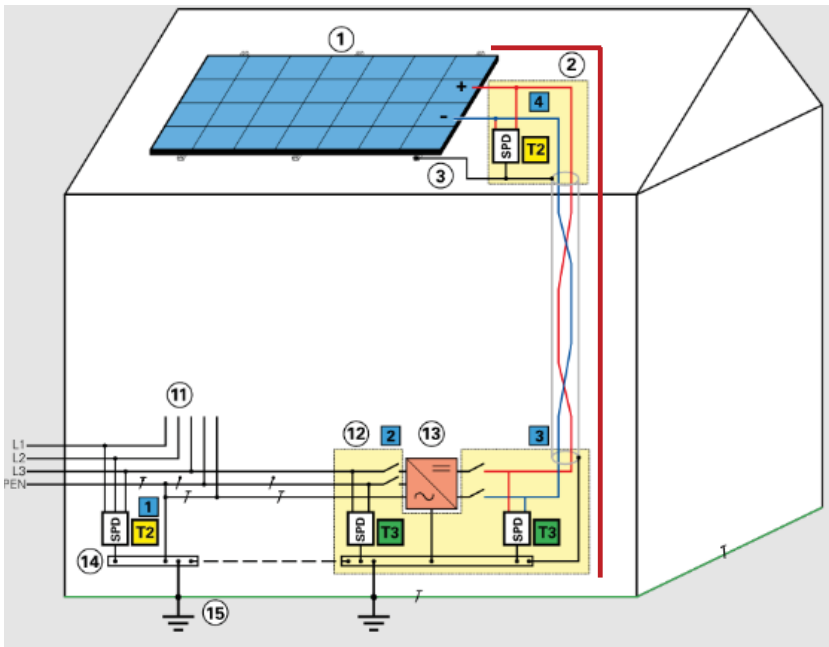
U normi SN 411000:2020 NIN piše u Članu 7.12.4.4.3.2 B+E sljedeće:

d) Ako je dužina kablova koje ugrađujemo manja od kritične dužine kabela L_{crit} , može se izostaviti ugradnja odvodnika prenapona. Zaštita kabela je dovoljna kao zaštitna mjera. Zavisno o situaciji, procjeni rizika i potrebi zaštite SPD-ovi mogu i dalje biti svrsishodni.

To znači da vrijedi sljedeće:

- $L_{DC} < L_{crit}$ Postavljanje prenaponske zaštite nije neophodno,
- $L_{DC} > L_{crit}$ Postavljanje prenaponske zaštite blizu uređaja/ulaza u objekat,
- $L_{DC} > 2 \times L_{crit}$ Postavljanje prenaponske zaštite na oba kraja kablova.

Gdje je: L_{DC} dužina DC voda od kraja generatora, odnosno, ulaza u krov do invertera (dok god je DC vod/kabl ispod generatora, isti važi kao zaštićen),
 L_{crit} kritična dužina voda; $L_{crit} = 20 - 30m$.



Slika 183: Kritična dužina voda www.ninonline.electrosuisse.ch

U praksi, međutim, kritična dužina kabela navedena u normi SN 411000:2020 NIN ne bi se trebala posmatrati preusko. Ovdje djelimično postoji rezervni faktor od x10. Prema normi SN HD 60364-7-712:2016 moguć je i dopušten individualni obračun kritične dužine voda/kabela za svaki sistem.

Osnove fotonapona – OFN

7.4.2.1 Obračun kritične dužine kabla

Kako je prethodno spomenuto, pojedinačni obračun kritične dužine voda za svaki sistem je moguć i dopušten, kao i djelimično i ponekad ima smisla. To definira Član 712.443.102 norme SN HD 60364-7-712:2016.

Obračun:

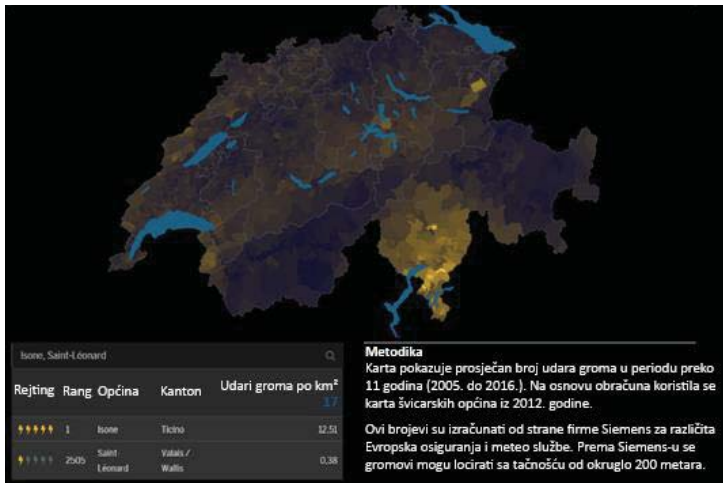
$$L_{\text{crit, Stambenog objekta}} = \frac{115}{N_g}$$

Ng je broj gromova po / km² / godini

Gdje možemo naći gustoću groma?

Najjednostavnije na internetu:

<https://interaktiv.derbund.ch/2017/blitzkarte/?openincontroller>



Slika 184: Vjerovatnost udara groma - Švicarska

Obračunata, kritična dužina voda s prosječnim vrijednostima za neke dijelove Švicarske:

Tabela 185: Kritična dužina voda po kantonima u Švicarskoj

TI	24,46m	NE	48,72m	GE	55,55m	SG	58,97m
AI	31,33m	LU	50,21m	SH	56,09m	AR	61,82m
OW	40,35m	GL	50,66m	FR	56,93m	ZH	63,53m
SZ	41,07m	ZG	51,56m	BE	57,78m	TG	66,47m
NW	43,72m	UR	53,48m	GR	57,78m	AG	71,42m
BS	47,13m	BL	55,02	SO	58,37m	VS	82,15m
VD	48,11m	JU	55,28m				

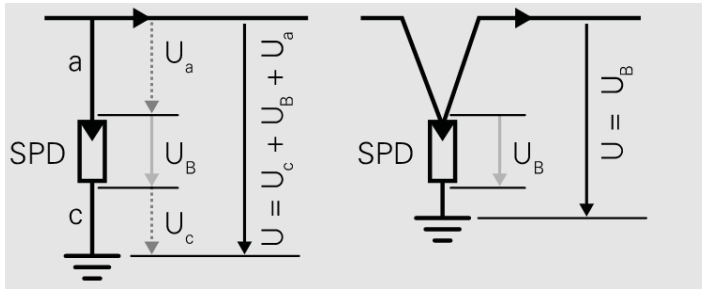
Najekstremniji primjer su dvije općine Isonne TI i Saint-Léonard VS. Prema normi SN 411000:2020 NIN obje spadaju u kategoriju "južna Švicarska" sa kritičnom dužinom voda od 20m.

Obračun sa efektivnim vrijednostima daje sljedeće (stvarne) kritične dužine voda:

- Isonne TI N_g 12,51 gromova/km²/godina L_{crit} 9,19m,
- Saint-Léonard VS N_g 0,38 gromova/km²/godina L_{crit} 302,63m.

Osnove fotonapona – OFN

7.4.2.2 Priključenje odvodnika prenapona



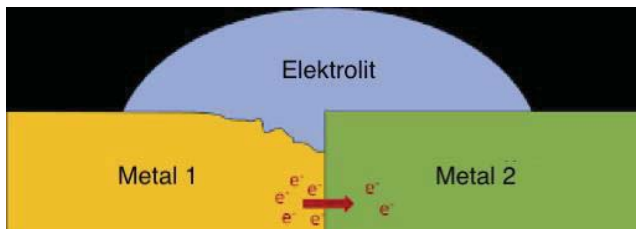
Ako se koriste SPD - odvodnici prenapona, mora se voditi računa o sljedećim parametrima.

Slika 186: Priključenje odvodnika prenapona www.ninonline.electrosuisse.ch

- Što je kraći kabl za priključak na zaštitu od prednapona, to je veći zaštitni učinak. Preporučuje se odabrati V-kabliranje. Ukupna dužina priključka je 0,50m. Kako bi priključak bio što kraći i sa što nižom impedansom, odvodnik se može spojiti na odvodnik u sistemu gromobranske zaštite ili npr. sa metalnim kućištem invertera koje je spojeno sa uzemljenjem.
- Osim toga, "zaštićeni" vodovi (prema zaštiti od prenapona) i "nezaštićeni" (prije zaštite od prenapona) vodovi moraju biti odvojeni lokalno i ne smiju biti položeni paralelno na istoj trasi/kanalu.
- Nivo zaštite U_P mora biti usklađen sa izolacijskom snagom sredstva za rad koja se štiti. Nivo zaštite U_P bi trebala dostići maksimalno 80% podnosivog napona radnog sredstva. Osim toga se preporučuje korištenje odvodnika prenapona sa kontaktima za daljinsko javljanje koja se tako mogu lakše nadzirati.

