Utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije fotonaponskih modula

Knežević, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:999836

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Stručni studij

Utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije fotonaponskih modula

Završni rad

Ivan Knežević

Osijek, 2018.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek,05.09.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Ime i prezime studenta:	Ivan Knežević
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A4339, 27.09.2017.
OIB studenta:	06203392257
Mentor:	Zorislav Kraus
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Dr. sc. Željko Špoljarić
Član Povjerenstva:	Matej Žnidarec
Naslov završnog rada:	Utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije fotonaponskih modula
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak završnog rada	- teorijski uvod- mjerenja proizvodnje 5 različitih FN modula- utjecaj različitih zasjenjenja na pojedini modul- usporedba rezultata mjerenja i proračunaSTUDENT: Ivan Knežević
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	05.09.2018.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

IZJAVA O ORIGINALNOSTIRADA

Osijek, 17.09.2018.

Ime i prezime studenta:	Ivan Knežević
Studij:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A4339, 27.09.2017.
Ephorus podudaranje [%]:	5

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije fotonaponskih modula**

izrađen pod vodstvom mentora Zorislav Kraus

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj

1. UVOD 5
2. ENERGIJA SUNČEVOG ZRAČENJA 6
2.1. Sunčevo zračenje 6
2.2. Karakteristike sunčevog zračenja 6
2.3. Solarna energija u Republici Hrvatskoj 8
3. FOTONAPONSKI SUSTAVI 9
3.1. Fotonaponski efekt 9
3.2. Karakteristike fotonaponske ćelije 10
3.3. FOTONAPONSKI MODULI 12
3.3.1. Strujno-naponske karakteristike fotonaponskog modula 12
3.3.2. Utjecaj zasjenjenja na karakteristike FN modula 14
3.4. FOTONAPONSKI SUSTAVI 15
3.4.1. Podjela fotonaponskih sustava 15
3.4.2. Samostalni fotonaponski sustavi 16
3.4.3. Mrežni fotonaponski sustavi 18
4. MJERENJE UTJECAJA ZASJENJENJA FOTONAPONSKIH MODULA 22
4.1. Karakteristike fotonaponskih modula 22
4.2. Mjerni instrumenti 25
4.3. Simulacija zasjenjenja fotonaponskih modula 27
4.4. Rezultati simulacije zasjenjenja 28
4.4.1. Izmjerene vrijednosti za modul BISOL BMO-250 28
4.4.2. Izmjerene vrijednosti za modul BISOL BMU-250 35
4.4.3. Izmjerene vrijednosti za modul PANASONIC HIT N240 41
4.4.4. Izmjerene vrijednosti za modul SOLAR FRONTIER SF-150 48
4.5. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA 53
5. ZAKLJUČAK 55
6. Literatura 56
7. SAŽETAK 57
8. ABSTRACT 58
9. ŽIVOTOPIS 59

1. UVOD

Zagađivanje zraka i okoliša jedan su od najvećih problema s kojima se čovječanstvo susreće tijekom posljednjih godina koji za posljedicu ima globalno zatopljenje i promjenu klime. Značajan doprinos zagađenju daje korištenje konvenciolanih izvora energija (ugljen, nafta, prirodni plin i nuklearna goriva). Ograničenost resursa i značajan utjecaj na zagađenje okoliša podupiru obnovljive izvore energije kao moguću opciju. Obnovljivi izvori energije prirodni su izvori energije i nemaju negativan utjecaj na okoliš. Razvoj obnovljivih izvora energije potiče i Europski parlament kroz direktivu 2009/28/EZ od 23. travnja 2009. godine kojom je utvrđeno da u EU do 2020. godine udio obnovljivih izvora u potrošnji energije mora biti 20 %. Također, tom direktivom se postavlja zahtjev da do 2020. godine sve članice moraju 10 % svojeg goriva za promet proizvoditi iz obnovljivih izvora energije [1] .

Sunce kao obnovljiv izvor energije ima vrlo veliki potencijal jer oslobađa veliku količinu energije zračenjem. Stoga je vrlo važno iskorištavati ovakvu vrstu energije. Fotonaponski sustavi upravo su jedan od mogućih načina iskorištavanja sunčeve energije za proizvodnju električne energije. Primjena fotonaponskih sustava posljednjih godina doživljava značajni porast implementacije kako u zemljama svijeta tako i u RH. Na području Republike Hrvatske postoje velike mogućnosti za korištenje sunčevog zračenja. Fotonaponski sustavi imaju puno prednosti kao što su besplatan izvor energije, pozitivan utjecaj na okoliš, zamjena za fosilna goriva. Distribuirana proizvodnja električne energije iz fotonaponskog sustava korisna je jer se proizvedena energija koristi na mjestu proizvodnje čime su smanjeni gubici prijenosa. Kod samostalnih fotonaponskih sustava koji nisu priključeni na javnu mrežu, već samostalno koriste proizvedenu energiju, mogućnost skladištenja proizvedene električne energije za kasniju upotrebu, pa na taj način, neovisno o mreži, možemo koristiti električnu energiju kada nam je ona potrebna. Danas se fotonaponski sustavi, iako to nije uobičajeno, iskorištavaju u proizvodnji električnih automobila, koji bi trebali doprinijeti smanjenju ispuštanja štetnih plinova u atmosferu. Jedan od nedostataka fotonaponskih sustava je to što intenzitet sunčevog zračenja nije konstantan zbog rotacije Zemlje (izmjena dana i noći), eliptične putanje Zemlje oko Sunca (godišnjih doba) i meteoroloških prilika. Proizvodnja električne energije ovisi o zasjenjenosti fotonaponskog modula što će se ovim radom prikazati mjerenjima i analizom dobivenih rezultata.

1.1. Zadatak završnog rada

U ovom završnom radu opisati će se različite tehnologije fotonaponskih modula, fotonaponski sustavi te na koji način dobivamo električnu energiju pomoću energije sunca. U Laboratoriju za obnovljive izvore energije u zgradi Fakulteta elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija (FERIT-a) izvršit će se mjerenja utjecaja zasjenjenja za fotonaponske module (BISOL BMO-250, BISOL BMU-250, SOLARFRONTIER SF-150 i PANASONIC HIT N240) te usporediti i analizirati dobivene rezultate.

2. ENERGIJA SUNČEVOG ZRAČENJA

2.1. Sunčevo zračenje

Sunce je jedan od najvažnijih izvora energije bez kojega život na zemlji ne bi bio moguć. Izvor je topline i svjetla koja se širi u svemir, a na naš planet dolazi tek mali dio te energije. Sunčevo zračenje omogućava stvaranje vjetrova i oblaka, fotosintezu kod biljaka, a time i kisik. Manji dio sunčeve energije stvara morske valove. Sunčevo zračenje posljedica je nuklearne fuzije koja se odvija u jezgri sunca. Iako je količina sunčevog zračenja koja dolazi do zemlje ogromna, njeno iskorištavanje u svijetu je slabo s obzirom na ostale izvore energije. Razlog tome su visoke cijene baterija za skladištenje energije, ali i problemi kao što su oscilacija intenziteta zračenja, i mala gustoća energetskog toka. U posljednih nekoliko godina se zahvaljući razvoju tehnologije i smanjenju troškova proizvodnje sve više izgrađuju i koriste fotonaponski sustavi. Također, sve se više razvija i korištenje fotonaponskih sustava za električne automobile koji bi svakako doprinijeli smanjenju onečišćenja zraka [6].

2.2. Karakteristike sunčevog zračenja

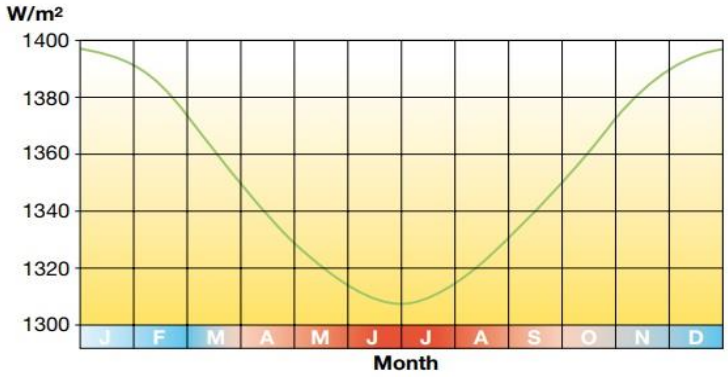
Sunčevo zračenje koje do zemlje dopire nije kostantno, već se mijenja ovisno o dnevnoj i sezonskoj bazi. Sunčevo zračenje je intenzitet sunčevog zračenja na jedan kvadratni metar zemljine površine (W/m^2) . Energija sunčevog zračenja E_0 naziva se ekstraterestičko zračenje i ovisi o udaljenosti o udaljenosti zemlje od Sunca. Prosječan iznos ekstraterestičkog zračenja iznosti E_{0sr}=1367,7 W/m^2, te ona oscilira otprilike $\pm$ 3,4% na godišnjoj razini. Ekstraterestičko zračenje ima najveću vrijednost tijekom zime 1399 W/m^2, a tijekom ljeta 1307 W/m^2. S obzirom na udaljenost zemlje od sunca, ekstraterestičko zračenje može se odrediti sljedećim izrazom (2-1) [2] :

$$E_0 = E_0sr \times \left(\frac{r}{R}\right) 2 \tag{2-1}$$

gdje je: r- prosječna udaljenost zemlje od sunca

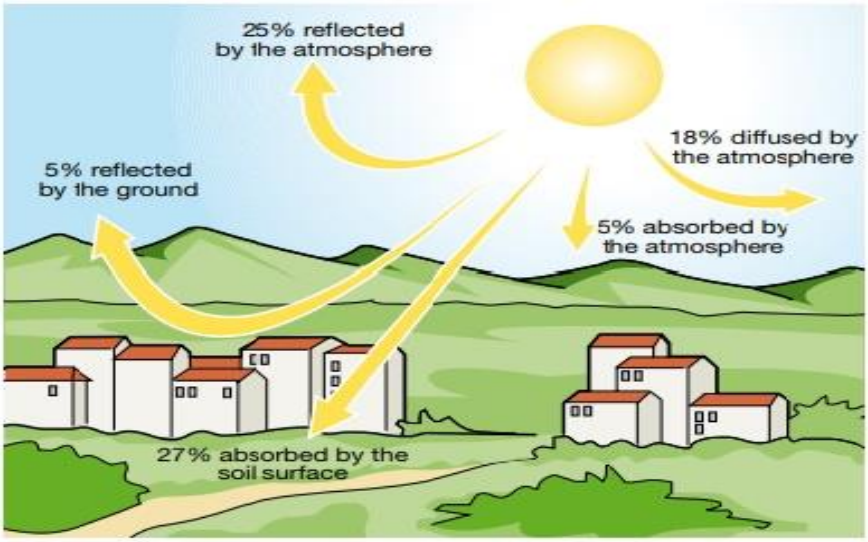
R- realna udaljenost zemlje od sunca (uzimajući u obzir konstantu za određeni dan).

Na slici 2.1. grafički je prikazana ovisnost promjene ekstraterestičkogzračenja o dobu godine te se može primjetiti da je najveća vrijednost tijekom zime, a tijekom ljeta najmanja.



Slika 2.1. Ovisnost ekstraterestičkog zračenja o dobu godine [3]

Ekstraterestičko sunčevo zračenje koji dolazi do zemlje izravno se reflektira nazad u svemir u iznosu oko 30 %, a 5 % od toga od atmosfere, 20 % od oblaka i 5 % od same zemljine površine. Atmosfera apsorbira oko 5 % , a 27 % apsorbiraju tlo,oceani i mora, te se oko 18 % raspršri u svemiru [2]. Tok sunčevog zračenja od sunca prema zemlji prikazan je na slici 2.2.



Slika 2.2. Tok sunčevog zračenja od sunca prema zemlji [2]

Položaj sunca prema zemlji mijenja se tijekom godine. Kut između linija koje prolaze centrom zemlje, ekvatorom i centrom sunca naziva se sunčeva deklinacija. Ona se mjenja tijekom godine u iznosima od +23.45 ° do -23.45 °. Ukupna dnevna energija u [J/m^2] zračenjem na horizontalnu površinu računa se prema izrazu (2-2) [4] :

$$W_0 = \frac{86400}{\pi} \times E_{0sr} \times \left(1 + 0.034\cos\frac{360° \times n}{365°}\right)\left(\frac{2\pi}{360}\omega_s \sin\emptyset\sin\delta + \sin\omega_s \cos\emptyset \cos\delta\right) \quad (2\text{-}2)$$

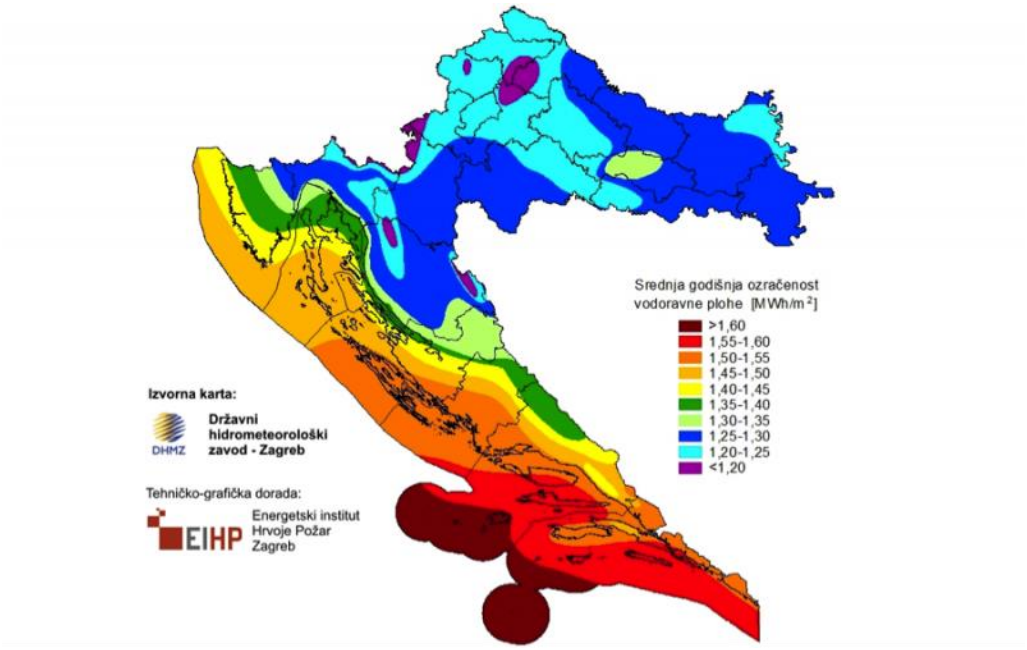
gdje su: ω_s- kut sunca u određenom satu

ϕ- geografska širina promatrane mikrolokacije

δ- Sunčeva deklinacija

2.3. Solarna energija u Republici Hrvatskoj

Republika Hrvatska posjeduje dobar potencijal za korištenje solarne energije. Prema slici 2.3. primjećuje se da je srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe kreće u granicama od 1,20 do više 1,60 [MWh/m^2] [5]. Dalmacija, a posebno južna dalmacija ostvaruje najveći potencijal za solarnu energiju. Ovakva ozračenost omogućuje Hrvatskoj itekako dobru mogućnost za korištenje fotonaponskih sustava za proizvodnju električne energije.

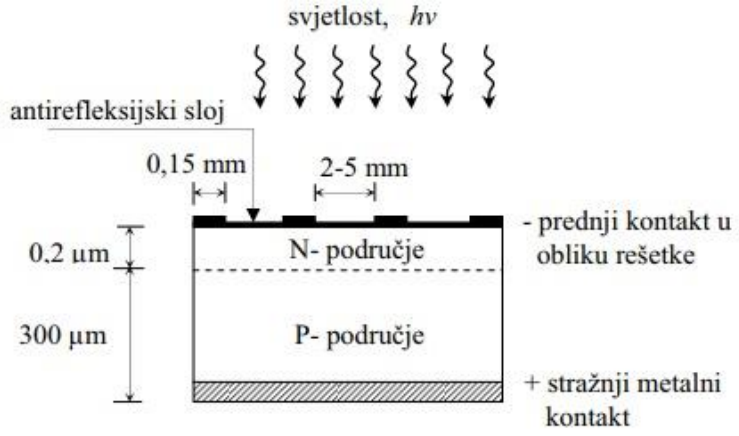


Slika 2.3. Srednja godišnja ozračenost vodoravne ploče [5]

3. FOTONAPONSKI SUSTAVI

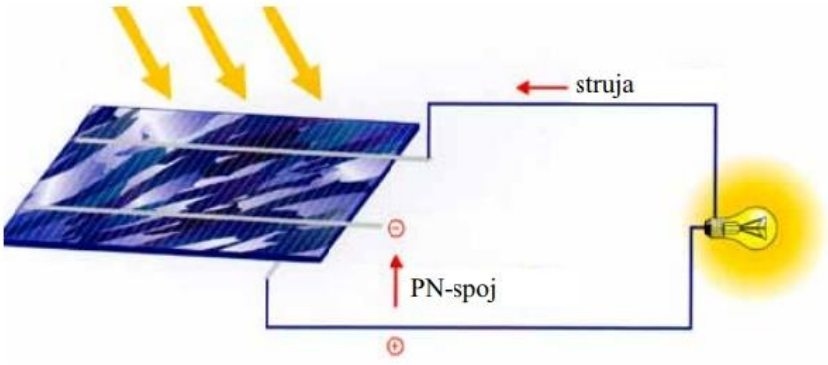
3.1. Fotonaponski efekt

Postupak u kojem se energija sunčevog zračenja direktno pretvara u električnu energiju naziva se fotonaponski efekt. Fotonaponske ćelije izrađene su od poluvodiča, koji električnu struju propuštaju samo u jednom smjeru i električnu vodljivost imaju između vodiča i izolatora. Materijal koji se uglavnom koristi za izradu fotonaponskih ćelija je kristalni silicij. FN ćelija se sastoji od dva sloja poluvodičkog materijala, p i n sloj koji zajedno čine PN-spoj. P-sloj ćelije sadrže slobodne šupljine, a N-sloj slobodne elektrone (negativno nabijeni). Na obje strane ćelije postavljena su dva metalna kontakta (slika 3.1.) koji skupljaju induciranu struju na ćelijama. Na gornjoj strani postavljena je metalna rešetka koja skuplja absorbirane fotone [6].



