Mjerenje U-I karakteristika fotonaponskih modula različitih tehnologija uređajem Metrel MI 3108 EUROTEST PV

Maligec, Monika

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:200:530883

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

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

Sveučilišni studij

Mjerenje U-I karakteristika fotonaponskih modula različitih tehnologija izrade uređajem Metrel MI 3108 EUROTEST PV

Završni rad

Monika Maligec

Osijek, 2018.

SADRŽAJ

1. UVOD....1
1.1. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA....1
2. SUNČEVO ZRAČENJE....2
2.1. POSTANAK SUNČEVA ZRAČENJA....2
2.2. SPEKTAR SUNČEVOG ZRAČENJA....3
2.3 MJERENJE SUNČEVA ZRAČENJA....4
2.4. UPORABA SUNČEVE ENERGIJE....5
3. FOTONAPONSKA PRETVORBA....7
3.1 POVIJEST....7
3.2 PN SPOJ....7
3.4 OD FOTONAPONSKE ĆELIJE, DO FOTONAPONSKOG MODULA, DO NIZA....13
3.5 STC UVJETI....18
3.6 *I-U* I *P-U* KARAKTERISTIKA....18
3.7 UTJECAJ TEMPERATURE I OSVJETLJENJA NA *I-U* KARAKTERISTIKU....20
3.8 NOVE FN TEHNOLOGIJE....21
4. MJERENJE STRUJNO-NAPONSKIH KARAKTERISTIKA....23
4.1 MEDOTA MJERENJA....23
4.1.1 OPIS MJERNOG UREĐAJA....23
4.1.2 MJERENJE METEROLOŠKIH PARAMETARA....23
4.1.3 MJERENJE STRUNO-NAPONSKIH KARAKTERISTIKA....24
4.2 OPIS FOTONAPONSKIH MODULA....25
4.3 ANALIZA REZULTATA MJERENJA....28
4.3.1 CIS FOTONAPONSKI MODUL....28
4.3.2 POLIKRISTALNI FOTONAPONSKI MODUL....30
4.3.3 MONOKRISTALNI FOTONAPONSKI MODUL....32
5. ZAKLJUČAK....34
LITERATURA....35
SAŽETAK....36
ŽIVOTOPIS....37

1. UVOD

1.1. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Zadatak ovog završnog rada je u potpunosti opisati fotonaponske ćelije, te proces proizvodnje električne energije iz Sunčevog zračenja. Proces je opisan počevši od same Sunčeve energije koja je dio obnovljivih izvora energije, te u ovoj pretvorbi glavni i jedini obnovljivi izvor. Prilikom opisa fotonaponske ćelije kreće se od građe elektrona i šupljina, do stvaranja PN spoja, prikazivanja ekvivalentne sheme, formula koje uvelike pomažu prilikom matematičkih izračuna, do građe ćelije, nastajanja modula i nizova. Također, grafički su opisane ovisnosti napona i struja modula, te ovisnosti napona i snage. Grafički je prikazno što se dogodi sa strujnom i naponom na fotonaponskom modulu ukoliko dođe do zasjenjenja, te kako se ponaša prilikom čistog izlaganja suncu, te kako sama temperatura Sunčevog zračenja utječe na napon fotonaponskog modula. Istražene su i opisane i nove tehnologije izrade fotonaponskih modula, te prikazani prednosti i nedostaci. Na kraju su pomoću Metrel MI 3108 EUROTEST PV uređaja za tri različite tehnologije fotonaponskih modula snimljene strujno-naponske karakteristike te osnovni podaci kao što su snaga, temperatura ćelije te pomoću danog uređaja izračunati STC uvijeti.

2. SUNČEVO ZRAČENJE

2.1. POSTANAK SUNČEVA ZRAČENJA

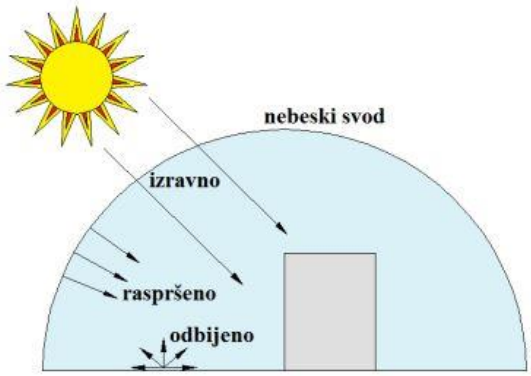
Sunčeva energija pripada grupi obnovljivih izvora energije, te kao takva smatra se neograničenom. Sunčeva energija predstavlja količinu energije prenesenu Sunčevim zračenjem na Zemljinu površinu. Mjerna jedinica koja se koristi je J (joul), ali u praksi najčešće susrećemo kWh (kilovat sat).

Sunce se nalazi u središtu planetarnog sustava kojeg uz Merkur, Veneru, Mars, Saturn, Uran i Neptun čini i Zemlja. Svojim najvećim dijelom sastoji od vodika i helija, gdje se vodik prilikom različitih kemijskih reakcija reakcija pretvara u helij. Energija koja se oslobađa prilikom tog procesa sa Sunčeve površine odlazi u svemir najvećim dijelom u obliku elektromegnetskog zračenja. Temperatura površine Sunca procjenjuje se na 5780 K. Snaga zračenja koju Sunce emitira u svemir iznosi $3{,}8 \cdot 10^{26}$ W, dok Zemlja od tog dobiva svega $1{,}7 \cdot 10^{17}$ W. Dakle udio Sunčeve energije koja se prenese na zemlju iznosi svega 1/5, dok se gotovo 2/3 energije apsorbira preko mora i oceana. Ukupna godišnja energija koja dospije na površinu Zemlje Sunčevim zračenjem iznosi oko $4 \cdot 10^{24}$ J, što je 7500 puta više energije od ukupne godišnje potrošnje energije iz svih primarnih izvora [1].

Sunčevo zračenje na Zemljinu površinu može biti:

- Izravno ili direktno
- Raspršeno ili difuzno
- Odbijeno ili reflektirano

Na slici 2.1 prikazane su komponente sunčevog zraženja ovisno o načinu upadnih zraka na postavljeni objekt na zemlji.



Slika 2.1. Sunčevo zračenje ovisno u načinu upada zraka Sunca na postavljeni objekt na Zemlji [1]

Koliko je Sunčeva energija važna govori nam podatak iz izvora [2] kako u jednoj sekundi Sunce oslobodi više energije nego što je cijela zemaljska civilizacija iskoristila tijeskom svojeg razvoja. Pretvorba sunčeve energije u druge korisne oblike energije uvelike pomaže pri rješavanju sve prisutnije energetske krize.

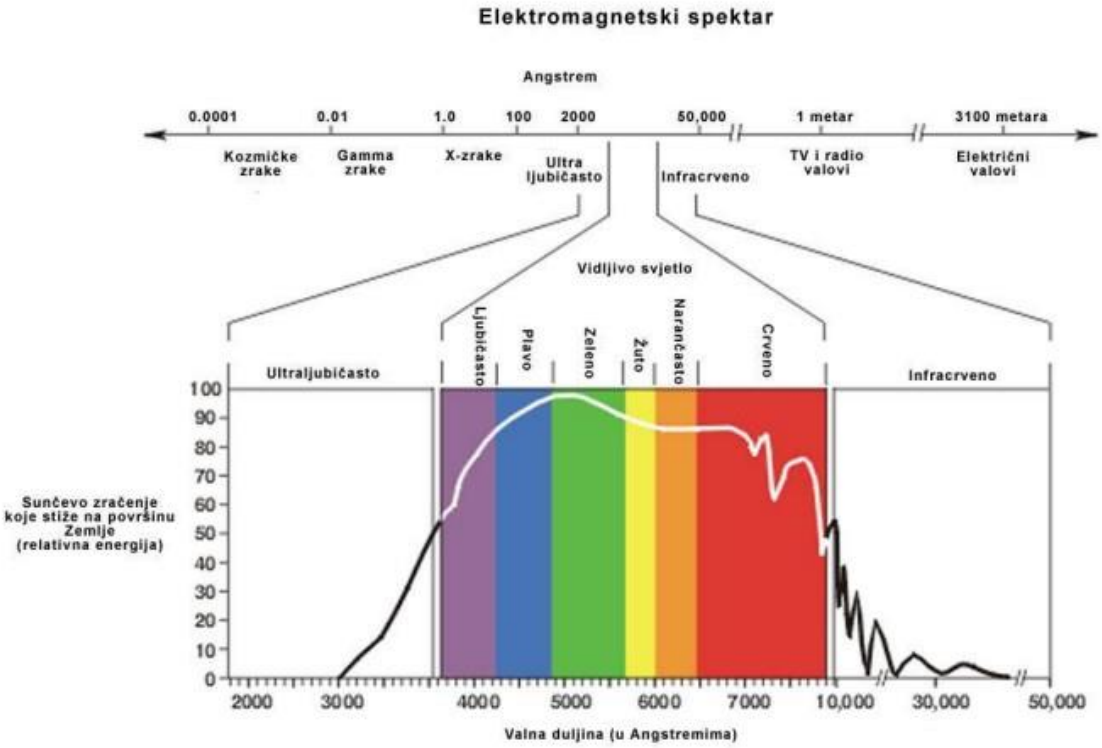
Sunčeva se energija nejčešće pretvara u toplinsku energiju (sustavi grijanja, sustavi potrošnje tople vode, solarne termoelektrane itd.), te električnu energiju (fotonaponska pretvorba). Izrava pretvorba sunčeve energije u električnu energiju u fotonaponskim ćelijama temelj je izrade ovog završnog rada koji će u kasnijim poglavljima biti detaljnije opisan.

2.2. SPEKTAR SUNČEVOG ZRAČENJA

Spektar elektromagnetskog zračenja prikazano na slici 2.2 obuhvaća sunčevo zračenje sadrži radio-valove, mikrovalove, infracrveno zračenje, vidljivu svjetlost, ultraljubičasto zračenje, X-zrake i Y-zrake. Svako od ovih područja zračenja određeno je vlastitom valnom duljinom. Ljudsko oko razlikuje samo spektar između 380 nm i 780 nm valne duljine, što se još naziva vidljivi spektar ili vidljiva svjetlost. Vidljiva svjetlost koju oko razlikuje očituje se u različitim bojama ovisno o valnoj duljini U tablici 2.1 prikazan je raspon boja vidljivih ljudskom oku ovisno o njihovoj valnoj duljini i frekvenciji.

Tablica 2.1 Raspon boja vidljivih ljudskom oku ovisno o njihovoj valnoj duljini i frekvenciji [3]

BOJA	RASPON VALNE DULJINE	RASPON FREKVENCIJE
Crvena	625 nm – 740 nm	480 THz – 405 THz
Narančasta	590 nm – 625 nm	510 THz – 480 THz
Žuta	565 nm – 590 nm	530 THz – 510 THz
Zelena	500 nm – 565 nm	600 THz – 530 THz
Cijan	485 nm – 500 nm	620 THz – 600 THz
Plava	440 nm – 485 nm	680 THz – 620 THz
Ljubičasta	380 nm – 440 nm	790 THz – 680 THz



Slika 2.2 Elektromagnetski spektar zračenja [3]

2.3 MJERENJE SUNČEVA ZRAČENJA

Kako bi smo utvrdili na kojoj je lokaciji potencijal Sunčevog zračenja na zavidnoj razini potrebno je izvršiti mjerenje i analitički proces razradbe. Mjerenje Sunčevog zračenja može se izvršiti lokalno ili satelitski.

Globalno zračenje obuhvaća ukupno kratkovalno zračenje i u obliku izravnog (direktnog) ili raspršenog (difuznog) zračenja dolazi na površinu Zemlje. Mjerenje globalne ozračenosti na horizontalnu površinu izvršava se pomoću piranometra čija izvedba može biti termička ili poluvodička. Instrument je to koji je trajno izložen vanjskim utjecajima pa mora biti čvrste izvedbe i otporan na različite vremenske neprilike. U upotrebi su najčešće termički piranometri koji koriste toplinske detektore koji proizvode napon principom termoelektričnog efekta ovisno o upadu Sunčevog zračenja. Poluvodička izvedba ne zadovoljava uvjete Svjetske meteorološke organizacije s obzirom na spektralnu osjetljivost. Silicij od kojeg su najčešće i izgrađeni imaju veliku spektralnu osjetljivost stoga se najviše koriste za mjerenje pod raslinjem, kod mjerenja umjetne rasvjete ili za mjerenje odbijenog zračenja.

2.4. UPORABA SUNČEVE ENERGIJE

Energiju sunca moguće je na dva načina pretvoriti u električnu energiju. Jednom kada je pretvorena što dalje s njom i kako ju koristiti, gdje upotrebljivati odlučuje isključivo čovjek i njegovo znanje. Prvi način je direktan, gdje se solarna energija putem fotonaponskih ćelija pretvara u električnu energiju, te indirektna pretvorba kod koje se pomoću zrcala stvara toplinska solarna energija koja se kasnije pomoću parnih turbina pretvara u električnu energiju [4].

Sunčeva se energija ne mora koristiti isključivo za prozivodnju električne energije, no uz električnu uvelike je zastupljena i toplinska energija koja je u današnje vrijeme razvojem tehnologije doživjela vrhunac.

Proizvodnja toplinske energije iz električne može izvršiti na dva načina podrazumjevajući pasivno i aktivno solarno grijanje [5].

