

I. gimnazija v Celju

Leče v fotovoltaiiki – realnost ali fantazija?

Raziskovalna naloga

Avtor:

Blaž Podgoršek, 3. b

Mentor:

Silvestar Ovčar, prof. fiz.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, 2011

Zahvala

»Kdor se učenju posveča, se vsak dan veča!« (Slovenski pregovor)

Učenje je lažje in v večje veselje, če ti pri tem stojijo ob strani stojijo dobri učitelji. Tudi pri raziskovanju je tako, zato se iskreno zahvaljujem mentorju, gospodu Silvestru Ovčarju, prof.fiz., ki je bil pripravljen prisluhniti moji želji in zanjo žrtvovati tudi veliko svojega prostega časa.

Z idejo, strokovno in izvedbeno pomočjo sta veliko pripomogla rezultatu mojega raziskovanja tudi dr. Andrej Lubej in gospod Amadej Kujan iz Cinkarne Celje. Hvala, ker sta si vzela čas zame.

Izvedba in razlaga mojih raziskav bi bili močno okrnjeni, delno pa celo neizvedljivi, brez izdatne pomoči dr. Polone Škraba iz Laboratorija za fiziko organskih snovi na Univerzi v Novi Gorici. Hvala ji za izvedbo meritev, še bolj pa za njeno pripravljenost učiti, razlagati in navduševati mlade za delo na naravoslovnih področjih.

Za jezikovni pregled naloge se zahvaljujem gospe Darji Poglajen, prof. slov. in ruš.

Jaki Javerniku hvala za pomoč pri angleškem prevodu povzetka naloge.

Za spodbudo, razumevanje, strokovno in moralno pomoč pa se najlepše zahvaljujem svoji mami.

Kazalo

SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

POVZETEK

ABSTRACT

1	UVOD	1
1.1	SPLOŠNO.....	1
1.2	NAMEN IN CILJ RAZISKOVALNEGA DELA.....	3
1.3	HIPOTEZE.....	3
1.4	RAZISKOVALNE METODE.....	4
2	TEORETIČNI DEL	5
2.1	SPLOŠEN OPIS UPORABLJENIH SONČNIH CELIC IN PRINCIP NJIHOVEGA DELOVANJA.....	5
2.1.1	<i>Amorfne silicijeve sončne celice</i>	<i>5</i>
2.1.1.1	Splošno	5
2.1.1.2	Princip delovanja silicijevih sončnih celic.....	6
2.1.2	<i>Organske celice</i>	<i>8</i>
2.1.2.1	Splošno	8
2.1.2.2	Princip delovanja organskih sončnih celic.....	9
2.1.3	<i>Sončne celice DSSC</i>	<i>11</i>
2.1.3.1	Splošno	11
2.1.3.2	Princip delovanja celice DSSC.....	12
2.2	MOŽNOSTI ZA POVEČANJE UČINKOVITOSTI SONČNIH CELIC.....	13
2.2.1	<i>Uporaba leče</i>	<i>13</i>
2.2.2	<i>Vpliv temperature na moč sončnih celic</i>	<i>14</i>
2.3	KARAKTERIZACIJA SONČNIH CELIC	15
2.3.1	<i>Splošno</i>	<i>15</i>
2.3.2	<i>Določitev moči sončne celice</i>	<i>16</i>
2.3.3	<i>Faktor pravokotnosti krivulje diodne karakteristike sončne celice</i>	<i>17</i>
2.3.4	<i>Učinkovitost sončne celice</i>	<i>18</i>
3	EKSPERIMENTALNI DEL	19
3.1	POSTOPEK IZDELAVE ORGANSKE SONČNE CELICE.....	19
3.2	IZVEDBA PRIMERJALNIH MERITEV TREH VRST SONČNIH CELIC Z UPORABO ZBIRALNE LEČE IN BREZ NJE.....	20
3.3	MERITVE TEMPERATURE NA POVRŠINI AMORFNE SILICIJEVE SONČNE CELICE Z UPORABO LEČE IN BREZ NJE.....	20
3.3.1	<i>Izračun toplotnega fluksa in masnega pretoka sanitarne vode</i>	<i>21</i>
3.4	UPORABLJENI INVENTAR IN MERILNI INSTRUMENTI.....	22

4	REZULTATI IN RAZPRAVA	23
4.1	PRIMERJAVA REZULTATOV AMORFNE SILICIJEVE, DSSC IN ORGANSKE SONČNE CELICE.....	23
4.1.1	<i>Amorfna silicijeva celica</i>	<i>24</i>
4.1.2	<i>Sončna celica DSSC</i>	<i>34</i>
4.1.3	<i>Organska sončna celica</i>	<i>38</i>
4.2	VPLIV LEČE NA DVIG TEMPERATURE POVRŠINE SONČNE CELICE	42
4.3	OCENA SMOTRNOSTI UPORABE ZBIRALNIH LEČ	43
5	ZAKLJUČEK	46
6	VIRI IN LITERATURA	47

PRILOGE

Seznam slikovnega gradiva

Slika 1: Monokristalna silicijeva sončna celica (14)	2
Slika 2: Polikristalne silicijeve sončne celice (15)	2
Slika 3: Amorfnе silicijeve sončne celice (16).....	2
Slika 4: Slika uporabljene amorfnе silicijeve celice (foto Podgoršek, B., 2010)	5
Slika 5: Prikaz silicijeve kristalne mreže (17).....	6
Slika 6: Prikaz uvedenih nečistoč v kristalno mrežo; levo v kristalno rešetko silicija uvedeni borov, desno pa fosforjev atom (17).....	6
Slika 7: Prikaz območja zamenjevanja elektronov in vrzeli (18).....	7
Slika 8: Shematski prerez amorfnе silicijeve celice (19).....	8
Slika 9: Inertna komora (foto Podgoršek, B., 2011)	8
Slika 10: Slika organske sončne celice (foto Podgoršek, B., 2011)	9
Slika 11: Strukturna formula PEDOT – poli (3,4-etilendioksidtiofen) (20).....	9
Slika 12: Strukturna formula P3HT– poli (3-heksiltiofen) (21)	10
Slika 13: Strukturna formula derivata fullerena PCBM– fenil-C61-metil ester maslene kisline (22)	10
Slika 14: Zgradba organske sončne celice (23).....	10
Slika 15: Celica DSSC (foto Podgoršek, B., 2010)	11
Slika 16: Prečni prerez celice DSSC (24).....	12
Slika 17: Shematski prikaz reakcij v celici DSSC (25)	13
Slika 18: Prototip modula, ki uporablja leče (26)	14
Slika 19: Krivulja sončne celice I-U (tok-napetost) in pripadajoči električni diagram (27).....	15
Slika 20: Poenostavljen ekvivalentni model tokokroga za sončno celico (27)	15
Slika 21: Krivulja I-U osvetljene sončne celice (27).....	15
Slika 22: Maksimalna moč (27).....	16
Slika 23: Določitev zapolnitvega faktorja FF s krivulje I-U (27)	17
Slika 24: Digestorij, v katerem je potekala izdelava organske sončne celice (foto Podgoršek, B., 2010)	19
Slika 25: Centrifuga (foto Podgoršek, B., 2011).....	22
Slika 26: Umetno sonce (foto Podgoršek, B., 2011)	22
Slika 27: Meritev krivulje U-I za amorfnо silicijevo (foto Podgoršek, B., 2011)	22

Seznam tabel

Tabela 1: Napetost, tok in izračunana moč pri amorfni silicijevi celici – meritve v temi.....	24
Tabela 2: Napetost, tok in izračunana moč pri amorfni silicijevi celici - meritve z umetnim soncem...	27
Tabela 3: Napetost, tok in izračunana moč pri amorfni silicijevi celici - meritve z umetnim soncem in z dodano lečo	30
Tabela 4: Zbir podatkov za amorfno silicijevo celico	33
Tabela 5: Napetost, tok in izračunana moč pri sončni celici DSSC– meritve v temi.....	34
Tabela 6: Napetost, tok in izračunana moč pri sončni celici DSSC– meritve z umetnim soncem.....	35
Tabela 7: Napetost, tok in izračunana moč pri sončni celici DSSC– meritve z umetnim soncem in z dodano lečo	36
Tabela 8: Zbir podatkov za sončno celico DSSC	37
Tabela 9: Napetost, tok in izračunana moč pri organski sončni celici – meritve v temi	38
Tabela 10: Napetost, tok in izračunana moč pri organski sončni celici – meritve z umetnim soncem ..	39
Tabela 11: Napetost, tok in izračunana moč pri organski sončni celici – meritve z umetnim soncem in z dodano lečo.....	40
Tabela 12: Zbir podatkov za organsko sončno celico.....	41
Tabela 13: Porast temperature na površini amorfne silicijeve celice z lečo in brez nje	42

Seznam diagramov

Diagram 1: Primerjava amorfne silicijeve celice – meritve v temi, z umetnim soncem in z dodano lečo	32
Diagram 2: Primerjava celice DSSC – meritve v temi, z umetnim soncem in z dodano lečo.....	37
Diagram 3: Primerjava organske sončne celice – meritve v temi, z umetnim soncem in z dodano lečo	41
Diagram 4: Primerjava porasta temperature površine amorfne silicijeve celice v odvisnosti od časa kot posledica izpostavljenosti soncu (25. 2. 2011, 10:56 do 11:27) z lečo in brez nje	43

Seznam uporabljenih enačb

Enačba 1: Izračun moči.....	16
Enačba 2: Izračun zapolnitvenega faktorja.....	17
Enačba 3: Določitev učinkovitosti celice	18
Enačba 4: Izračun toplotnega fluksa	21
Enačba 5: Izračun masnega pretoka sanitarne vode	21

Seznam prilog

Priloga 1: Meritve celice DSSC številka CC-57 na Inštitutu Borisa Kidriča, december 2010	50
--	----

Seznam uporabljenih kratic

ASC - amorfne silicijeve celice

a-Si:H - hidrogeniziran silicij

CIGS celice - sončne celice, ki vsebujejo CdTe in CuIn(Ga)Se₂

DSSC - ang. dye-sensitized solar cells; barvno občutljive sončne celice

FF - ang. fill faktor; zapolnitveni faktor

FV – fotovoltaični/a (modul/celica)

HOMO - najvišja zasedena molekulska orbitala

ITO - indij-kositrov oksid

LUMO - najnižja nezasedena molekulska orbitala

P3HT - poli (3-heksiltiofen)

PCBM - fenil-C61-metil ester maslene kisline

PEDOT – poli (3,4-etilendioksidtiofen)

ppm - parts per million; število delcev na milijon delcev

TCO - električno prevoden in optično prosojen oksid

UNG - Univerza v Novi Gorici

Povzetek

Z nalogo smo želeli raziskati, ali praktično in ekonomsko gledano obstaja možnost, da bomo v prihodnosti moč sončnih celic povečevali z lečami.

Izbrali smo tri različne vrste sončnih celic (amorfno silicijevo, DSSC in organsko) in na njih s pomočjo umetnega sonca izvedli primerjalne meritve brez leče in z njo. Kot smo pričakovali, so rezultati pokazali povečanje maksimalne moči z uporabo leče. Najvišje je bilo doseženo pri amorfni silicijevi celici, sledi organska, pri DSSC pa spremembe ni bilo. Vzrok za slednje gre iskati v iztekanju elektrolita zaradi netesnosti izdelane celice.

Zaradi uporabe leče se sončne celice močnejše segrejejo. Posledično jih je za ohranitev enake učinkovitosti treba hladiti. Kot hladilni medij smo predvideli sredstvo proti zamrzovanju, ki bi se nahajalo v ploščnem hladilniku na zadnji strani FV-modula in bi z indirektnim prenosom gredo sanitarno vodo. Meritve in izračun so pokazali na omejitev pri temperaturi, na katero lahko celico hladimo. Pridobljena toplota pa ekonomsko gledano tudi ne opravičuje investicijskega vložka in stroškov obratovanja.

Na osnovi meritev in pridobljenih podatkov o stroških smo izvedli oceno smotrnosti uporabe leč za povečanje moči FV modulov. Rezultat je pokazal, da izvedba zaenkrat ekonomsko ni upravičena.

Abstract

With this research project, we wanted to find out if it is possible that, in the future, we are going to see an increase of solar cell power with the help of lenses.

Therefore, we choose three different types of solar cells (amorphous silicon, DSSC and organic) and performed, with the help of an artificial sun, comparable measurements with and without the lens. As expected the results showed an increase of the maximal power because of the use of the lens. The biggest increase was achieved with the amorphous silicon solar cell, next was the organic and last was the DSSC, which caused no noticeable effect at all. The most likely reason for this was that the cell was not sealed properly. Consequently, the electrolyte could escape.

Because of the use of lenses, the solar cells become very hot. That is why we have to cool them down to keep them working at the same efficiency. For the cooling medium, we expect the use of antifreeze, which would be filled into a plate radiator, which would be fixed on the back side of the photovoltaic module. The antifreeze would then indirectly heat up the sanitary water. The measurements and calculation showed the limitations of the cell and its dependence on staying at the optimal temperature. From an economical viewpoint, however, the gained heat is not sufficient to repay the investment and the operational costs.

On the basis of the measurements and acquired facts, we carried out a feasibility study about the use of lenses for power increase on the photovoltaic modules. The results showed that nowadays, the use is not economically justifiable.

1 Uvod

1.1 Splošno

Danes potreba po električni energiji nenehno narašča. Za pridobivanje se največ uporabljajo fosilna in nuklearna goriva, ki pa so količinsko omejena in onesnažujejo okolje, zato človeštvo izvaja veliko razvojnih aktivnosti pri izrabi alternativnih virov električne energije. Znanih je več vrst alternativnih virov, kot so: veter (vetrne elektrarne), plimovanja morja, toplota zemeljske notranjosti (geotermalne vrtine), biomasa, sonce (sončne elektrarne).

Fotovoltaične sončne elektrarne neposredno pretvarjajo sončno energijo v enosmerno električno energijo. Energijska pretvorba poteka v sončnih celicah, ki so temeljni gradniki sončnih elektrarn.

Sončne celice so v osnovi polprevodniške diode z veliko površino. Za diodo je značilno, da spušča električni tok le v eno smer.

V splošnem sončne celice delimo na konvencionalne in tankoplastne. (1)

Med konvencionalne sončne celice uvrščamo:

- monokristalne silicijeve
- polikristalne silicijeve
- monokristalne galij arzenidne

Njihova prednost je visoka učinkovitost pretvorbe sončne v električno energijo, največja slabost pa stroški njihove izdelave in poraba materiala.

Med tankoplastne sončne celice uvrščamo:

- amorfne silicijeve
- mikrokristalne silicijeve
- polikristalne celice iz CdTe in CuIn(Ga)Se₂ (CIGS celice)

Te celice imajo praviloma manjšo učinkovitost pretvorbe kot konvencionalne, vendar učinkoviteje absorbirajo sončno svetlobo, zato dovoljujejo uporabo tanjših aktivnih plasti, kar zmanjša porabo materiala in energije za njihovo izdelavo.