Slika 3.1. Silicijska solarna ćelija [6]

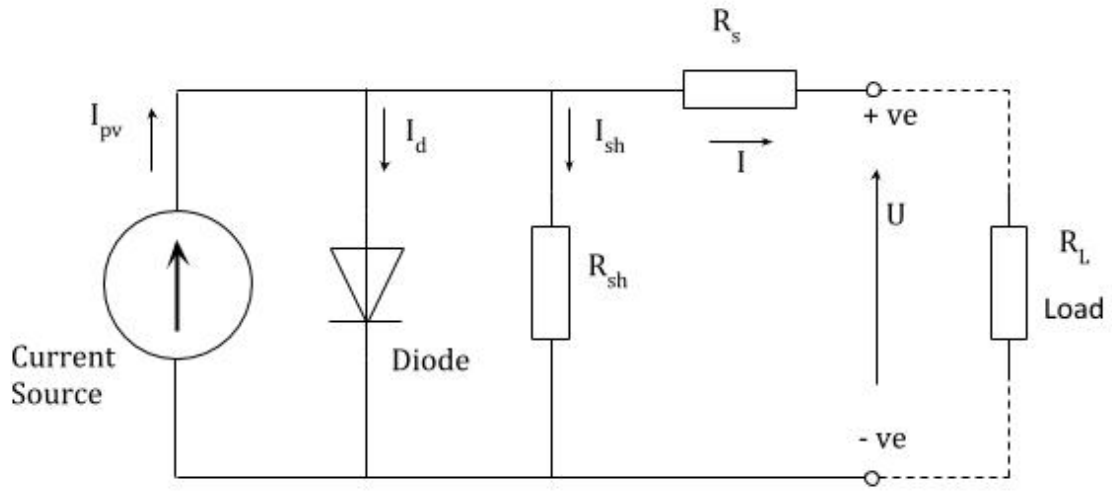
Sunčeva svjetlost sa sastoji od fotona koji sadrže određenu količinu energije. Kada dođe do osvjetljenja FN ćelije, dio fotona se odbije, dok se ostatak absorbira ili prođe kroz ćeliju. Energija absorbiranih fotona predaje se elektronima koji se gibaju prema N-sloju, a šupljina prema P-sloju. Elektroni i šupljine tada se nalazi na suprotnim stranama, te kontakt na P-strani postaje pozitivan, a kontakt na N-strani negativan. Priključenjem kontakata na trošilo dolazi do razlike potencijala i protjecanja struje, te tako FN ćelija postaje izvor električne energije (slika 3.2.) [6].



Slika 3.2. FN ćelija kao izvor električne energije [6]

3.2. Karakteristike fotonaponske ćelije

Fotonaposka ćelija ima serijski i paralelni otpor. Serijski otpor Rs predstavlja otpore prednjeg i stražnjeg kontakta i otpora prolaska struje kroz ćeliju i njezinu površinu. Paralelni otpor Rp nastaje zbog gubitaka struje [2]. Fotonaponska ćelija tako se prikazati nadomjesnom shemom (slika 3.21):



Slika 3.21. Ekvivalentni strujni krug FN ćelije [7]

prema kojoj se može napisati jednadžba (3-2) koja glasi:[7]

$$I = I\text{pv} - I\text{d} - Ish = Ipv - I_0 \times \left[e^{\frac{e(V+Rs)}{mkT}}\right] - \frac{U}{Rsh} \quad (3\text{-}2)$$

gdje su : I- ekvivalentna struja strujnog kruga

Ipv- struja kratkog spoja

Id- struja kroz diodu

Ish- struje kroz paralelni otpor

U- napon

I_0- reverzna struja zasićenja

e- naboj elektrona

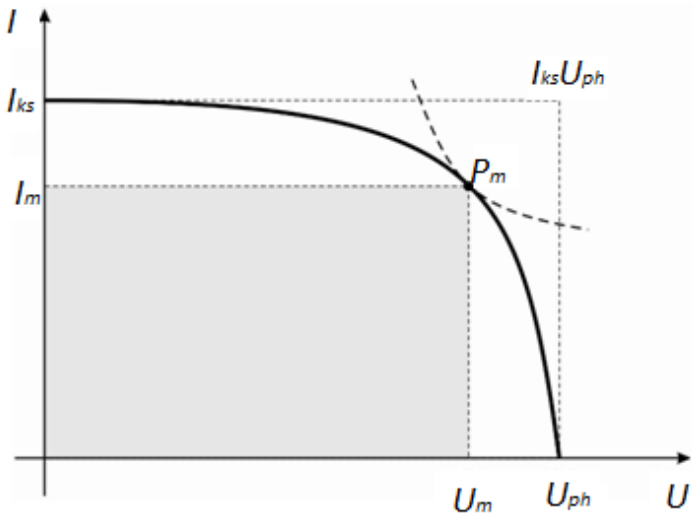
Rs- serijski otpor

k- Boltzmanova konstanta

T-apsolutna temperature

Strujno-naponska karakteristika fotonaponske ćelije

Na slici (3.22.) prikazana je strujno-naponska karakteristika fotonaponske ćelije na kojoj je važno istaknuti tri parametra: struja kratkog spoja I_{KS}, točka praznog hoda i točka maksimalne snage P_m. Struja kratkog spoja I_{ks} je struja koja teče pri kratkom spajanju stezaljki ćelije, tada napon iznosi U=O V . Napon praznog hoda U_{ph} je napon u kojem nije spojeno trošilo, te je ćelija u praznom hodu. Točka maksimalne snage P_m predstavlja trenutak kada spojeno trošilo postiže maksimalnu snagu [8].



Slika 3.22. Strujno-naponska karakteristika FN ćelije [8]

Promatrajući strujno-naponsku karakteristiku može se izračunati učinkovitost fotonaponske ćelije koja glasi (3-3) [2] :

$$\eta = \frac{PMPP}{G \times A} \times 100 = F \times \frac{UPH \times JKS}{G} \times 100 \qquad (3\text{-}3)$$

gdje je: G-snaga sunčevog zračenja (W/m^2)

A- površina FN ćelija (m^2)

J_{KS}- gustoća struje kratkog spoja (A/m^2)

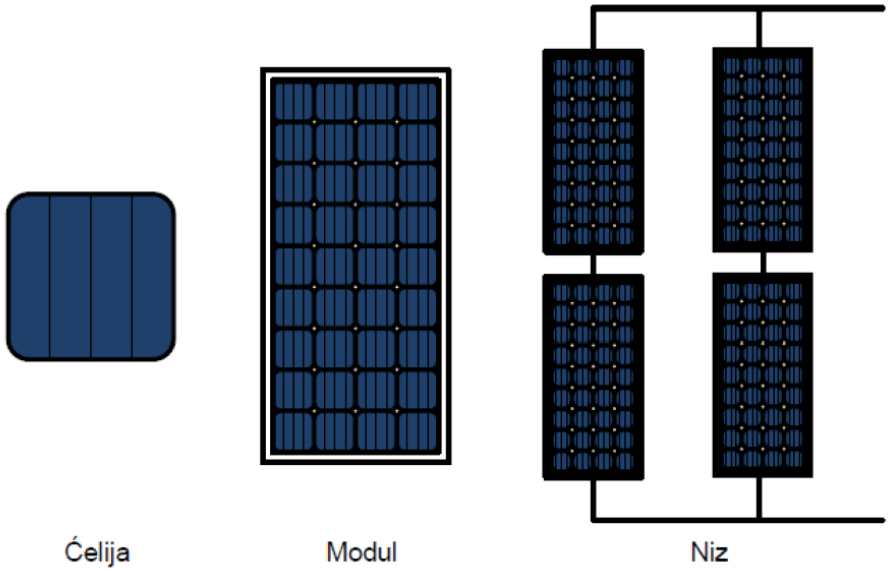
Faktor ispune F predstavlja omjer maksimalne snage ćelije i umnoška struje kratkog spoja i napona praznog hoda, te se može prikazati izrazom (3-4) :

$$F = \frac{PMPP}{UPH \times IKS} = \frac{UMPP \times IMP}{UPH \times IKS} \qquad (3\text{-}4)$$

Vrijednost faktora ispune određuje kvalitetu naponske ćelije.

3.3. FOTONAPONSKI MODULI

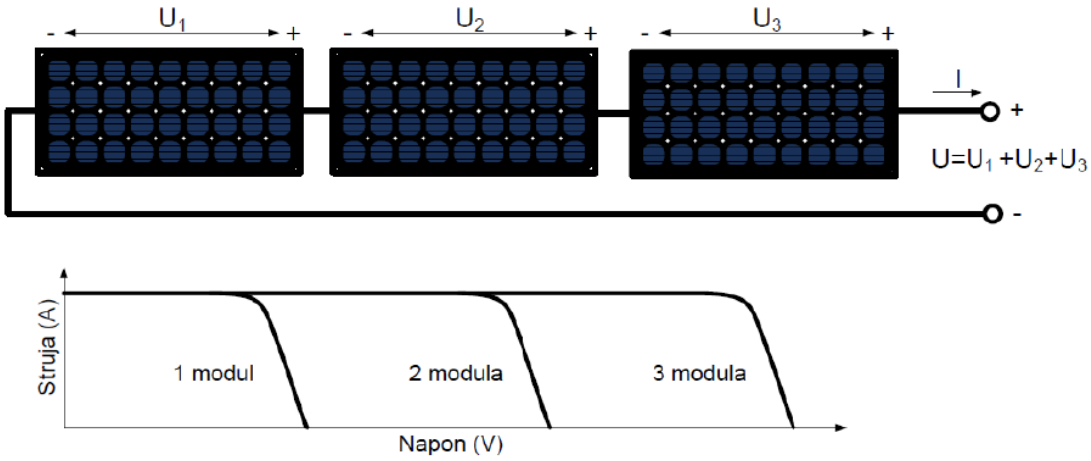
Jedna fotonaponska ćelija ostvaruje napon od otprilike 0,4 do 0,7 V ovisno o tehnologiji izrade što nije dovoljan napon. Da bi se dobio veći napon potrebno je fotonaponske ćelije povezati serijski ili paralelno, takav spoj čini fotonaponski modul. Jedan FN modul uglavnom se sastoji od 60 ćelija i pri tome daje napon 30 V. Povezivanjem modula može se postići veći napon ukoliko ih spojimo serijski, a paralelno ukoliko se želi postići veća struja. Tako povezani moduli čine fotonaponski niz [2].



Slika 3.3. FN ćelija,modul i niz [9]

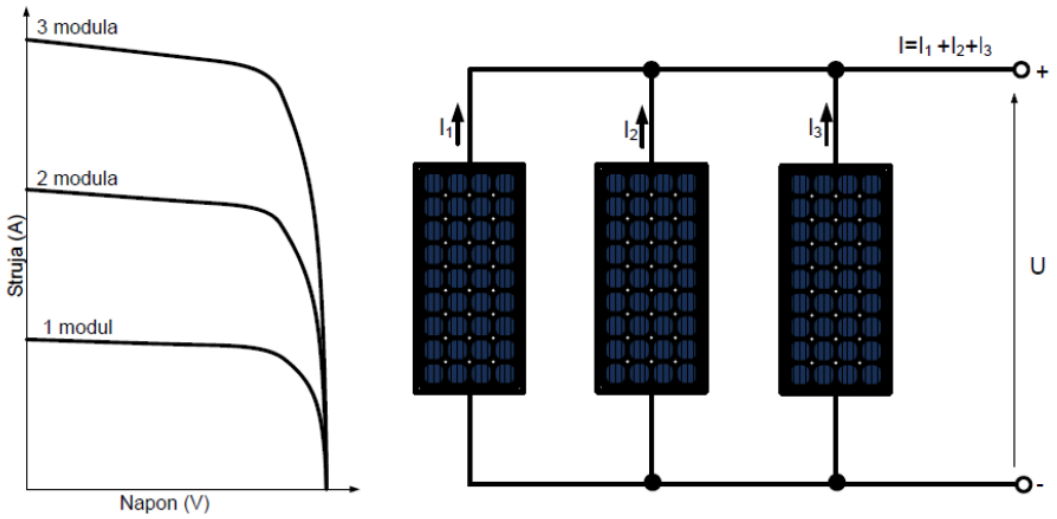
3.3.1. Strujno-naponske karakteristike fotonaponskog modula

Na slici 3.31. prikazana je I-U karakteristika FN modula koji su serijski spojeni. Struje modula su jednake, a napon se povećava ovisno o broju povezanih modula te se tako postiže veći izlazni napon.



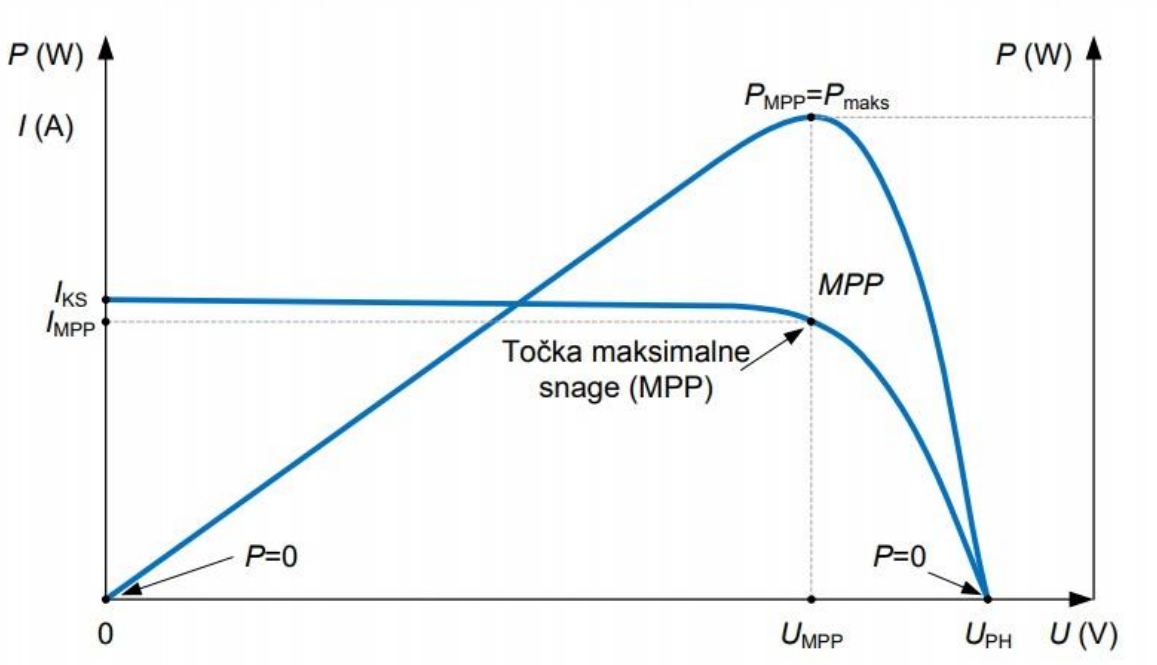
Slika 3.31. I-U karakteristika serijskog spojenog modula [9]

Na slici 3.32. prikazana je strujno-naponska karakteristika paralelno povezanih FN modula. Napon je jednak za sve module, a struje se povećava s obzirom na broj povezanih modula te se tako postiže veća struja.