Pasivno solarno grijanje podrazumjeva razne tehnologije pomoću kojih se sunčevo zračenje može iskoristiti za zagrijavanje objekata. Pasivno grijanje podrazumjeva pretvorbu sunčevog zračenja u druge oblike energije, najčešće toplinski gdje se transport toplinske energije vrši prirodnim putem pomoću konvekcije, kondukcije ili zračenja. Ovakav se oblik grijanja koristi sa sistemima koji toplinsku energiju sunca apsorbiraju, akumuliraju, a tada kada se temperatura spusti do određene razine, akumulirana energija oslobađa se te na taj način zagrijava prostor. Ugradnja ovakvih sistema ne zahtjeva preveliki financijski trošak ukoliko se ugrađuje u nove objekte, zbog toga što se za akumulaciju i distribuciju energije koriste prozori, vrata, zidovi, podovi itd.Ukoliko se ugrađuje u već postojeće, financijski je trošak veći no isplativost se vidi unutar nekoliko godina. Upravo je to glavna razlika između aktivnog i pasivnog grijanja, jer pasivno grijanje ne zahtjeva dodatne uređaje [5].

Aktivno solarno grijanje podrazumjeva zagrijavanje vode ili prostora pomoću solarnih kolektora. Solarni sustav pomoću kojeg se vrši zagrijavanje čine solarni kolektori, solarni spremnici, solarne crpke, solarne radne tvari, regulacijske jedinice solarnog sustava, cjevovodi i toplinska izolacija. Solarni kolektori služe za prikupljanje i apsorbiranje sunčeve energije. Svjetlost prolazi kroz površinu kolektora, koji propušta zračenje u samo jednom smjeru. Nakon toga pretvara se u toplinu koja se predaje prikladnom prijenosniku toplinske energije. Prijenosnik toplinske energije najčešće je voda. Voda se podrazumjeva pod pojmom solarne radne tvari, koja prenosi toplinu u akumulator topline odnosno solarni spremnik. U solarnim se spremnicima prikuplja toplinska energija dobivena iz sunčeve energije. Vanjština spremnika načinjena je od tvrdnog poliuretana koji osigurava visok stupanj toplisnke izolacije. Veličina spremnika ovisit će o potrebama za toplom vodom i vrsti izvora energije. Solarne crpke su pumpe koje služe za prijenos radne tvari s niže na višu razinu, odnosno s nižeg tlaka na viši. Solarni sustavi mogu biti otvoreni, sustav u kojem voda koja se zagrijava prolazi direktno kroz kolektor, ili zatvoreni, sustav u kojem je kolektor popunjen tekućinom koja se ne smrzava i može se koristiti kod vanjskih temperatura ispod ništice. Solarni kolektori dakle izravno pretvaraju sunčevu energiju u toplinsku energiju. Postoje različite izvedbe solarnih kolektora: ravni odnosno standardni kolektori itanjurasti odnosno parabolični kolektori [6].

Ravni (standardni) kolektori konstrukcijski su izvedeni u obliku ravne ploče. Njihova se glavna karakteristika odlikuje visokim temperaturama, pa se krosite na mjestima gdje temperatura radne tvari (vode) ne prelazi 90°C. Najčešće se koriste za zagrijavanje sustava PTV-a i bazenske tehnike. Oni kolektori srednje temeprature koriste se za proizvodnju vruće vode za tembene potrebe, neposredno kuhanje i sl. [6].

Tanjurasti (parabolični) kolektori uglavnom se ugrađuju unutar elektrana. Sagrađeni su od nizda paraboličnih ogledala zakrivljenih isključivo oko jedne osi, te tanjurastih solarnih kolektora koji je smješten iznad njih. Pomicanje ogledala vrši se pri promjeni položaja Sunca. Zrake sunčeve svjetlosti putuju tako da se odbijaju o ogledala te ciljano padaju u središnju točku odnosno solarni kolektor koji se nalazi iznad njih. Unutar ovakvih kolektora vladaju iznimno visoke temperature, a za dobivanje električne energije koristi se parni motor [6].

Republika Hrvatska zbog svog zemljopisnog položaja ima vrlo povoljne uvjete za iskorištavanje sunčeve energije. Južni dio RH izrazito je pogodan za postavljanje fotonaponskog sustava, pa se tako instalirana strana u južnom djelu kreće između 1100 kWh do 1330 kWh, dok se u kontinentalnom djelu kreće između 1000 i 1100 kWh [7]. Unatoč pogodnom zemljopisnom položaju RH načazi se na samom dnu Europe po instaliranim solarnim sustavima, te sa sigurnošću možemo reći kako u RH nije iskorištena sve prednost Sunčeve energije [8].

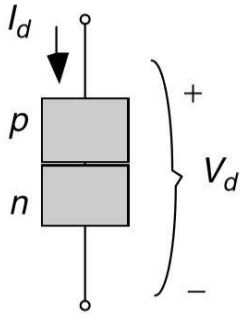
3. FOTONAPONSKA PRETVORBA

3.1 POVIJEST

Otkriće fotonaponskog efekta zasigurno je dovelo do novog vala u napretku tehnologije. Edmond Becquerela zadužan je za novo otkriće. Njegov rad i eksperimentiranje svelo se na elektrolitičke ćelije sastavljene od dvije metalne elektrode spoje vodičem. Prolaskom Sunčevog zračenja kroz fotonaponsku ćeliju dio energije predaje se elektronima koji se tom prilikom oslobađaju te pomiču prema površini ćelije. Posljedica pomicanja elektrona je neravnoteža koja se javlja u broju elektrona između gornje i donje strane ćelije. Spoj ćelija vodičem uzrokuje protjecanje istosmjerne struje.Važno je napomenuti kako samo zračenje određene vale duljine osigurava izbijanje elektrona, te u konačnici istosmjernu struju. Zračenje valnom duljinom većom od granične ne izbija elektrone jer elektroni ne mogu dobiti dovoljno energije za raskidanje veze s atomom. Godine istraživanja dovele su doo vrlo važne godine, 1954.godine kada se pojavio silicij kao poluvodički materijal. Sredinom pedesetih godina izdiže se prva poslovna zgrada koja koristi solarno grijanje vode. Upravo je taj solarni sustav ušau u povijest kao prvi solarni sustav za grijanje u svijetu [4].

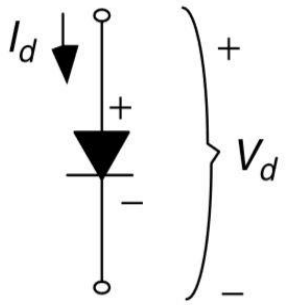
3.2 PN SPOJ

Kada govorimo o pluvodičima u početku najčešće opisujemo konvencionalnu PN spoju diodu čiji je simbol prikazan na slici 3.1 kod koje ako zanemarimo napon V_d struja će poteći sa P na N stranu spoja. Ukoliko pokušamo struju potjerati u suprotnom smjeru poteći će tek mala inverzna struja zasićenja. Inverzna struja zasićenja javlja se kao posljedica termalno generiranih nosioca, odnosno šupljine se negeriraju na P strani dok se elektroni generiraju na N strani. Tada pad napona na diodi iznosi tek nekoliko desetina volta [9].



Slika 3.1 PN spojna dioda [9]

Simbol realne diode ispunjeni je trokut s crtom; trokut predstavlja strijelicu koja je izvrstan podsjetnik na smjer u kojem dioda propušta struju. Upravo tako ispunjen trokut razlika je između idealne diode i realne diode prikazane na slici 3.2. Idealna dioda nema pad napona u smjeru u kojem propušta struju, niti propušta ikakvu inverznu struju [9].



Slika 3.2 Simbol realne diode [9]

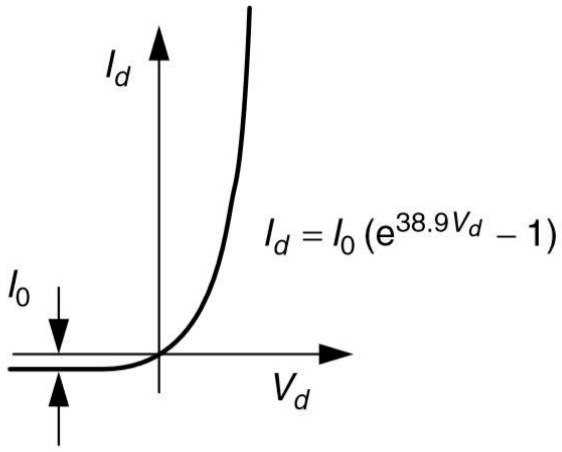
Strujno naponska karakteristika PN spojne diode opisuje se Shockleyevom jednadžbom

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{qV_d}{KT}} - 1 \right) \tag{3.1}$$

gdje je:

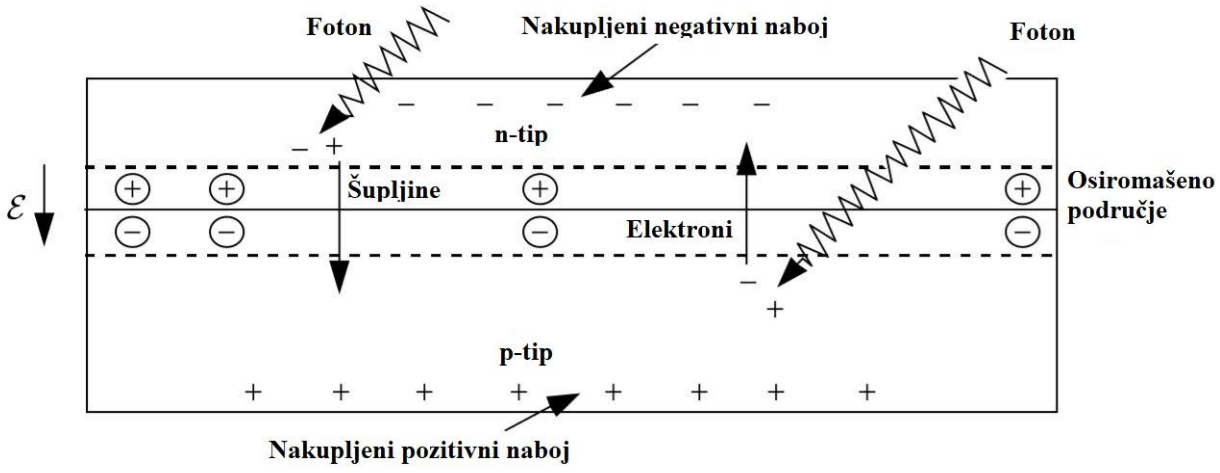
- I_d struja diode u propusnom smjeru,
- V_d napon narinut na diodu od P strane prema N strani
- I_0 je reverzna struja zasićenja.

U jednadžbi također senalazi Boltzmannova konstnata *k*, naboj elektrona *q*, te temperatura na spoju izražena u kelvinima *T*. Najčešće se prilikom rješavanja zadataka kao standard uzima 25 °C. Upravo uz pomoć tih konsantnih t = 25°C, te Boltzmannove konstante i kontantne naboja elektrona dobijemo vrijednos od 38.9 A kao što je prikazano na slici 3.3 te uvršteno u Shockleyevu jednadžbu [9].



Slika 3.3 Struno-naponska karakteristika realne diode [9]

Sada kada smo opisali PN spoj, možemo razmotriti što se događa s PN spojem kada se izloži sunčevom zračenju. Prilikom izlaganja PN spoja fotoni absorbiraju te se stvaraju parovi šupljina elektrona. Ukoliko se ovi nosioci napona nađu u blizini PN spoja, električno polje u osiromašenom području gurnuti će šupljine na P stranu, dok će elektroni biti pogurnuti na N stranu. P strana akumulira šupljine, a N strana akumulira elektrone što stvara napon. Ako spojimo električne kontakte na vrh i dno ćelije, elektroni će poteći iz N strane žicom prema teretu, kroz teret i natrag žicom u P stranu. Cijeli ovaj prethodno opisan proces prikazan je grafički na slici 3.3 [9].



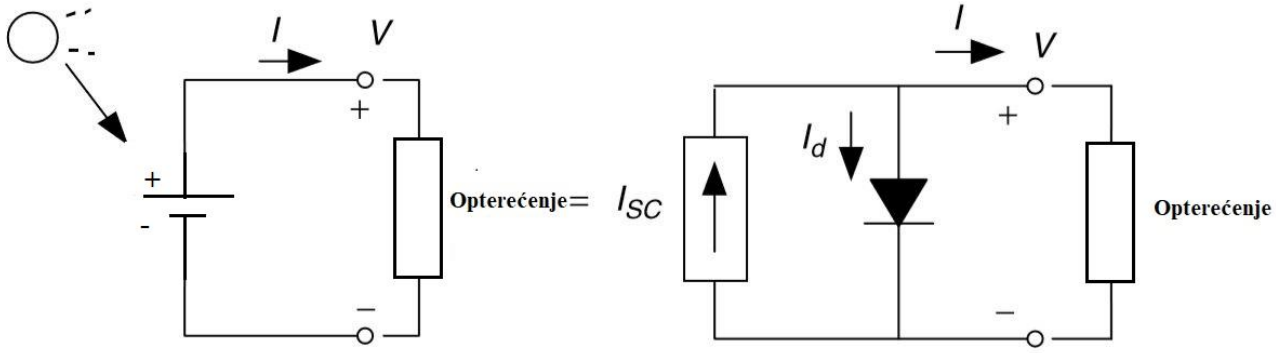
Slika 3.3 Fotonaponska ćelija [9]

Kako sam vodič ne može provoditi šupljine, u stvarnosti samo će se elektroni kretati u ovakvom strujnom krugu. Kada dođu do P strane rekombinirati će se sa šupljinama i upotpuniti struni krug. Pošto je pozitivan smjer struje suprotan od smjera toka elektrona, smjer struje na slici biti će od P strane, prema teretu, pa do N strane [9].