V zadnjem desetletju poteka mnogo raziskav tudi na novih tehnologijah tankoplastnih sončnih celic, kot so organske in barvno občutljive sončne celice (DSSC, ang. dye-sensitized solar cells). (1)



Slika 1: Monokristalna silicijeva sončna celica (14)



Slika 2: Polikristalne silicijeve sončne celice (15)



Slika 3: Amorfne silicijeve sončne celice (16)

Prvi fotovoltaični sistemi so z elektriko oskrbovali satelite in kasneje orbitalne postaje v vesolju. Danes jih vedno pogosteje gradijo v urbanih okoljih. Uporabljajo se tudi v medicini, na področjih, kjer ni na voljo javnega električnega omrežja, za lokalno napajanje alarmnih in drugih nadzornih sistemov, razsvetljavo, napajanje telekomunikacijskih naprav, v letalski industriji ... (2)

1.2 Namen in cilj raziskovalnega dela

V okviru raziskovalne naloge smo se namenili raziskati, če lahko z lečo povečamo moč, ki jo dobimo iz sončne celice, in ali bi s tem kaj prihranili.

Svetovno tržišče ponuja več različnih vrst sončnih celic. Želeli smo narediti primerjavo med vsaj tremi vrstami.

Predvidevali smo, da se bodo celice pri uporabi leč precej segrele, kar bi lahko negativno vplivalo na njihovo učinkovitost in življenjsko dobo, zato smo poskušali razmisliti, kako bi lahko odvečno toploto odvajali in uporabili v koristne namene.

Glavni cilj je bil raziskati, ali praktično in ekonomsko gledano obstaja možnost, da bomo v prihodnosti moč sončnih celic povečevali z lečami.

1.3 Hipoteze

Na osnovi predznanja smo postavili naslednje hipoteze:

1. Z lečo lahko povečamo maksimalno moč sončne celice.
2. Z uporabo leče se bo maksimalna moč pri organski in DSSC celici povečala bolj kot pri amorfni silicijevi.
3. Pri uporabi leče se površina fotovoltaične celice zelo segreje.
4. Uporaba leč je ekonomsko upravičena, saj se dodatni investicijski stroški pozitivno povrnejo v obliki večje količine pridobljene energije.

1.4 Raziskovalne metode

Pri raziskovalnem delu smo uporabili naslednje metode, ki so podrobneje opisane v eksperimentalnem delu:

1. Delo z literaturo. Pregled razpoložljive literature o sončnih celicah.
2. Izvedbo I-U-meritev z različnimi celicami in pod različnimi pogoji z umetnim soncem.
3. Izvedbo meritev temperature na površini amorfne silicijeve sončne celice z uporabo leče in brez nje.
4. Izračun toplotne bilance.
5. Oceno smotrnosti uporabe leč.
6. Analizo rezultatov.

2 Teoretični del

2.1 Splošen opis uporabljenih sončnih celic in princip njihovega delovanja

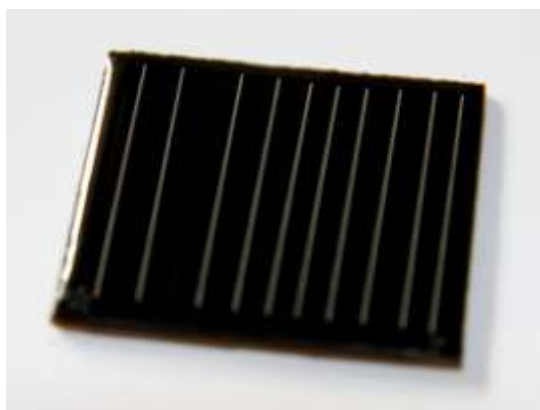
Poznamo več različnih vrst sončnih celic. V tej raziskovalni nalogi se bomo podrobneje ukvarjali z amorfnimi silicijevimi, organskimi in DSSC-celicami.

2.1.1 Amorfnе silicijeve sončne celice

2.1.1.1 Splošno

Amorfne silicijeve celice spadajo v drugo generacijo sončnih celic. Imajo manjši izkoristek kot kristalne silicijeve celice, približno od 5 do 12 %, stabilne pa so manj kot 20 let. Trenutno pokrivajo približno 6 % tržišča. Kljub temu da primarni strošek proizvodnje ni visok in da tehnologija ne porabi veliko energije, za njihovo izdelavo potrebujemo drago opremo, ki v okolju pušča škodljive snovi. Spektralna občutljivost pri amorfnih celicah je pomaknjena bolj proti modri svetlobi, zato je idealen izvor svetlobe za amorfne celice fluorescenčna žarnica.

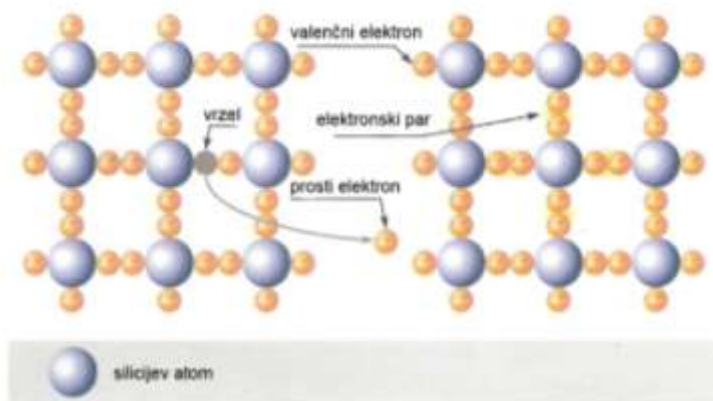
(3)



Slika 4: Slika uporabljene amorfnе silicijeve celice (foto Podgoršek, B., 2010)

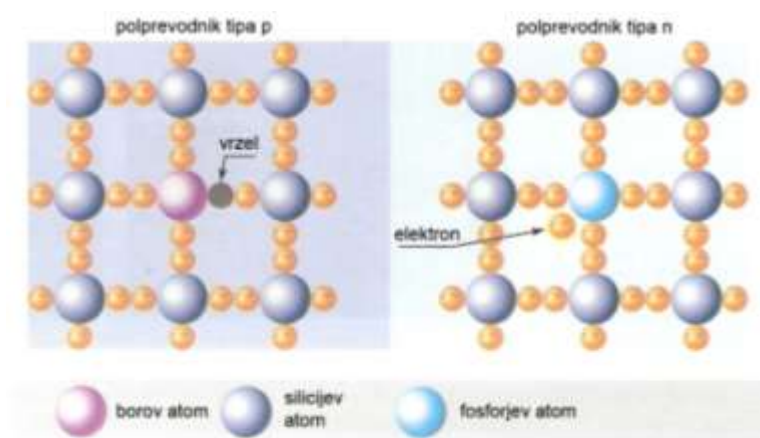
2.1.1.2 Princip delovanja silicijevih sončnih celic

Vsak silicijev atom ima štiri valenčne elektrone. Da doseže stabilno stanje, vsak elektron v kristalni mreži tvori elektronski par s sosednjim elektronom, kot kaže spodnja slika. Ta vez se lahko prelomi s pomočjo svetlobe - fotonov ali toplote. Ta pojav imenujemo notranja prevodnost. (1)



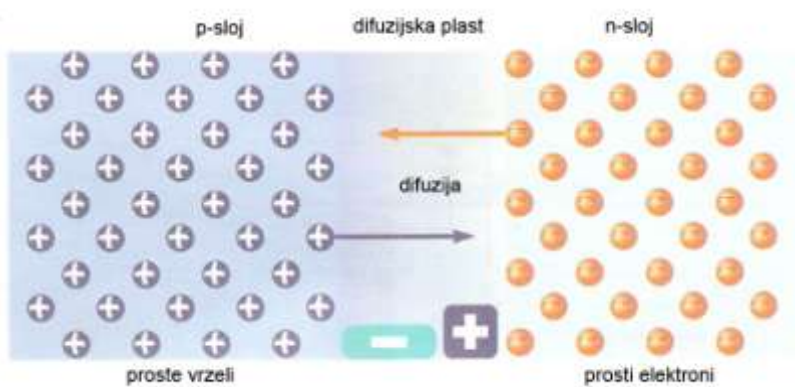
Slika 5: Prikaz silicijevе kristalne mreže (17)

Notranje prevodnosti žal ne moremo koristno uporabiti, zato namenoma v kristalno mrežo dodamo nečistoče, ki jih imenujemo tudi dopirajoči atomi. Za ta namen so uporabni atomi elementov, ki imajo v zunanji lupini en elektron več ali enega manj kot silicijevi. Če imajo pribitek elektronov, kot na primer fosfor, tvorijo na sončni celici polprevodnik tipa n. Če pa imajo primanjkljaj elektronov, tako kot bor, tvorijo polprevodnik tipa p. (1)



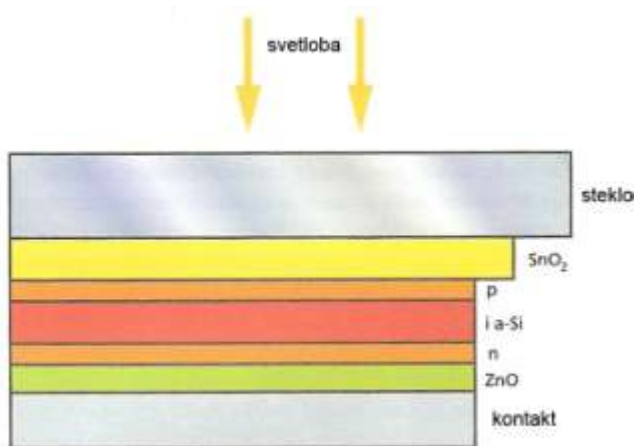
Slika 6: Prikaz uvedenih nečistoč v kristalno mrežo; levo v kristalno rešetko silicija uvedeni borov, desno pa fosforjev atom (17)

Ko sloja združimo, nastane pozitivno-negativni spoj. Višek elektronov iz n-sloja začne difundirati proti p-sloju. V difuzijski plasti med obema slojema nastane področje z nekaj prostimi nosilci naboja. Tvori se električno polje. Če takšno celico izpostavimo soncu, elektroni absorbirajo fotone, višek energije pa povzroči razpad elektronske vezi. Sproščeni elektroni stečejo čez električno polje v n-sloj, nastale vrzeli pa v nasprotni p-sloj. Ta pojav se imenuje fotovoltaični efekt. Pri odprtem napetostnem krogu se na celici pojavi napetost, če krog zapremo, pa steče električni tok. (1)



Slika 7: Prikaz območja zamenjevanja elektronov in vrzeli (18)

Ime amorfne silicijeve sončne celice izhaja iz besede amorfus, ki pomeni *brez oblike*, kar v svetu sončnih celic pomeni, da silicijeve spojine v celici nimajo stalne strukture ali kristalne mreže, ampak gre za neurejeno mrežno povezavo. Rezultat tega so proste vezi, ki jih zapolnimo s postopkom hidrogenizacije s plinom $\text{SiH}_4(\text{g})$. Pri tem nastane hidrogeniziran silicij (a-Si:H). Postopek imenujemo dopiranje. Poteka s plinom B_2H_6 za tip p in s PH_3 za tip n. Ker je difuzijska razdalja dopiranega a-Si:H zelo kratka, prosti naboj v smeri p-n spoja ne bi obstal tako dolgo, da bi lahko prispeval k električni energiji. Zato med plast p in n nanese še plast i, ki ni dopirana in v kateri je difuzijska razdalja nosilcev naboja precej daljša. V tej plasti pride do absorpcije svetlobe in generiranja naboja. Sloj p in n imata le vlogo generiranja električnega polja, ki loči sproščene nosilce naboja. V vlogi TCO (električno prevoden in optično prosojen oksid) pod in nad plasti p in n nanese prosojne prevodne okside, kot sta SnO_2 in ZnO . (1)



Slika 8: Shematski prezek amorfne silicijeve celice (19)

2.1.2 Organske celice

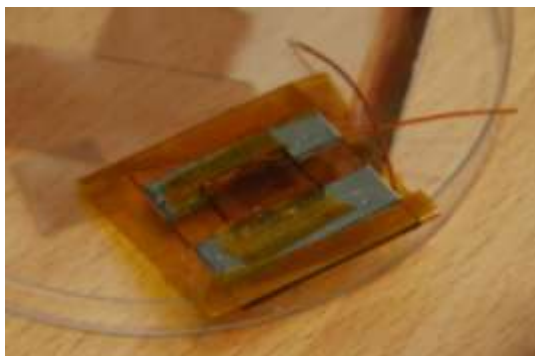
2.1.2.1 Splošno

Organske sončne celice trenutno sodijo v razred nizko učinkovitih sončnih celic. Dosegajo le nekajodstotne učinkovitosti. Sestavljajo jih organske snovi, ki so izjemno občutljive na prisotnost kisika. Pod njegovim vplivom hitro razpadejo. Zato proizvodnja za raziskovalne namene poteka v inertnih komorah, kjer vsebnost kisika ne presega 1 ppm in vsebnost vode 2.4 ppm. Pred komercialno uporabo bo treba razviti ustrezen način tesnenja.



Slika 9: Inertna komora (foto Podgoršek, B., 2011)

Narejene pa so te celice iz cenениh materialov. Lahko so izdelane tudi na plastični foliji, zaradi česar so lahke in gibljive. Prednost je tudi v tem, da niso potrebne visoko temperaturne obdelave.



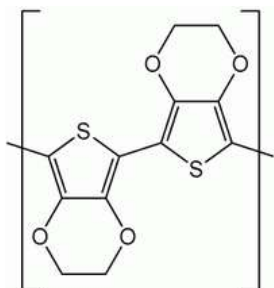
Slika 10: Slika organske sončne celice (foto Podgoršek, B., 2011)

Malo verjetno je, da bi organske sončne celice lahko v prihodnje pri gradnji sončnih elektrarn nadomestile silicijeve, lahko pa bi postale uporabne v manjših ter preprostih aplikacijah, kjer so pomembni dejavniki nizka proizvodna cena, nizka teža in velika fleksibilnost materialov.

2.1.2.2 Princip delovanja organskih sončnih celic

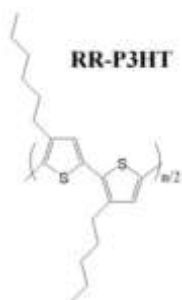
Organske sončne celice v plasteh sestavljajo:

- steklo ali polimerna folija
- prevodni sloj indij kositrovega oksida
- transparentni prevodni sloj PEDOT

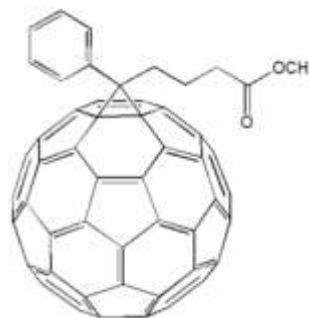


Slika 11: Strukturna formula PEDOT – poli (3,4-etilendioksitiofen) (20)

- aktivna plast, ki sestoji iz mešanice dveh polimerov (PCBM in P3HT), raztopljenih v klorobenzenu

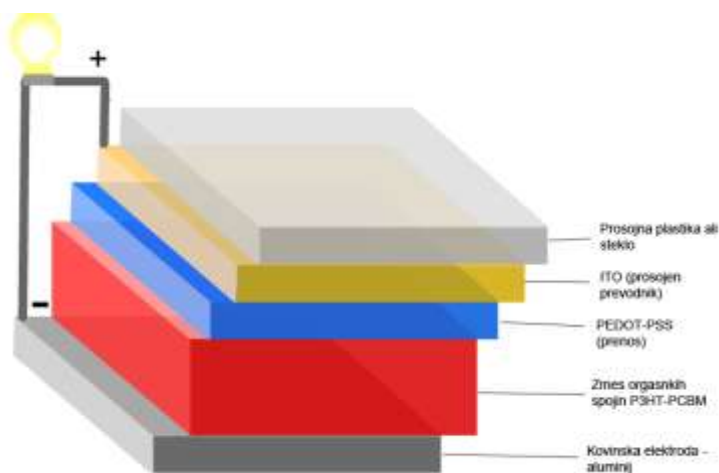


Slika 12: Strukturna formula P3HT– poli (3-heksiltiofen) (21)



Slika 13: Strukturna formula derivata fullerena PCBM– fenil-C61-metil ester maslene kisline (22)

- naparjena plast aluminija.