Slika 3.32. I-U karakteristika paralelno spojenih FN modula [9]

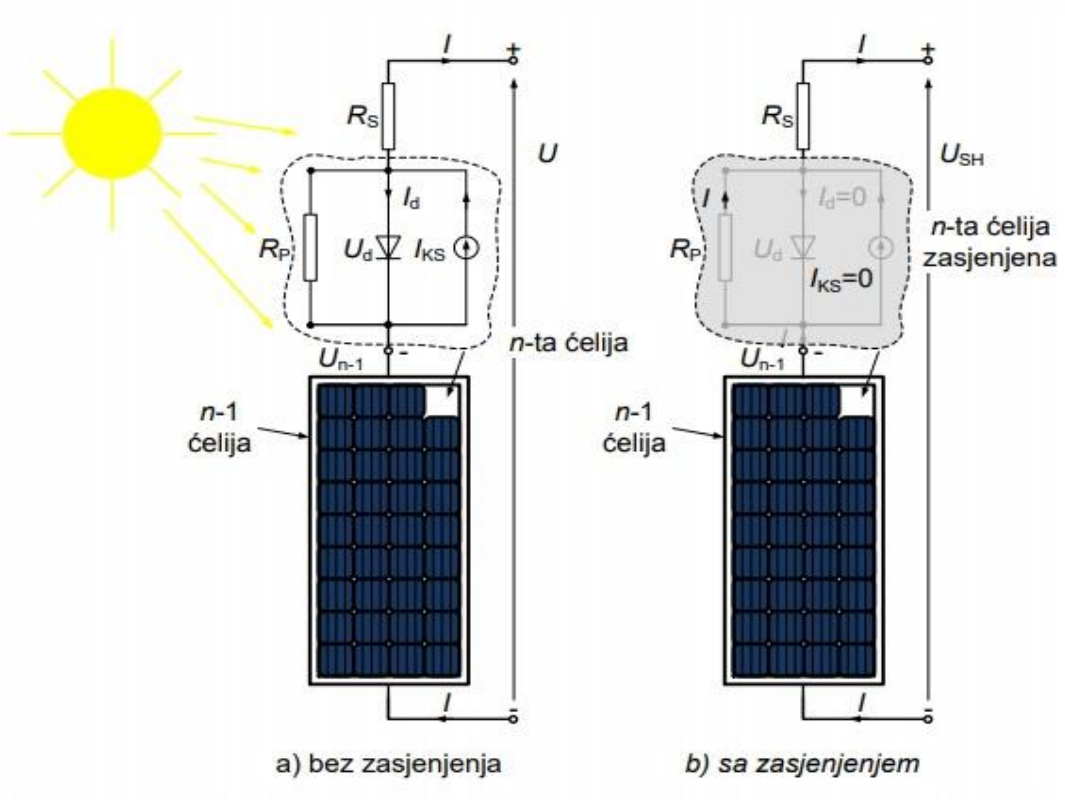
Kao i kod fotonaponske ćelije, FN modul može se prikazati na strujno-naponskoj karakteristici (slika 3.33.) sa tri parametra: struja kratkog spoja, napon praznog hoda i točka maksimalne snage. Ukoliko nije spojeno trošilo, tada postoji napon praznog hoda (U_{PH}). Struja kratkog spoja (I_{KS}) nastaje pri kratkom spajanju stezaljki modula. Kada je neko trošilo spojeno, ono ima određenu struju i napon te u točki maksimalne snage postiže najveću snagu (MPP) [2].



Slika 3.33. I-U karakteristika FN modula sa karakterističnim točkama [10]

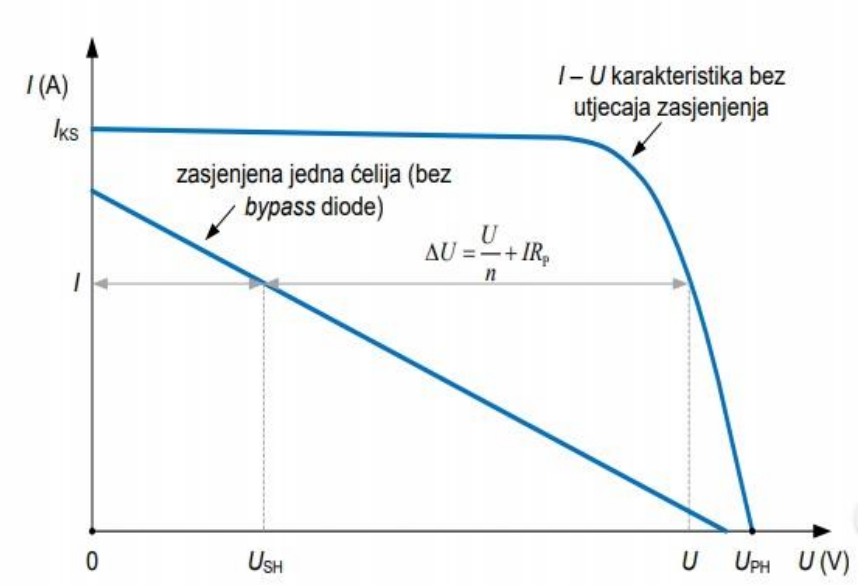
3.3.2. Utjecaj zasjenjenja na karakteristike FN modula

Kod fotonaponskih modula sjena ima veliki utjecaj na izlaznu snagu. Ukoliko je samo jedna ćelija zasjenjena, to dovodi to značajnog gubitka snage. Na slici 3.34. prikazani su moduli koji su bez zasjenjenja i modul pod zasjenjenjem.



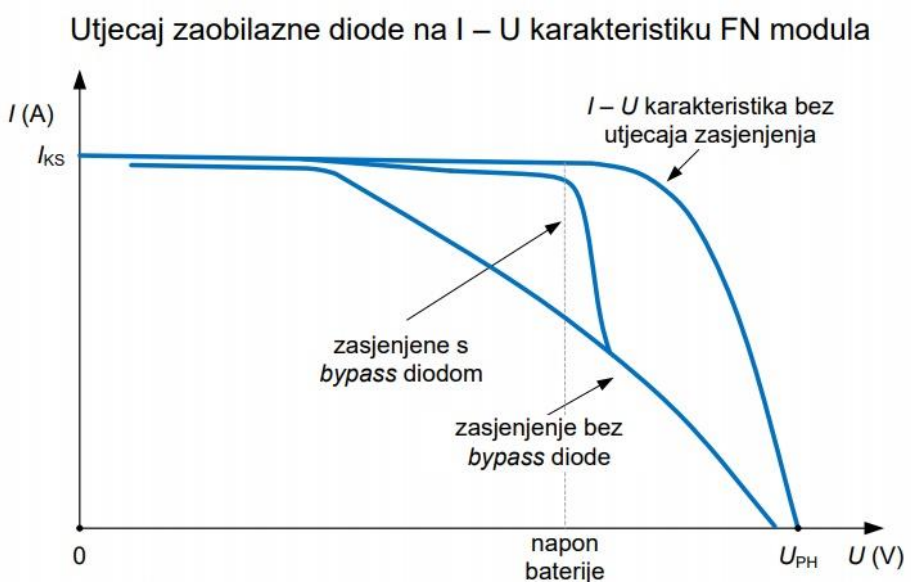
Slika 3.34. FN moduli sa i bez zasjenjenja [10]

Slika 3.35. prikazuje strujno-naponsku karakteristiku FN modula s obzirom na zasjenjenje



Slika 3.35. I-U karakteristika s utjecajem zasjenjenja [10]

Iz karakteristike na slici 3.35. može se vidjeti strujno-naponska karakteristika zasjenjenja sa i bez premosne diode. Zasjena jedne ćelije znatno je smanjila snagu. Da bi se smanjio utjecaj zasjene na FN modul dodaju se premosne diode svakoj FN ćeliji. Kada dođe do zasjene modula, takva diode počne voditi, te na njoj bude pad napon od oko 0,6 V što je značajno manje nego u slučaju bez premosne diode. Kada modul opet dođe pod utjecaj sunčevog zračenja, tada struja neće prolaziti kroz premosnu diodu. Takve diode već budu dodane od strane proizvođača FN modula. Na slici 3.36. prikazana je karakteristika koja prikazuje utjecaje zasjene sa i bez premosne diode [2] :



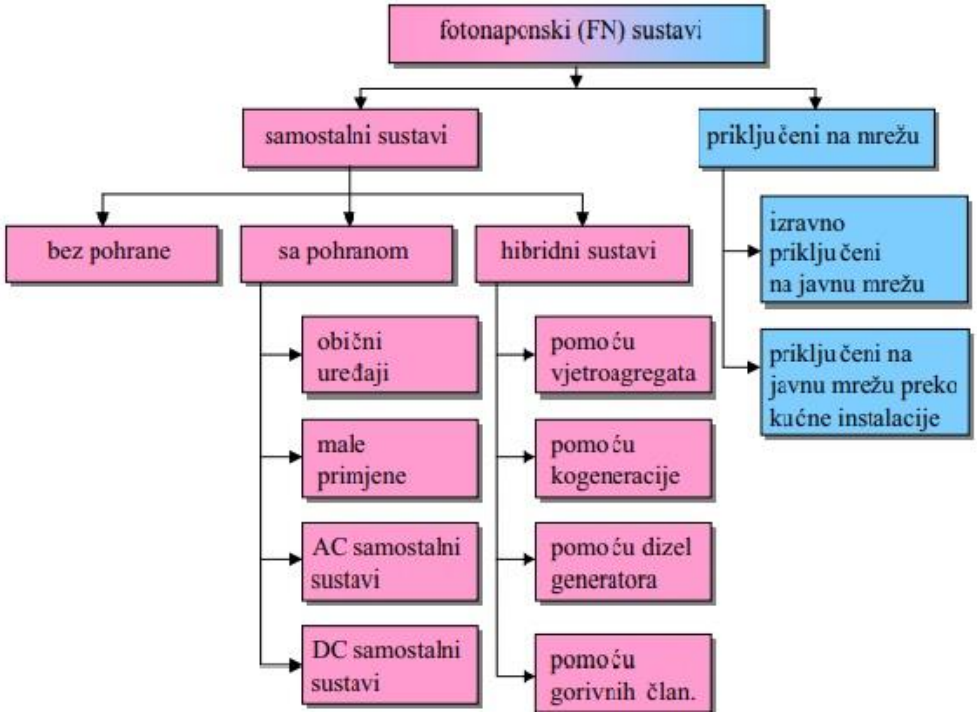
Slika 3.36. Utjecaj premosne diode na karakteristike FN modula [10]

3.4. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Pod fotonaponskim sustavom podrazumijeva se svaka instalacija koja se sastoji od FN modula i ostalih komponenti koji su potrebni za proizvodnju električne energije upotrebom energije sunca. Takve komponente su sami FN moduli koji absorbiraju sunčevo zračenje, kablovi, konektori, baterije za skladištenje energije, izmjenjivač za pretvorbu istosmjerne u izmjeničnu struju i ostali uređaji za regulaciju [6].

3.4.1. Podjela fotonaponskih sustava

Fotonaponski sustavi mogu se podijeliti s obzirom na način korištenja proizvedene električne energije na dva osnovna sustava: **Samostalni fotonaponski sustavi** koji nisu priključeni na mrežu i **mrežni fotonaponski sustavi** koji dobivenu energiju predaju u elektroenergetski sustav. Nadalje samostalni sustavi mogu se podijeliti na sustav bez pohrane, sa pohranom i hibridne sustave. Mrežni fotonaponski sustavi s obzirom na način na koji se priključuju na elektroenergetsku mrežu mogu biti priključeno izravno ili preko kučne instalacije. Na slici 3.4. prikazana je podjela fotonaponskih sustava [6].



Slika 3.4. Podjela fotonaponskih sustava [6]

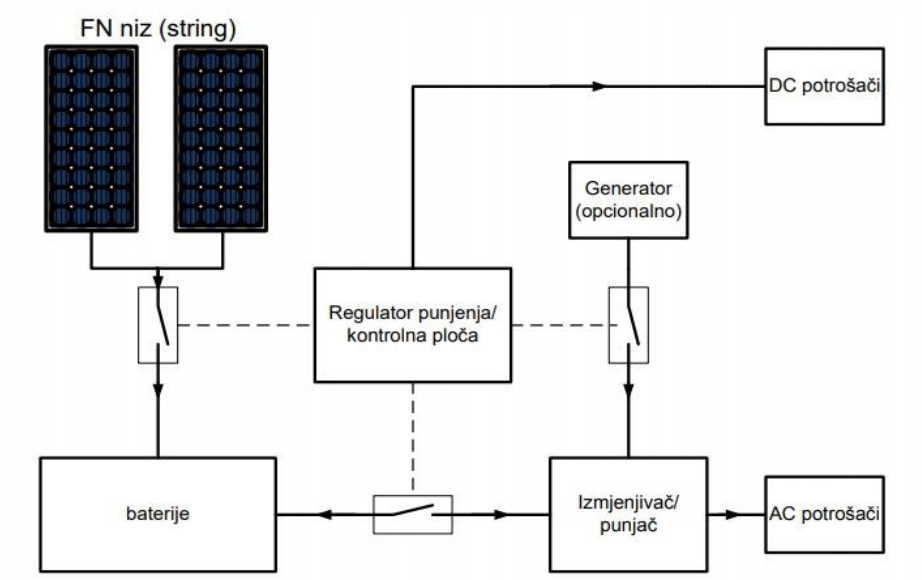
3.4.2. Samostalni fotonaponski sustavi

Samostalni fotonaponski sustavi (autonomni) su sustavi koji nisu priključeni na javnu mrežu, već samostalno koriste proizvedenu električnu energiju za opskrbu svojih potrošača. Oni su svakako idealni za mjesta na kojima nema javne elektroenergetske mreže. S obzirom na to da nam sunce nije uvijek dostupno, potrebno je uskladištiti električnu energiju za kasnije korištenje. Za to se koriste spremnici energije, a jedan od njih su baterije koje svoje punjenje reguliraju pomoću regulatora punjenja, a osim toga pružaju i zaštitu da ne bi došlo do prekomjernog punjenja ili pražnjenja. Baterije se nemoraju nužno koristiti ukoliko se želi proizvedena električna energija iz FN modula koristiti samo onda kada postoje uvjeti za proizvodnju. Budući da potrošači većinom koriste izmječnu struju potrebno je istosmjernu struju dobivenu iz FN modula pretvoriti u izmjeničnu, za što se koristi izmjenjivač. Ovaj sustav primjenjuje se u mjestima gdje nema javne mreže, za sustav navodnjavanja, signalizaciji i telekomunikaciji... Slika 3.5. prikazuje primjenu korištenja ovog sustava sa sustav parkiranja.

Prednost ovakog sustava je svakako to što električnu energiju možemo pohraniti te koristiti onda kada je potrebno. Nedostatak je to što tijekom zime nema puno sunčanih dana te se jedino može povećati kapacitet za pohranjivanje čime možemo nadomjestiti smanjenu proizvodnju električne energije. Na slici 3.6. prikazanajeshema samostalnog fotonaponskog sustava.



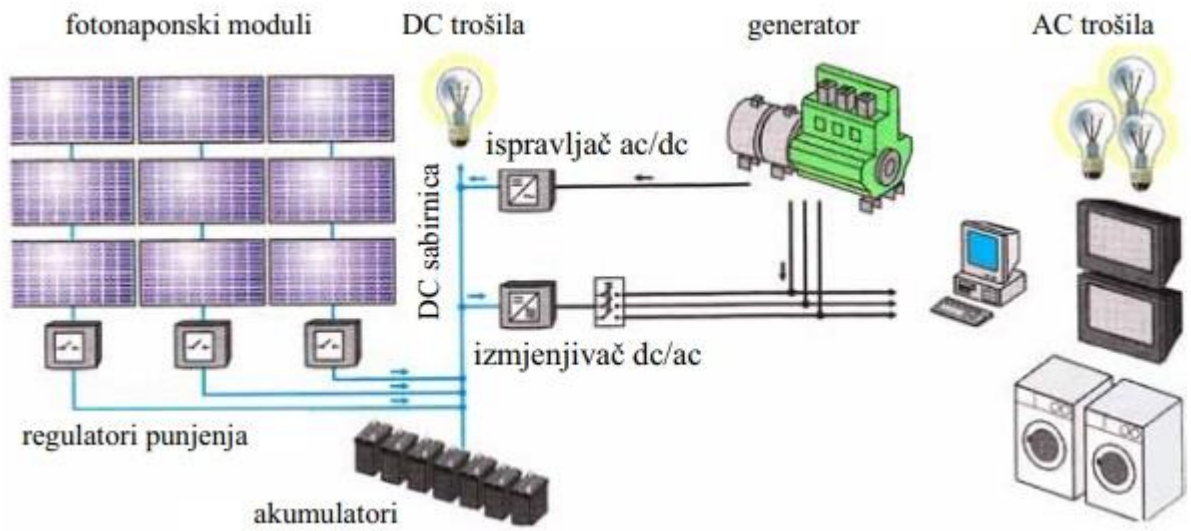
Slika 3.5. Primjena samostalnog FN sustava za sustav parkiranja [11]



Slika 3.6. Shema samostalnog fotonaponskog sustava [10]

Proizvodnja električne energije iz fotonaponskog modula ovisi o vremenskim prilikama u sunčevom zračenju. Ukoliko bi došlo do toga da se ne može proizvesti električnu energiju zbog takvih uvjeta, kao izvor energije koristi se baterija. Ako je i baterija prazna koriste se dodatni izvori energije kao što su vjetroagregati, dizel agregati, biodizel gorivo ili kogeneracije ukoliko postoje.