3.3 EKVIVALENTNA SHEMA FN ĆELIJE

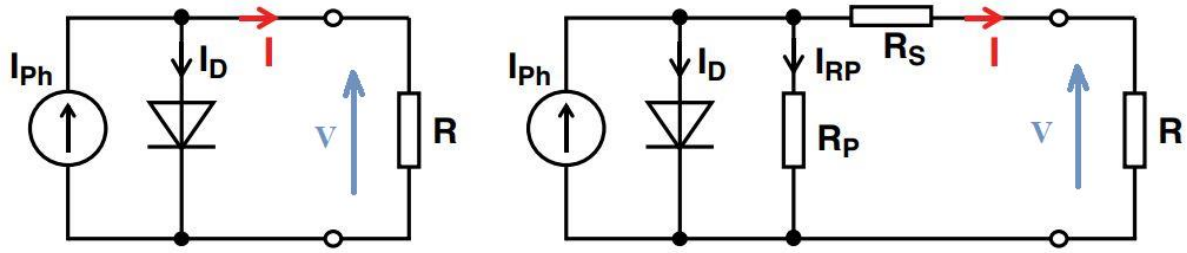
Jednostavan strujni krug fotonaponske ćelije sastoji se od realne diode paralelno spojene sa idealnim strujnim izvorom kako je prikazano na slici 3.4 [9].

Idealni strujni zvor dovodi struju koja je proporcionalna solarnom zračenju kojem je izložena ćelija.



Slika 3.4 Strujni krug fotonaponske ćelije [9]

Ekvivalentna shema fotonaponske ćelije prikazna je na sljedećoj slici.

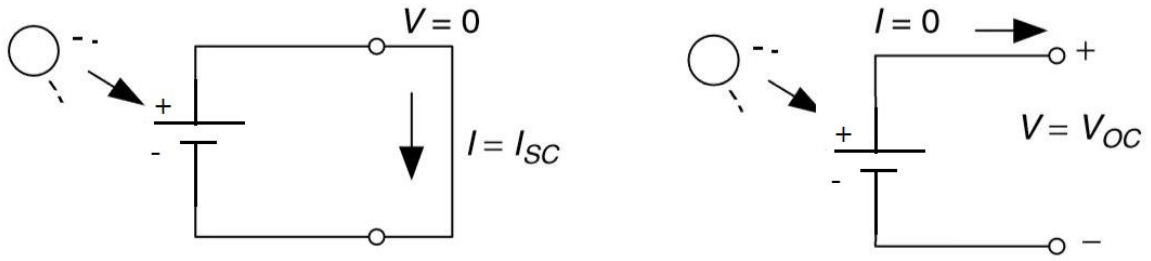


Slika 3.5 Ekvivalentna shema fotonaponske ćelije [9]

Dva su uvjeta za fotonaponsku ćelije i njezin ekvivalentni strujni krug:

- Struja koja teče kada se krajevi kratko spoje (I_{sc})
- Napon na krajevima kada je strujni krug otvoren (V_{oc})

Slika 3.6 prikazuje navedene uvijete za fotonaponsku ćeliju.



a) b)

Slika 3.6 a) Ekvivalentna shema strujnog kruga FN ćelije kada su krajevi kratko spojeni [9]

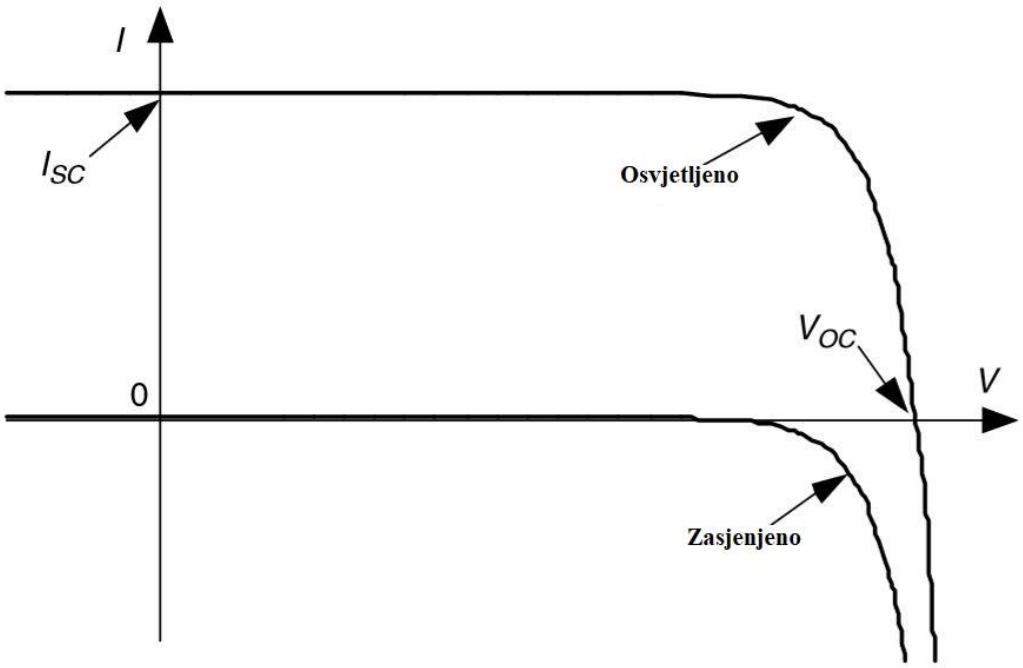
b) Ekvivalentna shema strujnog kruga FN ćelije kada je strujni krug otvoren [9]

Ukoliko su krajevi kratko spojeni, struja kroz realnu diode ne protječe jer je $V_d = 0$, te zbog toga sva struja protječe kroz kratko spojene krajeve. Pošto struja kratkog spoja mora biti jednaka idealnoj struji diode u ovom slučaju, možemo napisati jednadžbu za ekvivalentni strujni krug fotonaponske ćelije

$$I = I_{sc} - I_d \tag{3.2}$$

Ukoliko Shockleyevu jednadžbu implementiramo u jednadžbu 3.2 dobijamo jednadžbu

$$I = I_{sc} - I_0(\, e^{\frac{qV}{KT}} - 1) \tag{3.3}$$



Slika 3.7 Strujno-naponska karakteristika fotonaponske ćelije kada je ćelija osvjetljena te kada je ćelija zasjenjena [9]

Kada je strujni krug otvoren, *I*=0, te rješavanjem jejdnadžbe 3.3 za otvoreni strujni krug dobijemo

$$V_{oc} = \frac{KT}{q}\ln(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1) \tag{3.4}$$

Uvrštavanjem konstantnih 25°C

$$I = I_{sc} - I_0(\, e^{38.9V} - 1) \tag{3.5}$$

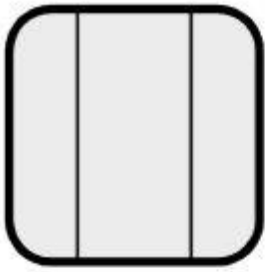
$$V_{oc} = 0.0257\,\ln(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1) \tag{3.6}$$

U obje je jednadžbe struja kratkog spoja propocrionalna izlaganju ćelije sunčevom zračenju, što znači da se lako mogu izvosti i strujno-naponske karakteristike fotonaponske ćelije za razine osvjetljenja [9].

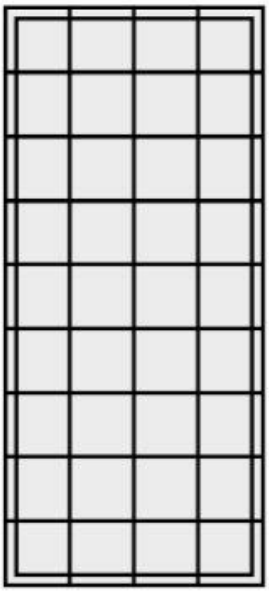
3.4 OD FOTONAPONSKE ĆELIJE, DO FOTONAPONSKOG MODULA, DO NIZA

Jedna individualna ćelija prikazana na slici 3.8 proizvodi samo oko 0,5 V stoga je vrlo rijetka primjena samo jedne ćelije. Tako se kao osnovna jedinica za gradnju fotonaponskih sustava „modul“ prikazan na slici 3.9 sastoji se od broja ožičenih ćelija u seriji, učahurenih u čvrste, vodootporne pakete. Tipičan modul ima 36 ćelija u seriji i često se označva kao 12-V modul iako je sposoban proizvesti puno veće iznose napona. Neki 12-V moduli imajuu samo 33 ćelije, što je vrlo poželjnoo u vrlo jednostavnim sustavima punjenja baterija. Veliki 72-V ćelijski moduli danas su vrlo česti, od kojih su neki povezani serijski te se onda nazivaju 24-V modulima. 72-ćelijski moduli mogu se povezati na način da su sve ćelije spojene serijski (24-V modul) ili kao 12-V moduli sa dva paralelna niza od po 36 serijski spojenih ćelija [9].

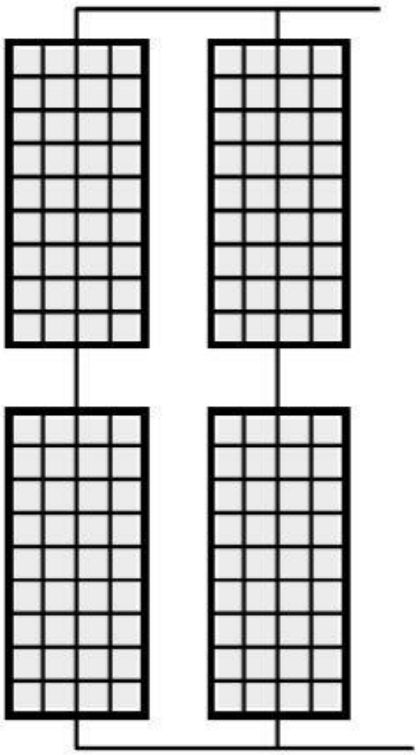
Povezivanjem više modula u seriju dobiva se povećanje napona, dok povezivanjem u paralelu ostvaruje se povećanje struje. Važan element u dizajniranju FN ćelija je odlučivanje koliko modula treba biti spojeno u seriju, a koliko u paralelu da bi se kao krajnji razultat ostvarila željena količina energije. Takve kombinacije nazivaju se nizovi FN ćelija prikazani na slici 3.10.



Slika 3.8 Fotonaponska ćelija [9]

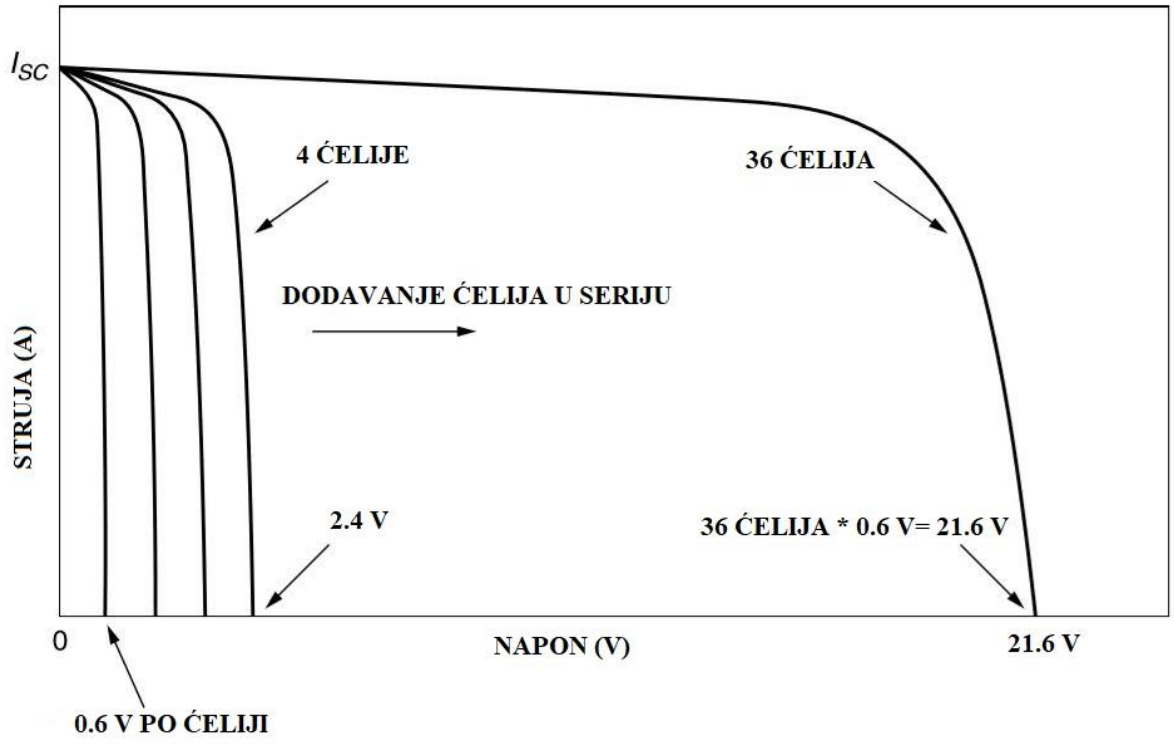


Slika 3.9 Fotonaponski modul [9]



