Tankoslojni fotonaponski moduli

Ćosić, Valentina

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:200:218361

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

Sveučilišni studij

TANKOSLOJNI FOTONAPONSKI MODULI

Završni rad

Valentina Ćosić

Osijek, 2017.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 28.09.2017.

Ime i prezime studenta:	Valentina Ćosić
Studij:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3893, 18.07.2014.
Ephorus podudaranje [%]:	2%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Tankoslojni fotonaponski moduli**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Danijel Topić

i sumentora Matej Žnidarec

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:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 18.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

Ime i prezime studenta:	Valentina Ćosić
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3893, 18.07.2014.
OIB studenta:	75600101190
Mentor:	Doc.dr.sc. Danijel Topić
Sumentor:	Matej Žnidarec
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Tankoslojni fotonaponski moduli
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Predložena ocjena 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:	18.09.2017.
Datum potvrde ocjene Odbora:	27.09.2017.

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

SADRŽAJ

1. UVOD **1**

1.1. Zadatak završnog rada 1

2. TRŽIŠTE FOTONAPONSKIH MODULA 2

2.1. Tržište u svijetu i Europi 2

2.2. Tržište u Hrvatskoj 4

3. TEHNOLOGIJE I KARAKTERISTIKE TANKOSLOJNIH FOTONAPONSKIH MODULA **7**

3.1. Tehnologije izrade tankoslojnih fotonaponskih modula 7

3.2. Razlika kristaličnih i tankoslojnih fotonaponskih modula 10

4. ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA FOTONAPONSKIH MODULA Error! Bookmark not defined.

4.1. Karakteristike tankoslojnih fotonaponskih modula **Error! Bookmark not defined.** 14

4.1.1 Fotonaponski modul MASDAR MPV100-S ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.1.2 Fotonaponski modul SOLAR FRONTIER SF-150 ..... **15**

4.2 Mjerenja u laboratoriju ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.3.1 Karakteristike CIS modula ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.3.2 Karakteristike a-Si modula ..... **Error! Bookmark not defined.**

5. ZAKLJUČAK ..... Error! Bookmark not defined.

6.LITERATURA **24**

SAŽETAK **24**

ŽIVOTOPIS **24**

1. UVOD

U sadržaju ovog završnog rada opisat će se postupak izrade tankoslojnih fotonaponskih modula općenito te pregled tržišta istih. Uz sam postupak izrade, kako bi jasnije predočili sam postupak opisat će se i osnovni tipovi tankoslojnih fotonaponskih modula te će se dati karakteristike pojedinih vrsta modula. Kako tankoslojni fotonaponski moduli nisu jedina vrsta fotonaponskih modula, u ovom završnom radu prikazat će se razlike između tankoslojnih fotonaponskih modula i kristaličnih fotonaponskih modula. Isto tako, kako bismo što podrobnije prikazali same karakteristike pojedinih modula te što zornije prikazali razlike, u Laboratoriju za obnovljive izvore FERIT-a, ispitat će se osnovne karakteristike pojedinih modula, kako tankoslojnih (a-Si i CIS tehnologije), tako i kristaličnih modula te dati zaključak na temelju osvrta na karakteristike pojedinih modula. Sadržaj završnog rada popraćen je slikama napravljenim u prostoru Laboratorija za obnovljive izvore FERIT-a.

Sadržaj završnog rada koncipiran je na način da se u prvom poglavlju govori o tržistu fotonaponskih modula u svijetu i Europi,a zatim i u Hrvatskoj nakon čega slijedi poglavlje koje se dotiče tehnologija izrade, karakteristika i njihovih usporedbi vezano za fotonaponske module (tankoslojne i ostale). Poslije toga slijedi poglavlje ispitivanja karakteristika tankoslojnih modula te prikaza njihovih specifikacija prije toga; nakon svega slijedi zaključak.

1.1 Zadatak završnog rada

Uvidom u laboratorij i dostupnu dokumentaciju treba proučiti i opisati tankoslojne fotonaponske module te njihove karakteristike i iste usporediti s karakteristikama kristaličnih fotonaponskih modula. Posebnu pažnju posvetiti a-Si i CIS tehnologiji tankoslojnih fotonaponskih modula.

2. TRŽIŠTE FOTONAPONSKIH MODULA

2.1 Tržište u svijetu i Europi

Tijekom 2016. godine dodano je najmanje 75 GW dodatnih instaliranih snaga fotonaponskih panela širom svijeta - što je ekvivalentno instalaciji više od 31.000 solarnih panela svakoga sata. Više instaliranih snaga instalirano je 2016. godine (oko 48% više od 2015.) od kumulativnih svjetskih instaliranih snaga pet godina prije. Krajem godine, globalni iznos dodatnih instaliranih snaga fotonaponskih panela na globalnoj razini iznosio je najmanje 303 GW. Četvrtu godinu zaredom, Azija je potisnula sva druga tržišta, što čini oko dvije trećine vrijednosti na tržištu globalno gledano. Prvih pet tržišta - Kina, Sjedinjene Američke Države, Japan, Indija i Ujedinjeno Kraljevstvo - činili su oko 85% vrijednosti tržišta.

Za kumulativno dodatno instaliranje snaga, najzaslužnije zemlje su Kina, Japan (koji su prešli Njemačku) i Sjedinjene Države. Dok Kina i dalje vlada uporabom i proizvodnjom solarnog fotonaponskog sustava, tržišta u nastajanju na svim kontinentima počela su značajno pridonositi globalnom rastu. Krajem 2016. svaki kontinent je ugradio najmanje 1 GW, najmanje 24 zemlje 1 GW ili više dodatnih instaliranih snaga, a najmanje 114 zemalja imalo je više od 10 MW.

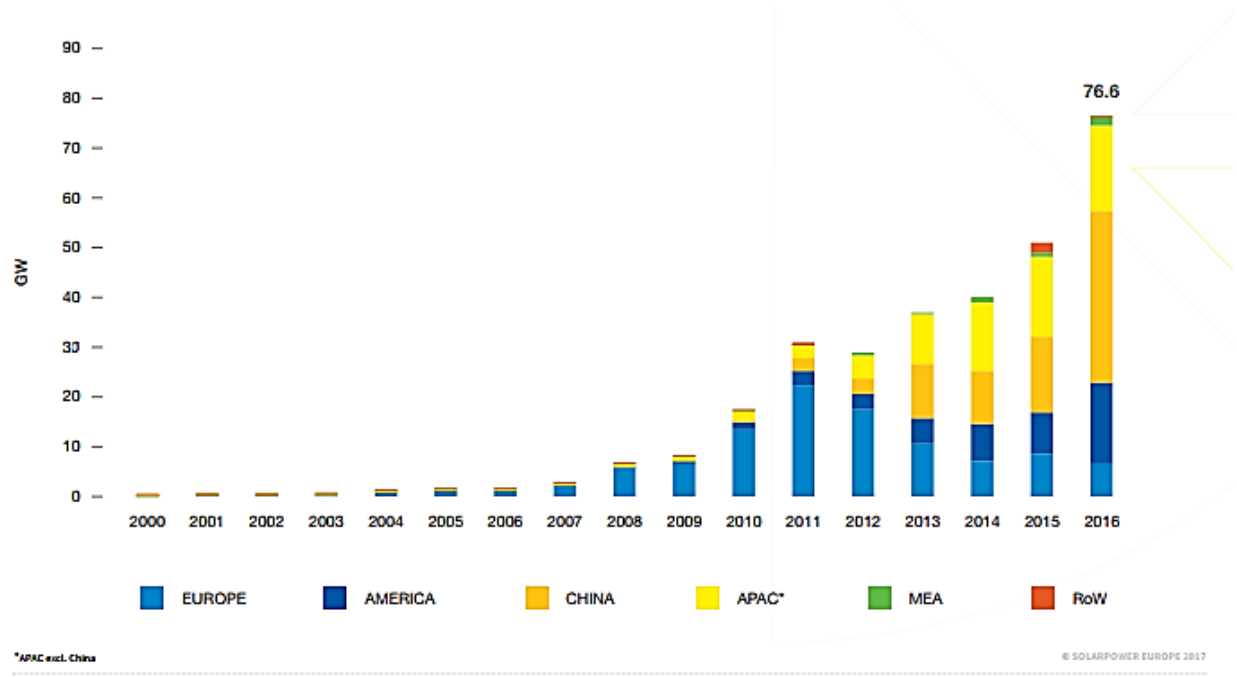
Vodeće zemlje po instaliranim snagama sunčevih fotonaponskih ćelija po stanovniku bile su Njemačka, Japan, Italija, Belgija i Australija.