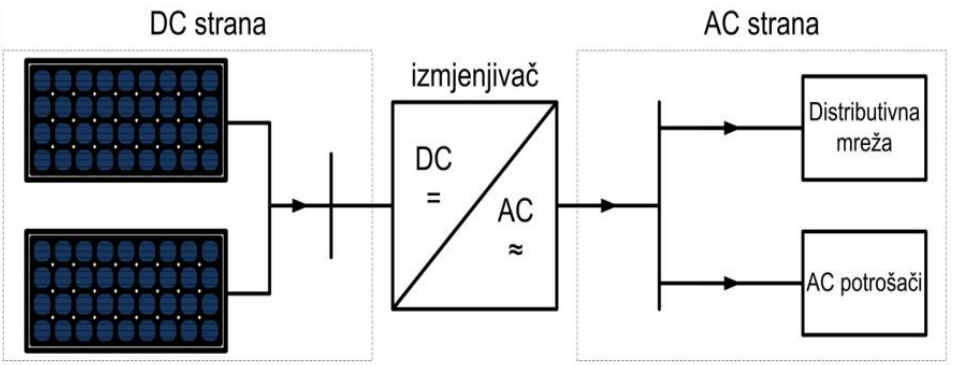
Sustavi koji sadrže ovakve dodatne izvore električne energije nazivaju se hibridni fotonaponski sustavi. Time je svakako povećana sigurnost opskrbe elektrčnom energijom. U slučaju da je proizvodnja veća od potrošnje, proizvedena energija skladišti se u baterije. Na slici 3.6. prikazana je shema hibridnog fotonaponskog sustava.



Slika 3.6. Hibridni fotonaponski sustav [6]

3.4.3. Mrežni fotonaponski sustavi

Sustave koji proizvedenu električnu energiju predaju u elektroenergetsku mrežu nazivaju se mrežni fotonaponski sustavi. Budući da se proizvedena energija odmah koristi kako se i proizvodi, pohranjivanje energije nije potrebno, ali se baterije mogu koristiti u nekim iznimnim slučajevima. Ukoliko FN sustav nije u mogućnosti proizvesti električnu energiju, potrošači se napajaju iz mreže čime je osigurana opskrba potrošača električnom energijom. Za pretvorbu istosmjerne u izmječnu struju svakako je potreban izmjenjivač. Na slici 3.7. prikazana je pojednostavljenja shema mrežnog FN sustava [2].

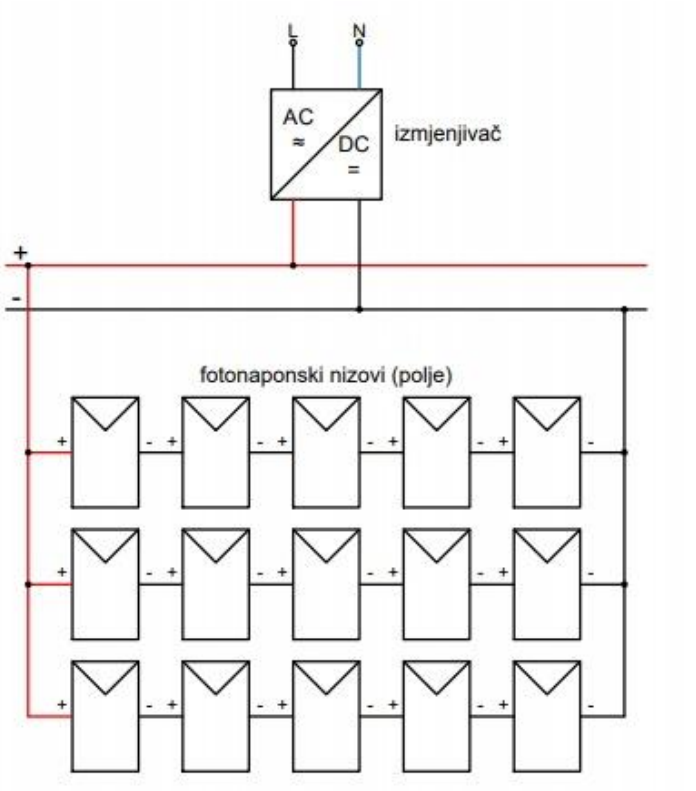


Slika 3.7. Pojednostavljeni prikaz mrežnog FN sustava [10]

S obzirom na način spajanja fotonaponskog niza mogu se razlikovati sljedeće izvedbe [2] :

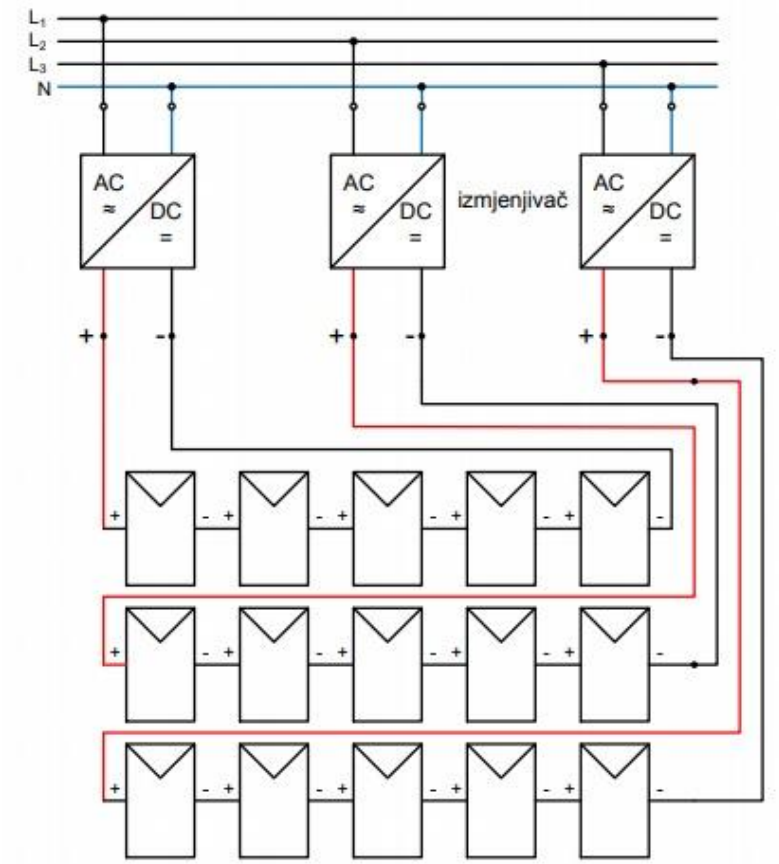
- izvedbe s jednim izmjenjivačem
- izvedbe s jednim izmjenjivačem za svaki fotonaponski niz
- izvedbe s više izmjenjivača

Izvedba s jednim izmjenjivačem koristi se manjih fotonaponskih sustava. Svi fotonaponski nizovi povezani su na jedan izmjenjivač. Kod ovakve izvedbe investicijski troškovi su manji, ali glavni nedostatak ove izvedbe je što u slučaju kvara izmjenjivača, cijeli sustav se isključuje. Slika 3.8. prikazuje shemu ovakve izvedbe. [2]



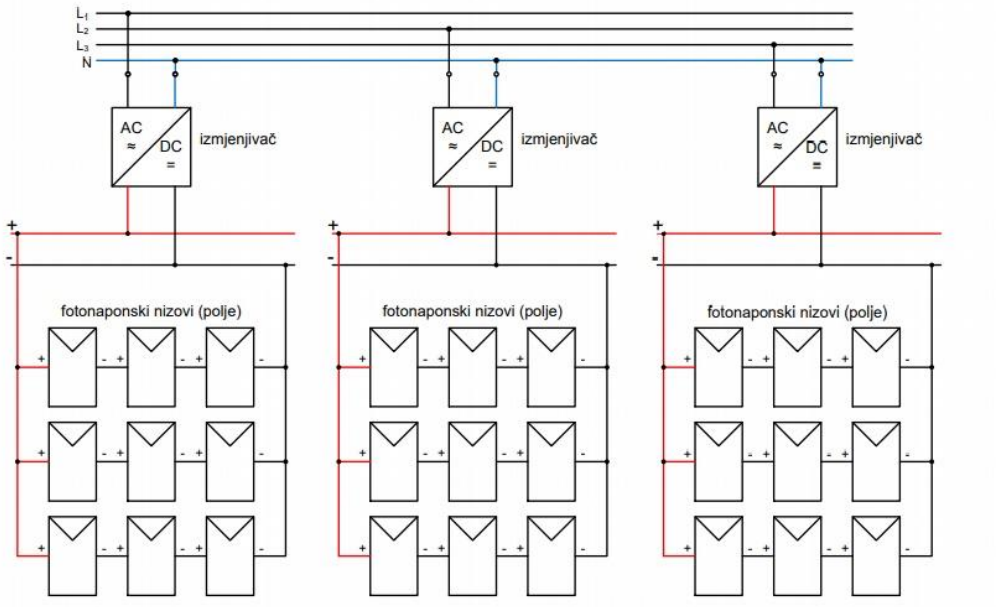
Slika 3.8. Izvedba s jednim izmjenjivačem [10]

Kod izvedbe s jednim izmjenjivačem za svaki fotonaponski niz, svaki niz je povezan na svoj vlastiti izmjenjivač. Ovakva izvedba je nešto sigurnija jer ukoliko bi i došlo do nekakvog kvara, nebi se ugasio cijeli sustav već bi ostatak nizova ostalo u mogučnosti proizvodnje električne energije. Slika 3.9. prikazuje shemu ovakve izvedbe [2].



Slika 3.9. Izvedba s jednim izmjenjivačem za svaki niz [10]

Izvedbe s više izmjenjivača primjenjuju se u sustavima gdje nam je potrebna velika snaga. U ovoj izvedbi postoji više fotonaponskih nizova, svaki spojen na svoj izmjenjivač. Takvi nizovi povezani su paralelno te u slučaju kvara ostali nizovi i dalje nastavljaju proizvoditi električnu energiju. Slika 3.10. prikazuje shemu ovakve izvedbe [2].

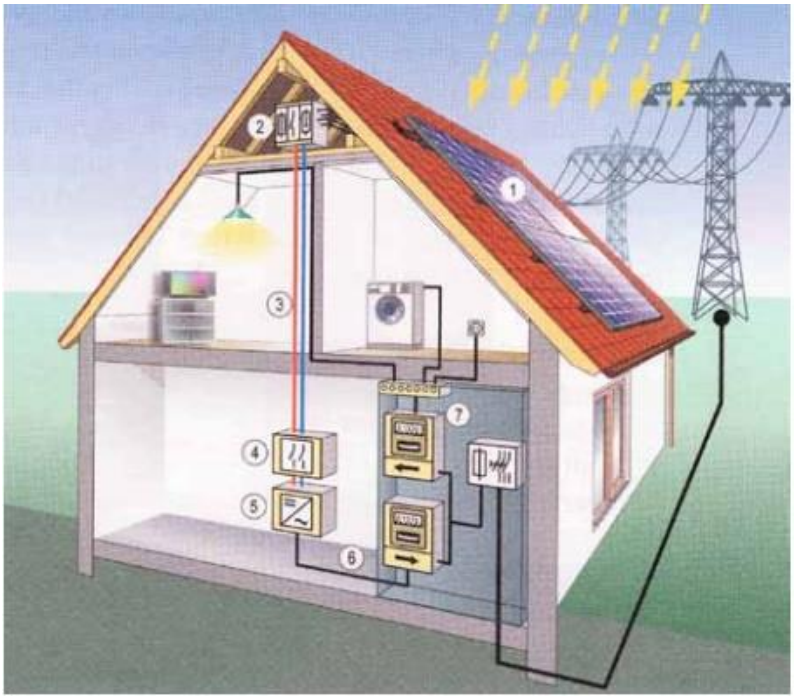


Slika 3.10. Izvedba s više izmjenjivača za svaki niz [10]

Mrežni fotonaponski sustavi s obzirom na način na koji se priključuju na elektroenergetsku mrežu mogu biti povezani koristeći kućnu instalaciju ili izravno povezani u mrežu. Sustavi koji su na mrežu povezani preko kućne instalacije koriste i elektroenergetsku mrežu i fotonaponski sustav za napajanje svojih potrošača. Tijekom noći ili tijekom razdoblja kada vremenski uvjeti ne omogućavaju proizvodnju iz fotonaponskog sustava, kućanstvo se napajanja energijom iz mreže. Shema ovog sustava i njezini dijelovi prikazani su na slici 3.11.

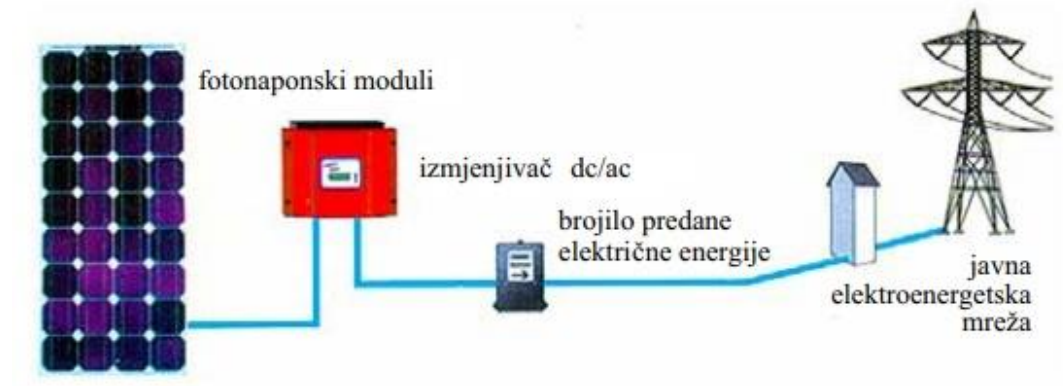
Prema [6] sustav se sastoji od :

1.fotonaponski moduli
2. spojna kutija sa zaštitnom opremom
3. kablovi istosmjernog napajanja
4. glavna sklopka za odvajanje
5. izmjenjivač
6. kablovi izmjeničnog napajanja
7. brojilo predane i preuzete energije



Slika 3.11. Mrežni FN sustav povezan koristeći kućnu instalaciju [6]

Fotonaponski sustavi izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu predaju svu proizvedenu električnu energiju u javnu mrežu. Slika 3.12. prikazuje shemu ovog sustava.



Slika 3.12. Mrežni FN sustav povezan izravno na javnu mrežu [6]

4. MJERENJE UTJECAJA ZASJENJENJA FOTONAPONSKIH MODULA

Laboratorij za obnovljive izvore energije Fakulteta elektrotehnike, računalstva i informacijski htehnologija posjeduje pet različitih fotonaponskih modula, a za potrebe ovih mjerenja i izradu završnog rada koristiti će se četiri. U ovomu će poglavlju biti opisane karakteristike fotonaponskih modula koji će se koristiti za mjerenja te će se prikazati rezultati mjerenja zasjenjenja fotonaponskih modula.

4.1. Karakteristike fotonaponskih modula

1) BISOL BMO-250



Slika 4.1. Izgled modula BISOL BMO-250

Tehničke karakteristike:

- Vršna snaga: 250 W
- Težina: 18,5 kg
- Dimenzije: 1,649 mm x 991 mm x 40 mm
- Učinkovitost pretvorbe modula: 15,3 %

Napon praznog hoda	Struja kratkog spoja	Napon vršne snage	Struja vršne snage
37,9 V	8,80 A	30,5 V	8,20 A

Tablica 4.1. Električna svojstva kod STC (1000 W/m^2, 25° C)

2) BISOL BMU-250



Slika 4.2. Izgled modula BISOL BMU-250

Tehničke karakteristike:

- Vršna snaga: 250 W
- Težina: 18,5 kg
- Dimenzije: 1,649 mm x 991 mm x 40 mm
- Učinkovitost pretvorbe modula: 15,0 %

Napon praznog hoda	Struja kratkog spoja	Napon vršne snage	Struja vršne snage
38,1 V	8,65 A	30,2 V	8,15 A

Tablica 4.2. Električna svojstva kod STC (1000 W/m^2, 25° C)

3) Panasonic HIT N240



Slika 4.3. Izgled modula Panasonic HIT N240

Tehničke karakteristike:

- Vršna snaga: 240 W
- Težina: 15 kg
- Dimenzije: 1580 mm x 798 mm x 35 mm
- Učinkovitost pretvorbe modula: 19,0 %

Napon praznog hoda	Struja kratkog spoja	Napon vršne snage	Struja vršne snage
52,4 V	5,85 A	43,7 V	5,51 A

Tablica 4.3. Električna svojstva kod STC (1000 W/m^2, 25° C)

4) SOLAR FRONTIER SF-150



Slika 4.4. Izgled modula SOLAR FRONTIER SF-150

Tehničke karakteristike:

- Vršna snaga: 140 W
- Težina: 20 kg
- Dimenzije: 1,257 mm x 977 mm x 35 mm
- Učinkovitost pretvorbe modula: 11,4 %

Napon praznog hoda	Struja kratkog spoja	Napon vršne snage	Struja vršne snage
107,0 V	2,10 A	80,5 V	1,74 A

Tablica 4.4. Električna svojstva kod STC (1000 W/m^2, 25° C)

4.2. Mjerni instrumenti

Mjerni instrumenti koji će se koristiti za mjerenja u ovom radu su:

- Metrix PX110 Powermeter (slika 4.5.) za mjerenja napona (V), struje (A) i snage fotonaponskog modula (W).



Slika 4.5. Mjerni uređaj Metrix PX-110 Powermeter

- PeakTech 3320 DMM (slika 4.6.) za mjerenja iznosa napona praznog hoda (V) i struje kratkog spoja (A).