Slika 14: Zgradba organske sončne celice (23)

Opis delovanja organske sončne celice:

Zaradi absorpcije fotonov iz zunanjega vira svetlobe (sonce) pride do prehoda elektrona na višji energijski nivo. Elektron se iz valenčnega pasu dvigne v prevodni pas. Pri tem v valenčnem pasu nastane vrzel. Tvori se par elektron-vrzel, ki ga imenujemo eksitron.

Ločitev eksitrona poteče s pomočjo notranjega električnega polja, ki nastane v soseščini dveh materialov z različnima funkcionalnostima. Eden ima vlogo donorja, drugi pa akceptorja. Če sta ta dva materiala nanesena v obliki dveh ločenih plasti, je učinkovitost precej majhna. Močno pa jo lahko povečamo z ustvarjeno strukturo spojev po celotni masi. Takšno strukturo

dobimo npr. z mešanjem dveh polimerov PCBM in P3HT v klorbenzenu.

Ločevanje eksitronov v končni fazi povzroči, da med elektrodama (pri organski celici sta to Al in ITO) steče električni tok. (4)

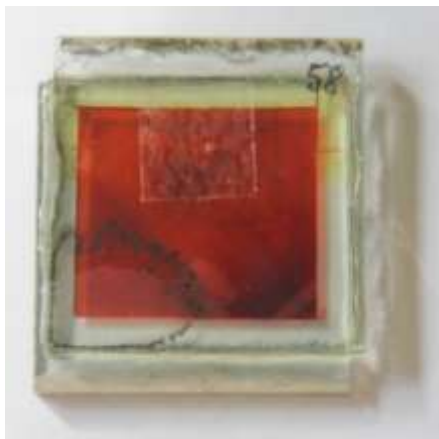
2.1.3 Sončne celice DSSC

2.1.3.1 Splošno

Sončne celice vrste DSSC spadajo v tretjo generacijo. Leta 1991 jih je iznašel Švicar Michael Graetzel. Osnova za delovanje Graetzlove celice je polprevodnik TiO_2 .

Njihova proizvodnja je cenejša in okolju prijaznejša. Idealne so za območja tropskih temperatur, onesnaženega zraka in zmerne osvetlitve, saj so mnogo manj občutljive na povišane temperature ter osenčenje. Njihova učinkovitost znaša med 5 in 12 %. (1)

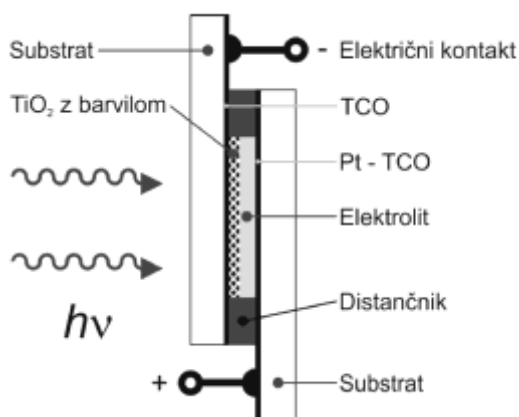
Pred začetkom masovne proizvodnje bo treba rešiti še nekaj težav glede stabilnosti, spajanja in tesnjenja sistema.



Slika 15: Celica DSSC (foto Podgoršek, B., 2010)

2.1.3.2 Princip delovanja celice DSSC

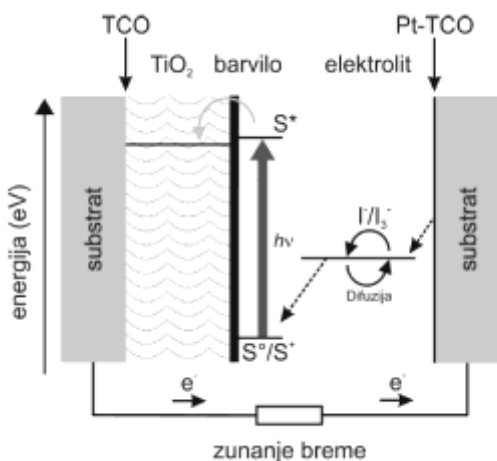
Celica je sestavljena iz dveh optično prepustnih in električno prevodnih elektrod. Na substrat, to je steklo ali polimerna folija, je nanescena tanka plast električno prevodnega in optično prosojnega oksida (TCO). Spodnja elektroda je fotoaktivna, na plast TCO je nanescena porozna nanokristalinična plast TiO_2 , ki jo sestavljajo med seboj povezani nanodelci TiO_2 . Absorbcija vpadne svetlobe poteka na monomolekularni plasti organskega barvila, osnovanega na rutenijevem kompleksu, ki je kemijsko vezan na površino TiO_2 . Drugo elektrodo predstavlja plast TCO, prevlečena s tanko plastjo platine, ki služi kot katalizator redoks reakcije trijodidnega iona I_3^- v jodidni ion I^- . Distančnik služi kot tesnilo za zatesnitev celice pred zunanjimi vplivi ter hkrati poskrbi za dobro mehansko povezavo obeh elektrod. (5)



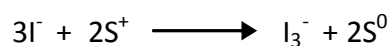
Slika 16: Prečni presek celice DSSC (24)

Ob absorpciji fotonov molekula barvila, ki je vezana na plast TiO_2 , preide iz osnovnega (S^0) v vzbujeno stanje (S^*), tj. prehod elektrona iz najvišje zasedene molekulske orbitale (HOMO) v najnižjo nezasedeno molekulske orbitale (LUMO). Sledi učinkovit prenos prostega elektrona iz LUMO energijskega nivoja v prevodni pas TiO_2 , molekula barvila pa preide v stanje S^+ . Prosti elektron nato s procesom difuzije preko mreže TiO_2 doseže plast TCO. Energijsko obogaten elektron na zunanjem bremenu opravi koristno delo, nato pa doseže zadnjo elektrodo. Pozitivno nabita molekula barvila se s prejemom elektrona iz reakcije 1 povrne iz vzbujenega stanja (S^+) v osnovno stanje. Oksidacija iona I^- vodi do nastanka iona I_3^- , ki se s procesom difuzije giblje proti zadnji elektrodi, kjer s pomočjo platine v vlogi katalizatorja in

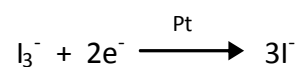
sočasem dotoku elektronov iz zunanje tokokroga poteče nasprotna redoks reakcija, tj. redukcija iona I_3^- v ion I^- (reakcija 2).



Reakcija 1:



Reakcija 2:



Slika 17: Shematski prikaz reakcij v celici DSSC (25)

2.2 Možnosti za povečanje učinkovitosti sončnih celic

2.2.1 Uporaba leče

Sončne celice imajo dandanes izjemno visoko ceno in dajejo nizke izkoristke. V viru (6) je posledično že moč zaslediti nekaj pozitivnih rezultatov znanstvenikov, ki se ukvarjajo z navedenim problemom. Za zmanjšanje stroškov in povečanje učinkovitosti predlagajo nizkocenovne plastične leče, ki koncentrirajo svetlobo na manjšo površino. Trenutna rekordna učinkovitost je 40,7 %.

Vendar pa uporaba leč prinaša tudi slabosti, npr. povišano temperaturo na površini sončnih celic, ali pa takšne celice niso uporabne, če je nebo oblačno ali če sonce ne sije pravokotno. Slednje pomeni, da morajo celice slediti soncu. Mehanizmi, ki omogočajo takšne pomike, pa so seveda tudi tehnično in stroškovno zahtevni.



Slika 18: Prototip modula, ki uporablja leče (26)

2.2.2 Vpliv temperature na moč sončnih celic

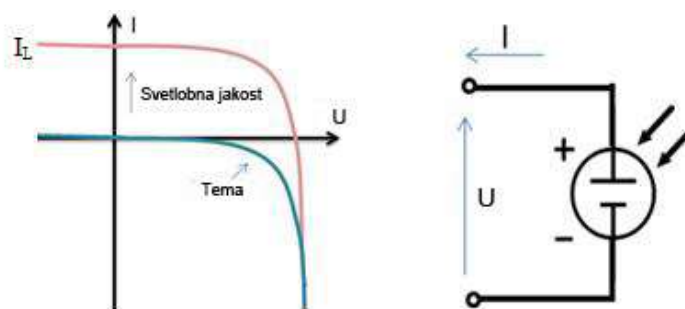
V viru (7) zasledimo podatek, da pri kristalnih silicijevih sončnih celicah moč za vsako zvišano stopinjo Celzija pade za 0.5 %. Če solarni modul doseže temperaturo 50 °C, se mu moč zmanjša za 12 % v primerjavi s temperaturo 25 °C.

Z zbiralnimi lečami povečamo količino vpadle svetlobe. Posledično je pričakovati močnejše segrevanje površine sončnih celic. V prototipih, ki uporabljajo leče, to odvečno toploto odvajajo z ventilatorji v ozračje. Energijo tako izgubimo. Če bi sončne celice v modulu hladili z vodo, bi lahko segreto vodo prav tako porabili v gospodinjstvu. Celice bi morale biti za takšno uporabo vodotesne. Voda na vpadni strani svetlobe bi verjetno negativno vplivala tudi na absorpcijo fotonov, poleg tega pa bi v hladnih zimskih razmerah tudi zmrzovala. Problem nezadostne vodotesnosti in odboja svetlobe bi lahko reševali z uporabo ploščnih hladilnikov iz dobro toplotno prevodnih materialov, nameščenih na spodnji strani celic. V hladilniku bi uporabili tekočine z nizko temperaturo zmrzišča, enako kot pri sončnih kolektorjih. Z indirektnim prenosom bi lahko nato zbrano toploto prenašali na sanitarno vodo.

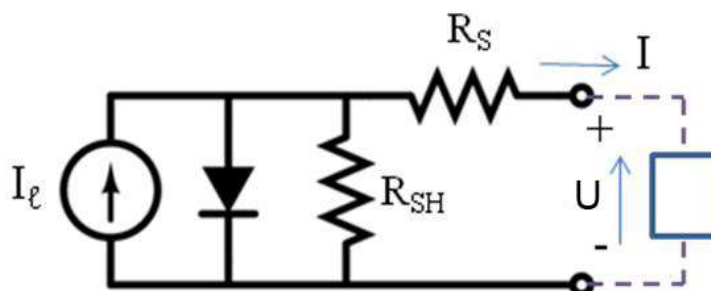
2.3 Karakterizacija sončnih celic

2.3.1 Splošno

Kadar ni prisotne svetlobe, ki bi generirala električni tok, se sončna celica obnaša kot dioda. Ko intenziteta vpadajoče svetlobe narašča, pa se v sončni celici generira tok, kot prikazuje slika 19.

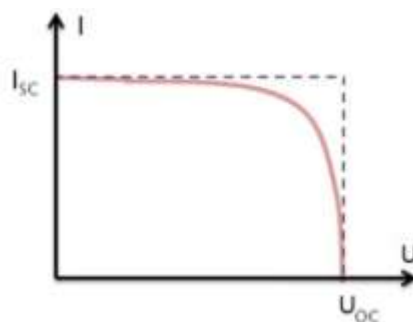


Slika 19: Krivulja sončne celice I-U (tok-napetost) in pripadajoči električni diagram (27)



Slika 20: Poenostavljen ekvivalentni model tokokroga za sončno celico (27)

Pri osvetljeni fotovoltaični (FV) celici dobimo krivuljo I-U naslednje oblike:



Slika 21: Krivulja I-U osvetljene sončne celice (27)

I_{SC} - električni tok pri napetosti 0 [A]

Pri idealni sončni celici je I_{SC} enak I_{MAX} .

U_{OC} - napetost odprtega kroga [V]

Napetost odprtega kroga dosežemo takrat, ko skozi celico ne teče noben tok. To je tudi maksimalna napetost celice U_{MAX} .

I_l - električni tok, ki ga ustvari fotovoltaični učinek [A]

R_{SH} - vzporedni upor [Ω]

R_S - zaporedni upor [Ω]

2.3.2 Določitev moči sončne celice

Iz napetosti (U) in toka (I) lahko izračunamo moč po enačbi 1

Enačba 1: Izračun moči

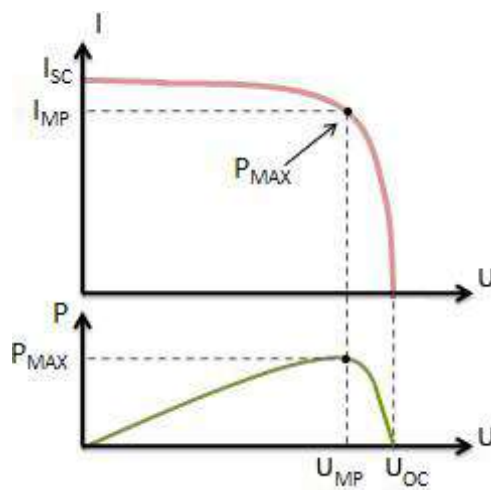
$$P = I \cdot U$$

P - moč [W]

I - tok [A]

U - napetost [V]

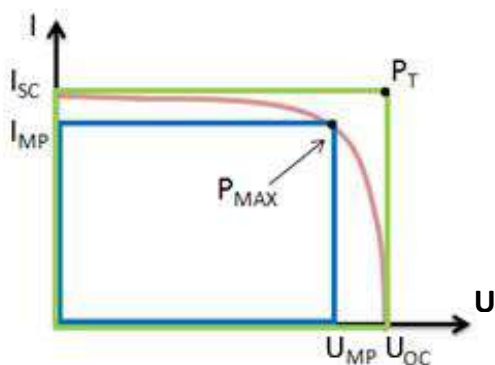
Maksimalno moč dobimo iz krivulje I-U, kot prikazuje slika 22:



Slika 22: Maksimalna moč (27)

2.3.3 Faktor pravokotnosti krivulje diodne karakteristike sončne celice

Za določitev kvalitete sončne celice uporabljamo faktor pravokotnosti krivulje diodne karakteristike sončne celice ali t. i. zapolnitveni faktor (ang. fill factor – FF). Izračunamo ga kot razmerje med maksimalno in teoretično močjo. Grafični prikaz je razviden s slike 23.



Slika 23: Določitev zapolnitvega faktorja FF s krivulje I-U (27)

Običajno znaša FF med 0.5 in 0.82. Zaželeno je, da je čim višji.

Enačba 2: Izračun zapolnitvenega faktorja

$$FF = \frac{P_{MAX}}{P_T} = \frac{I_{MP} \cdot U_{MP}}{I_{SC} \cdot U_{OC}}$$

FF - zapolnitveni faktor

P_{MAX} - maksimalna moč [W/m^2]

U_{OC} - napetost odprtega kroga [V]

I_{SC} - električni tok pri napetosti 0 [A]

P_T - moč pri V_{OC} in I_{SC} [W/m^2]

I_{MP} - električni tok pri maksimalni moči [A]

U_{MP} - napetost pri maksimalni moči [V]

2.3.4 Učinkovitost sončne celice

Učinkovitost sončne celice je razmerje med izhodno (P_{out}) in vhodno (P_{in}) močjo.