7.4.3 Kontaktna korozija

Važna tema o kojoj se mora voditi računa kod svih instalacija (ne samo u vezi gromobranske zaštite) je elektrohemijska korozija.



Slika 187: Kontaktna korozija www.3r-rohre.de

Korozija je, posmatrano iz tehničke perspektive, reakcija nekog materijala s okolinom, koja dovodi do mjerljive promjene materijala. To znači da se kod dva različita metala jedan metal razgrađuje.

Npr. kontakt bakra sa aluminijem bez odgovarajućeg spoja dovodi do razgradnje materijala "neplemenitog metala", u ovom slučaju aluminija.

Zbog toga treba izbjegavati mehaničke veze između metala s različitim potencijalima.

Osnove fotonapona – OFN

Tabela 188: Elektrohemijski naponski niz

Element	Simbol	Standardni napon
Zlato	Au	+ 1,50 V
Iridij	Ir	+ 1,16 V
Platina	Pt	+ 1,12 V
Paladij	Pd	+ 0,95 V
Osmij	Os	+ 0,86 V
Srebro	Ag	+ 0,80 V
Rodij	Rh	+ 0,76 V
Rutenij	Ru	+ 0,45 V
Bakar	Cu	+ 0,34 V
Vodonik	H	0,00 V
Olovo	Pb	- 0,13 V
Kalaj (kositar)	Sn	- 0,14 V
Željezo	Fe	- 0,45 V
Titan	Ti	- 1,63 V
Aluminij	Al	- 1,66 V
Kalij	K	- 2,92 V
Litij	Li	- 3,04V

Razlika u naponu
 između Cu i Al
 2,00 VDC

Osnove fotonapona – OFN

8 Električni priključak fotonaponskog sistema

Član 6 norme SR 734.27 NIV definiše sljedeće:

Onaj ko izrađuje, mijenja ili popravlja i onaj ko trajno spaja električne proizvode na električne instalacije ili takve priključke prekida, mijenja ili popravlja, mora imati odobrenje za rad na instalaciji.

To znači da radovi na električnim instalacijama spadaju u "regularna zanimanja" koje mogu obavljati samo osobe koje imaju određenu stručnu kvalifikaciju. Svi drugi bi počinili kazneno djelo kada bi obavljali instalaciju.

Laik smije npr. u svom stanu montirati / demontirati samo rasvjetna tijela i pripadajuće prekidače kao i spajati pojedinačne utičnice iza FID-ove sklopke s nazivnom diferencijalnom strujom od 30mA. Instalater bi morao, međutim, u svakom slučaju kontrole pozvati osobu ovlaštenu za obavljanje inspekcije.

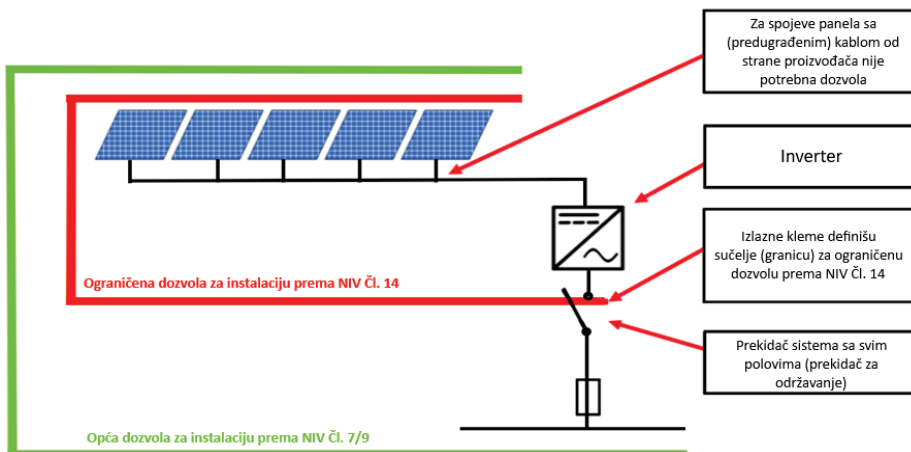
Zadaci: Rješite po završetku poglavlja 8 zadatke 44 i 45 u radnoj knjizi "Osnove fotonapona"



8.1 Obaveza pribavljanja odobrenja za montažne radove

Aktuelna norma SR 734.27 NIV poznaje sljedeća odobrenja (samo jedan odlomak)

1. Opće odobrenje za instalaciju:
 - Odobrenje za fizička lica (Čl. 7),
 - Odobrenje za firme (Čl. 9).
2. Ograničeno odobrenje za instalaciju:
 - Za instalacione radove na specijalnim sistemima (Čl. 14)



Slika 189: Ograničena i opća dozvola za instalaciju fotoaponskog sistema

Osnove fotonapona – OFN

Kod se na fotonaponskim sistemima izvode instalacijski radovi iz montažnog kabliranja panela obavezno je pribavljanja odobrenja.

Od prednosti je što se općim Odobrenjem za instalaciju za fizička lica (Čl.7) ili za firme (Čl.9) omogućuje izvršavanje potrebnih prilagođavanja na AC strani i nisu potrebne dalje radnje ili aktivnosti.

Onaj ko ne ispunjava uslove (usp. SR 734.27 NIV1 između ostalog Čl. 8) za opću dozvolu za instalaciju, može zahtjevati ograničenu dozvolu za instalacijske radove na posebnim sistemima (Čl. 14). U pravilu ipak postoji obaveza uspješnog završetka ispita pri ESTI – švicarsko tijelo za nadzor i kontrolu električnih sistema.

Svi solarni instalateri i tehničari mogu se prijave na ESTI ispit.

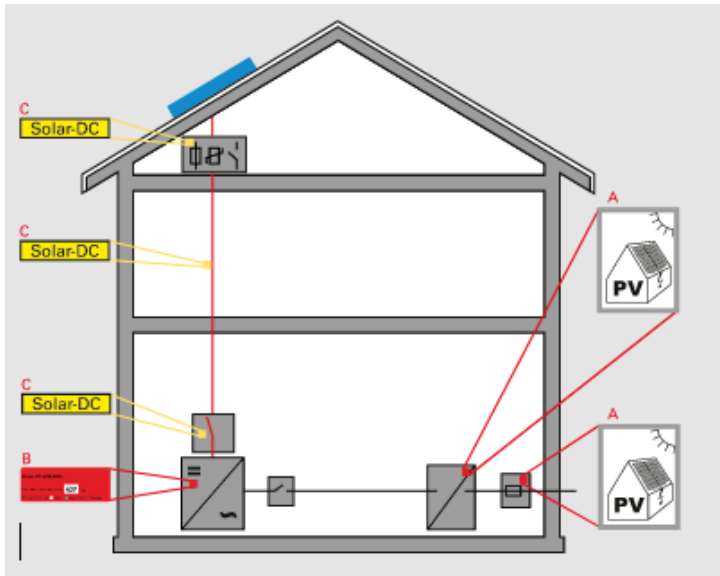
8.2 Instalacija izmjenične struje i napona - AC instalacija

Kao što je već tečeno, za izvođenja električnih instalacija je potrebno odobrenje/dozvolu za instalaciju.

Npr. u Švicarskoj je potrebno da solarni instalater ili eventualno nosilac odobrenja NIV Čl. 14 potraži odgovarajućeg elektro instalatera sa općom dozvolom za instalaciju NIV Čl. 9 sa kojom će sarađivati.

www.esti.admin.ch je interneta stranica švicarskog inspektorata za jaku struju gdje se nalazi popis dozvola.

8.3 Označavanje svih komponenti



Fotonaponski sistem i sve komponente su pod naponom, čim ima dnevnog svjetla, pa je potrebno odgovarajuće označavanje kako bi se skrenula pažnja na električnu opasnost od instalacija pod naponom.

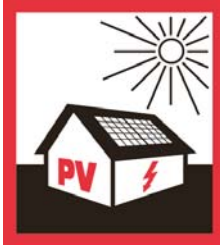
Nema potrebe širiti paniku, jer ako se sve komponente pravilno koriste, u normalnom radu neće doći do opasnog stanja.