Slika 4.6. Mjerni uređaj PeakTech 3320 DMM

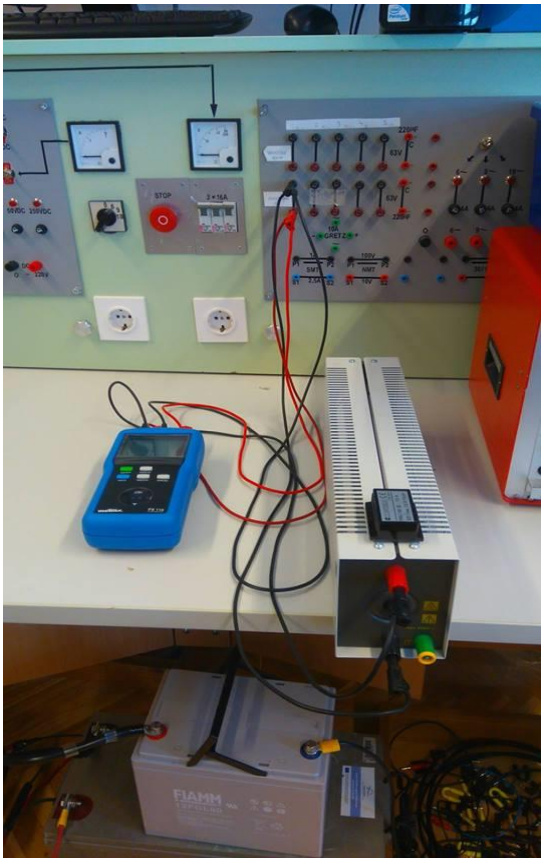
- Seaward SOLAR Survey200 (slika 4.7.) kojim se mjeri ozračenost fotonaponskog modula (W/m^2)



Slika 4.7. Mjerni uređaj Seaward SOLAR Survey200

4.3. Simulacija zasjenjenja fotonaponskih modula

Za navedene fotonaponske module u Laboratoriju za obnovljive izvore energije izvršena je simulacija zasjenjenja na načinda se prvo za svaki fotonaponski modul izmjere vrijednosti napona praznog hoda (V), struje kratkog spoja (A) i zračenje (W/m^2). Zatim se mjere veličine napona, struje i snage za modul bez zasjene uz spojen otpor te se nakon toga zasjenjuju četvrtine jedne fotonaponskečelije, zatim jedna po jedna čelijau svakom stupcu te tako svi stupci zajedno. Isti takav način izvršen je i za redove fotonaponskog modula. Za osvjetljenje fotonaponskog modula koristi se laboratorijski izvor svjetlosti (slika 4.9.).



Slika 4.8. Spojeni mjerni uređaj, priključnice FN modula te otpor.



Slika 4.9. Laboratorijski izvor svjetlosti

4.4. Rezultati simulacije zasjenjenja

Izmjerene vrijednosti prikazane su tablično za svaki modul uz postotak smanjenja maksimalne snage. Grafički su prikazane ovisnosti zasjene čelija o proizvedenom naponu, te strujno-naponske karakteristike svakog modula.

4.4.1. Izmjerene vrijednosti za modul BISOL BMO-250

Za navedeni modul izmjeren je napon praznog hoda od 32.56 V, struja kratkog spoja 2.926 A te zračenje od 512,66 W/m2. Bez zasjene modul ima napon od 28,1 V, struju 1,591 A te snagu od 44,7 W.

Tablica 4.5. prikazuje izmjerene vrijednosti pri zasjeni stupaca modula.

Zasjena	Napon (V)	Struja (A)	Snaga (W)	Postotak maksimalne snage
1/4 čelije	26,3	1,473	37,7	84,34 %
1/2 čelije	21,6	1,222	26,2	58,61 %
3/4 čelije	20,3	1,15	23,3	52,13 %
1 čelija	20,2	1,146	23,2	**51,90 %**
2 čelije	20,2	1,143	23	51,45 %
3 čelije	20,1	1,141	22,9	51,23 %
4 čelije	20,1	1,14	22,9	51,23 %
5 čelije	20,1	1,137	22,8	51,01 %
6 čelije	20,1	1,135	22,7	50,78 %
7 čelija	19,8	1,125	22,3	49,89 %
8 čelija	19,8	1,125	22,3	49,89 %
9 čelija	19,8	1,121	22,2	49,66 %
10 čelija	19,8	1,12	22,2	49,66 %
1.stupac+1 čelija	19,5	1,106	21,6	48,32 %
1.stupac+2 čelija	19,5	1,105	21,6	48,32 %
1.stupac+3 čelija	19,5	1,105	21,6	48,32 %
1.stupac+4 čelija	19,5	1,105	21,6	48,32 %
1.stupac+5 čelija	19,5	1,104	21,5	48,10 %
1.stupac+6 čelija	19,5	1,104	21,5	48,10 %
1.stupac+7 čelija	19,5	1,103	21,5	48,10 %
1.stupac+8 čelija	19,5	1,103	21,5	48,10 %
1.stupac+9 čelija	19,5	1,102	21,5	48,10 %
1.stupac+10 čelija	19,5	1,102	21,4	47,87 %
2.stupac+1 čelija	9,6	0,546	5,3	**11,86 %**
2.stupac+2 čelija	9,6	0,545	5,2	11,63 %
2.stupac+3 čelija	9,6	0,544	5,2	11,63 %
2.stupac+4 čelija	9,6	0,544	5,2	11,63 %
2.stupac+5 čelija	9,6	0,544	5,2	11,63 %
2.stupac+6 čelija	9,6	0,545	5,2	11,63 %
2.stupac+7 čelija	9,6	0,545	5,2	11,63 %
2.stupac+8 čelija	9,6	0,544	5,2	11,63 %
2.stupac+9 čelija	9,6	0,544	5,2	11,63 %
2.stupac+10 čelija	9,6	0,544	5,2	11,63 %
3.stupac+1 čelija	9,6	0,542	5,2	11,63 %
3.stupac+2 čelija	9,6	0,542	5,2	11,63 %
3.stupac+3 čelija	9,6	0,542	5,2	11,63 %
3.stupac+4 čelija	9,6	0,542	5,2	11,63 %
3.stupac+5 čelija	9,6	0,542	5,2	11,63 %
3.stupac+6 čelija	9,6	0,542	5,2	11,63 %
3.stupac+7 čelija	9,6	0,542	5,2	11,63 %
3.stupac+8 čelija	9,5	0,539	5,1	11,41 %
3.stupac+9 čelija	9,5	0,54	5,1	11,41 %

3.stupac+10 čelija	9,6	0,54	5,1	11,41 %
4.stupac+1 čelija	5,2	0,274	1,4	**3,13 %**
4.stupac+2 čelija	4,2	0,243	1,1	2,46 %
4.stupac+3 čelija	3,4	0,191	0,7	1,57 %
4.stupac+4 čelija	2,8	0,163	0,9	2,01 %
4.stupac+5 čelija	3,3	0,184	0,6	1,34 %
4.stupac+6 čelija	1,9	0,098	0,2	0,45 %
4.stupac+7 čelija	2,5	0,161	0,5	1,12 %
4.stupac+8 čelija	3,9	0,214	0,8	1,79 %
4.stupac+9 čelija	3,6	0,209	0,8	1,79 %
4.stupac+10 čelija	2,1	0,131	0,3	0,67 %
5.stupac+1 čelija	1	0,9	0,1	0,22 %
5.stupac+2 čelija	0,9	0,047	0	0,00 %
5.stupac+3 čelija	0,7	0,047	0	0,00 %
5.stupac+4 čelija	0,6	0,035	0	0,00 %
5.stupac+5 čelija	0,4	0,024	0	0,00 %
5.stupac+6 čelija	0,2	0,012	0	0,00 %
5.stupac+7 čelija	0,2	0,01	0	0,00 %
5.stupac+8 čelija	0,02	0,008	0	0,00 %
5.stupac+9 čelija	0,2	0,013	0	0,00 %
5.stupac+10 čelija	0,2	0,009	0	0,00 %

Tablica 4.5. Izmjerene vrijednosti pri zasjeni stupaca modula.

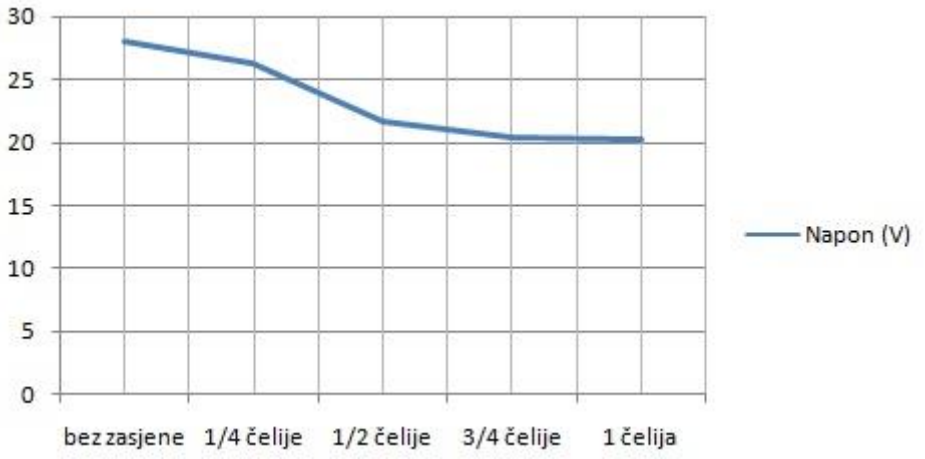
U tablici 4.6. prikazane su izmjerene vrijednosti pri zasjeni redova modula.

Zasjena	**Napon (V)**	**Struja (A)**	**Snaga (W)**	**Postotak maksimalne snage**
1 čelija	21,5	1,011	21,7	48,55 %
2 čelije	21,5	1,102	21,7	48,55 %
3 čelije	10,6	0,496	5,3	**11,86 %**
4 čelije	10,5	0,493	5,3	11,86 %
5 čelije	7,8	0,357	2,6	**5,82 %**
6 čelije	4,6	0,216	1	2,24 %
1.red+1 čelija	4,3	0,201	0,8	1,79 %
1.red+2 čelija	4,1	0,183	0,7	1,57 %
1.red+3 čelija	4,2	0,196	0,8	1,79 %
1.red+4 čelija	3,8	0,175	0,6	1,34 %
1.red+5 čelija	3,2	0,152	0,5	1,12 %
1.red+6 čelija	2,9	0,14	0,4	0,89 %
2.red+1 čelija	6,8	0,32	2,2	4,92 %
2.red+2 čelija	6,8	0,32	2,2	4,92 %
2.red+3 čelija	5,5	0,257	1,4	3,13 %
2.red+4 čelija	5,6	0,255	1,5	3,36 %

2.red+5 čelija	4,5	0,158	0,5	1,12 %
2.red+6 čelija	6,3	0,282	1,8	4,03 %
3.red+1 čelija	6,3	0,283	1,8	4,03 %
3.red+2 čelija	6,2	0,281	1,8	4,03 %
3.red+3 čelija	5	0,226	1,1	2,46 %
3.red+4 čelija	5,1	0,23	1,2	2,68 %
3.red+5 čelija	4	0,179	0,7	1,57 %
3.red+6 čelija	2,9	0,118	0,3	0,67 %
4.red+1 čelija	6,1	0,276	1,7	3,80 %
4.red+2 čelija	6,1	0,268	1,6	3,58 %
4.red+3 čelija	4,8	0,218	1	2,24 %
4.red+4 čelija	4,8	0,217	1	2,24 %
4.red+5 čelija	3,5	0,162	0,6	1,34 %
4.red+6 čelija	1,7	0,08	0,1	0,22 %
5.red+1 čelija	1,3	0,062	0,1	0,22 %
5.red+2 čelija	1,3	0,059	0,1	0,22 %
5.red+3 čelija	1,2	0,065	0,1	0,22 %
5.red+4 čelija	1,2	0,056	0,1	0,22 %
5.red+5 čelija	0,9	0,037	0	0,00 %
5.red+6 čelija	0,7	0,033	0	0,00 %
6.red+1 čelija	0,9	0,042	0	0,00 %
6.red+2 čelija	0,9	0,04	0	0,00 %
6.red+3 čelija	0,8	0,039	0	0,00 %
6.red+4 čelija	0,9	0,056	0,1	0,22 %
6.red+5 čelija	0,8	0,032	0	0,00 %
6.red+6 čelija	0,7	0,031	0	0,00 %
7.red+1 čelija	0,9	0,041	0	0,00 %
7.red+2 čelija	0,8	0,037	0	0,00 %
7.red+3 čelija	0,8	0,037	0	0,00 %
7.red+4 čelija	0,8	0,036	0	0,00 %
7.red+5 čelija	0,7	0,032	0	0,00 %
7.red+6 čelija	0,6	0,031	0	0,00 %
8.red+1 čelija	1	0,038	0	0,00 %
8.red+2 čelija	0,9	0,035	0	0,00 %
8.red+3 čelija	0,8	0,033	0	0,00 %
8.red+4 čelija	0,7	0,032	0	0,00 %
8.red+5 čelija	0,7	0,03	0	0,00 %
8.red+6 čelija	0,6	0,028	0	0,00 %
9.red+1 čelija	0,6	0,027	0	0,00 %
9.red+2 čelija	0,6	0,028	0	0,00 %
9.red+3 čelija	0,6	0,027	0	0,00 %
9.red+4 čelija	0,5	0,025	0	0,00 %
9.red+5 čelija	0,5	0,024	0	0,00 %
9.red+6 čelija	0,5	0,02	0	0,00 %

Tablica 4.6. Izmjerene vrijednosti pri zasjeni redova modula.

Na slici 4.10. grafički je prikazana promjena napona s obzirom na zasjenjenje četvrtina fotonaponske ćelije.



Slika 4.10. Promjena napona s obzirom na zasjenjenje četvrtina fotonaponske ćelije.

Na slici 4.11. grafički je prikazana promjena napona pri zasjeni dva stupca fotonaposkog modula.



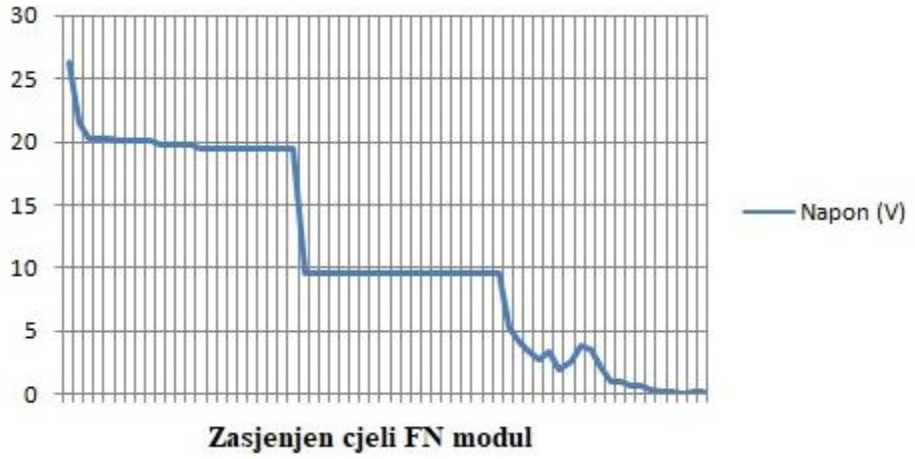
Slika 4.11. Promjena napona pri zasjeni dva stupca fotonaposkog modula.

Na slici 4.12. prikazana je promjena napona pri zasjeni četiri stupca fotonaponskog modula.



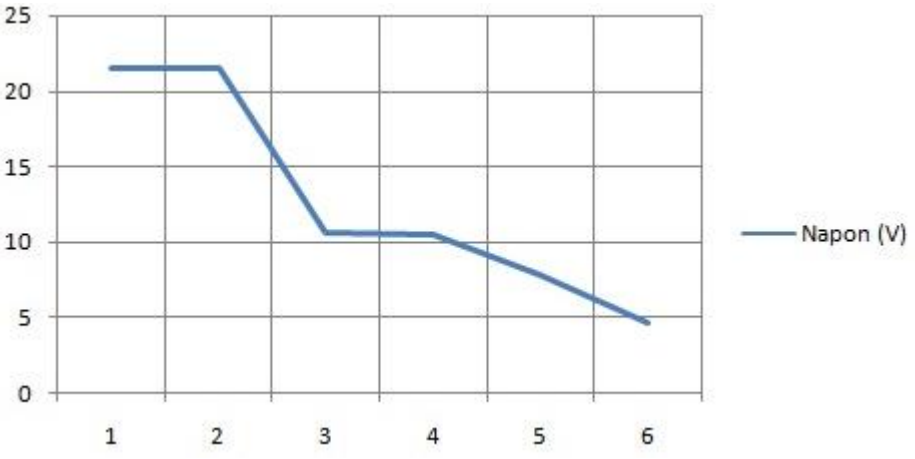
Slika 4.12. Promjena napona pri zasjeni četiri stupca fotonaponskog modula.

Na slici 4.13. prikazan je oblik napona pri zasjeni cjelog FN modula.



Slika 4.13. Oblik napona pri zasjeni cjelog FN modula.

Idući grafovi prikazuju promjene napona pri zasjenama čelija u redovima modula. Slika 4.14. prikazuje promjenu napona pri zasjeni 6 čelija u prvom redu fotonaponskog modula.



Slika 4.14. Promjena napona pri zasjeni 6 čelija u prvom redu fotonaponskog modula.