Enačba 3: Določitev učinkovitosti celice

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{P_{in}}$$

η - učinkovitost celice

P_{out} - izhodna moč [W/m²]

P_{in} - vhodna moč umetno sonce = 1000 W/m²

η_{MAX} - maksimalna učinkovitost celice

P_{MAX} - maksimalna moč [W/m²]

Če kot izhodno moč vzamemo maksimalno moč, dobimo maksimalno učinkovitost sončne celice.

3 Eksperimentalni del

3.1 Postopek izdelave organske sončne celice

V Laboratoriju za fiziko organskih snovi v Ajdovščini (dislocirana enota Univerze v Novi Gorici) smo izdelali organsko sončno celico.

Na steklo ali gibko polimerno podlago naneseemo indij kositrov oksid. Pred nadaljnjo obdelavo stekelce razmastimo v ultrazvočni kopeli in osušimo s prepihanjem z dušikom. Nato stekelce z vakuumom namestimo na centrifugo in nanj nakapljamo PEDOT. Zavrtimo na 7000 obratov/min, da se PEDOT enakomerno razporedi, višek pa odteče. Sušimo pol ure na 140 °C. Nato stekelce prenesemo v inertno komoro, kjer ga namestimo na centrifugo, nanj nakapljamo aktivno plast ter zavrtimo pri 1500 obratih/min za 70 s, nato pa še pri 2700 obratih/min za 20 s. Sledi naparjanje aluminija v debelini približno 100 nm.



Slika 24: Digestorij, v katerem je potekala izdelava organske sončne celice (foto Podgoršek, B., 2010)

3.2 Izvedba primerjalnih meritev treh vrst sončnih celic z uporabo zbiralne leče in brez nje

V laboratoriju za fiziko organskih snovi v Ajdovščini smo izvedli primerjalne meritve treh različnih vrst sončnih celic: amorfne silicijeve, DSSC in organske. Meritve na posamezni celici smo izvedli najprej v temi, nato z umetnim soncem in nazadnje še z umetnim soncem in dodano zbiralno lečo. Ker organske sončne celice pod vplivom kisika in vlage hitro razpadejo, smo vse meritve izvajali v komori z inertno atmosfero (slika 9).

Posamezno sončno celico smo preko posebne vstopne komore, ki smo jo predhodno trikrat prepihali z dušikom, vstavili v inertno komoro. S pomočjo rokavic, ki so nameščene na obeh straneh inertne komore, smo sončno celico priklopili v električni krog, ki ga lahko shematsko ponazorimo s sliko 20.

Pognali smo računalniški program, ki je beležil izmerjeno napetost in tok. Podatke smo nato vnesli v Excelovo tabelo in izračunali moč.

3.3 Meritve temperature na površini amorfne silicijeve sončne celice z uporabo leče in brez nje

Izvedli smo primerjalne meritve dviga temperature na površini dveh enakih amorfnih silicijevih sončnih celic zaradi uporabe zbiralne leče.

Obe smo izpostavili soncu na jasn sončen dan (25. 2. 2011 v času med 10:56 in 11:27). Nad eno celico smo namestili zbiralno lečo. Uporabljena leča je skoncentrirala snop svetlobe v krogu 40 mm, ki je v celoti pokril sončno celico. Leča je bila pri tem nameščena na razdalji 170 mm. V različnih časovnih presledkih smo z brezkontaktnim termometrom izmerili temperaturo na površini obeh sončnih celic. Iz podatkov smo nato narisali diagram in izračunali povečan toplotni tok, ki bi ga morali odvesti, da bi preprečili močnejše segrevanje sončne celice zaradi uporabe leče. Kot smo zapisali že pod točko 2.2.2, učinkovitost celice z naraščajočo temperaturo namreč močno pada. To bi lahko izničilo pričakovano večjo učinkovitost zaradi uporabe leče in v skrajnem primeru celici skrajšalo življenjsko dobo.

3.3.1 Izračun toplotnega fluksa in masnega pretoka sanitarne vode

Za izračun toplotnega fluksa smo uporabili enačbo 4, za izračun masnega pretoka sanitarne vode pa enačbo 5 (8).

Enačba 4: Izračun toplotnega fluksa

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{\lambda}{l} \cdot (T_1 - T_2)$$

q - toplotni fluks [W/m^2]

Q - toplotni tok [W]

A - površina [m^2]

λ - specifična toplotna prevodnost [W/mK]

T_1 - temperatura na površini sončne celice [K]

T_2 - temperatura okolice [K]

l - debelina sončne celice [m]

Enačba 5: Izračun masnega pretoka sanitarne vode

$$\Phi_m = \frac{Q}{C_p \cdot (T_{iz} - T_v)}$$

Φ_m - masni pretok sanitarne vode [kg/s]

C_p - specifična toplotna kapaciteta vode [kJ/kgK] = 4,2 kJ/kgK

T_{iz} - izstopna temperatura vode [K]

T_v - vstopna temperatura vode [K]

3.4 Uporabljeni inventar in merilni inštrumenti

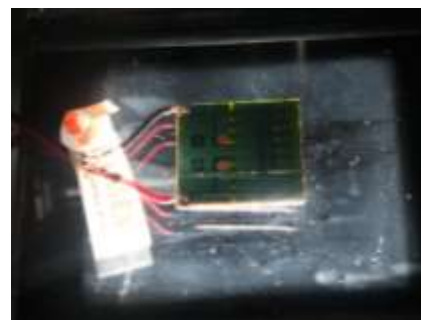
- centrifuga Laurell, model WS-400B-6NPP/LIFE
- umetno sonce, Solar Simulator, model SS50AAA, PET PHOTO EMISSION, TECH.INC., moč 1000 W/m^2
- multimeter, Keithley, 2400 Sourcemeter
- ultrazvočna kopel, Elma D 78224
- inertna komora, Jacomex T4
- grelna plošča, IKA RH digital KT/C
- pipete, Eppendorf, 2-200 mikrolitrov
- osebni računalnik z interno programsko opremo za zbiranje podatkov (proizvod UNG)
- amorfna silicijeva sončna celica, Conrad, 13.3 cm^2
- DSSC sončna celica, 13.3 cm^2 , izdelana v laboratoriju Cinkarne Celje, d. d., PE Kemija Celje
- organska sončna celica, 0.3 cm^2 , izdelana v laboratoriju za fiziko organskih snovi v Ajdovščini, dislocirana enota Univerze v Novi Gorici
- zbiralna leča s premerom 107 mm
- brezkontaktni termometer, EBRO TLC 720, območje -18 do $+120 \text{ }^\circ\text{C}$, napaka $\pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$



Slika 25: Centrifuga (foto Podgoršek, B., 2011)



Slika 26: Umetno sonce
(foto Podgoršek, B., 2011)



Slika 27: Meritev krivulje U-I za amorfno silicijevo
(foto Podgoršek, B., 2011)

4 Rezultati in razprava

4.1 Primerjava rezultatov amorfnе silicijeve, DSSC in organske sončne celice

S prej opisanim postopkom smo v inertni atmosferi izvedli meritve na vseh treh vrstah celic. Računalniški program je beležil napetost in tok. Po enačbah, navedenih v poglavju 2.3, smo izračunali moč, maksimalno moč, faktor polnjenja in učinkovitost posamezne celice. Rezultati so navedeni v tabelah od 2 do 13 in prikazani na diagramih 1, 2 in 3.

Legenda uporabljenih barvnih oznak v tabelah 2, 3, 6, 7, 10, 11:



- odčitek P_{MAX}



- odčitek I_{SC}



- odčitek U_{OC}

4.1.1 Amorfn silicijeva celica

Tabela 1: Napetost, tok in izračunana moč pri amorfni silicijevi celici – meritve v temi

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
5,00000	0,033500	0,167500	4,100000	0,002830	0,011603	3,190000	0,000436	0,001391
4,970000	0,030900	0,153573	4,060000	0,002600	0,010556	3,160000	0,000412	0,001302
4,930000	0,028400	0,140012	4,030000	0,002390	0,009632	3,130000	0,000390	0,001221
4,900000	0,026000	0,127400	4,000000	0,002200	0,008800	3,090000	0,000370	0,001143
4,870000	0,023900	0,116393	3,960000	0,002030	0,008039	3,060000	0,000351	0,001074
4,830000	0,021800	0,105294	3,930000	0,001870	0,007349	3,030000	0,000333	0,001009
4,800000	0,019900	0,095520	3,900000	0,001730	0,006747	2,990000	0,000316	0,000945
4,770000	0,018200	0,086814	3,860000	0,001600	0,006176	2,960000	0,000300	0,000888
4,730000	0,016600	0,078518	3,830000	0,001490	0,005707	2,930000	0,000285	0,000835
4,700000	0,015100	0,070970	3,800000	0,001380	0,005244	2,890000	0,000271	0,000783
4,670000	0,013800	0,064446	3,760000	0,001280	0,004813	2,860000	0,000257	0,000735
4,630000	0,012500	0,057875	3,730000	0,001190	0,004439	2,830000	0,000245	0,000693
4,600000	0,011400	0,052440	3,700000	0,001110	0,004107	2,790000	0,000233	0,000650
4,570000	0,010400	0,047528	3,660000	0,001040	0,003806	2,760000	0,000222	0,000613
4,530000	0,009410	0,042627	3,630000	0,000969	0,003517	2,730000	0,000212	0,000579
4,500000	0,008550	0,038475	3,600000	0,000906	0,003262	2,690000	0,000202	0,000543
4,460000	0,007780	0,034699	3,560000	0,000848	0,003019	2,660000	0,000192	0,000511
4,430000	0,007060	0,031276	3,530000	0,000795	0,002806	2,630000	0,000183	0,000481
4,400000	0,006430	0,028292	3,490000	0,000745	0,002600	2,590000	0,000175	0,000453
4,360000	0,005850	0,025506	3,460000	0,000700	0,002422	2,560000	0,000167	0,000428
4,330000	0,005320	0,023036	3,430000	0,000658	0,002257	2,530000	0,000159	0,000402
4,300000	0,004850	0,020855	3,390000	0,000619	0,002098	2,490000	0,000152	0,000378
4,260000	0,004420	0,018829	3,360000	0,000582	0,001956	2,460000	0,000145	0,000357
4,230000	0,004030	0,017047	3,330000	0,000549	0,001828	2,420000	0,000138	0,000334
4,200000	0,003680	0,015456	3,290000	0,000517	0,001701	2,390000	0,000132	0,000315
4,160000	0,003370	0,014019	3,260000	0,000488	0,001591	2,360000	0,000126	0,000297
4,130000	0,003090	0,012762	3,230000	0,000461	0,001489	2,320000	0,000121	0,000281

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
2,290000	0,000115	0,000263	0,953000	0,000017	0,000016	-0,385000	-0,000004	0,000001
2,260000	0,000110	0,000249	0,920000	0,000016	0,000015	-0,418000	-0,000004	0,000002
2,220000	0,000105	0,000233	0,886000	0,000015	0,000013	-0,452000	-0,000004	0,000002
2,190000	0,000100	0,000219	0,853000	0,000014	0,000012	-0,485000	-0,000004	0,000002
2,160000	0,000096	0,000207	0,819000	0,000013	0,000011	-0,518000	-0,000005	0,000002
2,120000	0,000092	0,000194	0,786000	0,000013	0,000010	-0,552000	-0,000005	0,000003
2,090000	0,000088	0,000183	0,753000	0,000012	0,000009	-0,585000	-0,000005	0,000003
2,060000	0,000084	0,000172	0,719000	0,000011	0,000008	-0,619000	-0,000005	0,000003
2,020000	0,000080	0,000161	0,686000	0,000010	0,000007	-0,652000	-0,000005	0,000004
1,990000	0,000076	0,000152	0,652000	0,000009	0,000006	-0,686000	-0,000006	0,000004
1,960000	0,000073	0,000143	0,619000	0,000009	0,000005	-0,719000	-0,000006	0,000004
1,920000	0,000070	0,000134	0,585000	0,000008	0,000005	-0,753000	-0,000006	0,000004
1,890000	0,000067	0,000126	0,552000	0,000007	0,000004	-0,786000	-0,000006	0,000005
1,860000	0,000064	0,000118	0,518000	0,000007	0,000003	-0,819000	-0,000006	0,000005
1,820000	0,000061	0,000110	0,485000	0,000006	0,000003	-0,853000	-0,000007	0,000006
1,790000	0,000058	0,000104	0,452000	0,000006	0,000002	-0,886000	-0,000007	0,000006
1,760000	0,000055	0,000097	0,418000	0,000005	0,000002	-0,920000	-0,000007	0,000006
1,720000	0,000053	0,000091	0,385000	0,000004	0,000002	-0,953000	-0,000007	0,000007
1,690000	0,000050	0,000085	0,351000	0,000004	0,000001	-0,987000	-0,000007	0,000007
1,660000	0,000048	0,000080	0,318000	0,000003	0,000001	-1,020000	-0,000008	0,000008
1,620000	0,000046	0,000074	0,284000	0,000003	0,000001	-1,050000	-0,000008	0,000008
1,590000	0,000044	0,000069	0,251000	0,000002	0,000001	-1,090000	-0,000008	0,000009
1,560000	0,000042	0,000065	0,217000	0,000002	0,000000	-1,120000	-0,000008	0,000009
1,520000	0,000040	0,000060	0,184000	0,000001	0,000000	-1,150000	-0,000008	0,000010
1,490000	0,000038	0,000056	0,151000	0,000001	0,000000	-1,190000	-0,000009	0,000010
1,450000	0,000036	0,000052	0,117000	0,000001	0,000000	-1,220000	-0,000009	0,000011
1,420000	0,000034	0,000049	0,083600	0,000000	0,000000	-1,250000	-0,000009	0,000012
1,390000	0,000033	0,000046	0,050200	0,000000	0,000000	-1,290000	-0,000010	0,000012
1,350000	0,000031	0,000042	0,016700	-0,000001	0,000000	-1,320000	-0,000010	0,000013
1,320000	0,000030	0,000039	-0,016700	-0,000001	0,000000	-1,350000	-0,000010	0,000014
1,290000	0,000028	0,000037	-0,050200	-0,000001	0,000000	-1,390000	-0,000010	0,000014
1,250000	0,000027	0,000034	-0,083600	-0,000002	0,000000	-1,420000	-0,000011	0,000015
1,220000	0,000026	0,000031	-0,117000	-0,000002	0,000000	-1,450000	-0,000011	0,000016
1,190000	0,000025	0,000029	-0,151000	-0,000002	0,000000	-1,490000	-0,000011	0,000017
1,150000	0,000023	0,000027	-0,184000	-0,000002	0,000000	-1,520000	-0,000012	0,000017
1,120000	0,000022	0,000025	-0,217000	-0,000003	0,000001	-1,560000	-0,000012	0,000018
1,090000	0,000021	0,000023	-0,251000	-0,000003	0,000001	-1,590000	-0,000012	0,000019
1,050000	0,000020	0,000021	-0,284000	-0,000003	0,000001	-1,620000	-0,000013	0,000020
1,020000	0,000019	0,000019	-0,318000	-0,000003	0,000001	-1,660000	-0,000013	0,000021
0,987000	0,000018	0,000018	-0,351000	-0,000004	0,000001	-1,690000	-0,000013	0,000022