Proširenje tržišta pretežno je posljedica povećanja konkurentnosti solarnog fotonaponskog sustava, kao i povećanje potražnje za električnom energijom i poboljšanja svijesti o potencijalu solarnih FN-a, budući da države nastoje ublažiti onečišćenje i smanjiti emisiju CO2. Na mnogim tržištima u nastajanju, solarnim fotonaponom se danas smatraju troškovno konkurentni izvori za povećanje proizvodnje električne energije i za osiguranje pristupa energiji. Ipak, tržišta na većini lokacija i dalje pretežno potiču državne poticaje ili propise. Kina je u 2016. godini dodala 34,5 GW (više od 126% u odnosu na 2015. godinu), povećavajući ukupne instalirane snage solarnog fotonapona s 45% na 77,4 GW, što je daleko više od bilo koje druge zemlje.

EU je postala prva regija koja će usvojiti 100 GW u 2016. godini (koja je brzo nadmašila Aziju); regija je završila godinu s procjenom od 106 GW, više od 32 puta veću od instaliranih snaga u 2006. godini.

Čak i kada su globalni doprinosi povećani za 48% u odnosu na 2015. godinu, potražnja za EU pala je za 24%. U Velikoj Britaniji je zabilježeno najveće smanjenje tržišta, zajedno s nekoliko drugih zemalja EU u pogledu povećanja instaliranih snaga u odnosu na 2015. godinu. U 2016. godini dodano je oko 5,7 GW instaliranih snaga, uglavnom u Velikoj Britaniji, Njemačkoj i Francuskoj - koje su zajedno instalirale oko 70% novih dodatnih instaliranih snaga povezanih s mrežom. Ostale države po postotku dodatnih instaliranih snaga bile su Belgija, Italija i Nizozemska.

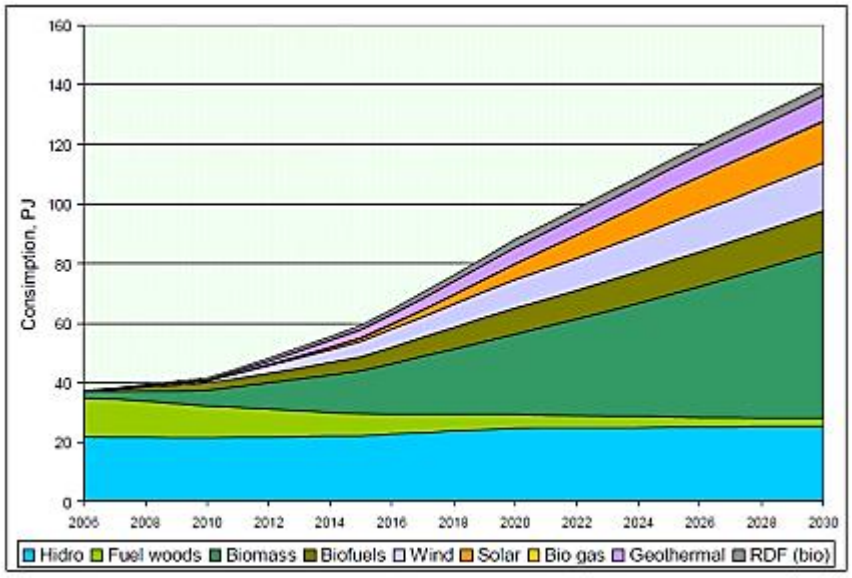
Unatoč ogromnom rastu potražnje u 2016. godini, 2016. godina je donijela sniženja cijena bez presedana za module, pretvarače i strukturalnu ravnotežu sustava. Zbog još većih povećanja instaliranih snaga proizvodnje, kao i smanjenja tržišnih očekivanja (osobito u Kini) za 2017., cijene modula su pale. Prosječna cijena modula pala je za oko 29%, na 0,41 dolara po watu (W) između četvrtog tromjesečja 2015. godine i godinu dana kasnije, spuštajući se na povijesne padove. Pritisak na cijene izazvao je proizvođače čiji se troškovi nisu tako brzo smanjivali i koji su vidjeli male, ako postoje, margine. Nasuprot tome, 2016. je bila dobra godina za razvojne programere. Mjesečni kapitalni izdaci i poboljšanja učinkovitosti opreme i čimbenika instaliranih snaga pomogli su u smanjenju troškova; troškovi solarne proizvodnje brže su pali tijekom godine nego što su stručnjaci očekivali, a nastavili su prema dolje početkom 2017. godine. [1]



Slika 2.1. Prikaz globalnih godišnjih dodatnih instaliranih snaga od 2000. do 2016. god. [4]

2.2 Tržište u Hrvatskoj

Strukturu svih obnovljivih izvora energije do 2030. godine možemo vidjeti na slici 2.2 gdje vidimo predviđanja za nagli rast i napredak same solarne energije.



Slika 2.2 Struktura obnovljivih izvora energije do 2020. (s pregledom do 2030.) [2]

Procjene potencijala solarne energije na najvećim dijelovima hrvatske obale proveo je Nacionalni energetski program SUNEN21 1998. godine za Hrvatsku u cjelini sa Solarnim priručnikom napisanim 2007. godine. Prirodni potencijal solarne energije u kontinentalnim područjima Hrvatske, s prosječnom izolacijom od 3,6 kWh/m2, iznosi oko 74.300 TWh/ godišnje što je više od 800 puta više od potrošnje primarne energije u Hrvatskoj u 2000. godini.

Instalirani solarni fotonaponski kapacitet u Hrvatskoj pogodio je 30,3 milijuna američkih dolara u 2015. godini, s tim da se većinskim dijelom sastoji od krovnih projekata u rasponu od 10-30kW. Taj broj predstavlja velik porast u odnosu na prethodne godine jer posjeduje samo 89,72 kW instaliranih snaga fotonapona na kraju 2012. godine. Ta razlika je smanjena uglavnom razlikom u investicijama, razvojnim fondovima i poticajima. Posljednjih mjeseci vidjelo se da nešto veći krovni solarni projekti ulaze u razvoj. To još uvijek nisu postrojenja u uslužnom sektoru, iako su uglavnom u rasponu od 200 do 300 kW. Sadašnji solarni energetski ciljevi Hrvatske sastoje se u tome da će ugraditi najmanje 52 MW solarnih fotonaponskih sustava do 2020. godine; što je suprotnost s ciljem zemlje da barem instalira 1,2 GW (1200 MW) energije vjetra do iste godine. [2]

Tehnički potencijal solarne energije na 1% kontinentalnog dijela Hrvatske procjenjuje se na 830 TWh / godišnje ili približno 10 puta dnevne potrošnje primarne energije u Hrvatskoj. Ako se pretpostavi da se 60 % te energije koristi za proizvodnju toplinske snage i 40 % za proizvodnju električne energije, može se zaključiti da : 1) tehnički potencijal za proizvodnju toplinske energije iz solarnih kolektora i korištenje pasivne solarne energije iznosi 175 TWh / godišnje; 2) tehnički potencijal za proizvodnju električne energije iz fotonaponskog sustava i solarne termoelektrane iznosi oko 33 TWh / godišnje.