Slika 190: Označavanje komponenti www.ninonline.electrosuisse.ch

Oznake za komponente sistema se moraju nalaziti na vidnom mjestu, a neke od njih su sljedeće:

Osnove fotonapona – OFN

Tabela 191: Označavanje komponenti fotonaponskog sistema



Vatrogasna oznaka upozorenja za fotonapon (normativ: oznaka A)

- Vatrogasna služba treba na najjednostavniji način prepoznati fotonaponski sistem
- Najlepnica se postavlja kod priključka prekidača za strujnu zaštitu i kod AC azvodnika, a između priključka prekidača strujne zaštite i invertera
- U zavisnosti od kantona postavljanje ove naljepnice se zahtjeva na vratima kuće ili na svim vratima između kućnih vrata i invertera.



Oznaka upozorenja Solar-DC-sistem (normativ: oznaka B)

- Natpisna oznaka mora imati minimalno sljedeće podatke:
 1. Maksimalni napon praznog hoda generatora, uključujući faktor korekcije
 2. Inverter sa/bez galvanske izolacije
- Oznaka se postavlja na inverteru.



Oznaka upozorenja fotonapon DC vod (normativ: oznaka C)

- Oznaka se mora postaviti na DC vodovima, DC-razvodnoj kutiji generatora (GAK) ili na svim DC uređajima koji i pri isključenom sistemu stoje pod naponom.



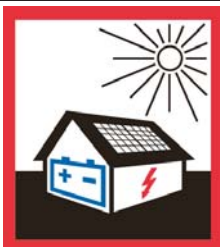
Oznaka upozorenja isključenje solarnog sistema (normativ nije u NIN-u)

- Oznaka se u pravilu postavlja na prekidač za održavanje i/ili na inverter. Radi se o tome da se navede postupak isključenja kompletnog fotonaponskog sistema.



Vatrogasna oznaka upozorenja samo za akumulator (normativ: oznaka D)

- Vatrogasna služba treba na najjednostavniji mogući način prepoznati stacionarni sistem za akumuliranje
- Oznaka se postavlja na prekidač strujne zaštite i kod razvoda, između priključka prekidača strujne zaštite i invertera
- U zavisnosti od kantona postavljanje ove naljepnice se zahtjeva na vratima kuće ili na svim vratima između kućnih vrata i invertera.



Vatrogasna oznaka upozorenja PVA (FNS) sa baterijom (normativ: oznaka E)

- Vatrogasna služba treba na najjednostavniji mogući način prepoznati stacionarni sistem za akumuliranje
- Oznaka se postavlja na prekidač strujne zaštite i kod razvoda, između priključka prekidača strujne zaštite i invertera
- U zavisnosti od kantona postavljanje ove naljepnice se zahtjeva na vratima kuće ili na svim vratima između kućnih vrata i invertera.

Osnove fotonapona – OFN

Batterie-DC

Oznaka upozorenja baterija-DC-vod (normativ: oznaka F)

- Oznaka se postavlja na DC vodovima, DC razvodnoj kutiji (GAK) i/ili na svim DC radnim uređajima koji i kod isključene baterije stoje pod naponom.

Oznake (naljepnice) se mogu kupiti u trgovini ili ih možemo izraditi sami pomoću prikladnih štampača za naljepnice ili slično. Cilj bi bio da sve naljepnice/oznake koje su izložene suncu budu otporne na UV zračenje, a to trenutno moguće samo s metalnim i laserskim graviranjem.

8.4 Postupak prijave

Zahtjev za tehnički priključak (TAG)

Za uređaje, koji uzrokuju povratne uticaje (smetnje) u mreži, npr. (indukcijski štednjak), uređaje za akumulaciju energije s priključkom na niskonaponsku distribucijsku mrežu, uređaje i sisteme za električnu toplotu (grijanje), punionice za elektro vozila i za sisteme za proizvodnju energije u paralelnom radu (ovdje fotonaponski sistemi) mora se dostaviti zahtjev za tehnički priključak prije popunjavanja prijave za instalaciju.

Operater mreže odobrava ili odbija zahtjev za priključak. Ponekad je također moguć rad sa tehničkim ograničenjima ili prilagođavanjima.

Zahtjev za tehnički priključak se obavezno mora predati prije nego što se vlasniku sistema (ulagaču) odobri fiksna snaga sistema. Samo zato što se 25A može dobiti od operatera distributivne mreže, ne znači da se 25A također može akumulirati u mrežu pomoću fotonaponskog sistema.



Prijava instalacije (IA)

Prije efektivne instalacije se mora ista također prijaviti mrežnom operateru putem prijave o instalaciji. Bez odobrenog zahtjeva za tehnički priključak se prijava instalacije odbija.

Bez prijave instalacije se ne može predati izvještaj o izvršenju (FA), tako da se brojilo neće mijenjati, a višak proizvedene energije neće biti nadoknađen.

Predložak ESTI (Švicarski inspektorat za jaku struju) plana

Svi fotonaponski sistemi na izlazu izmjenične struje (AC) sa nominalnom snagom većom od 30kVA podliježu obavezi planiranja prema postojećim formularima. To znači da se instalacija, odnosno, planiranje uključujući svu tehničku dokumentaciju mora prethodno podnijeti Inspektorijatu za jaku struju na odobrenje.

Ovo odobrenje sa nadovezujućom kontrolom je relativno skupo i uzrokuje u praksi uvijek probleme i diskusiju.

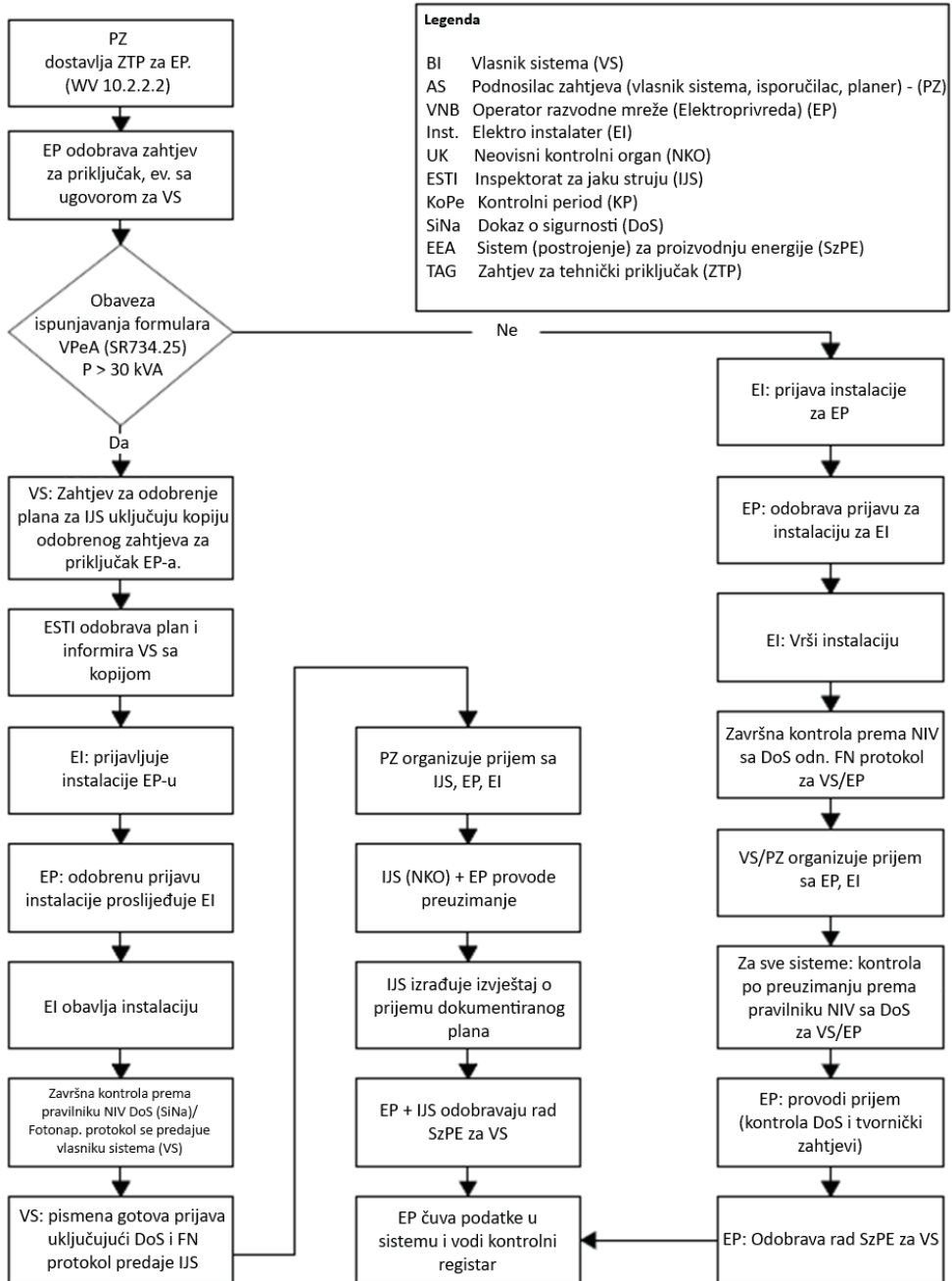
Stanje u januaru 2021. godine je takvo da bi se obaveza za podnošenje plana prema formularima za fotonaponske sisteme trebala donijeti od 1. jula 2021. godine. Iz tog razloga se ovdje neće više raspravljati previše detaljno.