Slika 4.15. prikazuje promjenu napona pri zasjeni dva reda fotonaponskog modula.

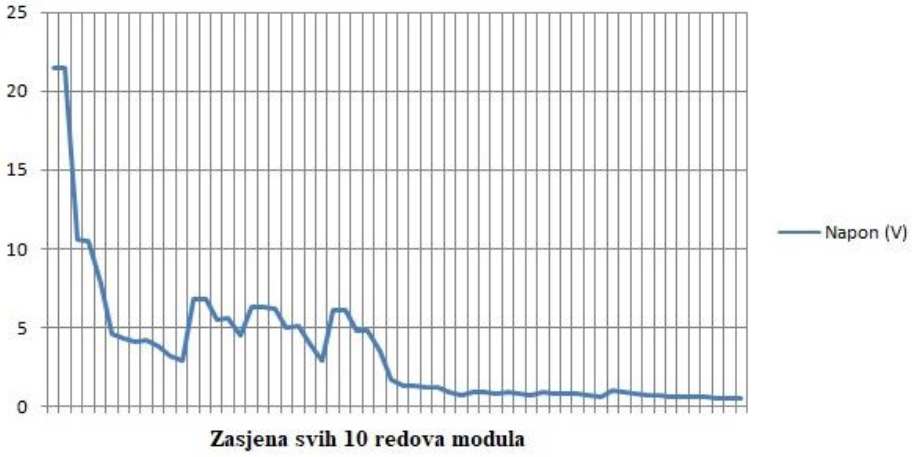


Slika 4.15. Promjena napona pri zasjeni dva reda fotonaponskog modula.

Slika 4.16. prikazuje promjenu napona pri zasjeni 6 redova modula, a slika 4.17. napon pri kompletno zasjenjenom modulu odnosno svih 10 redova.



Slika 4.16. Promjena napona pri zasjeni 6 redova modula



Slika 4.17. Napon pri kompletno zasjenjenom modulu odnosno svih 10 redova.

4.4.2. Izmjerene vrijednosti za modul BISOL BMU-250

Za navedeni modul izmjeren je napon praznog hoda od 33.07 V, struja kratkog spoja 1,473 A te zračenje od 450 W/m2. Bez zasjene modul ima napon od 30,4 V, struju 1,409 A te snagu od 42,8 W.

U tablici 4.7. prikazane su izmjerene vrijednosti pri zasjeni stupaca modula.

Zasjena	Napon (V)	Struja (A)	Snaga (W)	Postotak maksimalne snage
Stupci				
1/4 čelije	30,3	1,409	42,8	100,00 %
1/2 čelije	25,2	1,405	42,5	99,30 %
3/4 čelije	20,5	1,16	29,9	69,86 %
1 čelija	20,4	0,952	19,6	45,79 %
2 čelije	20,4	0,956	19,5	45,56 %
3 čelije	20,4	0,965	19,5	45,56 %
4 čelije	20,4	0,955	19,5	45,56 %
5 čelije	20,4	0,955	19,5	45,56 %
6 čelije	20,4	0,955	19,4	45,33 %
7 čelija	20,4	0,953	19,4	45,33 %
8 čelija	20,4	0,953	19,4	45,33 %
9 čelija	20,4	0,952	19,4	45,33 %
10 čelija	20,4	0,952	19,4	45,33 %
1.stupac+1 čelija	20,2	0,943	19	44,39 %
1.stupac+2 čelija	20,2	0,943	19	44,39 %
1.stupac+3 čelija	20,2	0,943	19	44,39 %
1.stupac+4 čelija	20,2	0,943	19	44,39 %
1.stupac+5 čelija	20,1	0,942	19	44,39 %
1.stupac+6 čelija	20,1	0,941	18,9	44,16 %
1.stupac+7 čelija	20,1	0,94	18,9	44,16 %
1.stupac+8 čelija	20,1	0,94	18,9	44,16 %
1.stupac +9 čelija	20,1	0,939	18,9	44,16 %
1.stupac+10 čelija	20,1	0,94	18,9	44,16 %
2.stupac+1 čelija	10	0,465	4,6	10,75 %
2.stupac+2 čelija	10	0,464	4,6	10,75 %
2.stupac+3 čelija	10	0,463	4,6	10,75 %
2.stupac+4 čelija	10	0,463	4,6	10,75 %
2.stupac+5 čelija	10	0,463	4,6	10,75 %
2.stupac+6 čelija	10	0,462	4,6	10,75 %
2.stupac+7 čelija	10	0,462	4,6	10,75 %
2.stupac+8 čelija	10	0,462	4,6	10,75 %

2.stupac+9 čelija	10	0,462	4,6	10,75 %
2.stupac+10 čelija	10	0,462	4,6	10,75 %
3.stupac+1 čelija	9,9	0,462	4,6	10,75 %
3.stupac+2 čelija	9,9	0,461	4,6	10,75 %
3.stupac+3 čelija	9,9	0,461	4,6	10,75 %
3.stupac+4 čelija	9,9	0,461	4,6	10,75 %
3.stupac+5 čelija	9,9	0,459	4,5	10,51 %
3.stupac+6 čelija	9,9	0,459	4,5	10,51 %
3.stupac+7 čelija	9,9	0,462	4,6	10,75 %
3.stupac+8 čelija	9,9	0,46	4,5	10,51 %
3.stupac+9 čelija	9,9	0,46	4,5	10,51 %
3.stupac+10 čelija	9,9	0,461	4,6	10,75 %
4.stupac+1 čelija	1,3	0,058	0,1	0,23 %
4.stupac+2 čelija	1,3	0,058	0,1	0,23 %
4.stupac+3 čelija	0,5	0,022	0	0,00 %
4.stupac+4 čelija	0,5	0,02	0	0,00 %
4.stupac+5 čelija	1,1	0,048	0,1	0,23 %
4.stupac+6 čelija	0,5	0,026	0	0,00 %
4.stupac+7 čelija	0,8	0,039	0	0,00 %
4.stupac+8 čelija	0,5	0,026	0	0,00 %
4.stupac+9 čelija	0,8	0,036	0	0,00 %
4.stupac+10 čelija	0,7	0,032	0	0,00 %
5.stupac+1 čelija	1,2	0,056	0,1	0,23 %
5.stupac+2 čelija	1,2	0,056	0,1	0,23 %
5.stupac+3 čelija	1,2	0,048	0,1	0,23 %
5.stupac+4 čelija	1,1	0,38	0	0,00 %
5.stupac+5 čelija	0,9	0,037	0	0,00 %
5.stupac+6 čelija	0,9	0,022	0	0,00 %
5.stupac+7 čelija	0,9	0,022	0	0,00 %
5.stupac+8 čelija	0,9	0,022	0	0,00 %
5.stupac+9 čelija	0,9	0,022	0	0,00 %
5.stupac+10 čelija	0,6	0,026	0	0,00 %

Tablica 4.7. Izmjerene vrijednosti pri zasjeni stupaca modula.

U tablici 4.8. prikazane su izmjerene vrijednosti pri zasjeni redova modula.

Zasjena	**Napon (V)**	**Struja (A)**	**Snaga (W)**	**Postotak maksimalne snage**
Redovi				
1 čelija	20,7	0,967	20,02	46,77 %
2 čelije	20,7	0,967	20,02	46,77 %
3 čelije	10,1	0,471	4,76	11,11 %

4 čelije	10,1	0,468	4,73	11,04 %
5 čelije	5,7	0,381	2,17	5,07 %
6 čelije	4,7	0,219	1,03	2,40 %
1.red+1 čelija	4,5	0,21	0,95	2,21 %
1.red+2 čelija	4,1	0,192	0,79	1,84 %
1.red+3 čelija	3,7	0,175	0,65	1,51 %
1.red+4 čelija	3,4	0,158	0,54	1,26 %
1.red+5 čelija	1,4	0,065	0,09	0,21 %
1.red+6 čelija	0,6	0,028	0,02	0,04 %
2.red+1 čelija	1,3	0,061	0,08	0,19 %
2.red+2 čelija	1,3	0,061	0,08	0,19 %
2.red+3 čelija	1,3	0,061	0,08	0,19 %
2.red+4 čelija	1,3	0,06	0,08	0,18 %
2.red+5 čelija	0,6	0,028	0,02	0,04 %
2.red+6 čelija	0,4	0,019	0,01	0,02 %
3.red+1 čelija	1,2	0,055	0,07	0,15 %
3.red+2 čelija	1,2	0,054	0,06	0,15 %
3.red+3 čelija	1,2	0,055	0,07	0,15 %
3.red+4 čelija	1,1	0,054	0,06	0,14 %
3.red+5 čelija	0,8	0,038	0,03	0,07 %
3.red+6 čelija	0,9	0,043	0,04	0,09 %
4.red+1 čelija	0,9	0,043	0,04	0,09 %
4.red+2 čelija	0,9	0,043	0,04	0,09 %
4.red+3 čelija	0,9	0,043	0,04	0,09 %
4.red+4 čelija	0,9	0,043	0,04	0,09 %
4.red+5 čelija	0,5	0,027	0,01	0,03 %
4.red+6 čelija	0,3	0,017	0,01	0,01 %
5.red+1 čelija	5,5	0,257	1,41	3,30 %
5.red+2 čelija	5,5	0,257	1,41	3,30 %
5.red+3 čelija	4,1	0,193	0,79	1,85 %
5.red+4 čelija	4,1	0,193	0,79	1,85 %
5.red+5 čelija	1,5	0,07	0,11	0,25 %
5.red+6 čelija	4,5	0,207	0,93	2,18 %
6.red+1 čelija	4,4	0,208	0,92	2,14 %
6.red+2 čelija	4,4	0,207	0,91	2,13 %
6.red+3 čelija	3,9	0,182	0,71	1,66 %
6.red+4 čelija	3,9	0,182	0,71	1,66 %
6.red+5 čelija	2	0,095	0,19	0,44 %
6.red+6 čelija	4,1	0,193	0,79	1,85 %
7.red+1 čelija	4,1	0,193	0,79	1,85 %
7.red+2 čelija	4,1	0,193	0,79	1,85 %
7.red+3 čelija	4,1	0,193	0,79	1,85 %
7.red+4 čelija	4,1	0,193	0,79	1,85 %
7.red+5 čelija	1,3	0,063	0,08	0,19 %
7.red+6 čelija	3,7	0,174	0,64	1,50 %

8.red+1 čelija	3,7	0,174	0,64	1,50 %
8.red+2 čelija	3,7	0,174	0,64	1,50 %
8.red+3 čelija	3,7	0,174	0,64	1,50 %
8.red+4 čelija	3,7	0,174	0,64	1,50 %
8.red+5 čelija	3,7	0,16	0,59	1,38 %
8.red+6 čelija	3,6	0,169	0,61	1,42 %
9.red+1 čelija	3,6	0,168	0,60	1,41 %
9.red+2 čelija	3,6	0,168	0,60	1,41 %
9.red+3 čelija	3,6	0,168	0,60	1,41 %
9.red+4 čelija	3,6	0,168	0,60	1,41%
9.red+5 čelija	0,9	0,044	0,04	0,09 %
9.red+6 čelija	0,6	0,029	0,02	0,04 %

Tablica 4.8. izmjerene vrijednosti pri zasjeni redova modula.

Na slici 4.18. grafički je prikazana promjena napona s obzirom na zasjenjenje četvrtina fotonaponske ćelije.



Slika 4.18. promjena napona s obzirom na zasjenjenje četvrtina fotonaponske ćelije.

Na slici 4.19. grafički je prikazana promjena napona pri zasjeni dva stupca fotonaposkog modula.



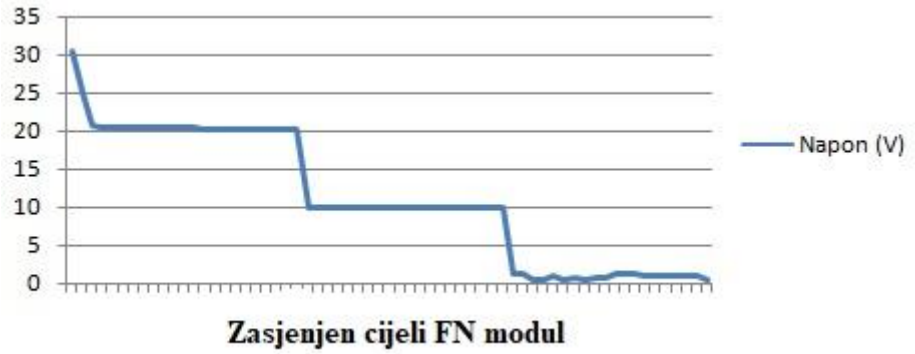
Slika 4.19. promjena napona pri zasjeni dva stupca fotonaposkog modula.

Na slici 4.20. prikazana je promjena napona pri zasjeni četiri stupca fotonaponskog modula.



Slika 4.20. promjena napona pri zasjeni četiri stupca fotonaponskog modula.

Na slici 4.21. prikazan je oblik napona pri zasjeni cjelog FN modula.



Slika 4.21. Oblik napona pri zasjeni cjelog FN modula.

Idući grafovi prikazuju promjene napona pri zasjenama čelija u redovima modula. Slika 4.22. prikazuje promjenu napona pri zasjeni 6 čelija u prvom redu fotonaponskog modula.



Slika 4.22. promjena napona pri zasjeni 6 čelija u prvom redu fotonaponskog modula.

Slika 4.23. prikazuje promjenu napona pri zasjeni dva reda fotonaponskog modula.

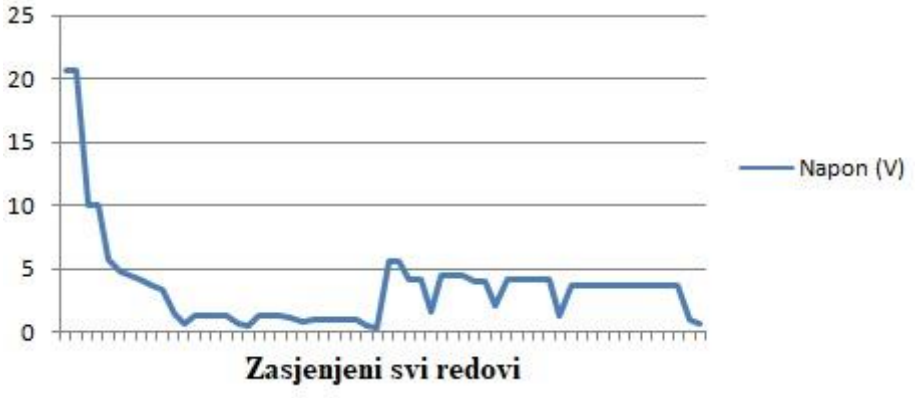


Slika 4.23. Promjena napona pri zasjeni dva reda fotonaponskog modula.

Slika 4.24. prikazuje promjenu napona pri zasjeni 6 redova modula, a slika 4.25. napon pri kompletno zasjenjenom modulu odnosno svih 10 redova.



Slika 4.24. Promjena napona pri zasjeni 6 redova modula



Slika 4.25. Napon pri kompletno zasjenjenom modulu odnosno svih 10 redova.

4.4.3. Izmjerene vrijednosti za modul PANASONIC HIT N240

Za navedeni modul izmjeren je napon praznog hoda od 42,82 V, struja kratkog spoja 2.138 A te zračenje od 633,66 W/m2. Bez zasjene modul ima napon od 29,5 V, struju 1,838 A te snagu od 54,1 W.

Tablica 4.9. prikazuje izmjerene vrijednosti pri zasjeni stupaca modula.