Gospodarski potencijal solarne energije u Hrvatskoj procjenjuje se kako slijedi:
- energija grijanja koja iznosi oko 50% topline niske temperature u 2000. ili gotovo 12 TWh / godišnje, proizvodnju grijanja iz solarnih kolektora i pasivne upotrebe solarne energije . To čini oko 7% tehničkog potencijala solarne energije za grijanje u Hrvatskoj; -električna energija proizvedena od sunčeve energije u fotonaponskim sustavima i solarnim toplinskim elektranama mogla bi postati gospodarski održiva oko 2020. godine. Uz korištenje nešto malo manje od 1% tehničkog potencijala, gospodarski potencijal za proizvodnju solarne energije bi iznosio oko 0,3 TWh / godišnje, što je ekvivalentno oko 200 MWe struje.

Dva su cilja postavljena u Strategiji odnoseći se na iskorištavanje solarne energije:
-situacija u odnosu na sustave solarnih grijanja u Hrvatskoj do 2020. godine mora biti jednaka razini u Njemačkoj i Grčkoj u odnosu na omjer stanovništva (cilj od 0,22 m2 po glavi);
-situacija u Hrvatskoj s obzirom na državnu fotonaponsku instaliranu snagu do 2020. mora biti jednaka situaciji u Španjolskoj danas (11,71 W po glavi), a Njemačka do 2030. (preko 45 W po glavi). Također se pretpostavlja da će stopa rasta u iskorištavanju fotonaponskih sustava biti oko 68% godišnje do 2020. godine, a do 2030. ta stopa bi trebala iznositi oko 20 % godišnje. [2]

Procjenjuje se da je prosječna izolacija u Hrvatskoj jednaka 1,37 MWh / m2 / godišnje. Greenpeace je procijenio da će solarna energija postati najjeftiniji izvor energije u Hrvatskoj u nadolazećim godinama, uz najveći potencijal i priliku za masovna ulaganja većih razmjera. Kumulativna ušteda od 4 do 5 milijardi eura godišnje u uvozu energije bi se mogla postići prijelazom na 100 % obnovljive izvore energije. Predloženi projekti bi stvorili do 3600 radnih mjesta u izgradnji elektrana i 8000 stalnih radnih mjesta u pogonu i održavanju godišnje do 2050.
Instalacija fotonapona na sve škole bi zahtijevala jednokratnu investiciju od oko 60 milijuna eura, ali to bi proizvelo godišnju uštedu od preko 7 milijuna eura.

Faza provedbe povećanja korištenja sunčeve energije dijeli se na dva segmenta :

- 2010. – 2020.
  -postizanje postavljenih pokazatelja- 300 000 stanovnika s najmanje 1,5m2 instalirane snage solarnih kolektora kako bi zadovoljili svoje potrebe grijanja;
  -postizanje postavljenih pokazatelja- 11,71 W / po glavi instalirane snage u fotonaponskim sustavima
- 2020. – 2030.
  -ostvarivanje 50% novoizgrađenih zgrada s nekim oblikom solarnog izvora energije koji zadovoljava vlastitu energetsku ravnotežu;
  -postizanje više od 45 W fotonaponske snage po glavi;
  -postizanje 4. mjesta u Europi s obzirom na MWth solarnih sustava po glavi [2]

3. TEHNOLOGIJE I KARAKTERISTIKE TANKOSLOJNIH FOTONAPONSKIH MODULA

3.1.Tehnologije izrade tankoslojnih fotonaponskih modula

Od različitih solarnih fotonaponskih modula postoje dvije osnovne tehnologije fotonaponskih modula koje su danas dostupne:

- solarne ćelije izrađene od kristalnog silicija kao mono ili polikristalne ploče;
- proizvodi tankog filma koji uglavnom uključuju vrlo tanke slojeve fotonaponskih aktivnih tvari postavljenih na staklenu ili metalnu podlogu koristeći tehnike proizvodnje vakuumskog taloženja.

Fotonaponska ćelija proizvedena tehnikom tankog filma je ćelija napravljena nanošenjem jednog ili više tankih slojeva materijala na podlogu(zbog toga se i zove tanki film). Debljina takvih slojeva vrlo je promjenjiva i kreće se od nekoliko nanometara do desetak mikrometara. Tanke fotonaponske ćelije se obično kategoriziraju prema tome koji se materijal koristi. Te kategorije su:

- Kadmij telurij (CdTe)

- Bakar indij/galij selenid (CIS or CIGS)

- Galij arsenid (GaAs)

- Obojene solarne ćelije (DSC)

- Organske solarne ćelije

- Silicijski tanki film

-Bakar indij selenid (CIS ili CIGS)

Silicij je i dalje temeljni materijal koji se koristi za proizvodnju fotonaponskih modula. Od svih poluvodičkih materijala, električna, optička i fizikalna svojstva silicija najstrože su istraživana. Solarne fotonaponske stanice na bazi silicija pokazale su da nude dobru pouzdanost u vanjskom prostoru, kao i na zemaljskim aplikacijama. Drugi materijali, poput galij arsenida (GaAs) i kadmij telurija (CdTe), skuplji su. Nedostatak silicija je njegovo skupo pročišćavanje. [4]

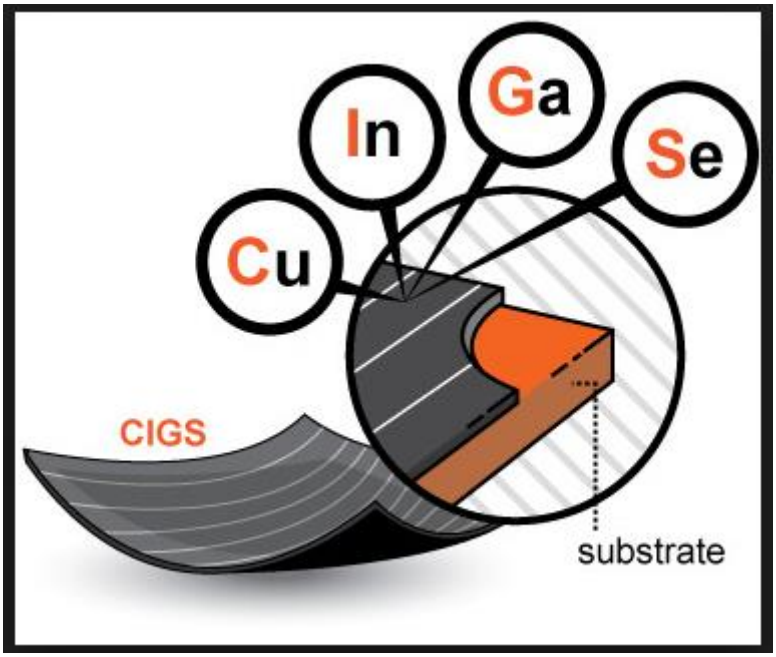
Amorfni silicij (a-Si) je nekristalni oblik silicija gdje su atomi raspoređeni na relativno slučajni način. Zbog neuredne prirode materijala, neki atomi imaju viseću vezu koja narušava protok elektrona. Amorfni silicij ima najmanju snagu pretvorbe snage od tri tipa, ali je najjeftiniji za proizvodnju.

Najefikasniji dio industrije uvijek je bila kristalna silikonska stanica proizvedena iz jednog kristala ili poliranog polikristalnog silicija koji je presječen na ploču od oko 10 x 10 cm površine i debljine 350 μm. Te stanice pokazuju učinkovitost između 13 i 15%, ovisno o kvaliteti materijala i specifičnoj tehnologiji ćelija. Jedan kristal silicija je definiran kao veličina zrna veća od 10 cm. Moduli napravljeni od ove vrste stanica su najzreliji na tržištu. Pouzdani proizvođači ove vrste fotonaponskih modula nude garancije do 20-25 godina na 80% pločica s oznakom.