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
-1,720000	-0,000013	0,000023	-2,830000	-0,000028	0,000078	-3,930000	-0,000049	0,000192
-1,760000	-0,000014	0,000024	-2,860000	-0,000028	0,000081	-3,960000	-0,000050	0,000197
-1,790000	-0,000014	0,000025	-2,890000	-0,000029	0,000083	-4,000000	-0,000051	0,000202
-1,820000	-0,000014	0,000026	-2,930000	-0,000029	0,000086	-4,030000	-0,000051	0,000206
-1,860000	-0,000015	0,000027	-2,960000	-0,000030	0,000088	-4,060000	-0,000052	0,000211
-1,890000	-0,000015	0,000029	-2,990000	-0,000031	0,000091	-4,100000	-0,000053	0,000216
-1,920000	-0,000015	0,000030	-3,030000	-0,000031	0,000094	-4,130000	-0,000054	0,000221
-1,960000	-0,000016	0,000031	-3,060000	-0,000032	0,000097	-4,160000	-0,000054	0,000226
-1,990000	-0,000016	0,000032	-3,090000	-0,000032	0,000099	-4,200000	-0,000055	0,000231
-2,020000	-0,000017	0,000033	-3,130000	-0,000033	0,000103	-4,230000	-0,000056	0,000236
-2,060000	-0,000017	0,000035	-3,160000	-0,000033	0,000106	-4,260000	-0,000057	0,000242
-2,090000	-0,000017	0,000036	-3,190000	-0,000034	0,000108	-4,300000	-0,000058	0,000247
-2,120000	-0,000018	0,000038	-3,230000	-0,000035	0,000112	-4,330000	-0,000058	0,000253
-2,160000	-0,000018	0,000039	-3,260000	-0,000035	0,000115	-4,360000	-0,000059	0,000258
-2,190000	-0,000018	0,000040	-3,290000	-0,000036	0,000118	-4,400000	-0,000060	0,000264
-2,220000	-0,000019	0,000042	-3,330000	-0,000037	0,000122	-4,430000	-0,000061	0,000270
-2,260000	-0,000019	0,000044	-3,360000	-0,000037	0,000125	-4,460000	-0,000062	0,000275
-2,290000	-0,000020	0,000045	-3,390000	-0,000038	0,000128	-4,500000	-0,000063	0,000282
-2,320000	-0,000020	0,000047	-3,430000	-0,000038	0,000132	-4,530000	-0,000063	0,000287
-2,360000	-0,000021	0,000049	-3,460000	-0,000039	0,000135	-4,570000	-0,000064	0,000294
-2,390000	-0,000021	0,000050	-3,490000	-0,000040	0,000139	-4,600000	-0,000065	0,000299
-2,420000	-0,000022	0,000052	-3,530000	-0,000040	0,000143	-4,630000	-0,000066	0,000306
-2,460000	-0,000022	0,000054	-3,560000	-0,000041	0,000146	-4,670000	-0,000067	0,000312
-2,490000	-0,000022	0,000056	-3,600000	-0,000042	0,000150	-4,700000	-0,000068	0,000318
-2,530000	-0,000023	0,000058	-3,630000	-0,000042	0,000154	-4,730000	-0,000069	0,000324
-2,560000	-0,000023	0,000060	-3,660000	-0,000043	0,000158	-4,770000	-0,000069	0,000331
-2,590000	-0,000024	0,000062	-3,700000	-0,000044	0,000162	-4,800000	-0,000070	0,000337
-2,630000	-0,000024	0,000064	-3,730000	-0,000045	0,000166	-4,830000	-0,000071	0,000343
-2,660000	-0,000025	0,000066	-3,760000	-0,000045	0,000170	-4,870000	-0,000072	0,000350
-2,690000	-0,000026	0,000069	-3,800000	-0,000046	0,000174	-4,900000	-0,000073	0,000357
-2,730000	-0,000026	0,000071	-3,830000	-0,000047	0,000179	-4,930000	-0,000074	0,000363
-2,760000	-0,000027	0,000073	-3,860000	-0,000047	0,000183	-4,970000	-0,000075	0,000371
-2,790000	-0,000027	0,000076	-3,900000	-0,000048	0,000188	-5,000000	-0,000076	0,000378

Tabela 2: Napetost, tok in izračunana moč pri amorfni silicijevi celici - meritve z umetnim soncem

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
5,0000	0,0402	0,2010	3,6600	-0,0307	-0,1124	2,3200	-0,0340	-0,0789
4,9700	0,0360	0,1789	3,6300	-0,0309	-0,1122	2,2900	-0,0341	-0,0781
4,9300	0,0320	0,1578	3,6000	-0,0311	-0,1120	2,2600	-0,0339	-0,0766
4,9000	0,0281	0,1377	3,5600	-0,0314	-0,1118	2,2200	-0,0339	-0,0753
4,8700	0,0243	0,1183	3,5300	-0,0316	-0,1115	2,1900	-0,0340	-0,0745
4,8300	0,0209	0,1009	3,4900	-0,0318	-0,1110	2,1600	-0,0339	-0,0732
4,8000	0,0175	0,0840	3,4600	-0,0320	-0,1107	2,1200	-0,0340	-0,0721
4,7700	0,0142	0,0677	3,4300	-0,0324	-0,1111	2,0900	-0,0341	-0,0713
4,7300	0,0112	0,0530	3,3900	-0,0327	-0,1109	2,0600	-0,0342	-0,0705
4,7000	0,0084	0,0396	3,3600	-0,0328	-0,1102	2,0200	-0,0342	-0,0691
4,6700	0,0057	0,0267	3,3300	-0,0329	-0,1096	1,9900	-0,0342	-0,0681
4,6300	0,0031	0,0143	3,2900	-0,0330	-0,1086	1,9600	-0,0342	-0,0670
4,6000	0,0006	0,0027	3,2600	-0,0330	-0,1076	1,9200	-0,0342	-0,0657
4,5700	-0,0017	-0,0077	3,2300	-0,0332	-0,1072	1,8900	-0,0343	-0,0648
4,5300	-0,0039	-0,0175	3,1900	-0,0334	-0,1065	1,8600	-0,0342	-0,0636
4,5000	-0,0059	-0,0267	3,1600	-0,0336	-0,1062	1,8200	-0,0344	-0,0626
4,4600	-0,0078	-0,0346	3,1300	-0,0336	-0,1052	1,7900	-0,0344	-0,0616
4,4300	-0,0096	-0,0424	3,0900	-0,0336	-0,1038	1,7600	-0,0344	-0,0605
4,4000	-0,0113	-0,0497	3,0600	-0,0336	-0,1028	1,7200	-0,0343	-0,0590
4,3600	-0,0128	-0,0558	3,0300	-0,0335	-0,1015	1,6900	-0,0342	-0,0578
4,3300	-0,0144	-0,0624	2,9900	-0,0337	-0,1008	1,6600	-0,0344	-0,0571
4,3000	-0,0157	-0,0675	2,9600	-0,0338	-0,1000	1,6200	-0,0345	-0,0559
4,2600	-0,0171	-0,0728	2,9300	-0,0339	-0,0993	1,5900	-0,0345	-0,0549
4,2300	-0,0184	-0,0778	2,8900	-0,0338	-0,0977	1,5600	-0,0345	-0,0538
4,2000	-0,0196	-0,0823	2,8600	-0,0339	-0,0970	1,5200	-0,0343	-0,0521
4,1600	-0,0207	-0,0861	2,8300	-0,0337	-0,0954	1,4900	-0,0341	-0,0508
4,1300	-0,0217	-0,0896	2,7900	-0,0336	-0,0937	1,4500	-0,0344	-0,0499
4,1000	-0,0227	-0,0931	2,7600	-0,0337	-0,0930	1,4200	-0,0346	-0,0491
4,0600	-0,0236	-0,0958	2,7300	-0,0339	-0,0925	1,3900	-0,0345	-0,0480
4,0300	-0,0244	-0,0983	2,6900	-0,0339	-0,0912	1,3500	-0,0345	-0,0466
4,0000	-0,0251	-0,1004	2,6600	-0,0339	-0,0902	1,3200	-0,0345	-0,0455
3,9600	-0,0260	-0,1030	2,6300	-0,0338	-0,0889	1,2900	-0,0343	-0,0442
3,9300	-0,0266	-0,1045	2,5900	-0,0339	-0,0878	1,2500	-0,0343	-0,0429
3,9000	-0,0273	-0,1065	2,5600	-0,0339	-0,0868	1,2200	-0,0343	-0,0418
3,8600	-0,0279	-0,1077	2,5300	-0,0340	-0,0860	1,1900	-0,0345	-0,0411
3,8300	-0,0285	-0,1092	2,4900	-0,0341	-0,0849	1,1500	-0,0344	-0,0396
3,8000	-0,0290	-0,1102	2,4600	-0,0341	-0,0839	1,1200	-0,0343	-0,0384
3,7600	-0,0294	-0,1105	2,4200	-0,0340	-0,0823	1,0900	-0,0344	-0,0375
3,7300	-0,0298	-0,1112	2,3900	-0,0339	-0,0810	1,0500	-0,0344	-0,0361
3,7000	-0,0302	-0,1117	2,3600	-0,0340	-0,0802	1,0200	-0,0343	-0,0350

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
0,9870	-0,0345	-0,0341	-0,3510	-0,0345	0,0121	-1,6900	-0,0345	0,0583
0,9530	-0,0343	-0,0327	-0,3850	-0,0343	0,0132	-1,7200	-0,0345	0,0593
0,9200	-0,0345	-0,0317	-0,4180	-0,0345	0,0144	-1,7600	-0,0346	0,0609
0,8860	-0,0344	-0,0305	-0,4520	-0,0345	0,0156	-1,7900	-0,0346	0,0619
0,8530	-0,0345	-0,0294	-0,4850	-0,0344	0,0167	-1,8200	-0,0346	0,0630
0,8190	-0,0345	-0,0283	-0,5180	-0,0344	0,0178	-1,8600	-0,0346	0,0644
0,7860	-0,0345	-0,0271	-0,5520	-0,0344	0,0190	-1,8900	-0,0344	0,0650
0,7530	-0,0346	-0,0261	-0,5850	-0,0346	0,0202	-1,9200	-0,0346	0,0664
0,7190	-0,0345	-0,0248	-0,6190	-0,0347	0,0215	-1,9600	-0,0347	0,0680
0,6860	-0,0344	-0,0236	-0,6520	-0,0345	0,0225	-1,9900	-0,0347	0,0691
0,6520	-0,0343	-0,0224	-0,6860	-0,0345	0,0237	-2,0200	-0,0346	0,0699
0,6190	-0,0344	-0,0213	-0,7190	-0,0347	0,0249	-2,0600	-0,0347	0,0715
0,5850	-0,0345	-0,0202	-0,7530	-0,0347	0,0261	-2,0900	-0,0346	0,0723
0,5520	-0,0346	-0,0191	-0,7860	-0,0346	0,0272	-2,1200	-0,0347	0,0736
0,5180	-0,0347	-0,0180	-0,8190	-0,0346	0,0283	-2,1600	-0,0345	0,0745
0,4850	-0,0346	-0,0168	-0,8530	-0,0344	0,0293	-2,1900	-0,0347	0,0760
0,4520	-0,0345	-0,0156	-0,8860	-0,0345	0,0306	-2,2200	-0,0349	0,0775
0,4180	-0,0343	-0,0143	-0,9200	-0,0345	0,0317	-2,2600	-0,0347	0,0784
0,3850	-0,0343	-0,0132	-0,9530	-0,0344	0,0328	-2,2900	-0,0344	0,0788
0,3510	-0,0343	-0,0120	-0,9870	-0,0344	0,0340	-2,3200	-0,0345	0,0800
0,3180	-0,0344	-0,0109	-1,0200	-0,0345	0,0352	-2,3600	-0,0347	0,0819
0,2840	-0,0345	-0,0098	-1,0500	-0,0344	0,0361	-2,3900	-0,0350	0,0837
0,2510	-0,0345	-0,0087	-1,0900	-0,0346	0,0377	-2,4200	-0,0348	0,0842
0,2170	-0,0346	-0,0075	-1,1200	-0,0347	0,0389	-2,4600	-0,0347	0,0854
0,1840	-0,0345	-0,0063	-1,1500	-0,0347	0,0399	-2,4900	-0,0347	0,0864
0,1510	-0,0345	-0,0052	-1,1900	-0,0346	0,0412	-2,5300	-0,0348	0,0880
0,1170	-0,0345	-0,0040	-1,2200	-0,0343	0,0418	-2,5600	-0,0347	0,0888
0,0836	-0,0345	-0,0029	-1,2500	-0,0344	0,0430	-2,5900	-0,0347	0,0899
0,0502	-0,0347	-0,0017	-1,2900	-0,0346	0,0446	-2,6300	-0,0348	0,0915
0,0167	-0,0346	-0,0006	-1,3200	-0,0345	0,0455	-2,6600	-0,0348	0,0926
-0,0167	-0,0344	0,0006	-1,3500	-0,0345	0,0466	-2,6900	-0,0349	0,0939
-0,0502	-0,0345	0,0017	-1,3900	-0,0346	0,0481	-2,7300	-0,0349	0,0953
-0,0836	-0,0346	0,0029	-1,4200	-0,0346	0,0491	-2,7600	-0,0349	0,0963
-0,1170	-0,0346	0,0040	-1,4500	-0,0346	0,0502	-2,7900	-0,0348	0,0971
-0,1510	-0,0345	0,0052	-1,4900	-0,0345	0,0514	-2,8300	-0,0348	0,0985
-0,1840	-0,0344	0,0063	-1,5200	-0,0346	0,0526	-2,8600	-0,0348	0,0995
-0,2170	-0,0344	0,0075	-1,5600	-0,0347	0,0541	-2,8900	-0,0349	0,1009
-0,2510	-0,0343	0,0086	-1,5900	-0,0346	0,0550	-2,9300	-0,0348	0,1020
-0,2840	-0,0344	0,0098	-1,6200	-0,0347	0,0562	-2,9600	-0,0347	0,1027
-0,3180	-0,0345	0,0110	-1,6600	-0,0344	0,0571	-2,9900	-0,0349	0,1044