Napomena: Ovo je samo mali izvod postupka prijave. Postoje još različiti drugi izvodi preko obavijesti o gradnji/prijave o gradnji, postupak prijave Uredu za certifikaciju, prijave za poticaje opština/grada/kantona itd. Ovaj postupak detaljnije obrađuje voditelj projekta.

Osnove fotonapona – OFN

Dijagram toka sistema za proizvodnju energije EEA



Slika 192: Dijagram toka sistema za proizvodnju energije

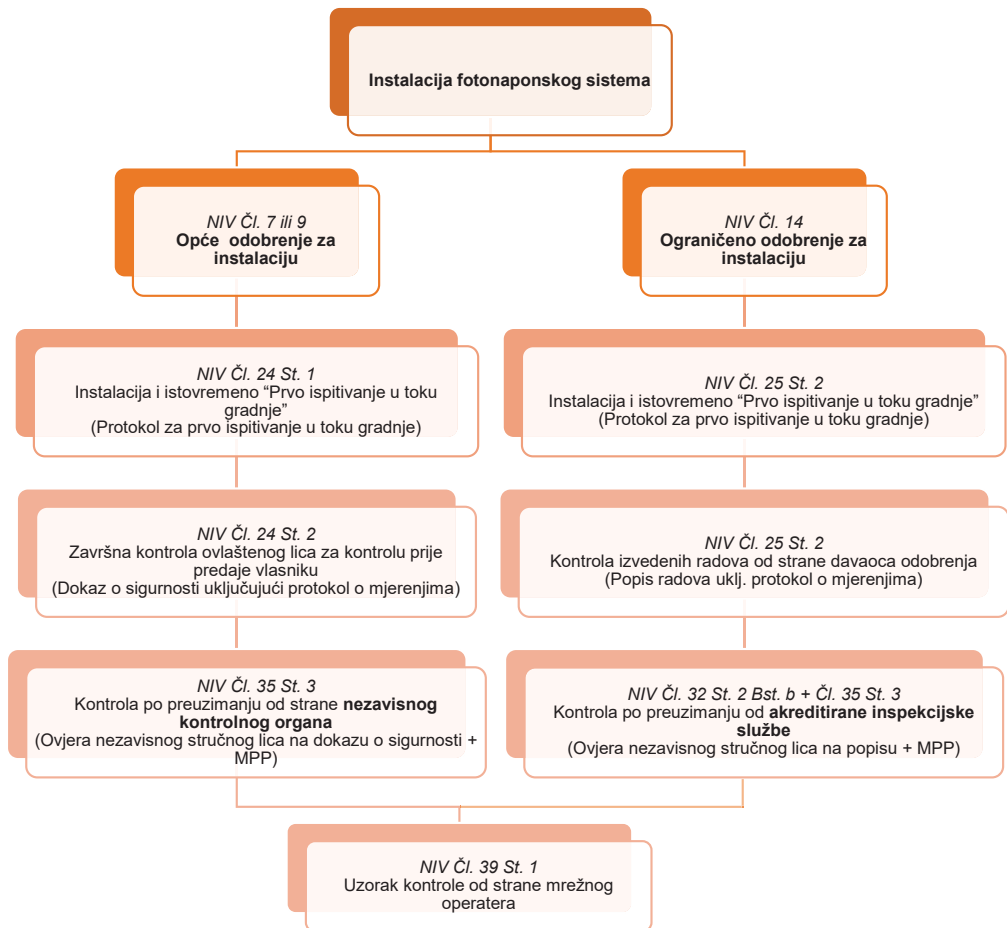
Osnove fotonapona – OFN

8.5 Kontrola sistema

Prvo ispitivanje u toku gradnje / završna kontrola / kontrola po preuzimanju

Kao što se već naučilo, radovi na električnim instalacijama su dozvoljeni samo onda kada se prethodno pribavilo odobrenje inspektorijata za jaku struju.

Osim toga sve električne instalacije podliježu jednoj, odnosno, nekoliko kontrola. Cilj ovih kontrola je jasan, da se u radu sistema pri predvidivoj, mogućoj nestručnoj upotrebi, kao i u slučajevima grešaka ne ugroze lica, životinje, uređaji i komponente.



Slika 193: Dijagram kontrole sistema za proizvodnju energije

Osnove fotonapona – OFN

8.5.2 Obavezna mjerenja

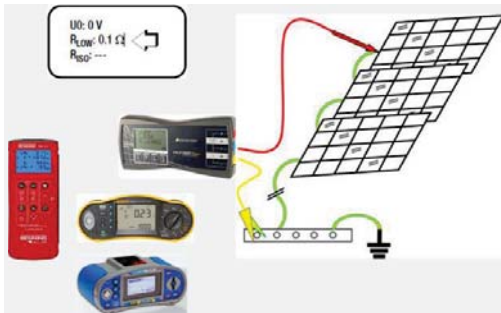
Prema Čl. 25 St. 2 NIV-a i Čl. 14 donosilac odobrenja voditi registar/popis o izvedenim instalacijama kao i o protokol pojedinačnim mjerenjima na sistemu/ima.



Protokol o mjerenju mora odgovarati minimalnim zahtjevima SN EN 62446-1. Najjednostavnije je koristiti postojeće tabele saveza Swissolar, electrosuisse, eit.swiss i VSEK.

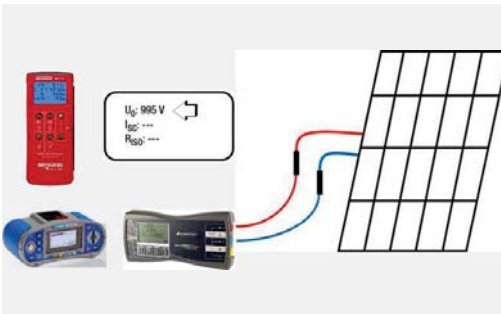
U već spomenutoj normi je propisano da se mora provesti ispitivanje prema kategoriji 1 kod svakog fotonaponskog sistema.

Kategorija 1: Ispitivanje prema SN EN 62446-1:



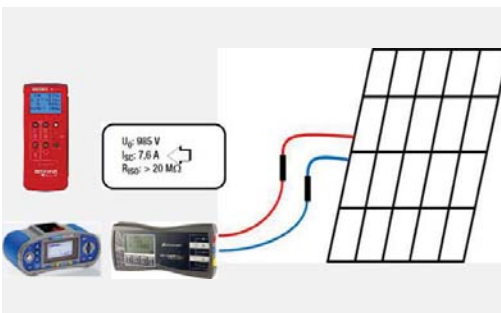
Ispitivanje fotonaponskog sistema / uzemljenje R_{LOW} / R_{PE}

- Kod ovog mjerenja se ispituje da li su metalni, radni dijelovi sistema koji ne provode struju spojeni sa sigurnim uzemljenjem,
- Mjerenje se provodi sa 4–24V AC/DC, strujom od > 200mA,
- Kao orjentaciona vrijednost važi 1Ω .



Ispitivanje U_{0c} i polaritet

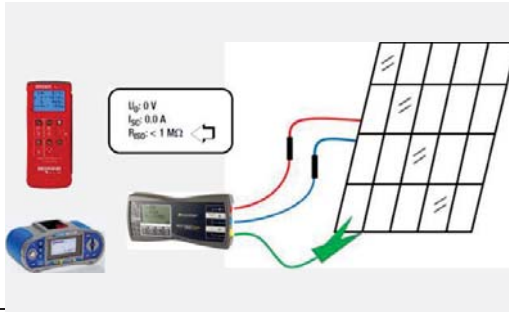
- Kod ovog mjerenja se kontroliše a) da li polaritet odgovara i b) da li je napon otvorenog kola u očekivanom području (pod zadatim uslovima).
- Na ovaj način se može ispitati broj spojenih modula u seriji.



Ispitivanje I_{sc}

- Kod ovog mjerenja se ispituje da li svi utikači i utičnice funkcioniraju i u kojoj mjeri,
- Ovim putem se može ispitati broj paralelno spojenih modula,
- Pažnja! Mjerni uređaji imaju vrlo jako ograničeno područje mjerenja i nemaju toleranciju.