Zasjena	Napon (V)	Struja (A)	Snaga (W)	Postotak maksimalne snage
Stupci				
1/4 čelije	29,4	1,834	54,00	99,82 %
1/2 čelije	29,4	1,831	53,70	99,26 %
3/4 čelije	29,3	1,815	53,60	99,08 %
1 čelija	29,3	1,833	53,80	99,45 %
2 čelije	29,3	1,833	53,50	98,89 %
3 čelije	29,3	1,832	53,50	98,89 %
4 čelije	29,3	1,832	53,60	99,08 %
5 čelije	29,3	1,832	53,60	99,08 %
6 čelije	29,3	1,83	53,40	98,71 %
7 čelija	29,2	1,827	53,40	98,71 %
8 čelija	29,1	1,818	52,90	97,78 %
9 čelija	29,1	1,816	52,80	97,60 %
10 čeija	29	1,814	52,70	97,41 %
11 čelija	29	1,812	52,60	97,23 %
12 čelija	29	1,81	52,50	97,04 %
1.stupac+1 čelija	28,8	1,798	51,70	95,56 %
1.stupac+2 čelija	28,8	1,797	51,70	95,56 %
1.stupac+3 čelija	28,8	1,796	51,60	95,38 %
1.stupac+4 čelija	28,5	1,794	51,50	95,19 %
1.stupac+5 čelija	28,5	1,796	51,60	95,38 %
1.stupac+6 čelija	28,7	1,795	51,60	95,38 %
1.stupac+7 čelija	28,7	1,792	51,50	95,19 %
1.stupac+8 čelija	28,7	1,791	51,40	95,01 %
1.stupac+9 čelija	28,7	1,793	51,40	95,01 %
1.stupac+10 čelija	28,7	1,792	51,40	95,01 %
1.stupac+11 čelija	28,7	1,752	51,40	95,01 %
1.stupac+12 čelija	28,6	1,751	51,30	94,82 %
2.stupac+1 čelija	14,4	0,898	13,00	24,03 %
2.stupac+2 čelija	14,4	0,898	12,90	23,84 %
2.stupac+3 čelija	14,4	0,897	12,90	23,84 %
2.stupac+4 čelija	14,4	0,897	12,90	23,84 %
2.stupac+5 čelija	14,4	0,895	12,90	23,84 %
2.stupac+6 čelija	14,4	0,895	12,80	23,66 %
2.stupac+7 čelija	14,4	0,896	12,80	23,66 %

2.stupac+8 čelija	14,4	0,894	12,80	23,66 %
2.stupac+9 čelija	14,3	0,891	12,80	23,66 %
2.stupac+10 čelija	14,3	0,892	12,80	23,66 %
2.stupac+11 čelija	14,3	0,892	12,70	23,48 %
2.stupac+12 čelija	14,3	0,891	12,70	23,48 %
3.stupac+1 čelija	14,3	0,884	12,70	23,48 %
3.stupac+2 čelija	14,3	0,889	12,70	23,48 %
3.stupac+3 čelija	14,3	0,888	12,70	23,48 %
3.stupac+4 čelija	14,3	0,887	12,70	23,48 %
3.stupac+5 čelija	14,3	0,886	12,70	23,48 %
3.stupac+6 čelija	14,3	0,887	12,70	23,48 %
3.stupac+7 čelija	14,3	0,885	12,60	23,29 %
3.stupac+8 čelija	14,3	0,885	12,60	23,29 %
3.stupac+9 čelija	14,3	0,885	12,60	23,29 %
3.stupac+10 čelija	14,3	0,886	12,60	23,29 %
3.stupac+1 1 čelija	14,2	0,885	12,60	23,29 %
3.stupac+10 čelija	14,2	0,884	12,60	23,29 %
4.stupac+1 čelija	0,8	0,045	0,04	0,07 %
4.stupac+2 čelija	0,8	0,015	0,01	0,02 %
4.stupac+3 čelija	0,8	0,029	0,02	0,04 %
4.stupac+4 čelija	0,7	0,016	0,01	0,02 %
4.stupac+5 čelija	0,6	0,035	0,02	0,04 %
4.stupac+6 čelija	0,6	0,035	0,02	0,04 %
4.stupac+7 čelija	0,5	0,028	0,01	0,03 %
4.stupac+8 čelija	0,5	0,021	0,01	0,02 %
4.stupac+9 čelija	0,3	0,019	0,01	0,01 %
4.stupac+10 čelija	0,7	0,042	0,03	0,05 %
4.stupac+11 čelija	0,2	0,014	0,00	0,01 %
4.stupac+12 čelija	0,2	0,01	0,00	0,00 %
5.stupac+1 čelija	0,026	0,002	0,00	0,00 %
5.stupac+2 čelija	0,0228	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+3 čelija	0,0226	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+4 čelija	0,023	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+5 čelija	0,0224	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+6 čelija	0,0198	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+7 čelija	0,0163	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+8 čelija	0,0249	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+9 čelija	0,0212	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+10 čelija	0,016	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+11 čelija	0,0172	0,001	0,00	0,00 %
5.stupac+12 čelija	0,0161	0,001	0,00	0,00 %

Tablica 4.9. Izmjerene vrijednosti pri zasjeni stupaca modula.

U tablici 4.10. prikazane su izmjerene vrijednosti pri zasjeni redova modula.

Zasjena	Napon (V)	Struja (A)	Snaga (W)	Postotak maksimalne snage
Redovi				
1 čelija	28,87	1,8	51,97	96,06 %
2 čelije	28,82	1,796	51,76	95,68 %
3 čelije	14,27	0,889	12,69	23,45 %
4 čelije	14,25	0,888	12,65	23,39 %
5 čelije	2,721	0,166	0,45	0,83 %
6 čelije	0,646	0,012	0,01	0,01 %
1.red+1 čelija	0,831	0,052	0,04	0,08 %
1.red+2 čelija	0,838	0,052	0,04	0,08 %
1.red+3 čelija	0,804	0,049	0,04	0,07 %
1.red+4 čelija	0,793	0,047	0,04	0,07 %
1.red+5 čelija	0,162	0,01	0,00	0,00 %
1.red+6 čelija	0,684	0,042	0,03	0,05 %
2.red+1 čelija	0,657	0,04	0,03	0,05 %
2.red+2 čelija	0,621	0,038	0,02	0,04 %
2.red+3 čelija	0,529	0,033	0,02	0,03 %
2.red+4 čelija	0,531	0,033	0,02	0,03 %
2.red+5 čelija	0,078	0,005	0,00	0,00 %
2.red+6 čelija	0,0287	0,001	0,00	0,00 %
3.red+1 čelija	0,665	0,041	0,03	0,05 %
3.red+2 čelija	0,645	0,039	0,03	0,05 %
3.red+3 čelija	0,509	0,031	0,02	0,03 %
3.red+4čelija	0,51	0,031	0,02	0,03 %
3.red+5 čelija	0,064	0,002	0,00	0,00 %
3.red+6 čelija	0,044	0,002	0,00	0,00 %
4.red+1 čelija	0,674	0,042	0,03	0,05 %
4.red+2 čelija	0,659	0,04	0,03	0,05 %
4.red+3 čelija	0,478	0,029	0,01	0,03 %
4.red+4 čelija	0,481	0,029	0,01	0,03 %
4.red+5 čelija	0,334	0,02	0,01	0,01 %
4.red+6 čelija	0,055	0,002	0,00	0,00 %
5.red+1 čelija	0,56	0,033	0,02	0,03 %
5.red+2 čelija	0,541	0,033	0,02	0,03 %
5.red+3 čelija	0,451	0,027	0,01	0,02 %
5.red+4 čelija	0,452	0,028	0,01	0,02 %
5.red+5 čelija	0,128	0,011	0,00	0,00 %
5.red+6 čelija	0,067	0,005	0,00	0,00 %
6.red+1 čelija	0,037	0,002	0,00	0,00 %
6.red+2 čelija	0,036	0,002	0,00	0,00 %
6.red+3 čelija	0,037	0,002	0,00	0,00 %

6.red+4 čelija	0,035	0,002	0,00	0,00 %
6.red+5 čelija	0,0292	0,002	0,00	0,00 %
6.red+6 čelija	0,024	0,001	0,00	0,00 %
7.red+1 čelija	0,448	0,027	0,01	0,02 %
7.red+2 čelija	0,448	0,027	0,01	0,02 %
7.red+3 čelija	0,446	0,027	0,01	0,02 %
7.red+4 čelija	0,44	0,026	0,01	0,02 %
7.red+5 čelija	0,084	0,004	0,00	0,00 %
7.red+6 čelija	0,035	0,001	0,00	0,00 %
8.red+1 čelija	0,22	0,013	0,00	0,01 %
8.red+2 čelija	0,216	0,013	0,00	0,01 %
8.red+3 čelija	0,214	0,012	0,00	0,00 %
8.red+4 čelija	0,212	0,013	0,00	0,01 %
8.red+5 čelija	0,212	0,013	0,00	0,01 %
8.red+6 čelija	0,4	0,002	0,00	0,00 %
9.red+1 čelija	0,0174	0,001	0,00	0,00 %
9.red+2 čelija	0,0176	0,001	0,00	0,00 %
9.red+3 čelija	0,0181	0,001	0,00	0,00 %
9.red+4 čelija	0,0174	0,001	0,00	0,00 %
9,red+5 čelija	0,0161	0	0,00	0,00 %
9.red+6 čelija	0,0123	0	0,00	0,00 %
10.red+1 čelija	0,206	0,001	0,00	0,00 %
10.red+2 čelija	0,0194	0,001	0,00	0,00 %
10.red+3 čelija	0,0192	0,001	0,00	0,00 %
10.red+4 čelija	0,0198	0,001	0,00	0,00 %
10.red+5 čelija	0,0187	0,001	0,00	0,00 %
10.red+6 čelija	0,0176	0,001	0,00	0,00 %
11.red+1 čelija	0,036	0,002	0,00	0,00 %
11.red+2 čelija	0,043	0,002	0,00	0,00 %
11.red+3 čelija	0,08	0,005	0,00	0,00 %
11.red+4 čelija	0,117	0,006	0,00	0,00 %
11.red+5 čelija	0,0492	0,006	0,00	0,00 %
11.red+6 čelija	0,0432	0,006	0,00	0,00 %

Tablica 4.10. Izmjerene vrijednosti pri zasjeni redova modula.

Na slici 4.26. grafički je prikazana promjena napona s obzirom na zasjenjenje četvrtina fotonaponske ćelije.

Na slici 4.27. grafički je prikazana promjena napona pri zasjeni dva stupca fotonaposkog modula.



Slika 4.26. Promjena napona s obzirom na zasjenjenje četvrtina fotonaponske ćelije.



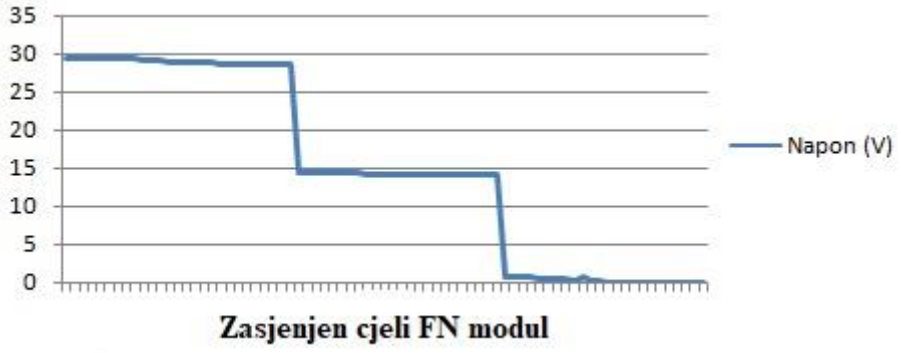
Slika 4.27. Promjena napona pri zasjeni dva stupca fotonaposkog modula.

Na slici 4.28. prikazana je promjena napona pri zasjeni četiri stupca fotonaponskog modula.



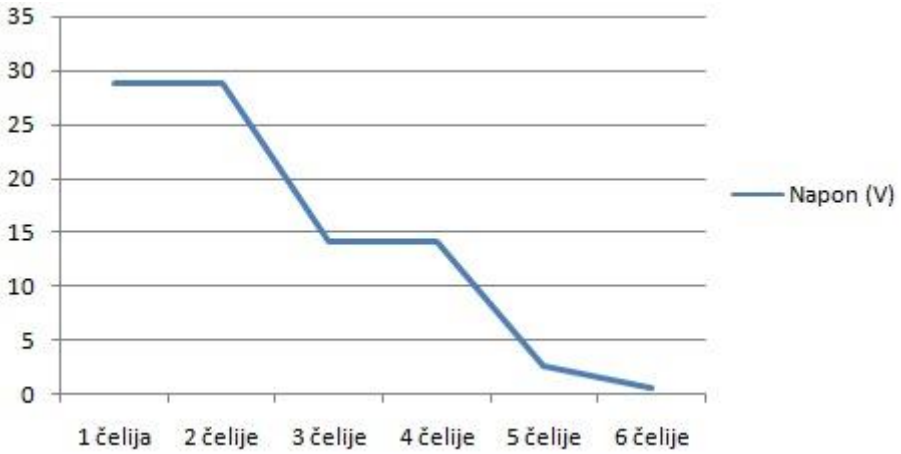
Slika 4.28. Promjena napona pri zasjeni četiri stupca fotonaponskog modula.

Na slici 4.29. prikazan je oblik napona pri zasjeni cjelog FN modula.



Slika 4.29. Oblik napona pri zasjeni cjelog FN modula.

Idući grafovi prikazuju promjene napona pri zasjenama čelija u redovima modula. Slika 4.30. prikazuje promjenu napona pri zasjeni 6 čelija u prvom redu fotonaponskog modula.



Slika 4.30. Promjena napona pri zasjeni 6 čelija u prvom redu fotonaponskog modula.

Slika 4.31. prikazuje promjenu napona pri zasjeni tri reda fotonaponskog modula.



Slika 4.31. Promjenu napona pri zasjeni tri reda fotonaponskog modula.

Slika 4.32. prikazuje promjenu napona pri zasjeni 8 redova modula, a slika 4.33. napon pri kompletno zasjenjenom modulu odnosno svih 12 redova.



Slika 4.32. Promjenu napona pri zasjeni 8 redova modula



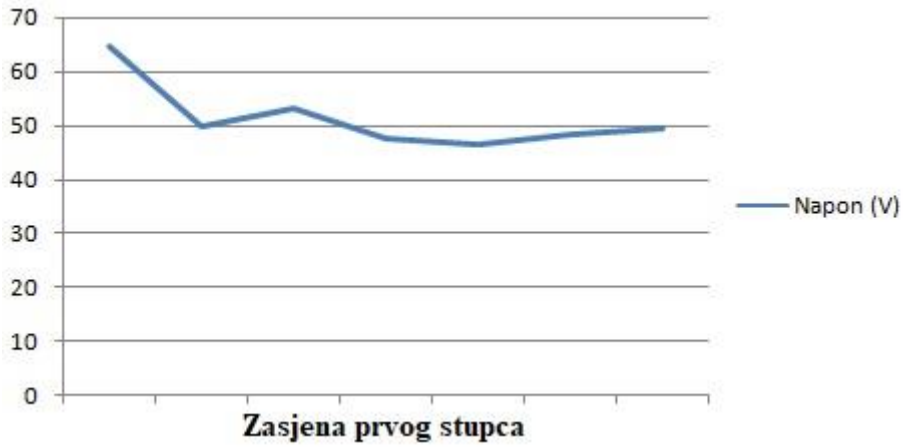
Slika 4.33. Napon pri kompletno zasjenjenom modulu odnosno svih 12 redova.

4.4.4. Izmjerene vrijednosti za modul SOLAR FRONTIER SF-150

Za navedeni modul izmjeren je napon praznog hoda od 105 V, struja kratkog spoja 0,842 A te zračenje od 690,33 W/m2. Bez zasjene modul ima napon od 68,8 V, struju 0,671 A te snagu od 46,16 W.

Navedeni modul podijeljen je prema dimenzijama na 5 jednakih stupaca i 7 jednakih redova. Rezultati mjerenja prikazani su grafički.

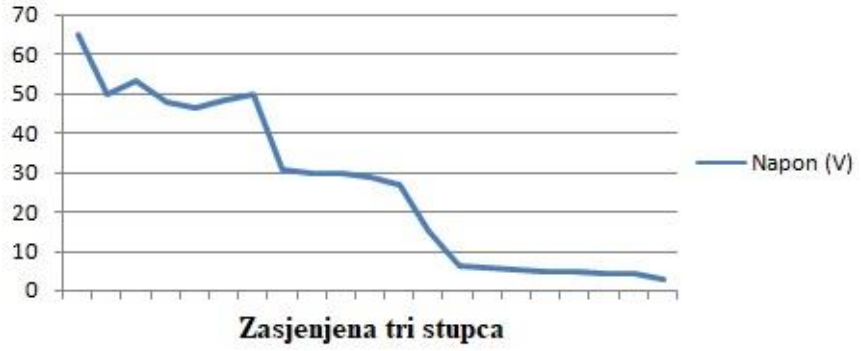
Slika 4.44. prikazuje promjenu napona pri zasjeni prvog stupca modula.



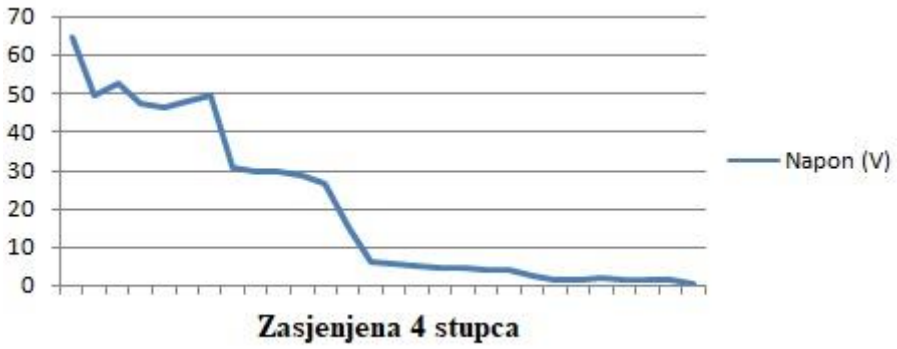
Slika 4.44. Promjena napona pri zasjeni prvog stupca modula.