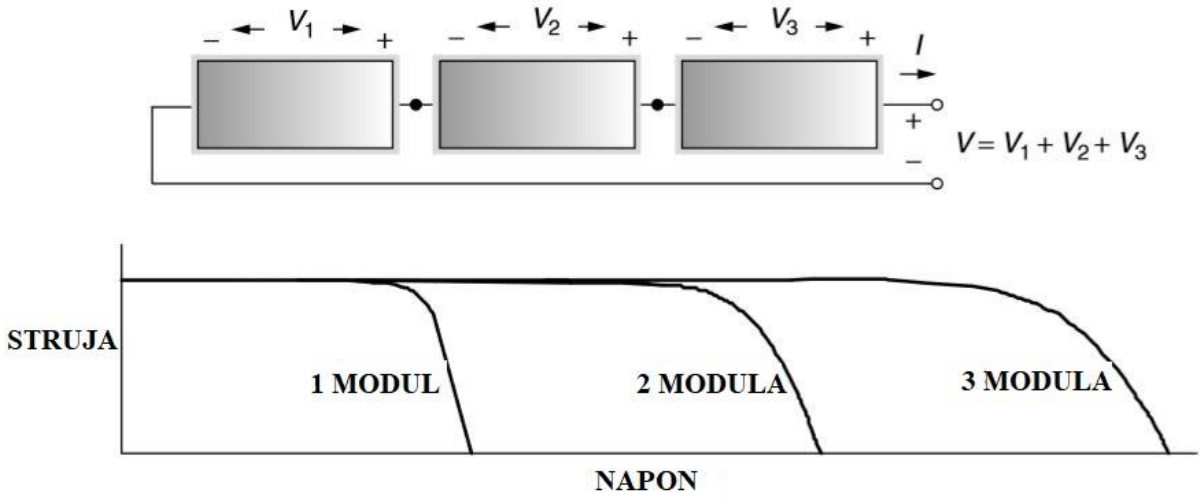
Slika 3.10 Fotonaponski niz [9]

Kada su FN ćelije spojene u seriju, sve prenose istu količinu struje, i za bilo koju vrijednost struje dobija se vrijednost napona kako je i prikazano na slici 3.11



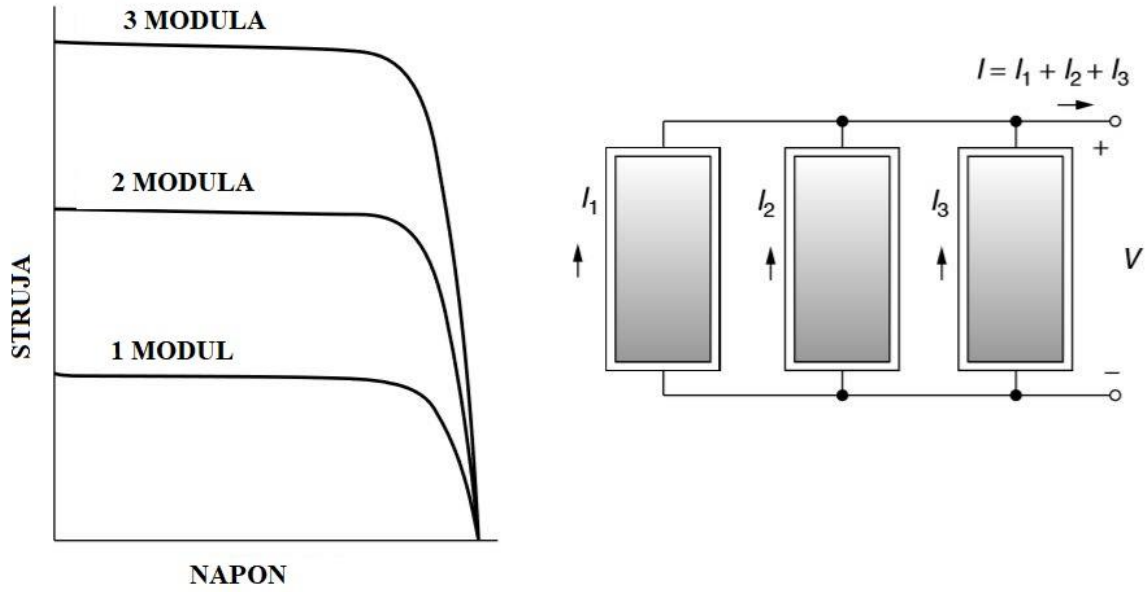
Slika 3.11 Strujno naponska karakteristika serijski spojenih ćelija [9]

Kada se moduli povezuju u kombinaciju serije i paralele nastaju fotonaponski nizovi koji upravo kombinacijom serije i paralele povećavaju snagu. Za serijske module, strujno naponske karakteristike se jednostavno zbrajaju po naponskoj osi, odnosno za bilo koju struju ukupan napon je zbroj zasebnih napona po pojedinim modulima. Serijski spoj modula te njihove strujno-naponske karakteristike prikazane su na slici 3.12 [9].



Slika 3.12 Serijski spoj FN modula [9]

Za module u paraleli prikazane na slici 3.13, svi moduli imaju jednak napon i ukupna struja suma je svih strujna. Odnosno za bilo koji napon strujno naponske karakteristike krivulje su zbroj zasebnih struja svih modula u paraleli [9].

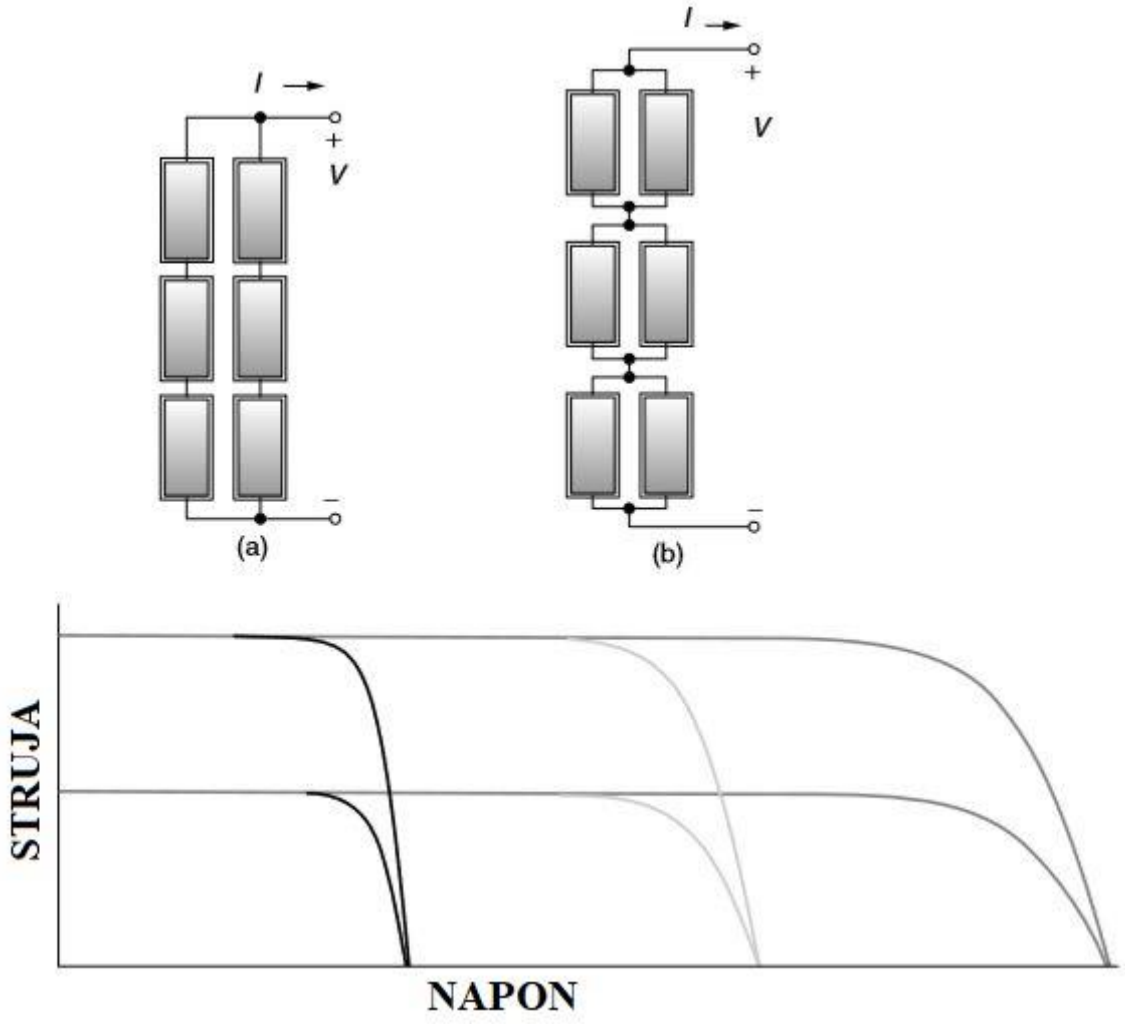


Slika 3.13 Paralelni spoj FN modula [9]

Kada je korisniku potrebna velika količina snage, niz će se obično sastojati od kombinacije seijski i paralelno povezanih modula za koje je ukupna strujno naponska karakteristika suma individualno strujno naponskih karakteristika. Kod nizova moguća su sva načina ožičenja modula:

- Serijski moduli ožičavaju se kao nizovi, nizovi se ožičavaju u paralelu
- Paralelni moduli ožičavaju se zajedno te se kasnije povezuju u paralelu

Ukoliko dođe do situacije da se kompletan niz mora iz nekog razloga ukloniti iz pogona, red i dalje može dostaviti bilo kakav potreba napon koji je potreban, iako će se struja smanjiti, što nije slučaj kada se ukloni paralelna grupa modula [9].



Slika 3.14 Utjecaj serijsko-paralelnih kombinacija na U-I karakteristiku fotonaponskog niza

a) Serijski moduli ožičeni kao nizovi, nizovi ožičeni u paralelu [9]
b) Paralelni moduli ožičeni zajedno, te kasnije povezani u paralelu [9]

3.5 STC UVJETI

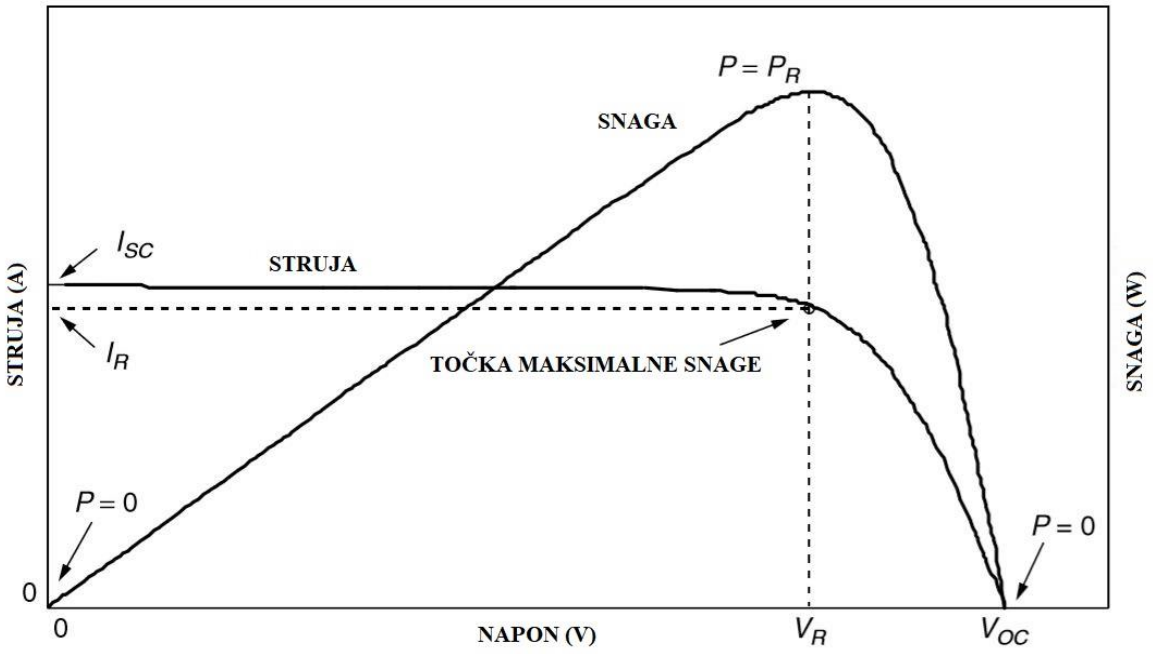
STC uvijeti (eng. Standard Test Conditions) tvore jedinstvene uvjete ispitivanja koji omogućuju provođenje usporedbe fotonaponskog modula različitih proizvođača [11].