Polikristalične i multikristalične stanice su sastavljene od raznih kristala silicija formiranog iz poluge. Također su rezane, a zatim dopirane i ugravirane. One pokazuju efekte konverzije nešto niže od prijašnje objašnjenih monokristalnih stanica, općenito od 13 do 15%. Pouzdani proizvođači obično jamče polikristalne fotonaponske module na 20 godina. Multikristalične ćelije imaju veličine zrna manju od 100nm. Danas, velika većina fotonaponskih modula temelji se na c-Si modulima. To je zbog njihove dokazane i pouzdane tehnologije, dugog vijeka trajanja i bogatih primarnih resursa.

Visok trošak kristalne silicijske solarne ćelije prvenstveno je zbog visokih troškova Si ploča, što čini 40-50% troškova završenih modula. Stoga je tehnologija tankog filma došla na ideju smanjenja troškova materijala korištenjem manje količine apsorbirajućeg materijala. Odabrani materijali su svi jaki apsorberi svjetla i samo trebaju biti debljine oko 1 mikrona. Tako se materijalni troškovi znatno smanjuju. Neki od najatraktivnijih materijala koji se koriste za solarnu ćeliju su a-Si, CdTe, CIS i CIGS. Tankoslojni moduli su konstruirani taloženjem iznimno tankih slojeva fotoosjetljivih materijala na nisku podlogu kao što su staklo, nehrđajući čelik ili plastična masa. Tlačne solarne ćelije sastoje se od slojeva aktivnih materijala oko 10 nm debljine.[4]
Materijali na osnovi bakar indij diselenida koji su zanimljivi za upotrebu u FN ćelijama uključuju nekoliko materijala iz I, III i VI skupine elemenata periodnog sustava. Ti poluvodiči su posebno zanimljivi za FN ćelije u obliku tankog filma zbog velikog apsorpcijskog koeficijenta i raznovrsnih optičkih i električnih karakteristika kojima se može upravljati i uskladiti ih za specifičnu namjenu FN ćelije. CIS je kratica za C u I n S e 2, a CIGS je oblik CIS-a.

CIS moduli ostvaruju efikasnost veću od 14 %. Međutim, trenutni proizvodni troškovi CIS-a su vrlo visoki u usporedbi s amorfnim silicijem. Prva proizvodnja CIS modela velikih razmjera započela je tvrtka Wuerth Solar u Njemačkoj 2006. godine. Proizvodne tehnologije se razlikuju i uključuju upotrebu ultrazvučnih mlaznica za taloženje materijala. Kada je galij zamijenjen za neki od indija u CIS-u, materijal se naziva CIGS ili bakar indij (galij) diselenid, čvrsti spoj poluvodiča CuInSe2 i CuGaSe2. [4]

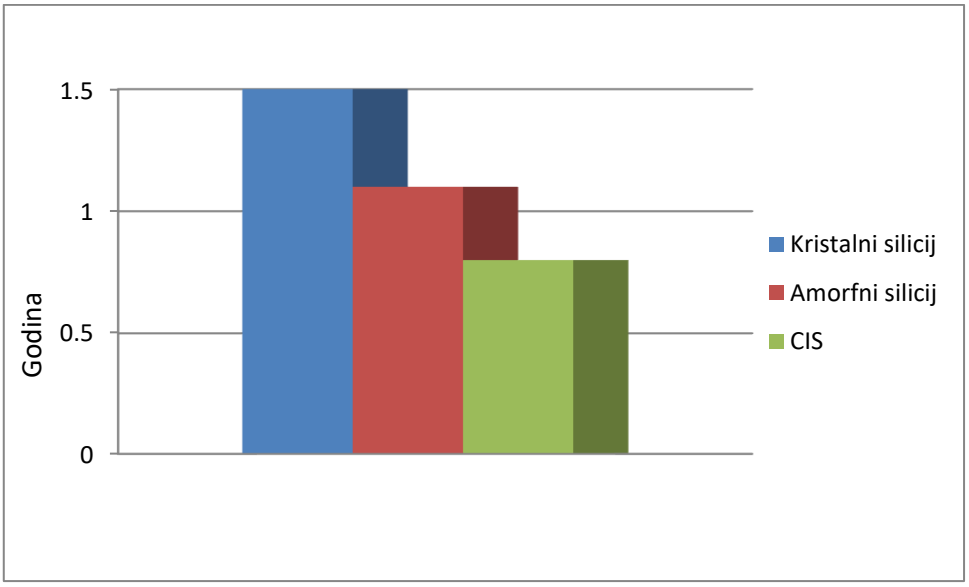


Slika 3.1 Zastupljenost pojedinih elemenata u CI(G)S modulu [9]

3.2. Razlika kristaličnih i tankoslojnih fotonaponskih modula

CIS – tankoslojni fotonaponski modul - (Cu- bakar, In- indij, Se- selenij) kako je već rečeno je nova tehnologija proizvodnje fotonaponskih modula, koja se ističe izbacivanjem olova i kadmija u proizvodnji solarnih ploča. Veliki napredak je postignut i u samoj strukturi modula koja omogućava veću učinkovitost, do čak 13%.

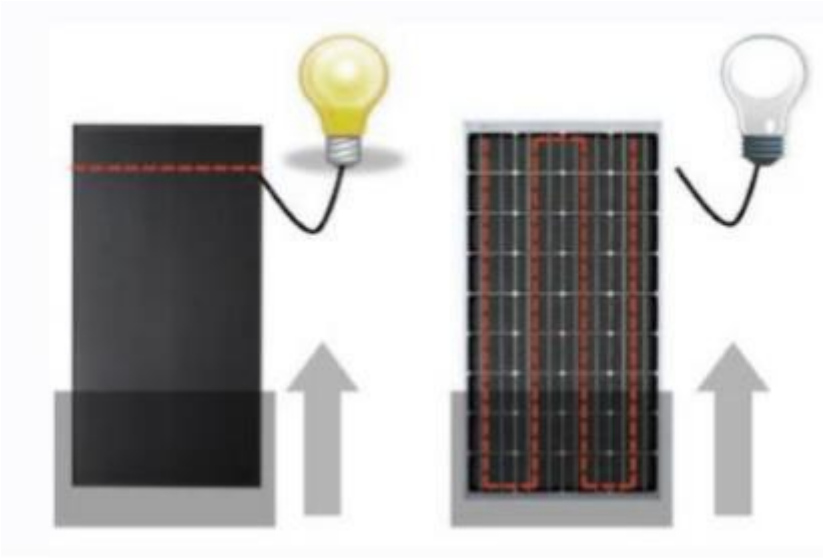
CIS tehnologija jedna je od vodećih u svijetu po kvaliteti, kapacitetu proizvodnje, svojstvima, ekološkim standardima i isplativosti u odnosu na ostale tehnologije što znači da je kod ove tehnologije potrebno najmanje vremena za povrat energije uložene za izradu modula kao što vidimo na slici 3.2.



Slika 3.2 Vrijeme povrata energije uložene za proizvodnju [3]

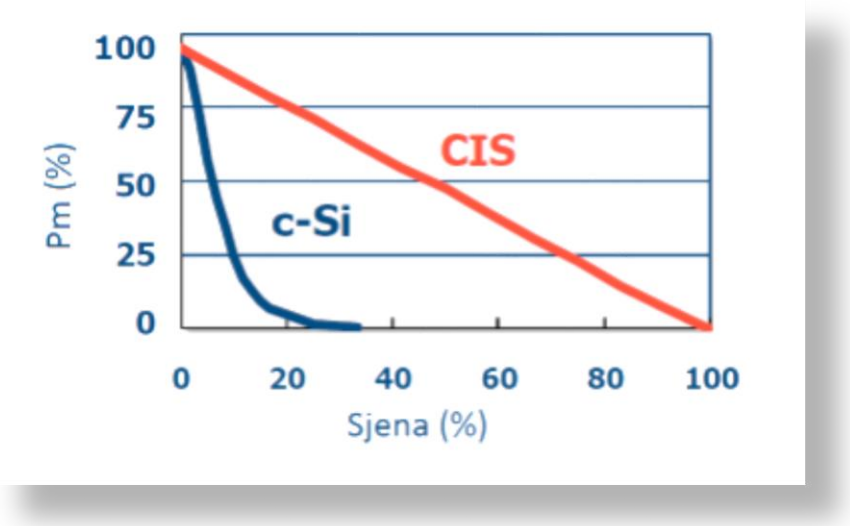
Prednosti CIS tankoslojne tehnologije izrade fotonaponskih modula:

CIS moduli imaju vrlo visoku toleranciju na sjenu zbog toga što je struktura ćelije ovog modula potpuno drugačija u odnosu na module kristalnog silicija; to je zbog razlike u tehnologiji i proizvodnji. Ćelije CIS modula se protežu dužinom cijeloga modula, dok su kod kristal silicij modula ćelije kvadrati uobičajeno veličine oko 15 cm. I kod jednog i kod drugog modula ćelije su međusobno spojene u seriju. Utjecaj sjene na pojedinu tehnologiju prikazan je na slici 3.3.