Osnove fotonapona – OFN



Ispitivanje izolacijskog otpora R_{iso}

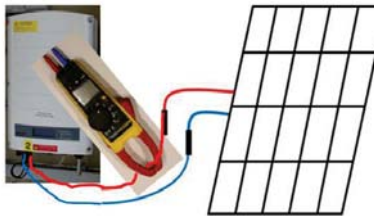
- Kod ovog mjerenja se ispituje da li je izolacija vodova/kablova unutar normativnih minimalnih zahtjeva. Potrebne su sljedeće izolacijske vrijednosti:

$U_{oc} < 120V$	0,5M Ω
$U_{oc} > 120V$	1,0M Ω



Ispitivanje MPP napona

- Sistem mora raditi, u punom pogonu,
- Alternativa, očitati MPP napon na inverteru.



Ispitivanje MPP struje

- Sistem mora raditi, mjerenje moguće samo sa kliještima za istosmjernu DC struju,
- Alternativa, MPP struju očitati na inverteru.

Za kontrolu instalacije izmjenične struje (AC) primjeniti obavezno između ostalog poglavlje 6 norme SN 411000:2020 NIN.



Slika 194: Uređaji za ispitivanja kategorije 1, Samuel Summermatter, BE Netz AG











Napomena: Za tačno mjerenje treba koristiti odgovarajući mjerni uređaj u odgovarajuće vrijeme na odgovarajućem sistemu!

Osnove fotonapona – OFN

8.5.3 Periodična kontrola

Sve električne instalacije se moraju periodično kontrolisati.

Kontrolni period pregleda jednog fotonaponskog sistema se vrši prema kontrolnom periodu objekta na koje je isti priključen/montiran.

		1	3	5	10	20
				☐		
					☐	
				☐		
			☐	☐		
H	0/1			☐ H		
	1			☐ H		
	1					
	1			☐		
	2					
	2	☐				
	2					
					☐	☐
						☐
					☐	☐
				☐		

Slika 195: Periodična kontrola električnih instalacija www.swissolar.ch

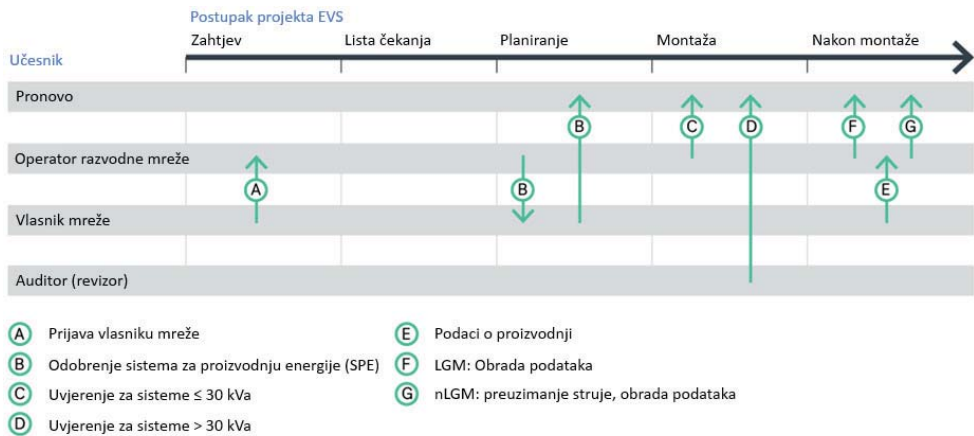
Osnove fotonapona – OFN

8.5.4 Audit (revizija) / Certificiranje fotonaponskog sistema

Svi fotonaponski sistemi od 30kVA nominalne izmjenične snage izmjeničnog mogu i moraju biti evidentirani na HKN portalu Pronovo. Osim toga, za sve sisteme > 2kVA nominalne izmjenične snage izmjeničnog mogu se podnijeti zahtjevi za javna poticajna sredstva.

U sistemu o dokazu porijekla (HKN) obrađuju se samo podaci o sistemima i proizvodnji koje je ovjereno od strane neovisne službe. Ovjerom tih podataka se garantuje da je proizvodnja određenog sistema tačno evidentirana i da je na taj način izdavanje dokaza o porijeklu (HKN) odnosno isplata javnih poticajnih sredstava opravdana. HKN se upotrebljava za oznaku struje prema krajnjim korisnicima i služi povećanju transparentnosti za kupljenu električnu energiju

Pošto je cijeli postupak kompleksan, sljedeća grafika služi kao pregled:



Slika 196: Audit i certificiranje fotonaponskog sistema www.pronovo.ch

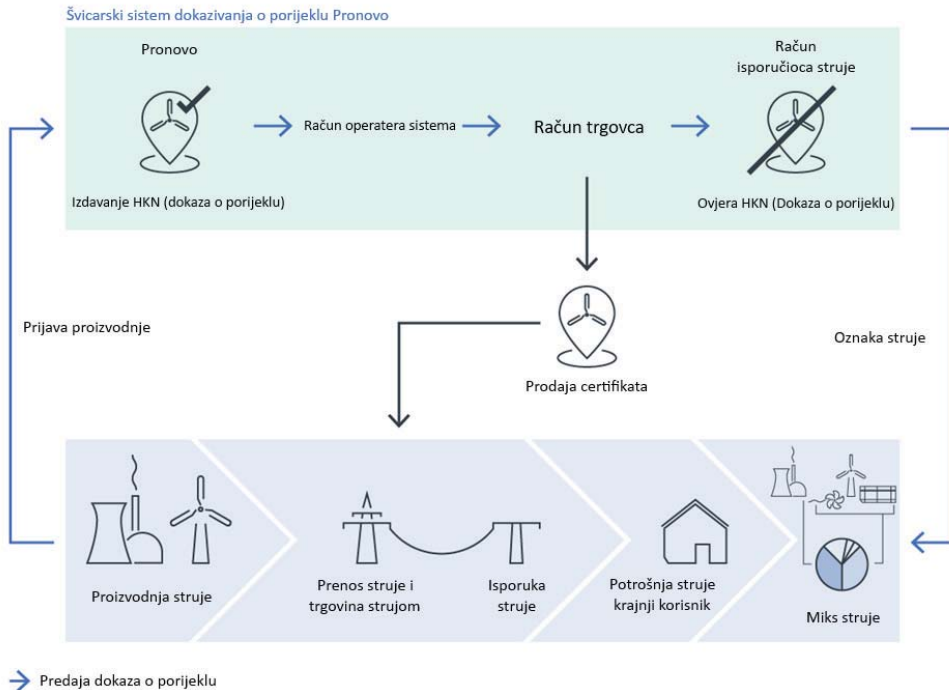
Sve do nominalne izmjenične snage od 30kVA/AC ovjeru ili certificiranje smije provesti mrežni operator (ako je zakonski odvojen od operatera sistema) ili lice ovlašteno za kontrolu s inspekcijском dozvolom inspekcije za jake struje.

Od 30kVA/AC nominalne izmjenične snage mora se provesti certificiranje od strane akreditirane inspekcijske službe.

Akreditovana služba certificira i sistema nominalne izmjenične snage od 30kVA/AC do neograničeno.

Osnove fotonapona – OFN

8.5.5 Švicarski sistem o dokazu porijekla - Pronova



Slika 197: Dokazivanje porijekla – Pronova www.pronovo.ch

Glavna svrha garancija porijekla (HKN) je transparentnosti za krajnje potrošače. To se radi generisanjem dokaza o porijeklu tokom proizvodnje električne energije, koji se kasnije koristi za označavanje električne energije za krajnjeg potrošača.

Potvrda o porijeklu (HKN) izdaje se za svaki proizvedeni kWh električne energije. HKN je odvojen od fizičkog toka električne energije i njime se trguje kao nezavisni certifikat. HKN stoga služi kao čisto računovodstveni podatak koji pokazuje kako je sastavljena proizvodnja električne energije, u našem primjeru u Švicarskoj.

Potvrda o porijeklu se šalje od operatora sistema, također preko trgovaca, do dobavljača električne energije putem sistema dokaza o porijeklu. Opskrbljivač električnom energijom poništava ovaj HKN. Samo ovim poništenjem mogu se na elektroenergetskoj naljepnici prikazati količine i energenti koji se u vidu potvrda nalaze na računu dobavljača električne energije. Poništeni HKN-ovi više nisu dostupni za dalje aktivnosti u sistemu dokaza o porijeklu. Ovo sprečava dvostruko brojanje.