Uvjeti ispitivanja definirani su:

- Zračenje 1000 W/m^2
- Temperatura t =25°C
- Masa zraka, debljina atmosfere koja se još označava kao AM, u Europi =1,5

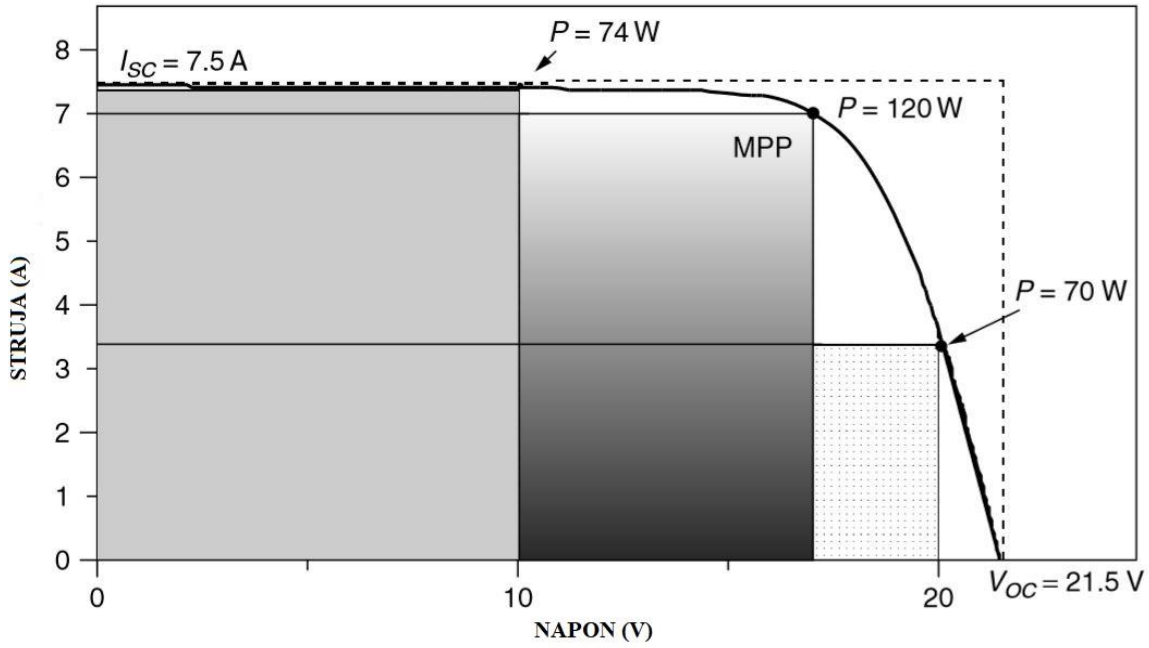
3.6 *I-U* I *P-U* KARAKTERISTIKA

Za promatranje strujno naponske karakteristike uzeti ćemo za primjer jedan fotonaponski modul i na njega spojen teret (baterija, pumpa, istosmjerni motor i sl.). Prije spojenog tereta na FN modul, takav modul izložen suncu proizvesti će napon otvorenih kontakata V_{oc}, no neće poteći struja. Ako se kontakti modula kratko spoje (što ne šteti samom modulu), poteći će struja kratkog spoja I_{sc} , ali izlazni napon neće biti 0. U oba slučaja kako je snaga produkt struje i napona, teret neće primiti nikakvu snagu. Kada se teret spoji, kombinacija struje i napona će se pojaviti i dati određenu energiju teretu. Kako bi otkrili kolika snaga, moramo promotriti *I-U* karakteristiku modula i tereta. Slika 3.15 prikazuje karakteristikuu Fn modula te nekoliko ključnih parametara uključujući i napon otvorenog strujnog kruga te struju kratkog spoja. Također prikazan je i produkt struje i napona, odnosno snaga na teretu. Na krajevima karakteristike izlazna snaga jedna je nuli, pošto su i struja i napon nula. Točka maksimalne snage toča (eng. MPP, maximum power point) je blizu pregiba krivulja na kojoj je produkt struje i napona najveći. Takve struje i naponi označavaju se kao V_m , I_m ili V_R, I_R [9].



Slika 3.15 I-U karakteristika, P-U karakteristika fotonaponskog modula i tereta [9]

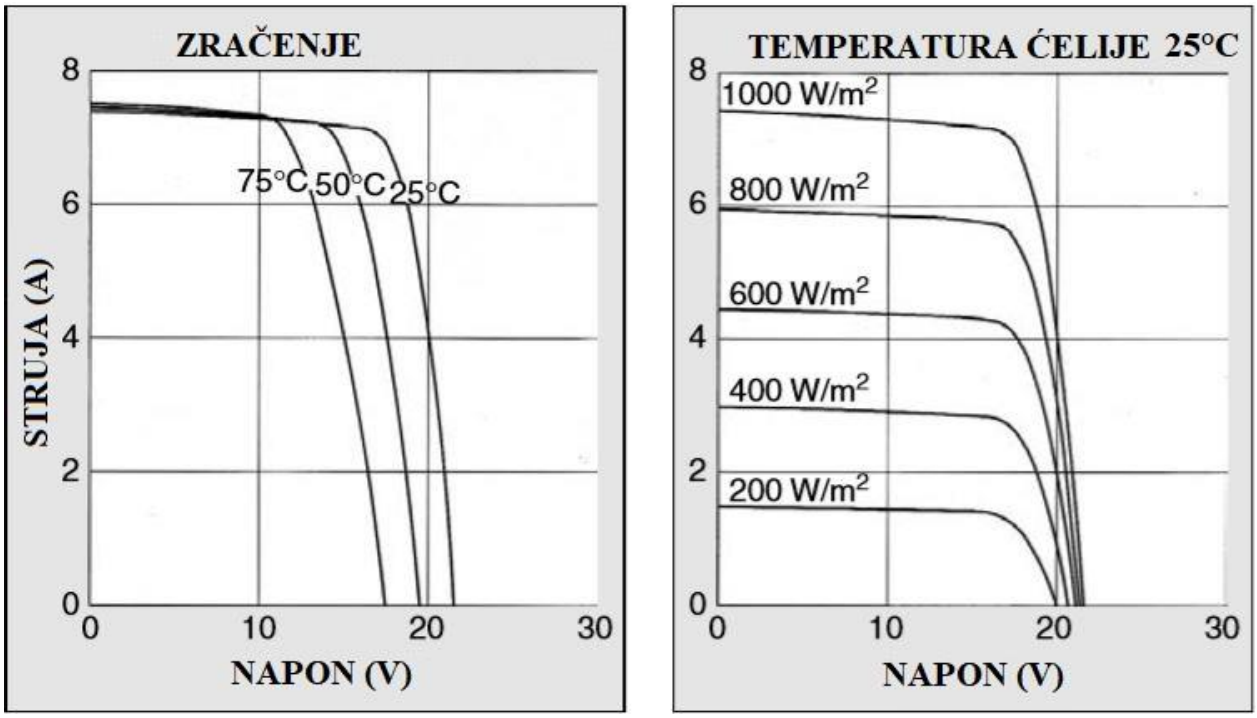
Jedan od načina kako si predočiti točne koordinate točke maksimalne snage, je pokušati pronaći pravokutnik najveće moguće površine ispod krivulje. Upravo je to prikazano na slici 3.16. Stranice pravokutnika odgovaraju naponu i struji, pa je površina snaga. Još jedan faktor koji karakterizira FN modul je FF faktor (eng. Fill Factor). FF faktor omjer je najveće snage i produkta V_{oc} i I_{sc} [9].



Slika 3.16 Određivanje točke maksimalne snage pomoćuu površine [9]

3.7 UTJECAJ TEMPERATURE I OSVJETLJENJA NA *I-U* KARAKTERISTIKU

Proizvođači nam najčešće prikazuju strujno naponske karakteristike koje se mijenjaju promjenom temperature i osvjetljenja. Slika 3.17 primjerice prikazuje višekristalni silicijski modul od 120W.



Slika 3.17 Ovisnost temperature ćelije i sunčevog zračenja o naponu modula [9]

Kako opada osvjetljenje vidimo kako proporcionalna opada i struja kratkog spoja. Jednostavno rečeno ako osvjetljenje padne z apola, struja također padne za pola. Smanjenje osvjetljenja smanjuje napon otvorenih kontakata, no uu logaritamskom odnosu koji rezultira vrlo malim promjenama tog napona. Kako je prikazano na slici 3.17 kako se poveća temperatura ćelije, napon otvorenog strujnog kruga značajno opada dok se struja kratkog spoja povećava vrlo malo. Na veliko iznenađenje fotonaposnke ćelije zapravo puno bolje rade za hladnijih ali vedrih dana nego za vrijeme vrućina. Istraživanjima došlo se do zaključka kako se snaga smanjuje za otprilike 0,5% po stupnju Celzijevom [9].

Karakteristike variraju ovisno o temperaturi no ne samo zbog promjene ambijentalne temperature, već i promjenom osvjetljenja. Vrlo mala količina osvjetljenja koja dopire do ćelije pretvara se u elektricitet i prenosi, a većina se energije absorbira i pretvara u toplinu. Da bi odgovornim osobama pomogli oko dizajniranja FN sistema kod promjene rada ćelija odnosno kod promjene temperature, proizvođači često zapisuju faktor NOCT (eng. Normal operating cell

temperature). NOCT je temperatura u modulu kada je temperatura okolina prosječnih 20 °C, a solarno zračenje 0,8 kW/m^2, brzina vjetra 1 m/s. Kod izračuna drugih ambijentalnih uvjeta, koristi se sljedeći izraz: [9].

$$T_{cell} = T_{amb} + (\frac{NOCT - 20\,°C}{0.8}) \cdot S \tag{3.7}$$

3.8 NOVE FN TEHNOLOGIJE

Materijal od kojih su načinjene fotonaponske ćelije izrazito je bitan faktor kod određivanja iskoristivosti i cijene. Koji ćemo materijal odnosno uzvedbu odabrati ovisi isključivo o ishodu kojeg želimo dobiti i kako će fotonaponske ćelije biti korištene. Razvojem tehnologije razvijaju se i razne kombinacije materijala no među najpoznatijim tehnološkim pravcima očituju se: monokristalni i polikristalni silicij, tanki limovi, galij-arsenid, kadmij-telurid, te na kraju novi koncepti koji bi nižom cijenom trebali dati veću efikasnot.

Kada govorimo o proizvodnji monokristalnih ćelija važno je napomenuti kako je za njihovu proizvodnju potreban apsolutni čisti poluvodički materijal. Izvodi se na način da se monokristalni štapići izvade iz rastaljenog silivija i reže na tanke pločice što omogućuje relativno visok stupanj iskoristivosti. Prema procjeni iskoristivost ovakvih ćelija kreće se do čak 21%. Konstrukcijski gledano, površina presjeka monokristala od kojeg se izvode ćelije kreće se od 5 do 10 cm, dok im je debljina između 0,2 i 0,3mm. Iznos elektromotorne sile koju prozivode kreće se od 0,55 do 0,70 V. Jedan od nedostataka ovakve izedbe je što je proizvodna cijena vrlo visoka zbog izraziti zahtjevnih i složenih tehnoloških postupaka, no napredkom tehnologije proizvođači su uspjeli znatno sniziti proizvodnu cijenu. Poseban problem je zasigurno vijek trajanja solarnih ćelija koje su izložene konsantnim vanjskim utjecajima [10].

Kada na tanki lim siliciija stavimo staklo ili neku drugu podlogu to nazivamo amorfnom ili tankoslojnom ćelijom. Trškovi proizvodnje znatnije su niži od monokromatskih fotonaponskih ćelija zbog toga što je debljina sloja manja od 1µm pa je samim time i cijena materijala niska. Ovakva se izvodba smatra cjenovno prihvatljivijom no s nižim stupnjem djelovanja. Ipak, razvojem tehnologije i novim orktićima stupanj iskorištenosti u znatnom je porastu [10].

Fotonaponske ćelije od galij-asrenida izrađuju se u obliku tankog lima od jedne i dviju komponenata. Takav bi oblik ćelije prema predviđanjima trebao pružiti iznimnu efikasnot. Teorijski, ostvarena je efikasnost između 25% i 40% što potvrđuje predviđanja stručnjaka. Različitim mjerenjima ostvarena je iskoristivost tek između 11% i 13%. Najveći je nedostatak ovakve izvedbe ipravo visoka cijena koja zapravo daje vrlo nisku iskoristivost. Razvitak troslojne i četveroslojne izvedbe ćelija teorijsi daje još veće učinkovitosti, 44,4% za troslojne izvedbe i 44,7% za četveroslojne [10].

Različitim kombiniranjem materijala, iskušavanjem novih materijala javljaju se novi koncepti izbedbe fotonaposnke ćelije koji bi za nižu cijenu trebali dati veću efikasnost. Neke od tehnologija koje se istražuju su: tzv. „vrući elektroni“, nanostrukture, kvantni izvori, dvosmjerne pretvorbe itd. Najvažniji cilj novih tehnologija osim niže cijene, jest povećati efikasnost ćelije na maksimalno 60%. Primjena ovakvih ćelija očekuje se u bližoj budućnosti [10].