Slika 3.3 Utjecaj sjene na pojedine module (CIS i kristal silicij ćelije) [3]

Kad je modul djelomično, ili samo jedna ćelija, u sjeni ili djelomično prekriven, cijeli kristalni modul prestaje raditi. Za razliku od toga CIS modul će nastaviti raditi sve dok cijela ćelija nije u sjeni, a samim time i cijela dužina modula pokrivena ili u sjeni. (Slika 3.4).

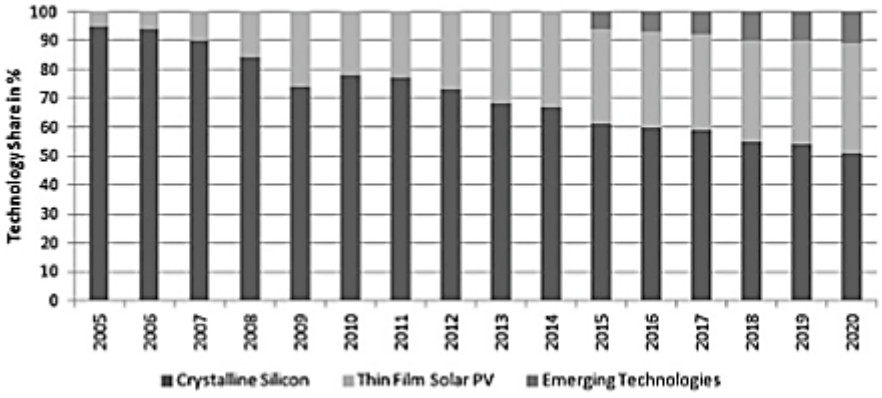


Slika 3.4 Utjecaj zasjenjenja na pojedinu tehnologiju [3]

Na tržištu fotonaponskih ćelija u EU, *Solar Frontier* je jedan od rijetkih fotonaponskih modula koji ispunjava uvjete RoHS direktive (*Restriction of hazardous substances*). RoHS direktiva iz 2006. godine propisuje najveće dopuštene vrijednosti kemijskih štetnih tvari. Iz toga je vidljivo da je modul SF150-S ekološki prihvatljiv. Rekordna učinkovitost u laboratoriju je 25,6% za monokristaličnu i 20,8% za višekristalnu tehnologiju baziranoj na silicijskoj ploči. Najveća učinkovitost laboratorija u tankoslojnoj tehnologiji iznosi 21,0% za CdTe i 20,5% za CIGS solarne ćelije. U posljednjih 10 godina, učinkovitost prosječnih silicijskih modula što se tiče prometa povećala se s oko 12% na 17% . Istodobno, učinkovitost CdTe modula poveća se s 9% na16%.
U laboratoriju, modeli s najboljom izvedbom temelje se na monokristalnom siliciju s oko 23% posto učinkovitosti. Snimanje učinkovitosti pokazuje potencijal daljnjeg povećavanja učinkovitosti na razini proizvodnje. U laboratoriju, višestruke solarne ćelije visoke koncentracije danas postižu učinkovitost do 46,0%. S tehnologijom koncentratora postiže se učinkovitost modula do 38,9%.

Tržišni udio proizvodnje na svjetskom tržištu solarnog fotonapona porastao je sa samo 5% u 2005. godini na 33% u 2014. godini, a solarni fotonapon, kako je prikazano na slici 3.4, povećao bi svoj udio na 38% do 2020. godine.

Trenutni pojedinačni komercijalni c-Si moduli imaju veću učinkovitost pretvorbe od oko 14-20%. Očekuje se da će njihova učinkovitost porasti do 23% 2020. godine i do 25% na duži rok. Moduli s višekristalnim silicijem imaju više poremećenu atomsku strukturu što dovodi do nižih efekta, ali je jeftiniji. Očekuje se da će njihova efikasnost dugoročno porasti na 21%.



Slika 3.5 Porast fotonapona na tržištu

Prednosti tankoslojnih a-Si modula :

- vrhunske performanse pod visokim temperaturnim uvjetima, npr.u pustinjama, visoravnima i sličnim uvjetima
- dobar prinos kod difuznog sunčevog zračenja i kod niskog intenziteta svjetlosti npr. oblaci, magla, zora, sumrak itd.
- bolja proizvodnja energije kWh/kWp od svojih pandana
- neovisnost od manjka opskrbe silicijem
- potencijal smanjenja troškova zbog naravi monolitne proizvodnje
- površine mogu biti fleksibilne ili krute a također i polutransparentne te spremne za integraciju u zgrade [4]

4. ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA FOTONAPONSKIH MODULA

4.1. Karakteristike tankoslojnih fotonaponskih modula

U ovom poglavlju opisane su tehničke karakteristike korištenih tankoslojnih fotonaponskih modula te način mjerenja odnosno ispitivanja samih karakteristila u laboratoriju za obnovljive izvore FERIT-a.

4.1.1 Fotonaponski modul MASDAR MPV100-S



Slika 4.1 Izgled fotonaponskog modula tankoslojne tehnologije, MASDAR MPV100-S [6]

Tehničke karakteristike prema STU-u za MASDAR MPV100-S:

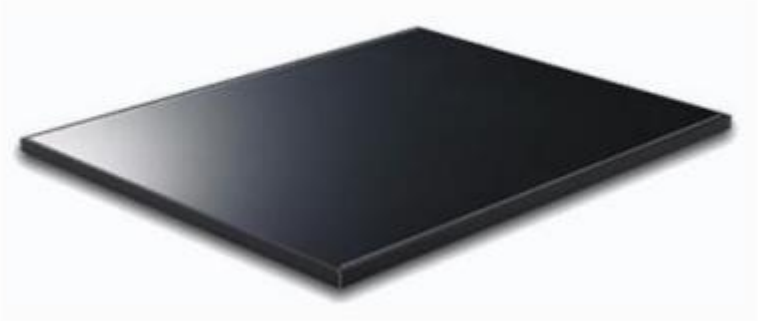
- P = 100 W;
- η ploče = 7 %;
- dimenzije: 1.300 mm x 1.100 mm x 34 mm;
- masa: 29,5 kg

Tehničke specifikacije tankoslojnog modula MASDAR MPV100-S pri temperaturi od 25°C. [6]

zračenje	$\boldsymbol{I}$**ks**(**A**)	$\boldsymbol{U}$**ph**(**V**)	$\boldsymbol{I}$**mpp**(**A**)	$\boldsymbol{U}$**mpp**(**V**)
1.000 W/m2	1,58	96	1,34	75

4.1.2 Fotonaponski modul SOLAR FRONTIER SF-150

Solarna ploča „Solar Frontier SF150“ načinjena je od CIS (Cu-bakar, In-indij, Se-selen) tehnologijom tankog filma što daje značajnu kvalitetu i sigurnost klase II (IEC 61140). [7]