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
-3,0300	-0,0349	0,1057	-3,7300	-0,0349	0,1302	-4,4300	-0,0349	0,1546
-3,0600	-0,0349	0,1068	-3,7600	-0,0349	0,1312	-4,4600	-0,0350	0,1561
-3,0900	-0,0348	0,1075	-3,8000	-0,0349	0,1326	-4,5000	-0,0349	0,1571
-3,1300	-0,0349	0,1092	-3,8300	-0,0349	0,1337	-4,5300	-0,0351	0,1590
-3,1600	-0,0349	0,1103	-3,8600	-0,0350	0,1351	-4,5700	-0,0350	0,1600
-3,1900	-0,0348	0,1110	-3,9000	-0,0349	0,1361	-4,6000	-0,0350	0,1610
-3,2300	-0,0347	0,1121	-3,9300	-0,0351	0,1379	-4,6300	-0,0351	0,1625
-3,2600	-0,0348	0,1134	-3,9600	-0,0351	0,1390	-4,6700	-0,0351	0,1639
-3,2900	-0,0348	0,1145	-4,0000	-0,0351	0,1404	-4,7000	-0,0350	0,1645
-3,3300	-0,0348	0,1159	-4,0300	-0,0348	0,1402	-4,7300	-0,0349	0,1651
-3,3600	-0,0347	0,1166	-4,0600	-0,0349	0,1417	-4,7700	-0,0348	0,1660
-3,3900	-0,0349	0,1183	-4,1000	-0,0348	0,1427	-4,8000	-0,0349	0,1675
-3,4300	-0,0350	0,1201	-4,1300	-0,0350	0,1446	-4,8300	-0,0350	0,1691
-3,4600	-0,0349	0,1208	-4,1600	-0,0351	0,1460	-4,8700	-0,0349	0,1700
-3,4900	-0,0347	0,1211	-4,2000	-0,0351	0,1474	-4,9000	-0,0350	0,1715
-3,5300	-0,0350	0,1236	-4,2300	-0,0351	0,1485	-4,9300	-0,0350	0,1726
-3,5600	-0,0351	0,1250	-4,2600	-0,0351	0,1495	-4,9700	-0,0350	0,1740
-3,6000	-0,0348	0,1253	-4,3000	-0,0351	0,1509	-5,0000	-0,0350	0,1750
-3,6300	-0,0347	0,1260	-4,3300	-0,0350	0,1516			
-3,6600	-0,0348	0,1274	-4,3600	-0,0350	0,1526			
-3,7000	-0,0349	0,1291	-4,4000	-0,0350	0,1540			

Tabela 3: Napetost, tok in izračunana moč pri amorfnih silicijevih celicah - meritve z umetnim soncem in z dodano lečo

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
5,0000	0,1120	0,5600	3,6300	-0,0573	-0,2080	2,2600	-0,0996	-0,2251
4,9700	0,1060	0,5268	3,6000	-0,0591	-0,2128	2,2200	-0,0994	-0,2207
4,9300	0,0988	0,4871	3,5600	-0,0610	-0,2172	2,1900	-0,0993	-0,2175
4,9000	0,0921	0,4513	3,5300	-0,0628	-0,2217	2,1600	-0,0999	-0,2158
4,8700	0,0856	0,4169	3,4900	-0,0645	-0,2251	2,1200	-0,1010	-0,2141
4,8300	0,0791	0,3821	3,4600	-0,0659	-0,2280	2,0900	-0,1010	-0,2111
4,8000	0,0726	0,3485	3,4300	-0,0675	-0,2315	2,0600	-0,1010	-0,2081
4,7700	0,0664	0,3167	3,3900	-0,0691	-0,2342	2,0200	-0,1010	-0,2040
4,7300	0,0603	0,2852	3,3600	-0,0707	-0,2376	1,9900	-0,1010	-0,2010
4,7000	0,0545	0,2562	3,3300	-0,0720	-0,2398	1,9600	-0,1020	-0,1999
4,6700	0,0488	0,2279	3,2900	-0,0733	-0,2412	1,9200	-0,1020	-0,1958
4,6300	0,0432	0,2000	3,2600	-0,0747	-0,2435	1,8900	-0,1020	-0,1928
4,6000	0,0378	0,1739	3,2300	-0,0760	-0,2455	1,8600	-0,1020	-0,1897
4,5700	0,0326	0,1490	3,1900	-0,0772	-0,2463	1,8200	-0,1030	-0,1875
4,5300	0,0275	0,1246	3,1600	-0,0787	-0,2487	1,7900	-0,1030	-0,1844
4,5000	0,0227	0,1022	3,1300	-0,0799	-0,2501	1,7600	-0,1030	-0,1813
4,4600	0,0181	0,0807	3,0900	-0,0809	-0,2500	1,7200	-0,1020	-0,1754
4,4300	0,0135	0,0598	3,0600	-0,0822	-0,2515	1,6900	-0,1030	-0,1741
4,4000	0,0092	0,0403	3,0300	-0,0830	-0,2515	1,6600	-0,1030	-0,1710
4,3600	0,0050	0,0217	2,9900	-0,0841	-0,2515	1,6200	-0,1030	-0,1669
4,3300	0,0010	0,0043	2,9600	-0,0852	-0,2522	1,5900	-0,1030	-0,1638
4,3000	-0,0030	-0,0130	2,9300	-0,0858	-0,2514	1,5600	-0,1030	-0,1607
4,2600	-0,0068	-0,0289	2,8900	-0,0867	-0,2506	1,5200	-0,1030	-0,1566
4,2300	-0,0104	-0,0440	2,8600	-0,0875	-0,2503	1,4900	-0,1030	-0,1535
4,2000	-0,0139	-0,0584	2,8300	-0,0886	-0,2507	1,4500	-0,1030	-0,1494
4,1600	-0,0172	-0,0716	2,7900	-0,0894	-0,2494	1,4200	-0,1030	-0,1463
4,1300	-0,0204	-0,0843	2,7600	-0,0905	-0,2498	1,3900	-0,1030	-0,1432
4,1000	-0,0236	-0,0968	2,7300	-0,0912	-0,2490	1,3500	-0,1030	-0,1391
4,0600	-0,0266	-0,1080	2,6900	-0,0918	-0,2469	1,3200	-0,1030	-0,1360
4,0300	-0,0295	-0,1189	2,6600	-0,0925	-0,2461	1,2900	-0,1030	-0,1329
4,0000	-0,0322	-0,1288	2,6300	-0,0932	-0,2451	1,2500	-0,1030	-0,1288
3,9600	-0,0350	-0,1386	2,5900	-0,0937	-0,2427	1,2200	-0,1030	-0,1257
3,9300	-0,0374	-0,1470	2,5600	-0,0945	-0,2419	1,1900	-0,1030	-0,1226
3,9000	-0,0399	-0,1556	2,5300	-0,0949	-0,2401	1,1500	-0,1030	-0,1185
3,8600	-0,0423	-0,1633	2,4900	-0,0956	-0,2380	1,1200	-0,1030	-0,1154
3,8300	-0,0447	-0,1712	2,4600	-0,0962	-0,2367	1,0900	-0,1030	-0,1123
3,8000	-0,0470	-0,1786	2,4200	-0,0969	-0,2345	1,0500	-0,1030	-0,1082
3,7600	-0,0492	-0,1850	2,3900	-0,0976	-0,2333	1,0200	-0,1030	-0,1051
3,7300	-0,0513	-0,1913	2,3600	-0,0983	-0,2320	0,9870	-0,1030	-0,1017
3,7000	-0,0534	-0,1976	2,3200	-0,0986	-0,2288	0,9530	-0,1030	-0,0982
3,6600	-0,0555	-0,2031	2,2900	-0,0989	-0,2265	0,9200	-0,1030	-0,0948

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
0,8860	-0,1020	-0,0904	-0,4850	-0,1040	0,0504	-1,8600	-0,1050	0,1953
0,8530	-0,1030	-0,0879	-0,5180	-0,1040	0,0539	-1,8900	-0,1050	0,1985
0,8190	-0,1030	-0,0844	-0,5520	-0,1040	0,0574	-1,9200	-0,1050	0,2016
0,7860	-0,1030	-0,0810	-0,5850	-0,1040	0,0608	-1,9600	-0,1050	0,2058
0,7530	-0,1030	-0,0776	-0,6190	-0,1050	0,0650	-1,9900	-0,1050	0,2090
0,7190	-0,1030	-0,0741	-0,6520	-0,1040	0,0678	-2,0200	-0,1050	0,2121
0,6860	-0,1030	-0,0707	-0,6860	-0,1040	0,0713	-2,0600	-0,1050	0,2163
0,6520	-0,1030	-0,0672	-0,7190	-0,1040	0,0748	-2,0900	-0,1050	0,2195
0,6190	-0,1030	-0,0638	-0,7530	-0,1040	0,0783	-2,1200	-0,1060	0,2247
0,5850	-0,1040	-0,0608	-0,7860	-0,1040	0,0817	-2,1600	-0,1060	0,2290
0,5520	-0,1040	-0,0574	-0,8190	-0,1040	0,0852	-2,1900	-0,1060	0,2321
0,5180	-0,1030	-0,0534	-0,8530	-0,1040	0,0887	-2,2200	-0,1060	0,2353
0,4850	-0,1030	-0,0500	-0,8860	-0,1040	0,0921	-2,2600	-0,1060	0,2396
0,4520	-0,1040	-0,0470	-0,9200	-0,1050	0,0966	-2,2900	-0,1050	0,2405
0,4180	-0,1040	-0,0435	-0,9530	-0,1050	0,1001	-2,3200	-0,1050	0,2436
0,3850	-0,1030	-0,0397	-0,9870	-0,1050	0,1036	-2,3600	-0,1060	0,2502
0,3510	-0,1030	-0,0362	-1,0200	-0,1040	0,1061	-2,3900	-0,1060	0,2533
0,3180	-0,1030	-0,0328	-1,0500	-0,1040	0,1092	-2,4200	-0,1060	0,2565
0,2840	-0,1040	-0,0295	-1,0900	-0,1050	0,1145	-2,4600	-0,1060	0,2608
0,2510	-0,1040	-0,0261	-1,1200	-0,1040	0,1165	-2,4900	-0,1050	0,2615
0,2170	-0,1040	-0,0226	-1,1500	-0,1050	0,1208	-2,5300	-0,1060	0,2682
0,1840	-0,1040	-0,0191	-1,1900	-0,1050	0,1250	-2,5600	-0,1060	0,2714
0,1510	-0,1030	-0,0156	-1,2200	-0,1040	0,1269	-2,5900	-0,1060	0,2745
0,1170	-0,1030	-0,0121	-1,2500	-0,1040	0,1300	-2,6300	-0,1060	0,2788
0,0836	-0,1040	-0,0087	-1,2900	-0,1050	0,1355	-2,6600	-0,1060	0,2820
0,0502	-0,1030	-0,0052	-1,3200	-0,1040	0,1373	-2,6900	-0,1060	0,2851
0,0167	-0,1040	-0,0017	-1,3500	-0,1040	0,1404	-2,7300	-0,1060	0,2894
-0,0167	-0,1040	0,0017	-1,3900	-0,1050	0,1460	-2,7600	-0,1060	0,2926
-0,0502	-0,1040	0,0052	-1,4200	-0,1050	0,1491	-2,7900	-0,1050	0,2930
-0,0836	-0,1040	0,0087	-1,4500	-0,1050	0,1523	-2,8300	-0,1050	0,2972
-0,1170	-0,1040	0,0122	-1,4900	-0,1050	0,1565	-2,8600	-0,1060	0,3032
-0,1510	-0,1040	0,0157	-1,5200	-0,1050	0,1596	-2,8900	-0,1060	0,3063
-0,1840	-0,1040	0,0191	-1,5600	-0,1050	0,1638	-2,9300	-0,1060	0,3106
-0,2170	-0,1040	0,0226	-1,5900	-0,1050	0,1670	-2,9600	-0,1060	0,3138
-0,2510	-0,1040	0,0261	-1,6200	-0,1050	0,1701	-2,9900	-0,1070	0,3199
-0,2840	-0,1040	0,0295	-1,6600	-0,1050	0,1743	-3,0300	-0,1060	0,3212
-0,3180	-0,1040	0,0331	-1,6900	-0,1050	0,1775	-3,0600	-0,1060	0,3244
-0,3510	-0,1040	0,0365	-1,7200	-0,1040	0,1789	-3,0900	-0,1060	0,3275
-0,3850	-0,1040	0,0400	-1,7600	-0,1050	0,1848	-3,1300	-0,1060	0,3318
-0,4180	-0,1040	0,0435	-1,7900	-0,1050	0,1880	-3,1600	-0,1060	0,3350
-0,4520	-0,1040	0,0470	-1,8200	-0,1050	0,1911	-3,1900	-0,1070	0,3413

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
-3,2300	-0,1060	0,3424	-3,8300	-0,1060	0,4060	-4,4300	-0,1070	0,4740
-3,2600	-0,1070	0,3488	-3,8600	-0,1060	0,4092	-4,4600	-0,1070	0,4772
-3,2900	-0,1070	0,3520	-3,9000	-0,1070	0,4173	-4,5000	-0,1070	0,4815
-3,3300	-0,1070	0,3563	-3,9300	-0,1070	0,4205	-4,5300	-0,1070	0,4847
-3,3600	-0,1070	0,3595	-3,9600	-0,1070	0,4237	-4,5700	-0,1070	0,4890
-3,3900	-0,1070	0,3627	-4,0000	-0,1070	0,4280	-4,6000	-0,1070	0,4922
-3,4300	-0,1060	0,3636	-4,0300	-0,1060	0,4272	-4,6300	-0,1070	0,4954
-3,4600	-0,1060	0,3668	-4,0600	-0,1060	0,4304	-4,6700	-0,1070	0,4997
-3,4900	-0,1060	0,3699	-4,1000	-0,1070	0,4387	-4,7000	-0,1070	0,5029
-3,5300	-0,1060	0,3742	-4,1300	-0,1070	0,4419	-4,7300	-0,1060	0,5014
-3,5600	-0,1060	0,3774	-4,1600	-0,1070	0,4451	-4,7700	-0,1060	0,5056
-3,6000	-0,1060	0,3816	-4,2000	-0,1060	0,4452	-4,8000	-0,1060	0,5088
-3,6300	-0,1070	0,3884	-4,2300	-0,1070	0,4526	-4,8300	-0,1060	0,5120
-3,6600	-0,1070	0,3916	-4,2600	-0,1070	0,4558	-4,8700	-0,1070	0,5211
-3,7000	-0,1060	0,3922	-4,3000	-0,1070	0,4601	-4,9000	-0,1070	0,5243
-3,7300	-0,1060	0,3954	-4,3300	-0,1070	0,4633	-4,9300	-0,1070	0,5275
-3,7600	-0,1060	0,3986	-4,3600	-0,1070	0,4665	-4,9700	-0,1070	0,5318
-3,8000	-0,1060	0,4028	-4,4000	-0,1070	0,4708	-5,0000	-0,1070	0,5350

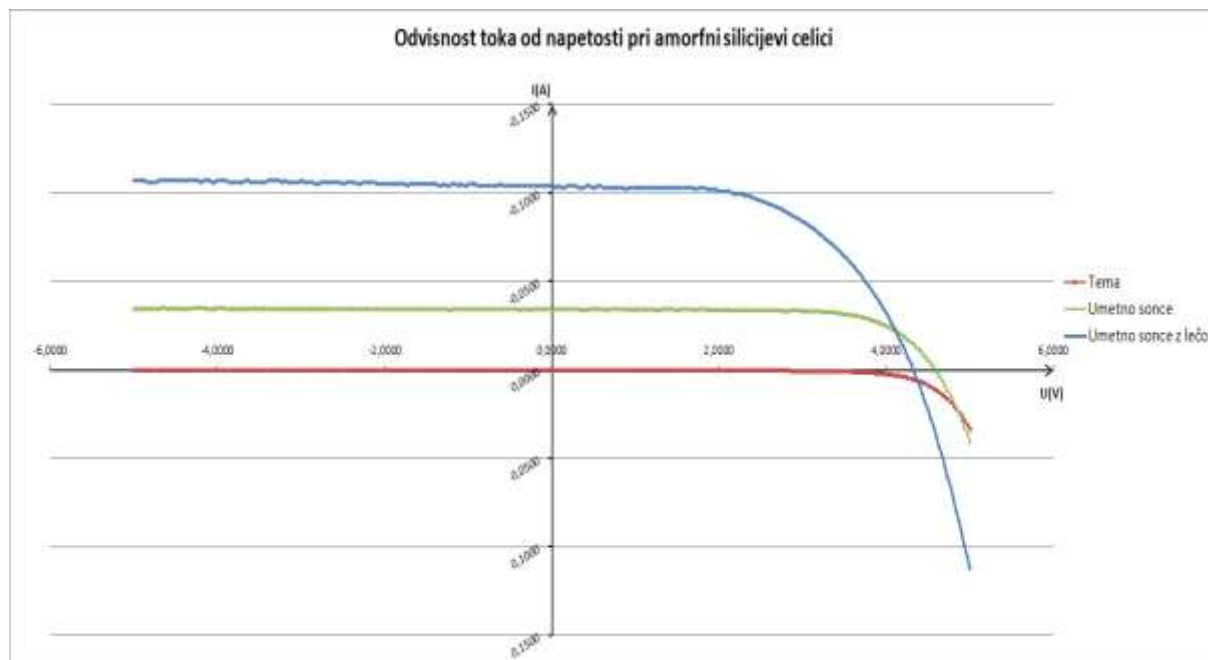


Diagram 1: Primerjava amorfnih silicijevih celic – meritve v temi, z umetnim soncem in z dodano lečo

Iz podatkov v tabelah 2 in 3 ter prikaza na diagramu 1 je razvidno, da dodana leča opazno poveča maksimalno moč. Zbir podatkov, odčitanih z diagrama in izračunanih po enačbah v poglavju 2.3.2, je prikazan v tabeli 4.