4. MJERENJE STRUJNO-NAPONSKIH KARAKTERISTIKA

4.1 MEDOTA MJERENJA

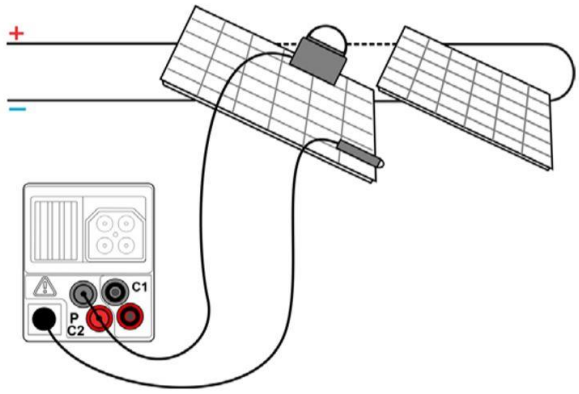
4.1.1 OPIS MJERNOG UREĐAJA

U ovom se završnom radu za mjerenje strujno naponskih karakteristika fotonaponskih modula koristo mjerni uređaj METREL MI 3108 EUROTEST PV koji osim strujno-naponskih karakteristika može mjeriti [12]:

- Otpor izolacije fotonaponskih panela
- Ispitivanje PV pretvarača
- PV test modula
- Parametre okoliša (sunčevo zračenje i temperatura ćelije)
- Napon praznog hoda i struju kratkog spoja
- Strujno-naponske karakteristike

4.1.2 MJERENJE METEROLOŠKIH PARAMETARA

Glavni meteorološki parametri važni za izračunavanje STC uvjeta jesu sunčevo zračenje i temperatura ćelije. Za mjerenje ovih karakteristika potrebno je fotonaponski panel spojiti na mjerni uređaj, dok je senzor za mjerenje sunčevog zračenja postrebno postaviti pored. Kako je sunčevo zračenje jednako na svakom mjestu senzor se može postaviti bilo gdje. Slika 4.1 prikazuje postupak povezivanja uređaja s FN modulom [12].



Slika 4.1 Povezivanja uređaja s fotonaponskim modulom [12]

Nakonn priključivanja potrebno je na uređaju odabrati određene naredbe te se na zaslonu uređaja dobiju vrijednosti sunčevog zračenja (Irr) i temperature ćelije (Tamb) kao što je prikazano na slici 4.2 [12].

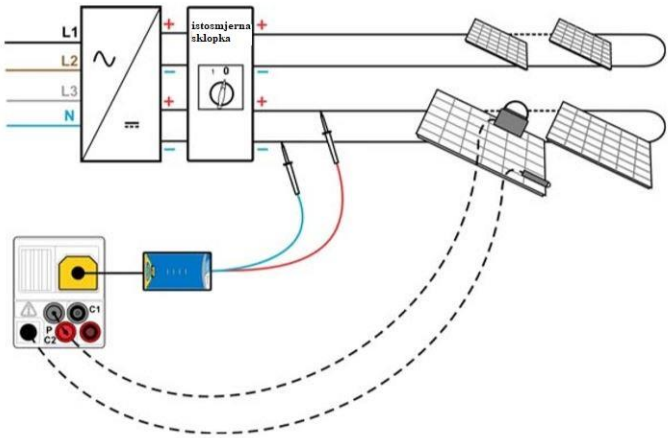


Slika 4.2 Primjer izmjerenih rezultata mjerenja [12]

Ukoliko je prilikom mjerenja rezultat sunčevog zračenja manji od postavljenog minimalnog sunčevog zračenja, tada STC uvijeti neće biti izračunati. Također, parametri mogu biti podešeni i ručno [12].

4.1.3 MJERENJE STRUNO-NAPONSKIH KARAKTERISTIKA

Test mjerenja strujno-naponskih karakteristika koristi se za provjeru pravilnog rada modula. Također pomoću ovog uređaja moguće je prepoznati i probleme na modulima kao što su zasjenjenje, prljavština te mogućnost prepoznavanja panela koji je u kvaru ukoliko je panel spojen u niz panela. Za početak mjerenja strujno-naponskih karakteristika potrebno je uređaj priključiti na FN modul. Vrlo bitna stavka prilikom priključivanja uređaja na modul je ta da se prilikom odspajanja uređaja s mreže veći dio površine modula mora prekriti kako nebi došlo do stvaranja električnog luka te moguće ozljede čovjeka. Na slici 4.3 prikazan je postupak priključivanja uređaja na modul [12].



Slika 4.3 Povezivanje uređaja s fotonaponskim modulom [12]

4.2 OPIS FOTONAPONSKIH MODULA

Mjerenje strujno-naponskih karakteritika koje smo izvršili u ovom završnom radu odvijalo se na tri različita fotonaponska modula [13]:

- Monokristalni fotonaponski modul Bisol BMO 250 W
- Polikristalni fotonaponski modul Bisol BMU 250 W
- CIS fotonaponski modul SF 150 W

Specifikacije monokristalnog fotonaponskog modula pri uvijetima (AM 1,5, 1000 W/m^2, 25°C) dane su u tablici 4.1, dok su u tablici 4.2 dana temperaturna stvojstva FN modula.

Tablica 4.1 Električna svojstva pri STC uvijetima [13]

TIP MODULA	Bisol BMO-250
Vršna snaga P_{MPP} [W]	250
Struja kratkog spoja $I_{SC}[A]$	8,80
Napon strujnog kruga U_{OC} $[V]$	37,9
Struja vršne snage I_{MPP} $[A]$	8,20
Napon vršne snage U_{MPP} [V]	30,5
Učinkovitost pretvorbe ćelije $\eta_C[\%]$	17,4
Učinkovitost pretvorbe modula $\eta_M[\%]$	15,3
Odstupanje izlazne snage [W]	0/+5
Najviša reverzibilna struja [A]	13
Maksimalni napon sustava	1.000V(razred A)

Tablica 4.2 Temperaturna svojstva [13]

TIP MODULA	Bisol BMO-250
Temperaturni koeficjent struje α	+4,5 mA/°C
Temperaturni koeficjent napona β	-132 mV/°C
Temperaturni koeficjent snage ɣ	-0,35%/°C
NOCT	44°C
Raspon temperature	-40°C do +85 °C

Tablica 4.3 Mehanička svojstva [13]

TIP MODULA	Bisol BMO-250
Visina x širina x promjer	1,649 mm x 991 mm x 40 mm
Težina	18,5 kg
Solarne ćelije	60 monokristalnih serijski povezanih / 156 mm x 156 mm
Električni priključci	TE Connectivity s tri by-pass diode IP67 PV4 (kompaktibilni s MC4) IP68
Okvir	Anodizirani aluminij s rupama za odvodnju, čvrsto usidreni kutni nosači
Staklo	3,2 mm debelo kaljeno staklo, visoka transparentnost, sadržaj željeza nizak

Specifikacije polikristalnog fotonaponskog modula nalaze se u sljedećim tablicama. U tablici 4.4 dana su električna stvoja kod STC uvijeta za polikristalni FN modul, u tablici 4.5 dana su temperaturna svojstva i u tablici 4.6 ispisana su osnovna mehanička svojstva modula .

Tablica 4.4 Električna svojstva modula pri STC uvijetima [14]

TIP MODULA	Bisol BMU-250
Vršna snaga P_{MPP} [W]	245
Struja kratkog spoja $I_{SC}[A]$	8,68
Napon strujnog kruga U_{OC} $[V]$	38,1
Struja vršne snage I_{MPP} $[A]$	8,15
Napon vršne snage U_{MPP} [V]	30,2
Učinkovitost pretvorbe ćelije $\eta_C[\%]$	16,8
Učinkovitost pretvorbe modula $\eta_M[\%]$	15,0
Odstupanje izlazne snage [W]	0/+5
Najviša reverzibilna struja [A]	13
Maksimalni napon sustava	1,000 V (razred A)

Tablica 4.5 Temperaturna svojstva [14]

TIP MODULA	Bisol BMU-250
Temperaturni koeficjent struje α	+4,9 mA/°C
Temperaturni koeficjent napona β	-121 mV/°C
Temperaturni koeficjent snage ɣ	-0,40 %/°C
NOCT	44°C
Raspon temperature	-40°C do +85 °C

Tablica 4.6 Mehanička svojstva [14]

TIP MODULA	Bisol BMU-250
Visina x širina x promjer	1,649 mm x 991 mm x 40 mm
Težina	18,5 kg
Solarne ćelije	60 polikristalnih serijski povezanih / 156 mm x 156 mm
Električni priključci	TE Connectivity s tri by-pass diode IP67 PV4 (kompatibilni s MC4) IP68
Okvir	Anodizirani aluminij s rupama sa odvodnju, čvrsto usidreni kutni nosači
Staklo	3,2 mm debelo kaljeno staklo, visoka transparentnost, nizak sadržaj željeza

Zadnji fotonaponski modul na kojem je izvođeno mjerenje je CIS modul čije su specifikacije zadanje u zljedećim tablicama.

Tablica 4.7 Električna svojstva pri STC uvijetima [15]

TIP MODULA	SF 150-S
Nazivna snaga P_{max}	140 W
Učinkovitost modula %	11.4 %
Tolerancija snage	+5W/0 W
Napon praznog hoda U_{OC}	107,0 V
Struja kratkog spoja I_{SC}	2,10 A
Napon na nazivnoj snazi U_{MPP}	80,5 V
Struja na nazivnoj snazi I_{MPP}	1,74 A

Tablica 4.8 Temperaturna svojstva [15]

TIP MODULA	SF 150-S
Temperaturni koeficjent struje α	+0,01 %/K
Temperaturni koeficjent napona β	-0,30%/K
Temperaturni koeficjent snage ɣ	-0,31%/K
NOCT	47°C

Tablica 4.9 Mehanička svojstva CIS modula [15]

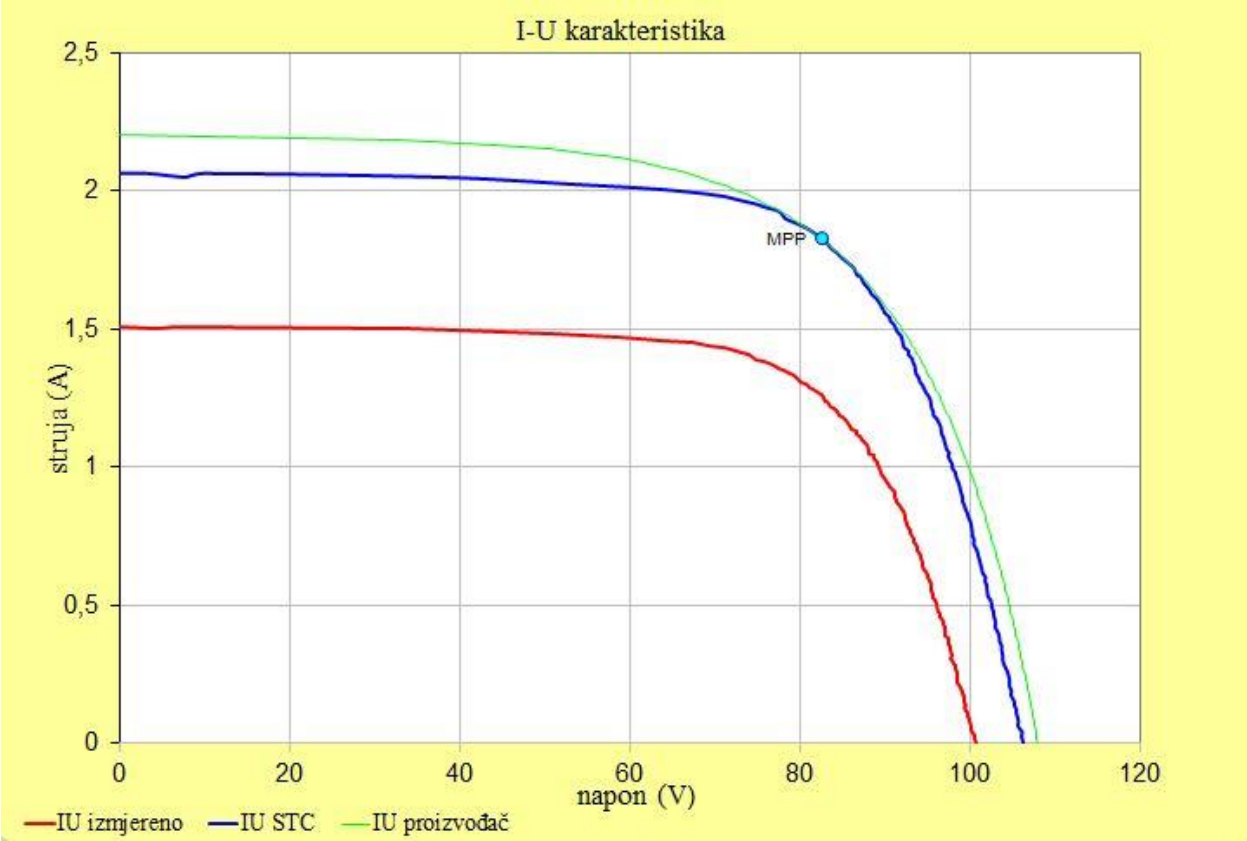
TIP MODULA	SF 150-S
Visina x širina x promjer	1,257 mm x 977 mm x 35 mm
Težina	20 kg
Solarne ćelije	CIS sa staklenim supstratom bez kadmija
Okvir	Anodizirana aluminijska legura crne boje
Staklo	Debljine 3,2 mm