Slika 4.2 Izgled fotonaponskog modula tankoslojne tehnologije, SOLAR FRONTIER SF-150 [7]

Tehničke karakteristike prema STU-u (standardnim tehničkim uvjetima) za SOLAR FRONTIER SF-150:

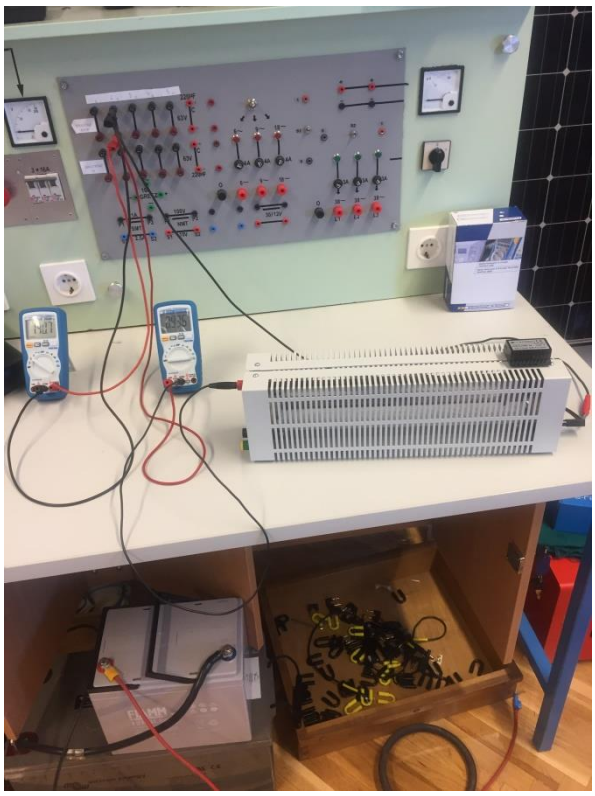
- P = 150 W;
- η ploče = 12.2 %;
- dimenzije: 1257 mm x 977 mm x 35 mm;
- masa: 20 kg.

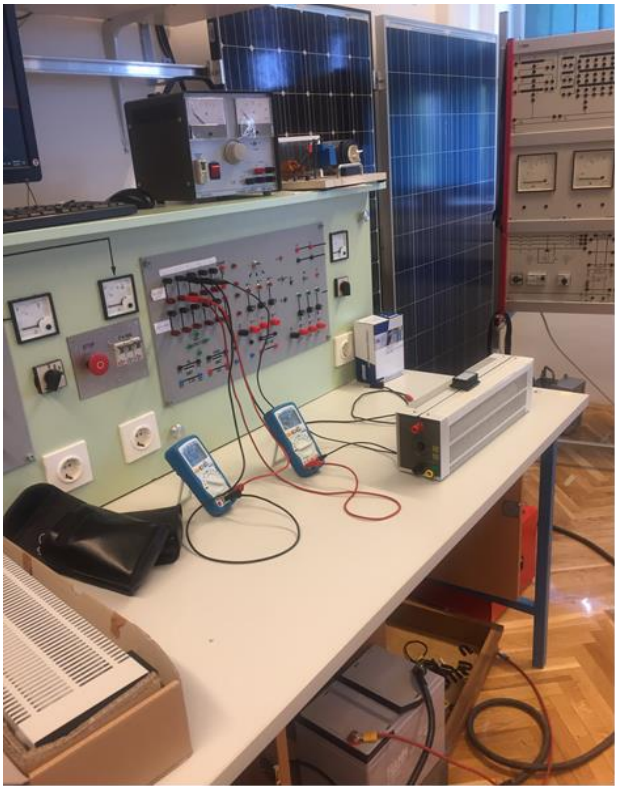
Tehničke specifikacije tankoslojnog modula SOLAR FRONTIER SF-150 pri temperaturi od 25°:

zračenje	$\boldsymbol{I_{ks}}$**(A)**	$\boldsymbol{U_{ph}}$**(V)**	$\boldsymbol{I_{mpp}}$**(A)**	$\boldsymbol{U_{mpp}}$**(V)**
1.000 W/m^2	2,10	110	1,90	79
808 W/m^2	1,69	108,6	1,51	80
600 W/m^2	1,26	106,7	1,13	80
400 W/m^2	0,84	104,4	0,76	79
200 W/m^2	0,43	100	0,38	78

4.2 Mjerenja u laboratoriju

Sva mjerenja izvodili smo u Laboratoriju za obnovljive izvore FERIT-a u različito vrijeme kroz dva dana, a za potrebe mjerenja i izradu ovog rada koristili smo tankoslojnu tehnologiju. Mjerenja smo izvodili na vanjskim i unutarnjim tankoslojnim CIS i a-Si fotonaponskim modulima uz pomoć uređaja za mjerenje napona i struje te otpora sa strane. Svaki modul smo mjerili od karakteristike kratkog spoja (U=0V) do praznog hoda (I=0A) kako bismo dobili valjanu U-I karakteristiku za svaki modul. Ispitivanja smo provodili kroz pola sata gdje se snaga sunčevog zračenja mijenjala od G=383 W/m2 do G=450 W/ m2.





Slike 4.3 i 4.4 Postavljanje pulta za mjerenje struje i napona a-Si i CIS fotonaponskog modula