Tabela 4: Zbir podatkov za amorfno silicijevo celico

	P_{MAX} (W)	P_{IN} (W)	I_{SC} (A)	U_{OC} (V)	FF (/)	η (%)
Umetno sonce	0.1124	1.365	0.0346	4.600	0.71	8.23
Umetno sonce + leča	0.2522	4.225	0.1040	4.330	0.56	5.97

4.1.2 Sončna celica DSSC

Tabela 5: Napetost, tok in izračunana moč pri sončni celici DSSC– meritve v temi

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
1,00E+00	1,49E-02	1,49E-02	2,93E-01	2,25E-05	6,59E-06	-4,14E-01	-4,28E-03	1,77E-03
9,80E-01	1,38E-02	1,35E-02	2,73E-01	1,70E-05	4,64E-06	-4,34E-01	-4,92E-03	2,14E-03
9,60E-01	1,31E-02	1,26E-02	2,53E-01	1,28E-05	3,24E-06	-4,55E-01	-5,58E-03	2,54E-03
9,39E-01	1,23E-02	1,15E-02	2,32E-01	9,57E-06	2,22E-06	-4,75E-01	-6,26E-03	2,97E-03
9,19E-01	1,16E-02	1,07E-02	2,12E-01	7,07E-06	1,50E-06	-4,95E-01	-6,95E-03	3,44E-03
8,99E-01	1,09E-02	9,80E-03	1,92E-01	4,98E-06	9,56E-07	-5,15E-01	-7,65E-03	3,94E-03
8,79E-01	1,01E-02	8,88E-03	1,72E-01	3,28E-06	5,64E-07	-5,35E-01	-8,36E-03	4,47E-03
8,59E-01	9,42E-03	8,09E-03	1,52E-01	2,04E-06	3,10E-07	-5,56E-01	-9,08E-03	5,05E-03
8,38E-01	8,72E-03	7,31E-03	1,31E-01	9,83E-07	1,29E-07	-5,76E-01	-9,80E-03	5,64E-03
8,18E-01	8,03E-03	6,57E-03	1,11E-01	1,11E-07	1,23E-08	-5,96E-01	-1,05E-02	6,26E-03
7,98E-01	7,34E-03	5,86E-03	9,09E-02	-6,38E-07	-5,80E-08	-6,16E-01	-1,13E-02	6,96E-03
7,78E-01	6,68E-03	5,20E-03	7,07E-02	-1,13E-06	-7,99E-08	-6,36E-01	-1,20E-02	7,63E-03
7,58E-01	6,02E-03	4,56E-03	5,05E-02	-1,63E-06	-8,23E-08	-6,57E-01	-1,27E-02	8,34E-03
7,37E-01	5,39E-03	3,97E-03	3,03E-02	-2,14E-06	-6,48E-08	-6,77E-01	-1,35E-02	9,14E-03
7,17E-01	4,77E-03	3,42E-03	1,01E-02	-2,60E-06	-2,63E-08	-6,97E-01	-1,42E-02	9,90E-03
6,97E-01	4,18E-03	2,91E-03	-1,01E-02	-3,20E-06	3,23E-08	-7,17E-01	-1,50E-02	1,08E-02
6,77E-01	3,61E-03	2,44E-03	-3,03E-02	-3,95E-06	1,20E-07	-7,37E-01	-1,57E-02	1,16E-02
6,57E-01	3,08E-03	2,02E-03	-5,05E-02	-5,05E-06	2,55E-07	-7,58E-01	-1,65E-02	1,25E-02
6,36E-01	2,59E-03	1,65E-03	-7,07E-02	-6,91E-06	4,89E-07	-7,78E-01	-1,73E-02	1,35E-02
6,16E-01	2,14E-03	1,32E-03	-9,09E-02	-9,86E-06	8,96E-07	-7,98E-01	-1,80E-02	1,44E-02
5,96E-01	1,73E-03	1,03E-03	-1,11E-01	-1,49E-05	1,65E-06	-8,18E-01	-1,88E-02	1,54E-02
5,76E-01	1,38E-03	7,95E-04	-1,31E-01	-2,33E-05	3,05E-06	-8,38E-01	-1,95E-02	1,63E-02
5,56E-01	1,07E-03	5,95E-04	-1,52E-01	-3,81E-05	5,79E-06	-8,59E-01	-2,03E-02	1,74E-02
5,35E-01	8,17E-04	4,37E-04	-1,72E-01	-6,40E-05	1,10E-05	-8,79E-01	-2,11E-02	1,85E-02
5,15E-01	6,09E-04	3,14E-04	-1,92E-01	-1,09E-04	2,09E-05	-8,99E-01	-2,18E-02	1,96E-02
4,95E-01	4,45E-04	2,20E-04	-2,12E-01	-1,86E-04	3,94E-05	-9,19E-01	-2,26E-02	2,08E-02
4,75E-01	3,22E-04	1,53E-04	-2,32E-01	-3,10E-04	7,19E-05	-9,39E-01	-2,34E-02	2,20E-02
4,55E-01	2,32E-04	1,06E-04	-2,53E-01	-5,00E-04	1,27E-04	-9,60E-01	-2,41E-02	2,31E-02
4,34E-01	1,68E-04	7,29E-05	-2,73E-01	-7,64E-04	2,09E-04	-9,80E-01	-2,49E-02	2,44E-02
4,14E-01	1,23E-04	5,09E-05	-2,93E-01	-1,10E-03	3,22E-04	-1,00E+00	-2,57E-02	2,57E-02
3,94E-01	9,07E-05	3,57E-05	-3,13E-01	-1,51E-03	4,73E-04			
3,74E-01	6,77E-05	2,53E-05	-3,33E-01	-1,98E-03	6,59E-04			
3,54E-01	5,10E-05	1,81E-05	-3,54E-01	-2,50E-03	8,85E-04			
3,33E-01	3,87E-05	1,29E-05	-3,74E-01	-3,06E-03	1,14E-03			
3,13E-01	2,93E-05	9,17E-06	-3,94E-01	-3,66E-03	1,44E-03			

Tabela 6: Napetost, tok in izračunana moč pri sončni celici DSSC– meritve z umetnim soncem

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
1,00E+00	1,33E-02	1,33E-02	2,93E-01	-1,44E-02	-4,22E-03	-4,14E-01	-3,89E-02	1,61E-02
9,80E-01	1,25E-02	1,23E-02	2,73E-01	-1,51E-02	-4,12E-03	-4,34E-01	-3,93E-02	1,71E-02
9,60E-01	1,17E-02	1,12E-02	2,53E-01	-1,59E-02	-4,02E-03	-4,55E-01	-3,98E-02	1,81E-02
9,39E-01	1,09E-02	1,02E-02	2,32E-01	-1,67E-02	-3,87E-03	-4,75E-01	-4,01E-02	1,90E-02
9,19E-01	1,01E-02	9,28E-03	2,12E-01	-1,74E-02	-3,69E-03	-4,95E-01	-4,05E-02	2,00E-02
8,99E-01	9,27E-03	8,33E-03	1,92E-01	-1,82E-02	-3,49E-03	-5,15E-01	-4,08E-02	2,10E-02
8,79E-01	8,47E-03	7,45E-03	1,72E-01	-1,90E-02	-3,27E-03	-5,35E-01	-4,11E-02	2,20E-02
8,59E-01	7,67E-03	6,59E-03	1,52E-01	-1,97E-02	-2,99E-03	-5,56E-01	-4,13E-02	2,30E-02
8,38E-01	6,88E-03	5,77E-03	1,31E-01	-2,05E-02	-2,69E-03	-5,76E-01	-4,14E-02	2,38E-02
8,18E-01	6,08E-03	4,97E-03	1,11E-01	-2,12E-02	-2,35E-03	-5,96E-01	-4,16E-02	2,48E-02
7,98E-01	5,28E-03	4,21E-03	9,09E-02	-2,20E-02	-2,00E-03	-6,16E-01	-4,15E-02	2,56E-02
7,78E-01	4,48E-03	3,49E-03	7,07E-02	-2,28E-02	-1,61E-03	-6,36E-01	-4,17E-02	2,65E-02
7,58E-01	3,68E-03	2,79E-03	5,05E-02	-2,35E-02	-1,19E-03	-6,57E-01	-4,17E-02	2,74E-02
7,37E-01	2,89E-03	2,13E-03	3,03E-02	-2,42E-02	-7,33E-04	-6,77E-01	-4,17E-02	2,82E-02
7,17E-01	2,10E-03	1,51E-03	1,01E-02	-2,50E-02	-2,53E-04	-6,97E-01	-4,16E-02	2,90E-02
6,97E-01	1,31E-03	9,13E-04	-1,01E-02	-2,57E-02	2,60E-04	-7,17E-01	-4,18E-02	3,00E-02
6,77E-01	5,13E-04	3,47E-04	-3,03E-02	-2,65E-02	8,03E-04	-7,37E-01	-4,19E-02	3,09E-02
6,57E-01	-2,84E-04	-1,87E-04	-5,05E-02	-2,72E-02	1,37E-03	-7,58E-01	-4,19E-02	3,18E-02
6,36E-01	-1,08E-03	-6,87E-04	-7,07E-02	-2,79E-02	1,97E-03	-7,78E-01	-4,20E-02	3,27E-02
6,16E-01	-1,86E-03	-1,15E-03	-9,09E-02	-2,87E-02	2,61E-03	-7,98E-01	-4,19E-02	3,34E-02
5,96E-01	-2,64E-03	-1,57E-03	-1,11E-01	-2,94E-02	3,26E-03	-8,18E-01	-4,20E-02	3,44E-02
5,76E-01	-3,43E-03	-1,98E-03	-1,31E-01	-3,01E-02	3,94E-03	-8,38E-01	-4,21E-02	3,53E-02
5,56E-01	-4,23E-03	-2,35E-03	-1,52E-01	-3,08E-02	4,68E-03	-8,59E-01	-4,21E-02	3,62E-02
5,35E-01	-5,01E-03	-2,68E-03	-1,72E-01	-3,15E-02	5,42E-03	-8,79E-01	-4,20E-02	3,69E-02
5,15E-01	-5,80E-03	-2,99E-03	-1,92E-01	-3,22E-02	6,18E-03	-8,99E-01	-4,19E-02	3,77E-02
4,95E-01	-6,59E-03	-3,26E-03	-2,12E-01	-3,28E-02	6,95E-03	-9,19E-01	-4,22E-02	3,88E-02
4,75E-01	-7,37E-03	-3,50E-03	-2,32E-01	-3,35E-02	7,77E-03	-9,39E-01	-4,18E-02	3,93E-02
4,55E-01	-8,16E-03	-3,71E-03	-2,53E-01	-3,42E-02	8,65E-03	-9,60E-01	-4,20E-02	4,03E-02
4,34E-01	-8,94E-03	-3,88E-03	-2,73E-01	-3,49E-02	9,53E-03	-9,80E-01	-4,19E-02	4,11E-02
4,14E-01	-9,72E-03	-4,02E-03	-2,93E-01	-3,55E-02	1,04E-02	-1,00E+00	-4,22E-02	4,22E-02
3,94E-01	-1,05E-02	-4,14E-03	-3,13E-01	-3,61E-02	1,13E-02			
3,74E-01	-1,13E-02	-4,23E-03	-3,33E-01	-3,68E-02	1,23E-02			
3,54E-01	-1,20E-02	-4,25E-03	-3,54E-01	-3,74E-02	1,32E-02			
3,33E-01	-1,28E-02	-4,26E-03	-3,74E-01	-3,79E-02	1,42E-02			
3,13E-01	-1,36E-02	-4,26E-03	-3,94E-01	-3,84E-02	1,51E-02			

Tabela 7: Napetost, tok in izračunana moč pri sončni celici DSSC– meritve z umetnim soncem in z dodano lečo