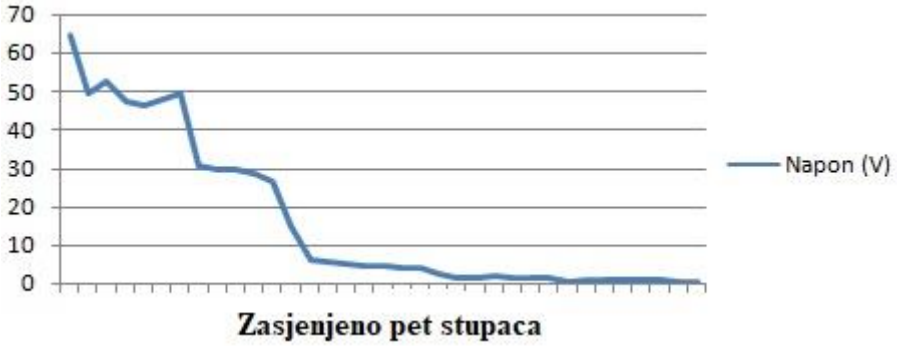
Slika 4.45. Zasjenjena dva stupca modula



Slika 4.46. Zasjenjena tri stupca modula

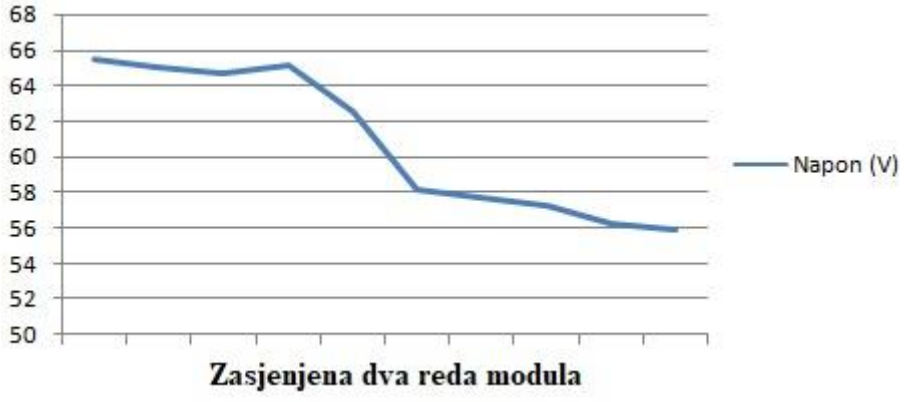


Slika 4.47. Zasjenjena četiri stupca modula



Slika 4.48. Zasjenjena pet stupca modula

Idući grafovi prikazuju promjenu napona s obzirom na zasjenu redova navedenog fotonaponskog modula.



Slika 4.49. Zasjenjena dva reda modula



Slika 4.50. Zasjenjena četiri reda modula



Slika 4.51. Zasjenjeni svi redovi modula

Zasjena	Napon (V)	Struja (A)	Snaga (W)	Postotak maksimalne snage
Stupci				
1 čelija	64,7	0,631	40,83	88,44 %
2 čelije	49,5	0,582	28,81	62,41 %
3 čelije	52,9	0,522	27,61	59,82 %
4 čelije	47,4	0,463	21,95	47,54 %
5 čelije	46,3	0,458	21,21	45,94 %
6 čelije	48,2	0,469	22,61	48,97 %
7 čelija	49,4	0,482	23,81	51,58 %
1.stupac+1 čelija	30,5	0,301	9,18	19,89 %
1.stupac+2 čelija	29,6	0,289	8,55	18,53 %
1.stupac+3 čelija	29,6	0,288	8,52	18,47 %
1.stupac+4 čelija	28,4	0,277	7,87	17,04 %
1.stupac+5 čelija	26,44	0,255	6,74	14,61 %
1.stupac+6 čelija	14,82	0,143	2,12	4,59 %
1.stupac+7 čelija	6,1	0,06	0,37	0,79 %
2.stupac+1 čelija	5,8	0,055	0,32	0,69 %
2.stupac+2 čelija	5,3	0,05	0,27	0,57 %
2.stupac+3 čelija	4,8	0,046	0,22	0,48 %
2.stupac+4 čelija	4,5	0,043	0,19	0,42 %
2.stupac+5 čelija	4,2	0,04	0,17	0,36 %
2.stupac+6 čelija	4,1	0,038	0,16	0,34 %
2.stupac+7 čelija	2,7	0,026	0,07	0,15 %
3.stupac+1 čelija	1,7	0,017	0,03	0,06 %
3.stupac+2 čelija	1,7	0,016	0,03	0,06 %
3.stupac+3 čelija	1,8	0,016	0,03	0,06 %
3.stupac+4 čelija	1,6	0,016	0,03	0,06 %
3.stupac+5 čelija	1,6	0,015	0,02	0,05 %
3.stupac+6 čelija	1,4	0,014	0,02	0,04 %
3.stupac+7 čelija	0,4	0,003	0,00	0,00 %
4.stupac+1 čelija	1	0,009	0,01	0,02 %
4.stupac+2 čelija	1	0,009	0,01	0,02 %
4.stupac+3 čelija	0,9	0,009	0,01	0,02 %
4.stupac+4 čelija	0,9	0,007	0,01	0,01 %
4.stupac+5 čelija	0,8	0,008	0,01	0,01 %
4.stupac+6 čelija	0,6	0,005	0,00	0,01 %
4.stupac+7 čelija	0,5	0,004	0,00	0,00 %

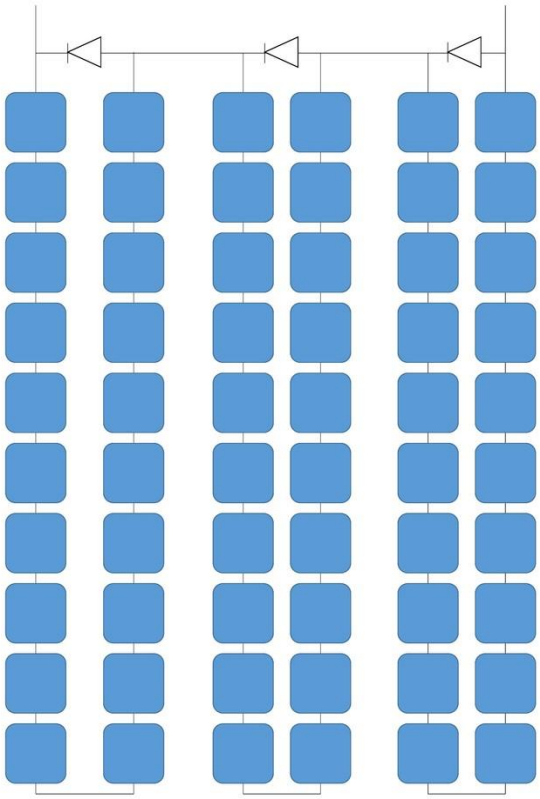
Tablica 4.11. Izmjerene vrijednosti za stupce modula

Zasjena	Napon (V)	Struja (A)	Snaga (W)	Postotak maksimalne snage
Redovi				
1 čelija	65,5	0,628	41,13	89,11 %
2 čelije	65,1	0,635	41,34	89,55 %
3 čelije	64,7	0,629	40,70	88,16 %
4 čelije	65,2	0,634	41,34	89,55 %
5 čelije	62,6	0,609	38,12	82,59 %
1.red+1čelija	58,2	0,568	33,06	71,62 %
1.red+2 čelija	57,7	0,562	32,43	70,25 %
1.red+3 čelija	57,3	0,562	32,20	69,76 %
1.red+4 čelija	56,3	0,549	30,91	66,96 %
1.red+5 čelija	55,93	0,546	30,54	66,16 %
2.red+1 čelija	51,3	0,503	25,80	55,90 %
2.red+2 čelija	51,6	0,505	26,06	56,45 %
2.red+3 čelija	50,5	0,495	25,00	54,15 %
2.red+4 čelija	50,3	0,495	24,90	53,94 %
2.red+5 čelija	46,17	0,452	20,87	45,21 %
3.red+1 čelija	42,3	0,413	17,47	37,85 %
3.red+2 čelija	43,1	0,419	18,06	39,12 %
3.red+3 čelija	42,3	0,413	17,47	37,85 %
3.red+4 čelija	41,6	0,404	16,81	36,41 %
3.red+5 čelija	36,2	0,35	12,67	27,45 %
4.red+1 čelija	31,75	0,311	9,87	21,39 %
4.red+2 čelija	31,8	0,31	9,86	21,36 %
4.red+3 čelija	30,8	0,3	9,24	20,02 %
4.red+4 čelija	28,9	0,281	8,12	17,59 %
4.red+5 čelija	22,3	0,216	4,82	10,44 %
5.red+1 čelija	22,9	0,223	5,11	11,06 %
5.red+2 čelija	20,4	0,197	4,02	8,71 %
5.red+3 čelija	18,7	0,189	3,53	7,66 %
5.red+4 čelija	15,5	0,151	2,34	5,07 %
5.red+5 čelija	15,1	0,15	2,27	4,91 %
6.red+1 čelija	14,9	0,146	2,18	4,71 %
6.red+2 čelija	4,8	0,048	0,23	0,50 %
6.red+3 čelija	4,3	0,041	0,18	0,38 %
6.red+4 čelija	3,9	0,038	0,15	0,32 %
6.red+5 čelija	3,6	0,035	0,13	0,27 %

Tablica 4.12. Izmjerene vrijednosti za redova modula

4.5. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Da bi se dobiveni rezultati mogli objasniti i usporediti potrebno je poznavati način na koji su spojene čelije unutar fotonaponskog modula. Uobičajen fotonaponski modul sastoji se od otprilike 60 čelija podijeljenih na 3 podniza od kojih je svaki zaštičen paralelno spojenom premosnom diodom. Podnizovi su povezani serijski i tako čine fotonaponski modul. Budući da su čelije serijski povezane, zasjena jedne čelije utječe na ostale što znači i drugačiji iznos napona i snage koju daje fotonaponski modul.



Slika 4.52. Spoj čelija unutar fotonaponskog modula [12]

Uspoređujući dobivene rezultate mjerenja za fotonaponskemodule BISOL BMO-250 i BISOL BMU-250 može se primjetiti da pri zasjeni ¼ fotonaponskečelije postotak maksimalne snage iznosi oko 85 %, dok potpunom zasjenom jedne čelije dobiva se 50 % manja maksimalna snaga. Kod ostala dva modula SOLAR FRONTIER SF-150 i PANASONIC HIT N240 dobiveni su nešto drugačiji rezultati. Modul SOLAR FRONTIER SF-150 ima najmanje smanjenje snage, a razlog tome je tehnologija izrade modula (bakar-indij-selenit). Pri zasjeni tek jedne čelije modul daje 88 % maksimalne snage što je značajno manje u odnosu na ostale module.

Ono što se može uočiti kod svih modula jest da postupnom zasjenom čelija pada napon te postotak maksimalne snage. Pri zasjeni dva stupca modula postotak maksimalne snage iznosi oko 45 %, a ukoliko se uz ta dva stupca zasjeni još jednačelija iz trečeg stupca, tada postotak maksimalne snage pada 11 % i pri tome je dvostruko manji proizvedeni napon. Daljnjom zasjenom čelija u trečem i četvrtom stupcu nepostoje značajnije promjene napona. Ukoliko se zasjene sva četiri stupca i pri tome zasjeni još jedna čelija iz petog stupca, postotak maksimalne snage pada na vrlo niskih 3 %, a pri tome također dvostruko manji proizvedeni napon.

Pri zasjeni redova mogu se uočiti značajnije promjena kod postupne zasjene. Pri zasjeni dvije čelije jednog reda modula postotak maksimalne snage iznosi 45 %, a ukoliko se pri tome zasjeni još dvije u istom redu, dobivamo dvostruko manji proizvedeni napon te postotak maksimalne snage od oko 11 %. Ukoliko se pri tome zasjene još dvije čelije, tada proizvedeni napon također pada za 50 %, kao i postotak maksimalne snage.

Ovakve rezultate možemo objasniti shemom koja je prikazana na slici 4.52. Sve čelije fotonaponskog modula povezane su serijski u podnizovima i pri tome je razumljivo da ukoliko dođe do zasjene jedne čelije, ona utječe na preostale čelije spojene u podnizu. Postupnom zasjenom preostalih podnizova postiže se dvostruko manji proizvedeni napon.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu opisani su fotonaponski moduli i sustavi koji se sve više koriste za iskorištavanje sunca kao obnovljivog izvora energije. Za proizvodnju električne energije iz fotonaponskih modula ključno nam je sunčevo zračenje koje nije konstantno te tako utječe i na učinkovitost fotonaponskog modula. Republika Hrvatska ima dobar potencijal za iskorištavanje ovakvog izvora energije te je sve više u korištenju. Učinkotivost modula također ovisi o tehnologija izrade.

Fotonaponski moduli imaju veliku prednost zbog toga jer su besplatan i obnovljiv izvor energije te nemaju negativan utjecaj na okoliš. Jedan od velikih nedostaka je zasjenjenje koje može imati znatan utjecaj na korisnost fotonaponskog modula. Najveća korisnost modula i snaga postižu se kada nema zasjenjenja. Iako kretanje sunca tijekom dana utječe na proizvodnju električne energije ono nema znatan utjecaj kao kada u potpunosti zasjenimo jednu ćeliju, više njih ili cijeli modul.

Kako bi se prikazao utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije izvršene su simulacije zasjenjenja na četiri različita fotonaponska modula. Zasjenjenja su izvedana na način da se postupno zasjenjuju fotonaponke ćelije u redovima i stupcima modula. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da zasjenom tek jedne ćelije modula imamo značajan pad postotka maksimalne snage i proizvedenog napona budući da su ćelije serijski povezane u podnizovima modula. Zbog toga su različiti utjecaji pri zasjeni reda i stupca. Zasjena jednog reda modula imala je puno veći utjecaj nego zasjena jednog stupca što ovisi u načinu spajanja pojedinih ćelija u modulu međusobno. Značajno manji gubici snage (u odnosu na snagu nezasjenjenog modula) su kod tankoslojnog SOLAR FRONTIER SF-150 modula zbog tehnologije izrade. Kako bi se postigla maksimalna snaga fotonaponskog modula, a time i najveća proizvodnja električne energije potrebno je pri postavljanju fotonaponskih modula povesti računa o mjestu postavljanja zbog mogućih zasjenjenja kao što su npr. nadzemna električna mreža, antenska intalacija, dimljak ili neki izgrađeni objekt.

6. Literatura

[1] Europarl europa, http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/hr/FTU_2.4.9.pdf (pristup 3.3.2018,13:18 h)

[2] Tehnologije obnovljivih izvora energije, Interna skripta, Damir Šljivac, Danijel Topić, Osijek, 2016.

[3] Technical Application Papers, http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/d54672ac6e97a439c12577ce003d8d84/$FILE/Vol.10.pdf (pristup 3.3.2018. 18:58 h).

[4] Utjecaj fotonaponskih sustava na regiju, Pelin Denis, Danijel Topić, Damir Šljivac

[5] Solvis, http://www.solvis.hr/hr/advice/suncevo-zracenje-na-podrucju-hrvatske/ (pristup 5.3.2018. 0:37 h)

[6] Solarni paneli, http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf (pristup 5.3.2018. 13:48 h)

[7] My electrical, http://myelectrical.com/notes/entryid/225/photovoltaic-pv-electrical-calculations (pristup 5.3.2018)

[8] Azkurs, http://www.azkurs.org/sustav-pohrane-komprimiranog-zraka-i-zadavanja-tlaka-u-servisn.html?page=3 (pristup 5.3.2018)

[9] E-learning, http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/2-energija-sunca-i-fotonaponske-celije/ (pristup 6.3.2018).

[10] Loomen, https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/900463/mod_resource/content/1/TOIE_2015_2016_7_energija%20sunca.pdf (pristup 6.3.2018.)

[11] Wikipedia, https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotonaponski_sustavi#/media/File:TicketParkingMeter.jpg (pristup 6.3.2018.)

[12] E-education, https://www.e-education.psu.edu/ae868/node/875 (pristup 7.3.2018.)

7. SAŽETAK

U ovom završnom radu opisani su fotonaponski moduli i sustavi koji su sve više u primjeni za iskorištavanje sunca kao obnovljivog izvora energije. Energija dobivena iz fotonaponskih modula je besplatna, a proizvodnja energije nije štetna za okoliš. Opisane su karakteristike sunčeve energije i zračenja. Jedan od nedostaka fotonaponskih modula je zasjena koja može znatno smanjiti snagu modula. Maksimalna snaga postiže se u slučaju bez zasjenjenja. Izvršena su mjerenja utjecaja zasjenjenja na četiri različita FN modula (BISOL BMO-250, BISOL BMU-250, SOLARFRONTIER SF-150 i PANASONIC HIT N240) te su dobiveni rezultati uspoređeni i analizirani.

8. ABSTRACT

In this final work, photovoltaic modules and systems are increasingly being used to exploit the sun as a renewable energy source. Energy obtained from photovoltaic modules is free and energy production is not harmful to the environment. The characteristics of solar energy and radiation are described. One of the shortages of photovoltaic modules is a shade that can significantly reduce the strength of the module. Maximum power is achieved in case of no shading. Measurements of the effect of shading on four distinct FN modules (BISOL BMO-250, BISOL BMU-250, SOLARFRONTIER SF-150 and PANASONIC HIT N240) were performed and results were compared and analyzed.

9. ŽIVOTOPIS

Ivan Knežević rođen je 19.06.1996. u Osijeku. Osnovnu školu završava u Tenji, zatim upisuje Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku, smjer elektrotehničar. Nakon toga 2015.godine upisuje preddiplomski stručni studij elektroenergetike na Elektrotehničkom fakultet u Osijeku koji je u međuvremenu promjenio naziv u Fakultet elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija. 2018. godine završio je program usavršavanja za montera solarno-toplovodnog sustava.