Potvrde o porijeklu sa kojima se slobodno trguje također se mogu izdati nakon što je primljena certifikacija za sisteme koji su na listi čekanja ili su već primili jednokratnu uplatu.

Osnove fotonapona – OFN

8.5.6 Jednokratna nadoknada (EIV)

S jednokratnom uplatom naknade operatori sistema dobijaju jednokratni investicijski doprinos.

Jednokratne naknade za fotonaponske sisteme se dodjeljuju u dva različita programa:

- KLEIV - jednokratne uplate naknada za male fotonaponske sisteme s snagom manjom od 100kWp i
- GREIV - jednokratne naknade za velike fotonaponske sisteme sa snagom od 100kWp.

Stopa naknade za nadograđene i sisteme na otvorenim površinama

Stopa povlastice za ugrađene i sisteme na otvorenom

Montaža	Osnovni iznos (CHF)	Iznos naknade < 30 kWp (CHF/kWp)	Iznos naknade < 100 kWp (CHF/kWp)	Iznos naknade ≥ 100kWp (CHF/kWp)
Od 01.04.2021	700	380	290	290
01.04.2020 - 31.03.2021	1000	340	300	300
01.04.2019 - 31.03.2020	1400	340	300	300
01.04.2018 - 31.03.2019	1400	400	300	300
01.04.2017 - 31.03.2018	1400	450	350	350
01.10.2016 - 31.03.2017	1400	500	400	400
01.10.2015 - 30.09.2016	1400	500	450	450
01.04.2015 - 30.09.2015	1400	680	530	530
01.01.2014 - 31.03.2015	1400	850	650	600
01.01.2013 - 31.12.2013	1500	1000	750	700
01.01.2012 - 31.12.2012	1600	1200	950	850
01.01.2011 - 31.12.2011	1900	1450	1200	1000
Do kraja 2010	2450	1850	1500	1300

Slika 198: Jednokratne nadoknade za ugrađene i FN sisteme na otvorenom

Stopa naknade za integrisane sisteme

Stopa povlastice za integrisane sisteme

Montaža	Osnovni iznos (CHF)	Iznos naknade < 30 kWp (CHF/kWp)	Iznos naknade < 100 kWp (CHF/kWp)	Iznos naknade ≥ 100kWp (CHF/kWp)
Od 01.04.2021	770	420	320	Za integrisane sisteme sa nominalnom snagom od ≥ 100kWp koji su pušteni u rad nakon 1. januara 2013. za sve klase snage se primjenjuju stope povlastica za dograđene sisteme i sisteme na otvorenom.
01.04.2020 - 31.03.2021	1100	380	330	
01.04.2019 - 31.03.2020	1550	380	330	
01.04.2018 - 31.03.2019	1600	460	340	
01.04.2017 - 31.03.2018	1600	520	400	
01.10.2016 - 31.03.2017	1800	610	460	
01.10.2015 - 30.09.2016	1800	610	510	
01.04.2015 - 30.09.2015	1800	830	630	
01.01.2014 - 31.03.2015	1800	1050	750	
01.01.2013 - 31.12.2013	2000	1200	850	
01.01.2012 - 31.12.2012	2200	1400	1100	
01.01.2011 - 31.12.2011	2650	1700	1400	
Do kraja 2010	3300	2100	1700	

Slika 199: Jednokratne nadoknade za integrisane FN sisteme

Osnove fotonapona – OFN

8.5.7 Naknada za isporuku električne energije – EVS

Naknada za isporuku električne energije (EVS) je nastavljajući sistema poticaja dobro poznate KEV tarife, tj. naknada za isporuku električne energije koja pokriva troškove.

Nove prijave imaju, prema trenutnim zakonskim uslovima, veoma malu šansu za pristup EVS-u.

Iz tog razloga se ova tema neće dublje obrazlagati.

8.5.8 Ponovna revizija – Re-Audit

Svi sistemi koji su obuhvaćeni sistemom dokaza o porijeklu i imaju nominalnu izmjeničnu snagu veći od 300kVA, kao i sve druge pumpno-akumulacijske elektrane, moraju se ponovo certificirati svakih 5 godina u okviru ponovne revizije od strane revizora uz korištenje raspoloživih formulara. Ovo se odnosi kako na HKN tako i na EN, EVS i EIV sisteme.

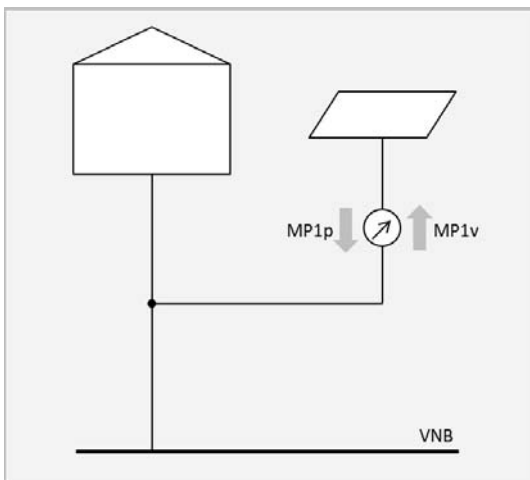
Bez ovih koraka se ne mogu izdati nijedan drugi HKN/EN, odnosno EVS se više ne može dalje isplaćivati. Kod ponovne revizije vrijede isti zahtjevi kao i kod prve certifikacije. Dodatno mora u okviru ponovne revizije uslijediti provjera podataka o proizvodnji u posljednjih 5 godina.

8.6 Mjerni koncepti proizvodnog sistema

Prema priručniku iz Pravilnika o vlastitoj potrošnji razlikuju se sljedeća mjerenja:

- Mjerenje neto proizvodnje: bruto proizvodnja minus pomoćno napajanje sistema
- Mjerenje viška: energija proizvedena i predana u javnu elektro mrežu iznad vlastitih potreba i potrošnje na mjestu proizvodnje.

8.6.1 Mjerenje neto proizvedene energije



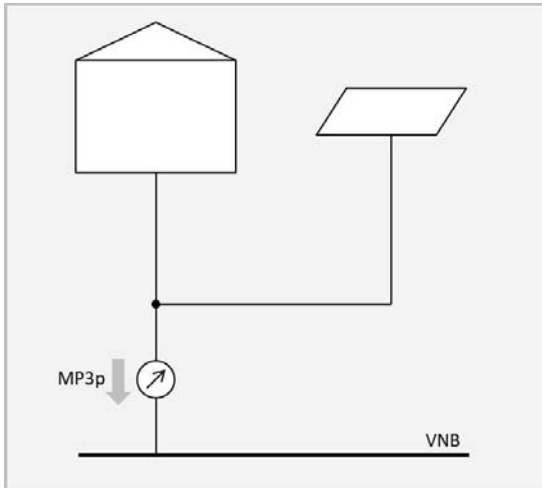
Slika pokazuje mjerenje neto proizvodnje sistema sa mjernim tačkama za proizvodnju (MP1p) i za vlastitu potrošnju/pomoćno napajanje (MP1v)

Ovaj mjerni način se danas manje koristi, prije svega kod mjerenja sistema samih mrežnih operatera (za generiranje potrebnog dokaza o porijeklu) ili investitora.

Slika 200: Mjerenje neto proizvedene energije www.pronovo.ch

Osnove fotonapona – OFN

8.6.2 Mjerenje viška energije u sistemima do 30kVA



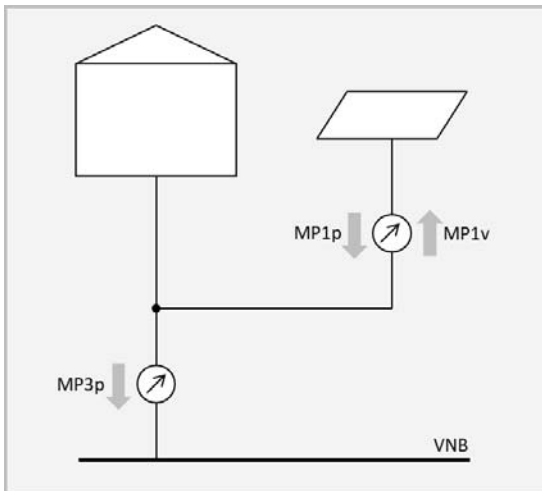
Slika prikazuje mjerenje viška električne energije do maksimalne izmjenične snage invertora 30kVA. Obuhvata se samo mjerna tačka za višak (MP3p).

Ovaj način mjerenja je vjerovatno najšire rasprostranjen. On je standard za porodične kuće kao i za manja poljoprivredna gazdinstva.

Potpuno ima smisla električnu energiju samostalno trošiti umjesto prodavati za npr. 5-10 feninga/kWh, a sam kupovati ponovo za npr. 20-25 feninga/kWh.