Slike 4.5 i 4.6 prikazuje osvijetljene unutarnje fotonaponske module

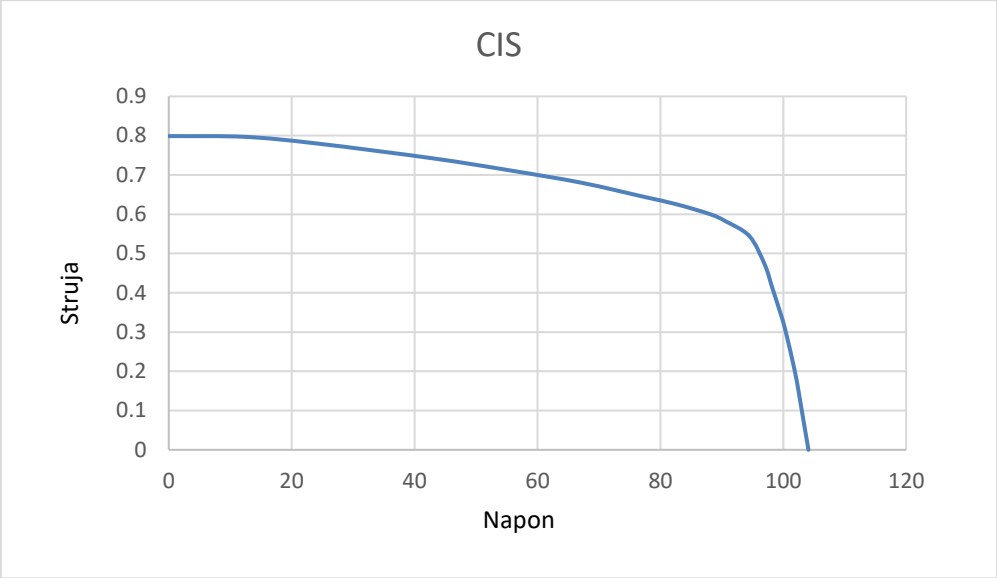
4.3.1 Karakteristike CIS modula

Tablica 4.1. Vrijednosti izmjerene struje i napona, te izračunate snage

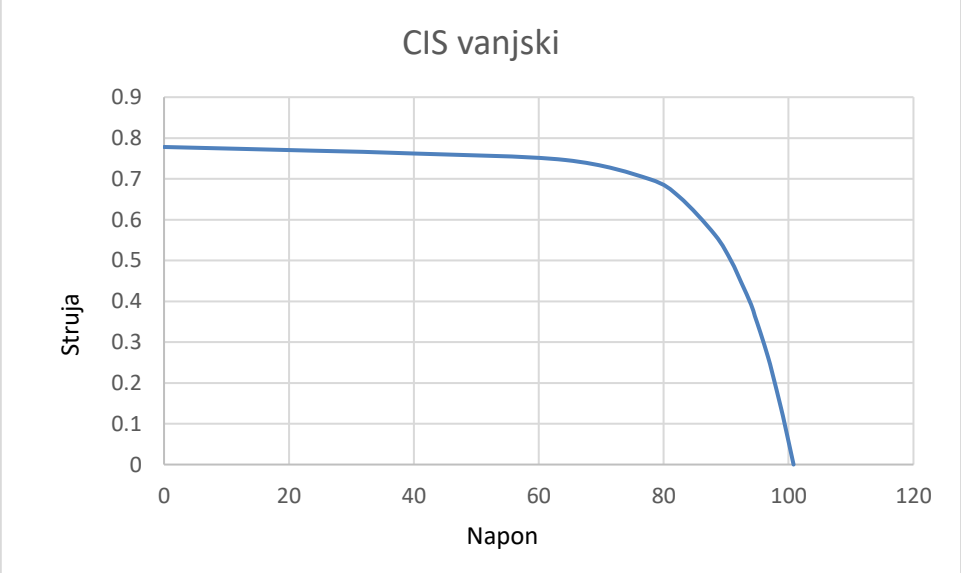
Sve izmjerene vrijednosti su uz vrijednost sunčeva zračenja od 383 W/ m2 za vanjski modul te G=392 W/m2 za unutarnji.

Vanjski CIS		
U [V]	I [A]	P[W]
0	0,779	0
12,42	0,797	9,87874
24,17	0,78	18,8526
43,1	0,742	31,9802
55,35	0,712	39,4092
67,2	0,68	45,696
77,4	0,644	49,8456
82,7	0,625	51,6875
88,1	0,6	**52,86**
90,5	0,583	52,7615
94,5	0,544	51,408
97	0,471	45,687
98,2	0,413	40,5566
99,4	0,355	35,287
100,3	0,307	30,7921
102,5	0,148	20,9708
104,1	0	0

Unutarnji CIS		
U [V]	I [A]	P[W]
0	0,778	0
23,81	0,769	18,30989
40,07	0,762	30,53334
64,3	0,746	47,9678
77,8	0,699	**54,3822**
82,5	0,656	54,12
88,2	0,563	49,6566
90,8	0,499	45,3092
92,4	0,447	41,3028
94	0,392	36,848
94,6	0,364	34,4344
95,5	0,323	30,8465
96,7	0,264	25,5288
97,4	0,224	21,8176
98,8	0,138	13,6344
99,4	0,098	9,7412
100,8	0	0



Slika 4.7 I-U karakteristika vanjskog CIS modula

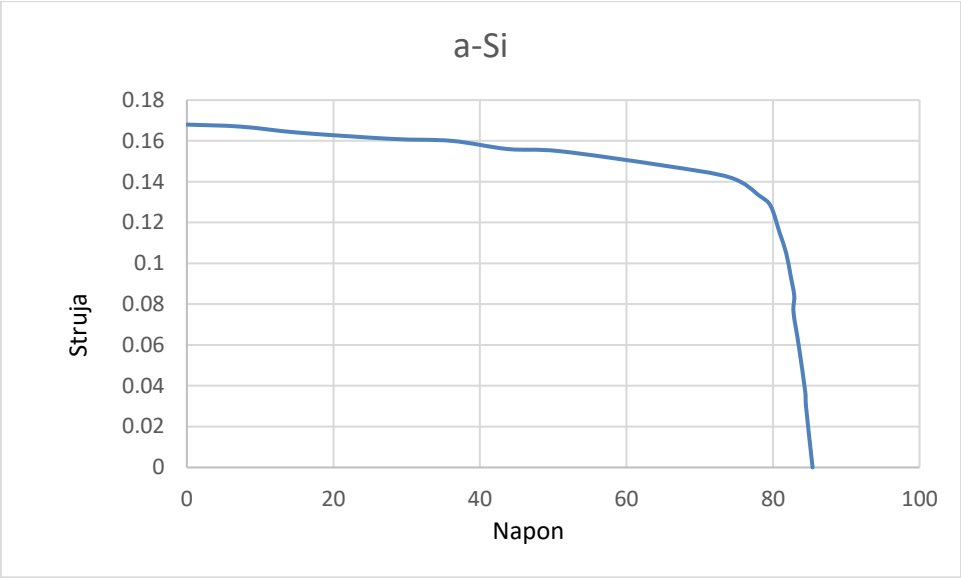


Slika 4.8 I-U karakteristika unutarnjeg CIS modula

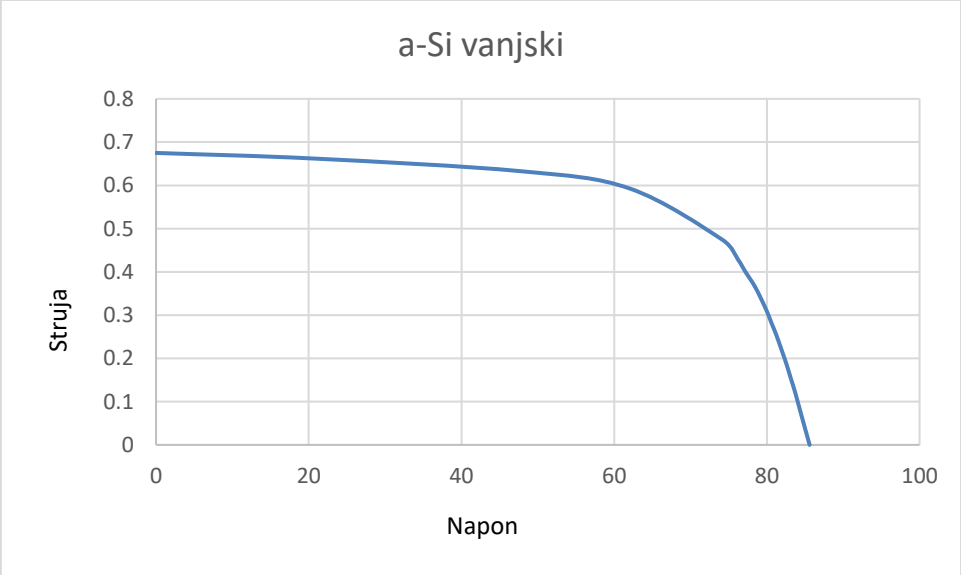
4.3.2 Karakteristike a-Si modula

Tablica 4.2. Vrijednosti izmjerene struje i napona, te izračunate snage
Sve izmjerene vrijednosti su uz vrijednost sunčeva zračenja od 393 W/ m2 za vanjski modul te G=450 W/m2 za unutarnji.

Vanjski a-Si			Unutarnji a-Si		
U [V]	I [A]	P[W]	U [V]	I [A]	P[W]
0	0,675	0	0	0,168	0
20,71	0,662	13,71002	7,34	0,167	1,22578
47,62	0,633	30,14346	15,4	0,164	2,5256
62	0,593	**36,766**	27,91	0,161	4,49351
74,2	0,474	35,1708	36,19	0,16	5,7904
76,2	0,429	32,6898	43,81	0,156	6,83436
77,2	0,4	30,88	50,8	0,155	7,874
78,5	0,364	28,574	64,9	0,148	9,6052
79,9	0,313	25,0087	74,2	0,142	**10,5364**
80,6	0,282	22,7292	78,2	0,133	10,4006
81,2	0,256	20,7872	79,7	0,128	10,2016
82	0,216	17,712	80,9	0,115	9,3035
82,6	0,185	15,281	81,8	0,105	8,589
83,1	0,156	12,9636	82,4	0,094	7,7456
83,7	0,122	10,2114	83,5	0,06	5,01
84,3	0,083	6,9969	84,4	0,037	3,1228
85,6	0	0	85,4	0	0