4.3 ANALIZA REZULTATA MJERENJA

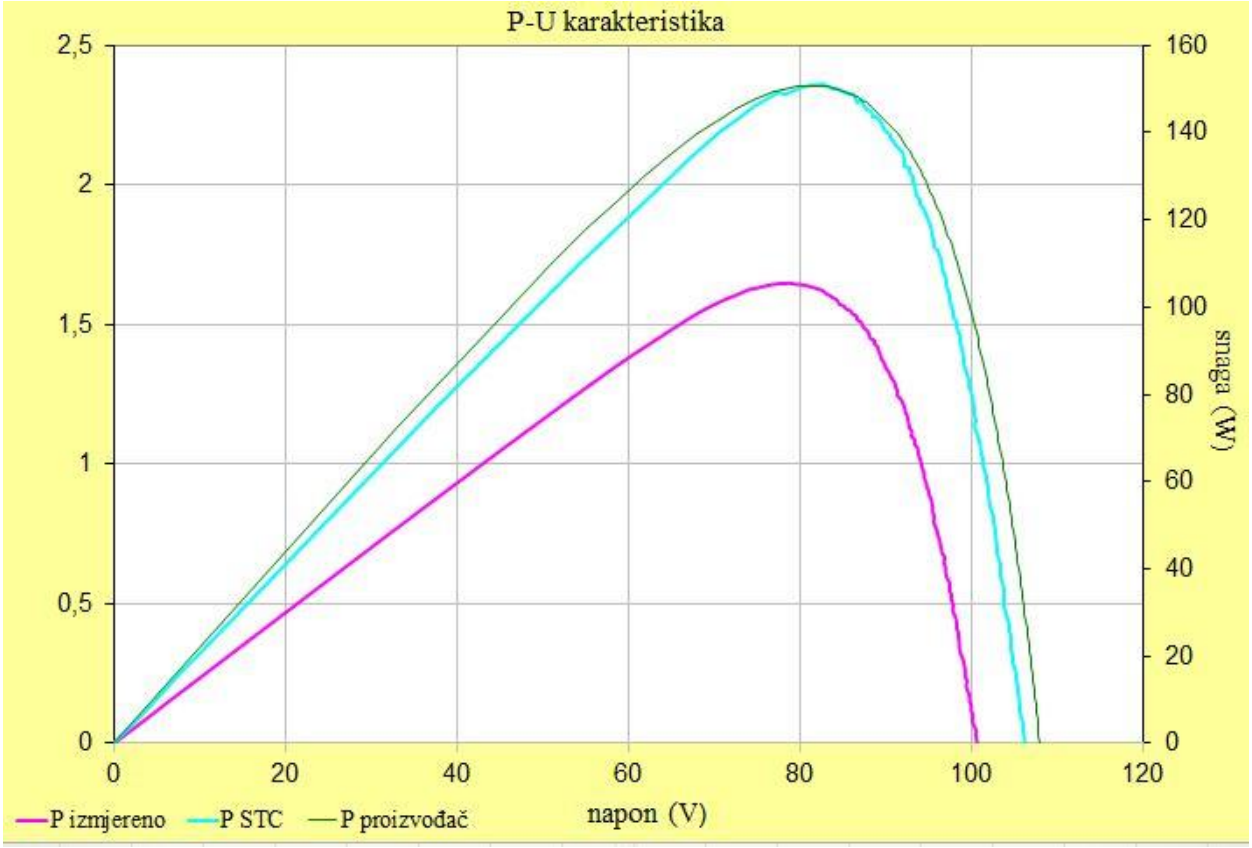
Nakon što smo proučili način mjerenja te sve potrebne speficikacije svakog fotonaponskog modula zasebno izvršili smo smjerenje *I-U* i *P-U* karakteristika koje su prikazane i komentirane u daljnjem tekstu.

4.3.1 CIS FOTONAPONSKI MODUL

Prilikom izvršavanja mjerenja sunčevo zračenje iznozilo je 731 W/m^2 dok je temperatura ćelije iznosila 37,3 C°. Slika 4.4 prikazuje *I-U* karakteristiku CIS FN modula, dok je na slici 4.5 prikazana ovisnost snage i napona.



Slika 4.4 Strujno-naponska karakteristika CIS FN modula



Slika 4.5 Ovivnost snage i napona CIS FN modula

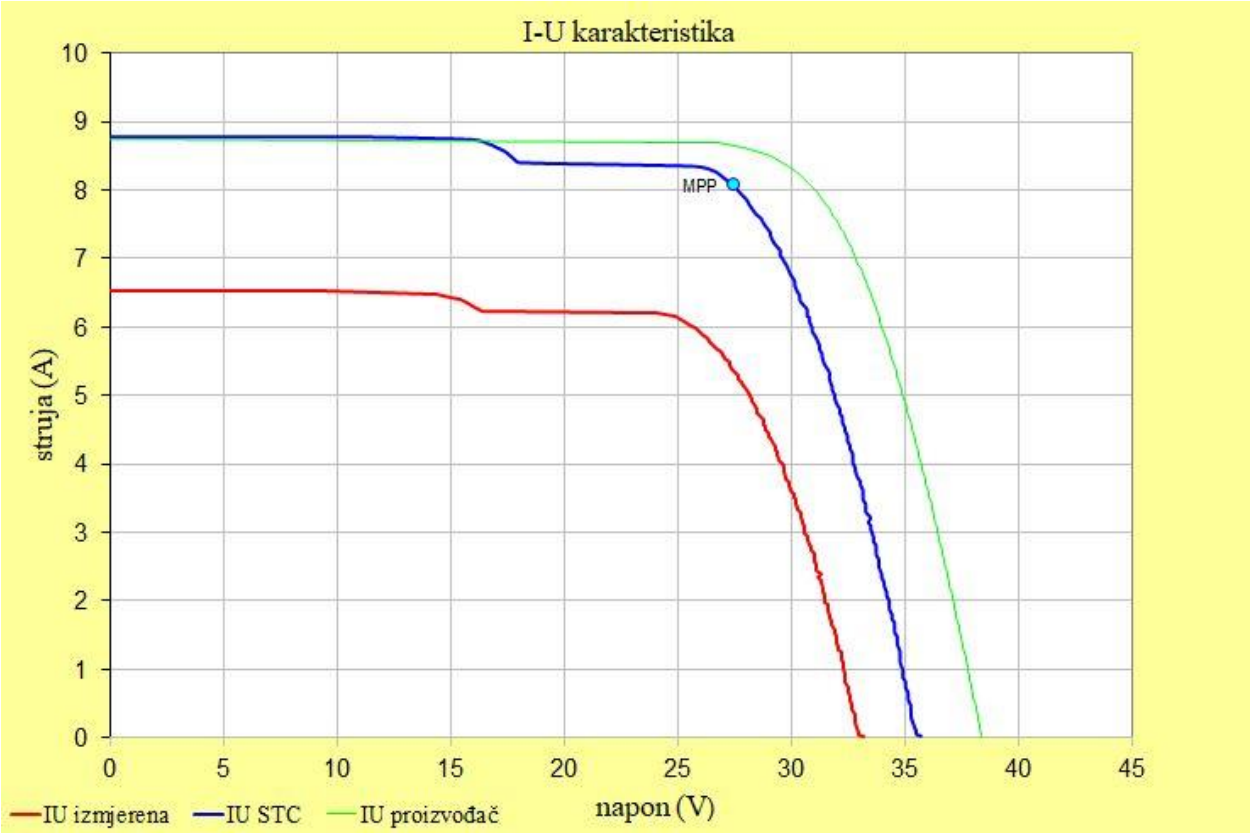
Tablica 4.10 Vrijednosti CIS modula pri STC uvjetima

STC (Standard Test Conditions)	Vrijednosti proizvođača	Izmjerene vrijednosti	Odstupanje [%]
U_{OC} [V]	108	106,30	-1,6
I_{SC} [A]	2,2	2,06	-6,2
U_{mpp}[V]	81,5	82,5	1,2
I_{mpp} [A]	1,85	1,83	-1,0
FF [%]	63,1	68,9	
P_{mpp} [W]	150	151,1	0,7

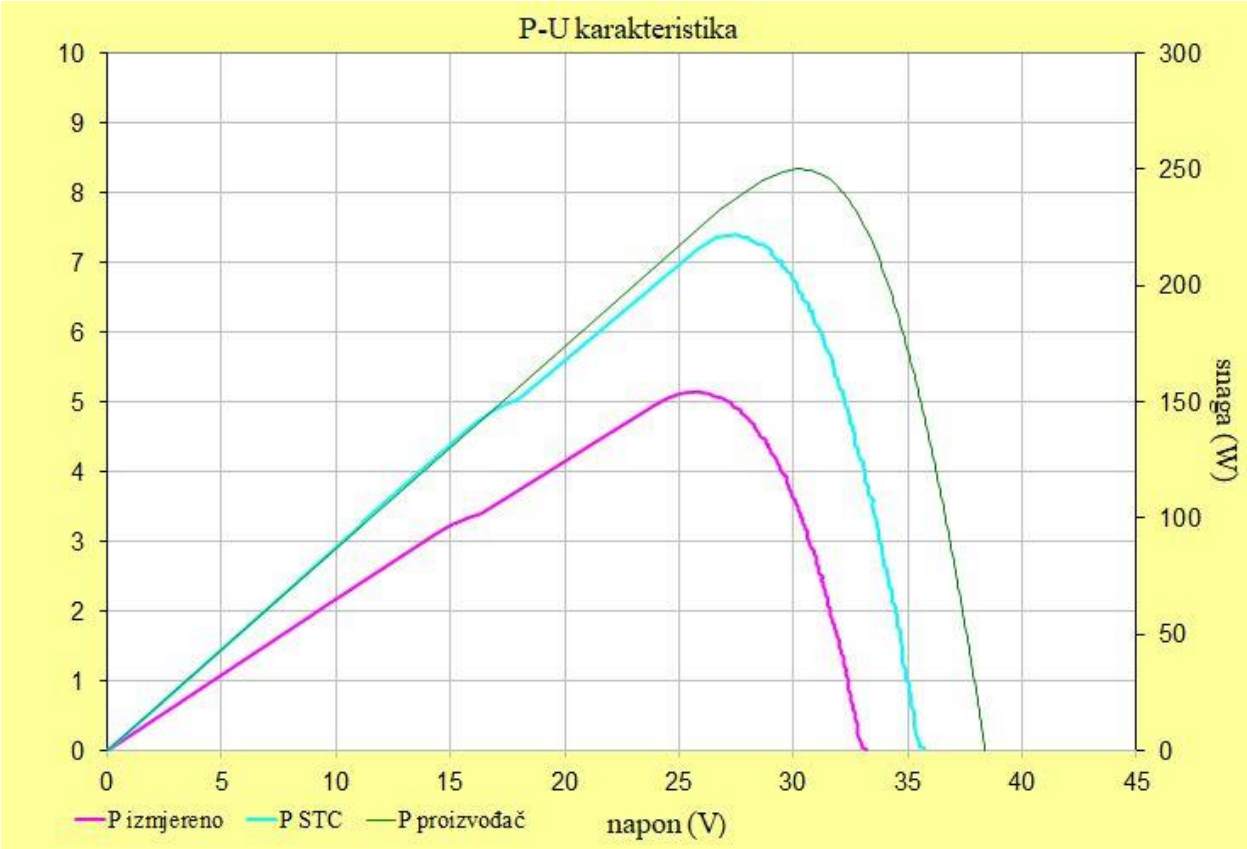
Iz tablice 4.10 možemo vidjeti kako se vrijednosti koje je zadao proizvođač i izmjerene vrijednosti razlikuju. To je i očekivano jer nikada ne možemo dobiti identične vrijednosti zbog različitih uvjeta mjerenja. Na mjerenje nam utječu vanjski uvjeti, vremenski uvjeti, prašina, prljavština i sl. Promatajući ostupanja vidimo kako su neke vrijednosti manje od očekivanih dok su neke čak i veće. Sve ćemo to pripisati uvjetima mjerenja. Kada na kraju sumiramo sve vrijednosti i pojedinosti, vidimo kako je snaga u točki maksimalne snage veća za 0,7 % od očekivane. Osim ovih vrijednosti instrument nam je pokazao dio tablice koji nam opisuje zadovoljava li FN modul kriterij s obzirom na 5 % i 10 % pogreške. Ovaj FN modul zadovoljio je kriterije s obzirom na 10% pogreške, dok za 5 % pogreške kriterij ne zadovoljava I_{SC}.

4.3.2 POLIKRISTALNI FOTONAPONSKI MODUL

Prilikom mjerenja na polikristalnom fotonaponskom modulu sunčevo zračenje iznosilo je 735 W/m^2, dok je temperatura ćelije iznosila 43,3 °C.