Slika 201: Mjerenje viška energije u sistemima do 30kVA energije www.pronovo.ch

8.6.3 Mjerenje viška energije u sistemima većim od 30kVA



Slika pokazuje mjerenje viška čim je snaga invertora / sistema za proizvodnju električne energije snage veća od 30kVA.

U cjelosti se obuhvataju 3 mjerne tačke, proizvodnja (MP1p), vlastita potrošnja / pomoćno napajanje (MP1v) kao i višak (MP3p) (AC).

U industriji ili privrednim objektima ovaj način mjerenja ima smisla, što je veća vlastita potrošnja utoliko prije se sistem isplati.

Slika 202: Mjerenje viška energije u sistemima većim od 30kVA www.pronovo.ch

Osnove fotonapona – OFN

9 Nastavak za voditelje projekta solarne montaže

U skipti za voditelje projekta solarne montaže se obrađuju sljedeće teme:

- Akvizicija,
- Savjetovanje sa klijentom,
- Građevinska pojašnjenja / građevinsko pravo,
- Sastavljanje informacija o troškovima,
- Ekonomičnost / finansiranje,
- Statika,
- Projektovanje / pojedinačne faze,
- Faza odobrenja,
- Pokretanje / stavljanje u pogon,
- Preuzimanje,
- Održavanje / nadzor,
- Dokumentacija.

Osnove fotonapona – OFN

Popis slika i tabela:

Slika 1: Sunce, užarena zvijezda na nebu, izvor života na zemlji	5
Slika 2: Struktura sunca, www.raumfahrer.net	6
Tabela 1: Poređenje: sunce - zemlja	7
Slika 3: Konstanta zračenja, K. Mertens www.textbook-pv.org	7
Slika 4: Spektar sunčevog zračenja, K. Mertens www.textbook-pv.org	8
Slika 5: Uticaj vazdušne mase, K. Mertens www.textbook-pv.org	9
Slika 6: Direktno i difuzno zračenje www.dgs.de	10
Slika 7: Sunčevo zračenje Švicarska www.solar-hirsch.de	10
Slika 8: Godišnje sunčevo zračenje Bosna i Hercegovina www.m-kvadrat.ba	11
Slika 9: Godišnji zbir globalnog zračenja www.meteororm.ch	11
Slika 10: Energija prema klasi ozračivanja, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG	12
Slika 11: Energija ozračivanja po mjesecima, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG	12
Slika 12: Dijagram stanja sunca za grad Bern u Švicarskoj www.wikipedia.org	13
Slika 13: Površine sa nagibom www.dgs.de	14
Slika 14: Godišnji prinos energije www.dgs.de	14
Slika 15 : Usporedba svjetskih energetske resursa www.asrc.albany.edu	15
Tabela 2: Primjeri globalnog zračenja (Gh) prema mjestu i mjesecu u kWh/m ²	16
Slika 16: Solarni katastar Švicarske www.sonnendach.ch	16
Slika 17: Izvod iz solarnog katastra za općinu Pfaffnau u Švicarskoj	17
Slika 18: Obračun potencijala iz solarnog katastra	18
Slika 19: Ukupna svjetska energetska potrošnja www.stromkunden.ch	19
Slika 20: Statistika potrošnje energije za 2019. godinu	20
Slika 21: Proizvodnja električne energije za 2019. godinu	21
Slika 22: Fotonaponsko tržište Švicarske www.swissolar.ch	22
Slika 23: Prognoza proizvodnje energije iz obnovljivih izvora www.home.zhaw.ch	22
Slika 24: Iskorištenost sunčevog zračenja www.energiesparen-im-haushalt.de	23
Slika 25: Korištenje solarne energije, Swissolar	23
Slika 26: Fotonaponski sistemi www.dgs.de	24
Slika 27: Šema spajanja off-grid ostrvskog sistema www.swissolar.ch	25
Slika 28: Šema spajanja sistema na mrežu www.swissolar.ch	26
Slika 29: Šema E3/DC www.e3dc.com	27
Slika 30: Godišnji prekid snabdjevanja www.de.statista.com	27
Slika 31: Kristalna struktura silicija i samokondukcije	28
Slika 32: Formiranje p- i n-tipa poluprovodnika	29
Slika 33: Stvaranje zona prostornog naboja na pn-spoju	30
Slika 34: Fotoefekt	30
Slika 35: Periodni sistem elememata	31
Slika 36: Struktura i način funkcionisanja kristalne solarne ćelije	32
Slika 37: Vrste ćelija www.dgs.de	33
Tabela 3: Usporedba ćelijske tehnologije	33
Slika 38: Proizvodnja MG-Si www.steemit.com	34
Slika 39: Wacker Chemie AG tvornica, Burghausen www.wacker.com	35
Slika 40: Proizvodnja monokristalnih silicijumskih šipki www.steemit.com	36
Slika 41 Silicijumski ingot	36
Slika 42: Proizvodnja multikristalnih silicijumskih šipki www.steemit.com	37
Slika 43: Polikristalni silicij	37
Slika 44: Proizvodnja multikristalnog ingota www.steemit.com	38
Slika 45: Pila za rezanje žice DW288-S4 www.precision-surface.ch	38
Slika 46: Pločica od multikristalnog silicija (lijevo) i od monokristalnog silicija (desno)	38
Slika 47: Difuzijska peć www.centrotherm.de	39
Slika 48: Strujno – naponska karakteristika solarne ćelije	40
Slika 49: Tekstuiranje površina www.pveducation.org	41
Slika 50: PERC ćelija www.isfh.de	41
Slika 51: Bifacijalna solarna ćelija www.isfh.de	41
Slika 52: IBC solarne ćelije www.dgs.de	41

Osnove fotonapona – OFN

Slika 53: HIT solarne ćelije www.csem.ch	41
Slika 54: Dijeljenje solarne ćelije na polućelije www.memodo.de	42
Slika 55: Polućelijski modul www.memodo.de	42
Slika 56: Postupci za proizvodnju ćelija tankog sloja www.dgs.de	44
Slika 57: DSSC www.dgs.de	45
Slika 58: Organsak ćelija - OPV www.heliatek.com	45
Slika 59: Perovskites molekula www.wikipedia.org	45
Slika 60: Od ćelije do modula www.i.pinimg.com/originals/e	46
Slika 61: Tipične fizičke i električne karakteristike solarnog modula.....	46
Slika 62: Lemljenje ćelija www.dgs.de	47
Slika 63: Laminiranje ćelija u modul www.sm-innotech.de	47
Slika 64: Ugradnja okvira www.dgs.de	47
Slika 65: Električni priključak modula www.kostal.com	48
Slika 66: Mjerenje električnih osobina www.jvg-thoma.de	48
Slika 67: Elektroluminiscencija www.solartechnik-bayern.de	48
Slika 68: Tipična struktura modula.....	48
Tabela 4: Standardni testni uslovi – STC.....	49
Tabela 5: Uslovi NOCT-a.....	50
Slika 69: IU karakteristika FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG.....	51
Slika 70: Faktor punjenja FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG.....	51
Slika 71: Uticaj osunčanosti, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG.....	52
Slika 72: Uticaj temperature, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG.....	52
Slika 73: I-U karakteristika solarne ćelije www.dgs.de	53
Slika 74: Bypass diode www.photovoltaikbuero.de	54
Slika 75: Zasjenjenje modula.....	55
Slika 76: Zasjenjenje ćelije/modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG.....	55
Slika 77: Djelimično zasjenjivanje, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG.....	56
Slika 78: Uz objašnjenje zasjenjenja www.dgs.de	56
Tabela 6: Podjela modula u tri klase.....	57
Slika 79: Oznaka Evropske usklađenosti proizvoda.....	57
Slika 80: DC kablovi www.leoni.com	58
Tabela 7: Strujna opterećenost vodova.....	59
Slika 81: MC4 priključci www.ec.staubli.com	60
Slika 82: Sunclix www.phoenixcontact.com	60
Slika 83: PV stik www.weidmüller.com	60
Slika 84: GAK sa osiguračima www.aflury.ch	61
Slika 85: GAK bez osigurača www.aflury.ch	61
Slika 86: Princip rada GAK-a, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	61
Slika 87: Funkcija invertera, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	62
Slika 88: Koncepti invertera, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	62
Tabela 8: Vrste invertera.....	63
Slika 89: Moduluski inverteri, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	64
Slika 90: Serijski inverter, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	64
Slika 91: Multiserijski inverter, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	65
Slika 92: Serijski inverter sa optimizatorom, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	65
Slika 93: Serijski inverter sa optimizatorom, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	66
Slika 94: Blok šema centralnog invertera, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	67
Slika 95: Serijski i multiserijski inverter, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	67
Slika 96: Serijski inverter sa optimizatorom snage, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	68
Slika 97: Blok šema moduskog invertera, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	69
Slika 98: DC-DC pretvarač, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	70
Slika 99: DC-DC pretvarač, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	71
Slika 100: Most H4.....	72
Slika 101: HERIC inverter – most H5.....	72
Slika 102: Most H6.....	72
Slika 103: Multilevel – NPC inverter.....	72
Slika 104: MPP traganje, Samuel Summermatter, BE Netz AG.....	73