Slika 4.9 I-U karakteristika unutarnjeg a-Si modula



Slika 4.10 I-U karakteristika unutarnjeg a-Si modula

Unutrašnji otpori fotonaponske ćelije određuju I-U karakteristiku s točkom maksimalne snage. Za maksimalnu snagu P_m karakteristične su veličine struja I_m i napon U_m kako je prikazano na slici. [8]

Omjer maksimalne snage i produkta I_{KS} sa naponom U_O se naziva faktor punjenja F (faktor koji određuje maksimalnu snagu fotonaponskog modula u navedenim točkama):

$$F = \frac{I_m * U_m}{I_{KS} * U_o}$$

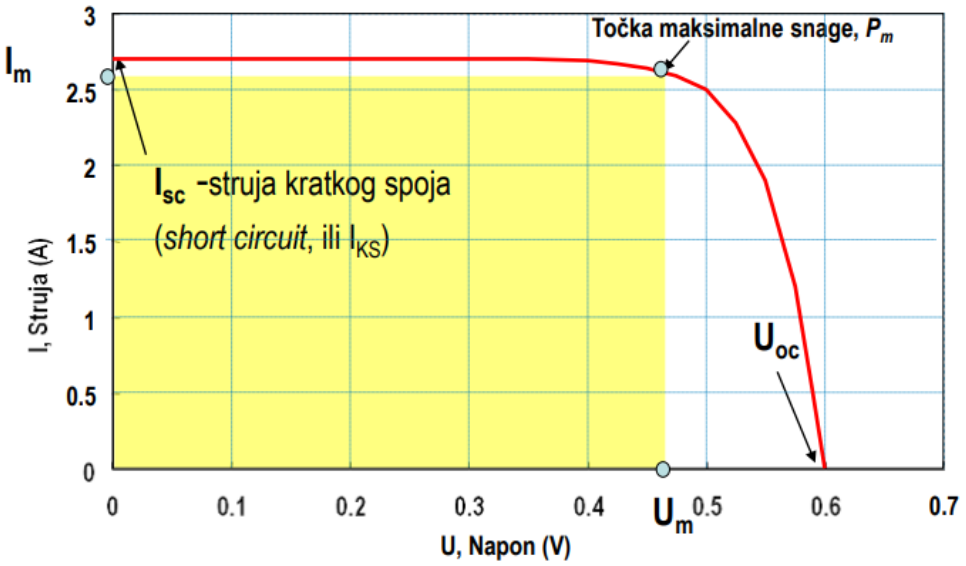
gdje su:

U_m- napon u točki maksimalne snage

I_m- struja u točki maksimalne snage

U_{OC}- napon otvorenog kruga (*open circuit*, ili U_{OK} ili samo U_O)

I_{SC}-struja kratkog spoja (*short circuit*, ili I_{KS})



Slika 4.11 Grafički prikaz definiranja faktora ispune (F) [8]

Faktor ispune za vanjski CIS iznosi F=0,69345, dok za unutarnji iznosi F=0,6355, a za vanjski a-Si fotonaponski modul faktor ispune iznosi F=0,63631, a za unutarnji F=0,73439.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnog rada obuhvaćena je tema tankoslojnih fotonaponskih modula, od tržišta do mjerenja I-U karakteristika. Iz I-U karakteristike možemo izdvojiti tri karakteristične točke koje predstavljaju osnovne parametre fotonaponskog modula, a to su: struja kratkog spoja I_{ks}, napon otvorenog kruga U_{OK} i točka maksimalne (vršne) snage P_m. Često se uz spomenute još daju i podaci o djelotvornosti i o faktoru punjenja F, ali se u svakodnevnoj praksi fotonaponski moduli najčešće rangiraju s obzirom na vršnu snagu. Navedene veličine, međutim, nisu stalne; ovise kako o tehnologiji proizvodnje tako i o posebnostima svakog pojedinog modula, ali značajno ovise i o vanjskim utjecajima, odnosno atmosferskim prilikama.
Na karakteristike modula u realnim uvjetima značajno utječu vanjski faktori, od kojih su najvažniji ozračenje, temperatura, spektralni sadržaj upadnog zračenja te kut pod kojim zračenje upada na modul. Utjecaj svakog pojedinog faktora nije isti za sve module i ovisi i o tehnologiji u kojoj je modul izrađen. Uvid u karakteristike i ponašanje modula može se dobiti jedino testiranjima u stvarnim uvjetima rada modula. Problem vezan u takva testiranja je činjenica da se svi vanjski uvjeti mijenjaju istovremeno, a često su i međusobno povezani zbog čega je vrlo teško sasvim točno izdvojiti zaseban utjecaj svakog pojedinog faktora na radne karakteristike modula.

Kako se može vidjeti iz prethodnog poglavlja, mjerenjem vrijednosti napona i struja za različite vrijednosti Sunčeva zračenja, vanjski moduli, kako CIS tako i a-Si, imaju nešto veće vrijednosti u točkama maksimalne snage što se može pridodati tome da je Sunce kao izvor, bez obzira na iznenadna naoblačenja, ipak jači izvor sunčeva zračenja od umjetno stvorenoga sunčeva zračenja pomoću reflektora i žarulja s kojima smo se mi koristili u laboratoriju.

Faktor ispune pokazuje koliko se realna ćelija približava idealnoj, a kod mjerenja faktora ispune u našem slučaju vidimo da se on kreće oko 0,7 što prikazuje izvrsnost karakteristika tankoslojnih fotonaponskih modula (imaju pun manje gubitke nastale utjecajem zasjenjenja u odnosu na različitih tehnologija izrade drugih fotonaponskih modula, kao što su npr. monokristalni fotonaponski moduli ili polikristalni fotonaponski moduli.)

6. LITERATURA

[1] Renewables 2017 global status report - REN21. 2017. (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9818107-6-9

[2] A. Soullar, D. Bencetić- Renewable Energy in Croatia https://www.flandersinvestmentandtrade.com/export/sites/trade/files/market_studies/2016-Croatia-Renewable-Energy_0.pdf (pristupila 08.09.2017.)

[3] H. Schneider, Introduction of Solar Frontier, August 2012., Confidential

[4] Paul A. Lynn; Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics; 2010.; John Wiley & Sons, Ltd

[5] P.Mohanty, T. Muneer, M. Kolhe Solar PV system application-Design of off-grid systems 2016, ISSN 1865-3537 ; Green Energy and Technology

[6] MPV-S - a-Si Thin-Film PV Module www.masdarpv.com (pristupila 10.09.2017.)

[7] Solar Frontier- product overview - www.solar-frontier.com (pristupila 10.09.2017.)

[8] Obnovljivi izvori energije http://oie.mingo.hr/default.aspx?id=8 (pristupila 12.09.2017.)

[9] Photovoltaic manufacturing consortiuum- http://www.uspvmc.org/technology_PVMC.html (pristupila 14.09.2017.)

Sažetak

Ovaj rad baziran je na opisu postupka izrade tankoslojnih fotonaponskih modula te pregledu tržišta istih, osnovnim tipovima tankoslojnih fotonaponskih modula i njihovim karakteristikama. Također, prikazana su mjerenja I-U karakteristika pojedenih modula. Korišteni su tankoslojni CIS i a-Si fotonaponski moduli.

Abstract

This work is based on explaining the procedure of production thin film photovoltaic modules and the review of the solar market, basic types of thin film photovoltaic modules and their characteristics. Also, measurements of I-U characteristics for each module are shown. It is used thin film photovoltaic module CIS and a-Si.

Životopis

Valentina Ćosić rođena je 29. listopada 1995. u Slavonskom Brodu. Živi u Slavonskom Šamcu na adresi Matije Gupca 27 i tamo je pohađala osnovnu školu J. Kozarac, nakon čega upisuje Gimnaziju Matije Mesića, opći smjer. Cijelo dotadašnje školovanje rezultiralo je brojnim školskim i županijskim natjecanjima, nadasve iz prirodnih predmeta što je potaknulo na upis na preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.