Slika 4.6 Strujno- naponska karakteristika polikristalnog FN modula



Slika 4.7 Ovisnost snage i napona polikristalnog FN modula

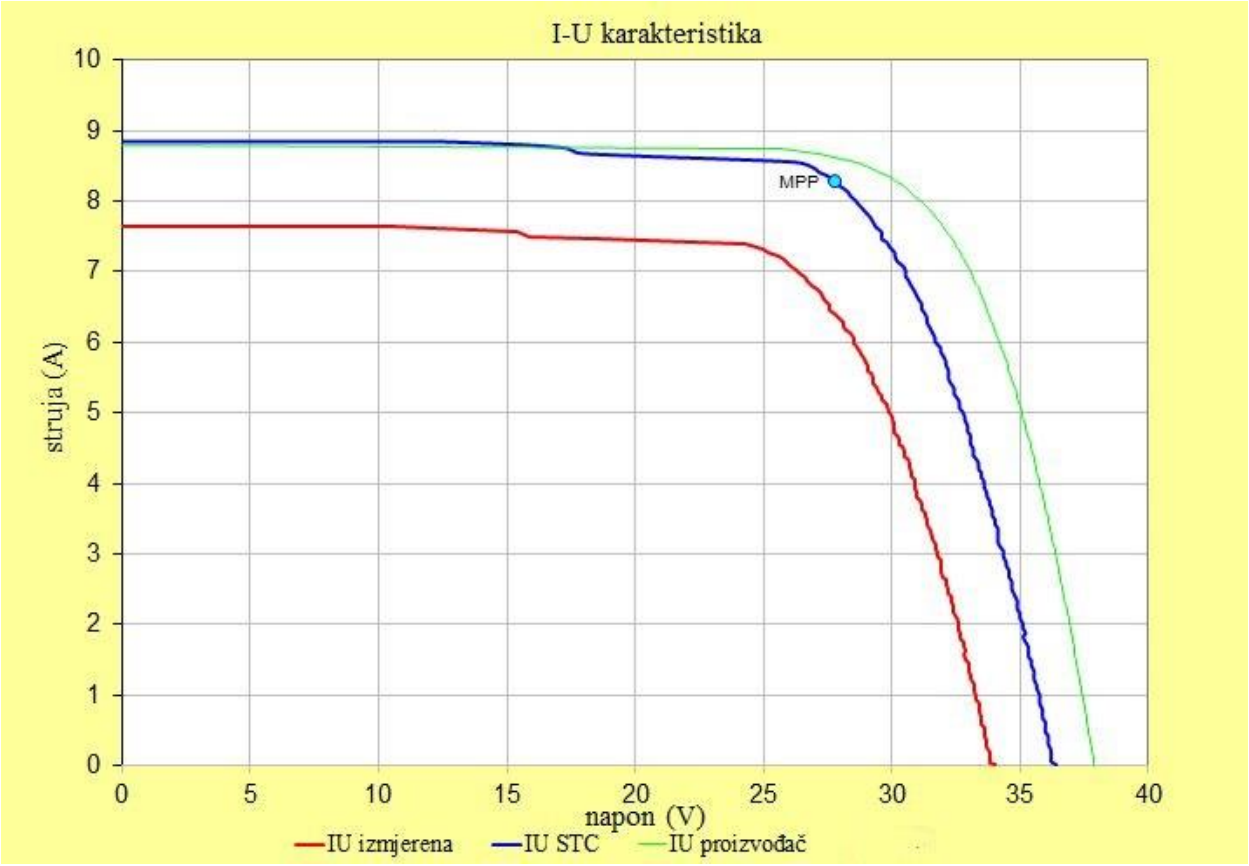
Tablica 4.11 Vrijednosti polikristalnog modula pri STC uvjetima

STC (Standard Test Conditions)	Vrijednosti proizvođača	Izmjerene vrijednosti	Odstupanje [%]
U_{OC} [V]	38,4	35,71	-7,0
I_{SC} [A]	8,75	8,78	0,3
U_{mpp}[V]	30,3	27,5	-9,2
I_{mpp} [A]	8,25	8,07	-2,2
FF [%]	74,4	70,8	
P_{mpp} [W]	250	222,0	-11,2

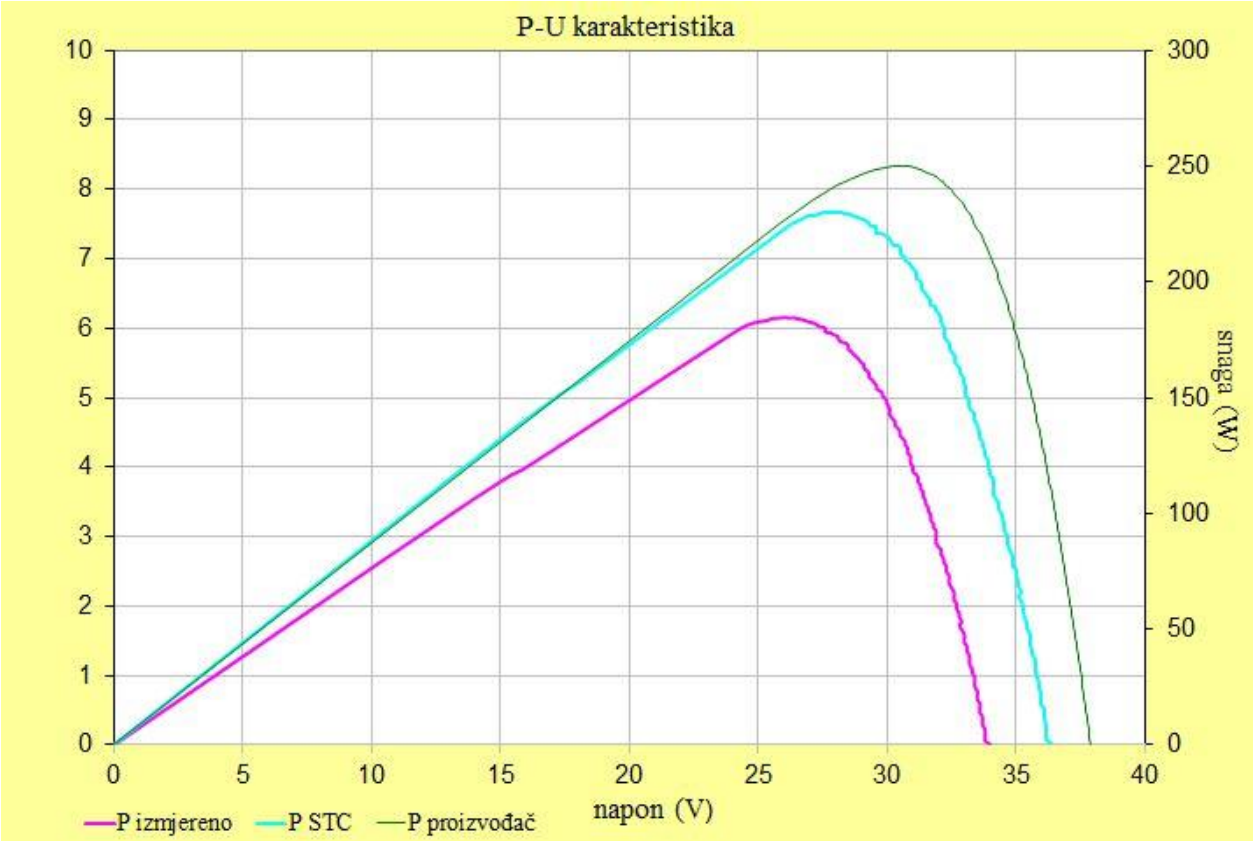
Iz tablice 4.11 vidimo kako su odstupanja mjerenih vrijednosti od vrijednosti proizvođača veća od odstupanja monokristalnog FN modula. Snaga u točki maksimalne snage odstupa za -11,2%. Polikristalni FN modul kriterij od 10% odstupanja u potpunosti zadovoljavaju svi uvjeti osim P_{mpp}, dok kriterij od 5 % odstupanja ne zadovoljava U_{OC}, U_{mpp} te i sama P_{mpp}.

4.3.3 MONOKRISTALNI FOTONAPONSKI MODUL

Prilikom mjerenja na monokristalnom fotonaponskom modulu sunčevo zračenje iznosilo je 856 W/m^2, dok je temperatura ćelije iznosila 42,8 °C.



Slika 4.8 Strujno-naponska karakteristika monokristalnog FN modula



Slika 4.9 Ovisnost snage i napona monokristalnog FN modula

Tablica 4.12 Vrijednosti monokristalnog modula pri STC uvjetima

STC (Standard Test Conditions)	Vrijednosti proizvođača	Izmjerene vrijednosti	Odstupanje [%]
U_{OC} [V]	37,9	36,41	-3,9
I_{SC} [A]	8,8	8,84	0,5
U_{mpp}[V]	30,5	27,8	-9,0
I_{mpp} [A]	8,2	8,29	1,1
FF [%]	75,0	71,5	
P_{mpp} [W]	250	230,1	-8,0

Iz tablice 4.12 vidimo kako je odstupanje mjerenih vrijednosti od vrijednosti potrošaća za – 8,0 % što znači da je snaga u točki maksimalne snage 8 % manja od snage koju je zadao proizvođač. Monokristalni fotonaponski modul kriterij za 10% pogreške zadovoljio je u potpunosti svim svojim paramtertima, dok kriterij za 5 % pogreške zadovoljavaju svi parametri osim U_{mpp}, te P_{mpp}.

5. ZAKLJUČAK

Nakon teorijske podloge o fotonaponskim modulima, te izvršenim mjerenjima na tri različita fotonaponska modula, prema izmjerenim podacima te prema najmanjem odstupanju zaključujemo kako između naša tri mjerena fotonaponska modula prema proizvođačevim karakteristikama najviše odgovara izvedba CIS fotonaponskog modula. Njegovi rezultati prikazani u tablici prikazuju čak 0,7 % veću izmjerenu snagu, nego snagu koju je propisao sam proizvođač. Prema karakteristikama CIS fotonaponski modul slijedi monokristalni fotonaponski modul, te s najvećim odstupanjem dolazi polikristalni fotonaponski modul. Prilikom razmatranja strujno-naponskih karakteristika vrlo je bitno da je *I-U* karakteristika pri STC uvjetima što bliže ili se poklapa s karakteristikom koju je zadao proizvođač. Odstupanja između mjerene karakteristike i karakteristike koju je zadao proizvođač u najvećem dijelu prepisujemo načinu mjerenja, uvjetima mjerenja, različim oblicima prljavštine, degradaciji odnosno starenju fotonaponskog modula i drugim faktorima koji utječu na mjerenje te u konačnici na rezultate.

LITERATURA

[1] Labudović, B.: Osnove primjene fotonaponskih sustava, Energetika marketing, Zagreb, 2011.

[2] Majdandţić Lj.: Fotonaponski sustavi, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu, Srednja škola Oroslavje, dostupno na: http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf [17.travnja 2018.]

[3] Sunčevo zračenje, Meteo-info, zagreb 2018. [17.travnja 2018.]

[4] Iskorištavanje energije sunca u energetici, Zagreb 2013., dostupno na: http://www.obnovljivi.com/energija-sunca/51-iskoristavanje-energije-sunca-u-energetici [17.travnja 2018.]

[5] Pasivno solarno grijanje, Vojvodina 2012., dostupno na: http://www.ekokuce.com/arhitektura/principi/pasivno-solarno-grejanje [17. travnja 2018.]

[6] Vigorant j. d.o.o, Vrste solarnih kolektora, Zagreb 2009., dostupno na: http://www.zelenaenergija.org/clanak/vrste-solarnih-kolektora/443 [17. travanja 2018.]

[7] Solvis d.o.o., Sunčevo zračenje na području Hrvatske fonline], Varaždin, 2011., dostupno na: http://www.solvis.hr/hr/advice/suncevo-zracenje-na-podrucju-hrvatske/

[17. travnja 2018.]

[8] Majdandžić, Lj.: Obnovljivi izvori energije, Energetske tehnologije, Zagreb 2008.

[9] G.M Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New Jersey, 2004 godine.

[10] Fotonaponske ćelije, Gradski ured za energetiku, zaštitu okoliša i održivi razvoj, Zagreb, dostupno na: http://eko.zagreb.hr/print.aspx?id=87 [17. travnja 2018.]

[11] Energetica Energietechnik GmbH, What does Standard Text Conditions (STC) mean, Klagenfurt-Viktring, dostupno na: http://www.energetica-pv.com/index.php?id=484 [12.lipnja 2018]

[12] METREL d.d, Eurotest PV, MI 3108, Instruction manual, Slovenija.

[13] Specifikacije monokristalnog fotonaponskog modula BMO 250-270 W, BISOL Premium Serija

[14] Specifikacije polikristalnog fotonaponskog modula BMU 245-265 W, BISOL Premium Serija

[15] Specifikacije CIS fotonaponskog modula SF 140-S, Solar Frontier

SAŽETAK

Sunce te njegova energija jedan je od najznačajnijih oblika obnovljivih izvora energije. Čovjek u današnje vrijeme sve više iskorištava energiju sunca, te je različitim načinima pretvara u toplinsku i električnu energiju. Razmatrana je i opisana pretvorba sunčeve energije u električnu energiju. Najznačajnija je pretvorba pomoću fotonaponskih modula. Fotonaponski moduli mogu biti različitih izvedba te upravo zbog toga daju različite rezultate i različite su učinkovitosti. U ovom je završnom radu pomoću Metrel MI 3108 EUROTEST PV uređaja izvršeno mjerenje strujno-naponskih karakteristika, te ovisnosti snage o naponu na tri različita fotonaponska modula: monokristalni FN modul, polikristalni FN modul, te CIS FN modul. S obzirom na dane razultate, karakteristike i odstupanja možemo zaključiti kako je najučinkovitija izvedba CIS fotonaponskog modula.

Ključne riječi: sunce, sunčeva energija, električna energija, pretvorba, fotonaponski modul, strujno-naponska karakteristika, snaga.

ŽIVOTOPIS

Monika Maligec rođenda je u Osijeku 2. studenog 1996. godine. Živi u Josipovcu, Osijek gdje je pohađala osnovnu školu. Nakon osnovne škole upisuje Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku gdje nakon četiri godine srednjoškolskog obrazovanja steče zvanje elektrotehničarka.

Nakon srednjoškolskog obrazovanja, upisuje nekadašnji Elektrotehnički fakultet u Osijeku, sada Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera. Na drugoj godini preddiplomskog smjera elektrotehnike opredjeljuje se za smjer elektroenergetika.