Osnove fotonapona – OFN

Slika 105: Optimizator snage www.solaredge.com	74
Tabela 9: Objašnjenje karakterističnih vrijednosti / parametara	77
Slika 106: Smanjenje snage invertera www.mediatum.ub.tum.de	79
Slika 107: Varijabilno ograničenje snage www.solaredge.com	79
Slika 108: NIN I NIBT 2020 www.ninonline.electrosuisse.ch	80
Slika 109: Opasnost kod DC priključaka www.sma.de	80
Slika 110: Kablovi za zmjeničnu struju www.w-f.com	81
Tabela 10: Strujna opterećenost provodnika	82
Slika 111: DC prekidač www.eaton.com	83
Slika 112: Kablovski kanali www.obo.ch	83
Slika 113: Zaštitne cijevi www.obo.ch	84
Slika 114: Osnovno razvođenje instalacije www.hdt.de	84
Slika 115: NHS www.hager.de	85
Slika 116: NLS www.hager.de	85
Slika 117: LS www.hager.de	85
Slika 118: FID (RCD) www.hager.de	85
Slika 119: EB www.elektro-material.ch	86
Slika 120: Rele www.ch.rs-online.ch	86
Slika 121: Kontaktor www.conrad.com	86
Slika 122: Prekidač P www.conrad.com	86
Slika 123: Komponente u razvodnim ormarima www.conrad.com	87
Slika 124: Blok šema rada HV/UV-PVA, Samuel Summermatter, BE Netz AG	87
Slika 125: Piranometar www.wikipedia.org	88
Slika 126: Referentna ćelija www.solar-log.com	88
Slika 127: Meteo stanica www.egonline.ch	88
Slika 128: Noćni prekidač www.w-f.ch	88
Slika 129: Univerzalni mjerni uređaj www.optec.ch	89
Slika 130: Montažni sistemi www.solarmition.ch/www.iwrpressedienst.de	89
Slika 131: Krovne kuke www.k2-systems.com	90
Slika 132: Pričvršćivanje na crijepu www.marzari-technik.de/www.slfex.com	90
Slika 133: Vijci za vješanje panela www.eternit.ch/www.k2-systems.com	91
Slika 134: Križni, poprečni spoj www.eternit.ch/www.k2-systems.com	91
Slika 135: Konstrukcija bez sina www.altec-metalltechnik.de/www.k2-systems.ch	91
Slika 136: Sistem ulaganja panela www.alustand.ch	92
Slika 137: Sistem zatezanja panela www.schweizer.ch/www.k2-systems.com	92
Slika 138: Stezaljke za učvršćivanje www.altec-metalltechnik.de	93
Slika 139: Paneli kao krovni elementi, Samuel Summermatter, BE Netz AG	93
Slika 140: Paneli sa specijalnim okvirima, Samuel Summermatter, BE Netz AG	94
Slika 141: Ulaganje panela sa okvirom, Samuel Summermatter, BE Netz AG	94
Slika 142: Ulaganje laminatnih panela, Samuel Summermatter, BE Netz AG	94
Slika 143: Postavljanje lake i tešek konstrukcije, www.solarprofessional.com	95
Slika 144: Učvršćenje na pokrovu www.sonnenhandwerker.de	95
Slika 145: Ravni krov www.tratec-solar.de/www.altec-metalltechnik.de	96
Slika 146: Aerodinamični oblik www.baulinks.de/www.k2-systems.ch	96
Slika 147: Razmak redova na ravnom krovu	97
Slika 148: Zeleni krov,	97
Tabela 11: Montaža sa vegetacijom na krovu	98
Slika 149: Fotonaponski paneli u fasadnim sistemima	100
Slika 150: Postavljanje temelja na otvorenom prostoru www.habdank-pv.com	101
Slika 151: Vrste i konstrukcije kod sistema na otvorenom www.habdank-pv.com	101
Slika 152: Jednoosovinski prateći sistem, Samuel Summermatter, BE Netz AG	102
Slika 153: Dvoosovinski prateći sistem, Samuel Summermatter, BE Netz AG	102
Slika 154: Uticaj temperature na energetske prihod	103
Slika 155: Serijsko spajanje FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG	104
Slika 156: Paralelno spajanje FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG	104
Slika 157: Kombinovano spajanje FN modula, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG	105
Slika 158: Optimalna radna tačka, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG	108

Osnove fotonapona – OFN

Slika 159: Niski napon fotonaponskog niza, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG.....	108
Slika 160: Visoki napon fotonaponskog niza, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG	109
Slika 161: Prevelika struja ili snaga FN niza, Christof Bucher, Basler & Hofmann AG.....	109
Slika 162: Povratne struje u paralelno spojenim nizovima www.files.sma.de	110
Slika 163: Polaganje električnih vodova www.ninonline.electrosuisse.ch	111
Slika 164: Poredak električnih vodova www.ninonline.electrosuisse.ch	112
Slika 165: Polaganje vodova www.ninonline.electrosuisse.ch	112
Slika 166: Sistem gromobranske zaštite	114
Slika 167: Sistem gromobranske zaštite prema normi SN 411000:2020 NIN.....	116
Slike 168: Prenaponska zaštita www.dehn.de	116
Slika 169: Nivoi prenaponske zaštite www.phoenixcontact.com	117
Slika 170: Odvodnik prenapona srednje zaštite www.elektro-material.ch	118
Slika 171: Odvodnik prenapona grube i srednje zaštite www.elektro-material.ch	118
Slika 172: Kritična dužina voda www.ninonline.electrosuisse.ch	119
Slika 173: Vjerovatnost udara groma - Švicarska	120
Tabela 12: Kritična dužina voda po kantonima u Švicarskoj	120
Slika 174: Priključenje odvodnika prenapona www.ninonline.electrosuisse.ch	121
Slika 175: Kontaktna korozija www.3r-rohre.de	121
Tabela 13: Elektrohemijski naponski niz	122
Slika 176: Ograničena i opća dozvola za instalaciju fotoaponskog sistema	123
Slika 177: Označavanje komponenti www.ninonline.electrosuisse.ch	124
Tabela 14: Označavanje komponenti fotonaponskog sistema	125
Slika 178: Dijagram toka sistema za proizvodnju energije	127
Slika 179: Dijagram kontrole sistema za proizvodnju energije.....	128
Slika 180: Uređaji za ispitivanja kategorije 1, Samuel Summermatter, BE Netz AG	130
Slika 181: Periodična kontrola električnih instalacija www.swissolar.ch	131
Slika 182: Audit i certificiranje fotonaponskog sistema www.pronovo.ch	132
Slika 183: Dokazivanje porijekla – Pronova www.pronovo.ch	133
Slika 184: Jednokratne nadoknade za ugradbene i FN sisteme na otvorenom.....	134
Slika 185: Jednokratne nadoknade za integrisane FN sisteme	134
Slika 186: Mjerenje neto proizvedene energije www.pronovo.ch	135
Slika 187: Mjerenje viška energije u sistemima do 30kVA energije www.pronovo.ch	136
Slika 188: Mjerenje viška energije u sistemima većim od 30kVA www.pronovo.ch	136

CARITAS Schweiz
Suisse
Svizzera
Svizra

cee
centar za ekologiju i energiju

Priručnik je preveden na bosanski jezik u okviru projekta "Solarna energija za Tuzlu" koji realizira Centar za ekologiju i energiju u saradnji sa Ministarstvom obrazovanja i nauke Tuzlanskog kantona, Građevinsko- geodetskom školom iz Tuzle, Elektrotehničkom školom iz Tuzle i Švicarskim Caritas-om, REPIC-om, Swisslos Kantonom Basel-Landschaft, Förderverein-om i Polybau školom.

Priručnik je štampan u okviru projekta "Inovacije u EE i OE za bolje prilagođavanje klimatskim promjenama i smanjenje siromaštva" uz podršku Švicarskog Caritasa.



SWISSLOS

REPIC
Renewable Energy
Energy & Resource Efficiency
Promotion in
International
Cooperation