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
1,00E+00	1,21E-02	1,21E-02	2,93E-01	-1,65E-02	-4,83E-03	-4,14E-01	-4,46E-02	1,85E-02
9,80E-01	1,12E-02	1,10E-02	2,73E-01	-1,72E-02	-4,70E-03	-4,34E-01	-4,53E-02	1,97E-02
9,60E-01	1,04E-02	9,98E-03	2,53E-01	-1,81E-02	-4,58E-03	-4,55E-01	-4,61E-02	2,10E-02
9,39E-01	9,57E-03	8,99E-03	2,32E-01	-1,89E-02	-4,38E-03	-4,75E-01	-4,69E-02	2,23E-02
9,19E-01	8,76E-03	8,05E-03	2,12E-01	-1,97E-02	-4,18E-03	-4,95E-01	-4,77E-02	2,36E-02
8,99E-01	7,94E-03	7,14E-03	1,92E-01	-2,05E-02	-3,94E-03	-5,15E-01	-4,85E-02	2,50E-02
8,79E-01	7,12E-03	6,26E-03	1,72E-01	-2,13E-02	-3,66E-03	-5,35E-01	-4,93E-02	2,64E-02
8,59E-01	6,31E-03	5,42E-03	1,52E-01	-2,21E-02	-3,36E-03	-5,56E-01	-5,01E-02	2,79E-02
8,38E-01	5,50E-03	4,61E-03	1,31E-01	-2,29E-02	-3,00E-03	-5,76E-01	-5,09E-02	2,93E-02
8,18E-01	4,68E-03	3,83E-03	1,11E-01	-2,37E-02	-2,63E-03	-5,96E-01	-5,17E-02	3,08E-02
7,98E-01	3,86E-03	3,08E-03	9,09E-02	-2,45E-02	-2,23E-03	-6,16E-01	-5,25E-02	3,23E-02
7,78E-01	3,06E-03	2,38E-03	7,07E-02	-2,53E-02	-1,79E-03	-6,36E-01	-5,33E-02	3,39E-02
7,58E-01	2,25E-03	1,71E-03	5,05E-02	-2,62E-02	-1,32E-03	-6,57E-01	-5,41E-02	3,55E-02
7,37E-01	1,42E-03	1,05E-03	3,03E-02	-2,69E-02	-8,15E-04	-6,77E-01	-5,49E-02	3,72E-02
7,17E-01	6,04E-04	4,33E-04	1,01E-02	-2,77E-02	-2,80E-04	-6,97E-01	-5,56E-02	3,88E-02
6,97E-01	-2,16E-04	-1,51E-04	-1,01E-02	-2,85E-02	2,88E-04	-7,17E-01	-5,64E-02	4,04E-02
6,77E-01	-1,03E-03	-6,97E-04	-3,03E-02	-2,94E-02	8,91E-04	-7,37E-01	-5,72E-02	4,22E-02
6,57E-01	-1,84E-03	-1,21E-03	-5,05E-02	-3,02E-02	1,53E-03	-7,58E-01	-5,80E-02	4,40E-02
6,36E-01	-2,65E-03	-1,69E-03	-7,07E-02	-3,10E-02	2,19E-03	-7,78E-01	-5,88E-02	4,57E-02
6,16E-01	-3,47E-03	-2,14E-03	-9,09E-02	-3,18E-02	2,89E-03	-7,98E-01	-5,96E-02	4,76E-02
5,96E-01	-4,28E-03	-2,55E-03	-1,11E-01	-3,26E-02	3,62E-03	-8,18E-01	-6,04E-02	4,94E-02
5,76E-01	-5,09E-03	-2,93E-03	-1,31E-01	-3,34E-02	4,38E-03	-8,38E-01	-6,12E-02	5,13E-02
5,56E-01	-5,90E-03	-3,28E-03	-1,52E-01	-3,42E-02	5,20E-03	-8,59E-01	-6,20E-02	5,33E-02
5,35E-01	-6,72E-03	-3,60E-03	-1,72E-01	-3,50E-02	6,02E-03	-8,79E-01	-6,27E-02	5,51E-02
5,15E-01	-7,53E-03	-3,88E-03	-1,92E-01	-3,58E-02	6,87E-03	-8,99E-01	-6,35E-02	5,71E-02
4,95E-01	-8,34E-03	-4,13E-03	-2,12E-01	-3,66E-02	7,76E-03	-9,19E-01	-6,43E-02	5,91E-02
4,75E-01	-9,16E-03	-4,35E-03	-2,32E-01	-3,74E-02	8,68E-03	-9,39E-01	-6,51E-02	6,11E-02
4,55E-01	-9,97E-03	-4,54E-03	-2,53E-01	-3,82E-02	9,66E-03	-9,60E-01	-6,59E-02	6,33E-02
4,34E-01	-1,08E-02	-4,69E-03	-2,73E-01	-3,90E-02	1,06E-02	-9,80E-01	-6,67E-02	6,54E-02
4,14E-01	-1,16E-02	-4,80E-03	-2,93E-01	-3,98E-02	1,17E-02	-1,00E+00	-6,74E-02	6,74E-02
3,94E-01	-1,24E-02	-4,89E-03	-3,13E-01	-4,06E-02	1,27E-02			
3,74E-01	-1,32E-02	-4,94E-03	-3,33E-01	-4,14E-02	1,38E-02			
3,54E-01	-1,40E-02	-4,96E-03	-3,54E-01	-4,22E-02	1,49E-02			
3,33E-01	-1,48E-02	-4,93E-03	-3,74E-01	-4,30E-02	1,61E-02			
3,13E-01	-1,56E-02	-4,88E-03	-3,94E-01	-4,38E-02	1,73E-02			

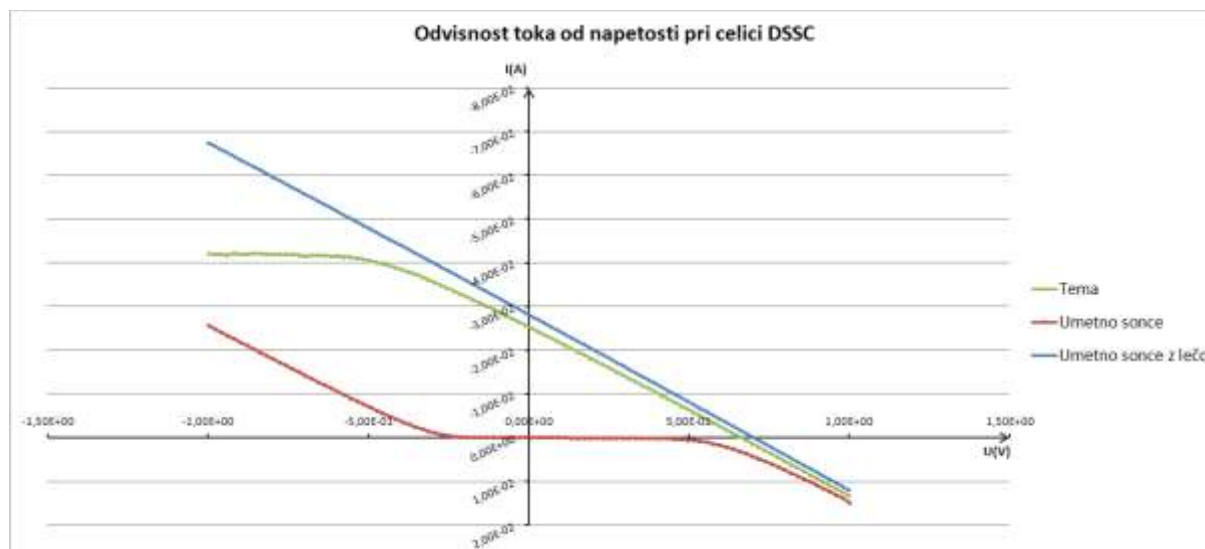


Diagram 2: Primerjava celice DSSC – meritve v temi, z umetnim soncem in z dodano lečo

Iz podatkov v tabelah 6 in 7 ter prikaza na diagramu 2 je razvidno, da dodana leča skoraj nič ne poveča maksimalne moči. Obnašanje celice DSSC ni skladno s pričakovanim. Ob tem je treba povedati, da ne gre za komercialno izdelano celico, ampak za laboratorijski poskus izdelave, ki pa še ne daje optimalnih rezultatov. Problem se kaže pred vsem v slabem tesnjenju na mestu vnosa kalijevega jodida. To trditev potrjujejo tudi podatki, ki jih je proizvajalec izmeril na isti celici, pod enakimi pogoji decembra 2010 na Inštitutu Borisa Kidriča (priloga 1, meritev CC-57 2010-12-22 09:-52-06). Celica je imela takrat kar 10-krat večjo maksimalno moč (0.04469 W) in 11-krat večji izkoristek (3.34 %).

Zbir podatkov, odčitanih z diagrama in izračunanih po enačbah v poglavju 2.3.2 je prikazan v tabeli 8.

Tabela 8: Zbir podatkov za sončno celico DSSC

	P_{MAX} (W)	P_{IN} (W)	I_{sc} (A)	U_{oc} (V)	FF (/)	η (%)
Umetno sonce	0.00426	1.365	0.0254	0.667	0.25	0.31
Umetno sonce + leča	0.00496	4.225	0.0281	0.707	0.25	0.12

4.1.3 Organska sončna celica

Tabela 9: Napetost, tok in izračunana moč pri organski sončni celici – meritve v temi

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
-1,00E+00	-4,09E-06	4,09E-06	-2,93E-01	-6,02E-07	1,76E-07	4,14E-01	1,50E-05	6,21E-06
-9,80E-01	-3,91E-06	3,83E-06	-2,73E-01	-5,80E-07	1,58E-07	4,34E-01	2,22E-05	9,63E-06
-9,60E-01	-3,59E-06	3,45E-06	-2,53E-01	-4,45E-07	1,13E-07	4,55E-01	3,20E-05	1,46E-05
-9,39E-01	-3,45E-06	3,24E-06	-2,32E-01	-4,28E-07	9,93E-08	4,75E-01	4,49E-05	2,13E-05
-9,19E-01	-3,30E-06	3,03E-06	-2,12E-01	-3,01E-07	6,38E-08	4,95E-01	6,11E-05	3,02E-05
-8,99E-01	-3,09E-06	2,78E-06	-1,92E-01	-2,56E-07	4,92E-08	5,15E-01	8,10E-05	4,17E-05
-8,79E-01	-2,99E-06	2,63E-06	-1,72E-01	-3,47E-07	5,97E-08	5,35E-01	1,05E-04	5,62E-05
-8,59E-01	-2,89E-06	2,48E-06	-1,52E-01	-3,31E-07	5,03E-08	5,56E-01	1,32E-04	7,34E-05
-8,38E-01	-2,73E-06	2,29E-06	-1,31E-01	-2,75E-07	3,60E-08	5,76E-01	1,63E-04	9,39E-05
-8,18E-01	-2,64E-06	2,16E-06	-1,11E-01	-2,68E-07	2,97E-08	5,96E-01	1,98E-04	1,18E-04
-7,98E-01	-2,46E-06	1,96E-06	-9,09E-02	-2,55E-07	2,32E-08	6,16E-01	2,39E-04	1,47E-04
-7,78E-01	-2,36E-06	1,84E-06	-7,07E-02	-1,68E-07	1,19E-08	6,36E-01	2,84E-04	1,81E-04
-7,58E-01	-2,26E-06	1,71E-06	-5,05E-02	-1,31E-07	6,62E-09	6,57E-01	3,35E-04	2,20E-04
-7,37E-01	-2,08E-06	1,53E-06	-3,03E-02	-6,03E-08	1,83E-09	6,77E-01	3,92E-04	2,65E-04
-7,17E-01	-2,01E-06	1,44E-06	-1,01E-02	-1,28E-07	1,29E-09	6,97E-01	4,57E-04	3,19E-04
-6,97E-01	-1,89E-06	1,32E-06	1,01E-02	-1,77E-07	-1,79E-09	7,17E-01	5,29E-04	3,79E-04
-6,77E-01	-1,84E-06	1,25E-06	3,03E-02	-6,48E-08	-1,96E-09	7,37E-01	6,10E-04	4,50E-04
-6,57E-01	-1,74E-06	1,14E-06	5,05E-02	1,73E-08	8,74E-10	7,58E-01	6,99E-04	5,30E-04
-6,36E-01	-1,66E-06	1,06E-06	7,07E-02	-3,37E-08	-2,38E-09	7,78E-01	7,99E-04	6,22E-04
-6,16E-01	-1,56E-06	9,61E-07	9,09E-02	2,49E-08	2,26E-09	7,98E-01	9,09E-04	7,25E-04
-5,96E-01	-1,42E-06	8,46E-07	1,11E-01	1,31E-07	1,45E-08	8,18E-01	1,03E-03	8,43E-04
-5,76E-01	-1,35E-06	7,78E-07	1,31E-01	1,41E-07	1,85E-08	8,38E-01	1,16E-03	9,72E-04
-5,56E-01	-1,25E-06	6,95E-07	1,52E-01	2,02E-07	3,07E-08	8,59E-01	1,31E-03	1,13E-03
-5,35E-01	-1,20E-06	6,42E-07	1,72E-01	3,07E-07	5,28E-08	8,79E-01	1,47E-03	1,29E-03
-5,15E-01	-1,15E-06	5,92E-07	1,92E-01	4,00E-07	7,68E-08	8,99E-01	1,64E-03	1,47E-03
-4,95E-01	-1,13E-06	5,59E-07	2,12E-01	4,80E-07	1,02E-07	9,19E-01	1,83E-03	1,68E-03
-4,75E-01	-1,07E-06	5,08E-07	2,32E-01	6,05E-07	1,40E-07	9,39E-01	2,04E-03	1,92E-03
-4,55E-01	-1,01E-06	4,60E-07	2,53E-01	7,68E-07	1,94E-07	9,60E-01	2,27E-03	2,18E-03
-4,34E-01	-9,76E-07	4,24E-07	2,73E-01	1,09E-06	2,98E-07	9,80E-01	2,51E-03	2,46E-03
-4,14E-01	-9,16E-07	3,79E-07	2,93E-01	1,52E-06	4,45E-07	1,00E+00	2,77E-03	2,77E-03
-3,94E-01	-7,89E-07	3,11E-07	3,13E-01	2,06E-06	6,45E-07			
-3,74E-01	-7,45E-07	2,79E-07	3,33E-01	3,01E-06	1,00E-06			
-3,54E-01	-7,26E-07	2,57E-07	3,54E-01	4,49E-06	1,59E-06			
-3,33E-01	-6,77E-07	2,25E-07	3,74E-01	6,73E-06	2,52E-06			
-3,13E-01	-6,29E-07	1,97E-07	3,94E-01	1,01E-05	3,98E-06			

Tabela 10: Napetost, tok in izračunana moč pri organski sončni celici – meritve z umetnim soncem

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
-1,00E+00	-3,96E-03	3,96E-03	-3,13E-01	-3,51E-03	1,10E-03	3,74E-01	-8,81E-04	-3,29E-04
-9,80E-01	-3,94E-03	3,86E-03	-2,93E-01	-3,48E-03	1,02E-03	3,94E-01	-7,64E-04	-3,01E-04
-9,60E-01	-3,93E-03	3,77E-03	-2,73E-01	-3,47E-03	9,47E-04	4,14E-01	-6,47E-04	-2,68E-04
-9,39E-01	-3,98E-03	3,74E-03	-2,53E-01	-3,46E-03	8,75E-04	4,34E-01	-5,36E-04	-2,33E-04
-9,19E-01	-3,93E-03	3,61E-03	-2,32E-01	-3,43E-03	7,96E-04	4,55E-01	-4,32E-04	-1,97E-04
-8,99E-01	-3,92E-03	3,52E-03	-2,12E-01	-3,43E-03	7,27E-04	4,75E-01	-3,38E-04	-1,61E-04
-8,79E-01	-3,90E-03	3,43E-03	-1,92E-01	-3,37E-03	6,47E-04	4,95E-01	-2,50E-04	-1,24E-04
-8,59E-01	-3,90E-03	3,35E-03	-1,72E-01	-3,31E-03	5,69E-04	5,15E-01	-1,70E-04	-8,76E-05
-8,38E-01	-3,91E-03	3,28E-03	-1,52E-01	-3,32E-03	5,05E-04	5,35E-01	-9,47E-05	-5,07E-05
-8,18E-01	-3,88E-03	3,17E-03	-1,31E-01	-3,29E-03	4,31E-04	5,56E-01	-2,52E-05	-1,40E-05
-7,98E-01	-3,85E-03	3,07E-03	-1,11E-01	-3,26E-03	3,62E-04	5,76E-01	4,26E-05	2,45E-05
-7,78E-01	-3,83E-03	2,98E-03	-9,09E-02	-3,20E-03	2,91E-04	5,96E-01	1,10E-04	6,56E-05
-7,58E-01	-3,86E-03	2,93E-03	-7,07E-02	-3,15E-03	2,23E-04	6,16E-01	1,79E-04	1,10E-04
-7,37E-01	-3,84E-03	2,83E-03	-5,05E-02	-3,10E-03	1,57E-04	6,36E-01	2,51E-04	1,60E-04
-7,17E-01	-3,81E-03	2,73E-03	-3,03E-02	-3,05E-03	9,24E-05	6,57E-01	3,29E-04	2,16E-04
-6,97E-01	-3,82E-03	2,66E-03	-1,01E-02	-2,99E-03	3,02E-05	6,77E-01	4,14E-04	2,80E-04
-6,77E-01	-3,77E-03	2,55E-03	1,01E-02	-2,92E-03	-2,95E-05	6,97E-01	5,08E-04	3,54E-04
-6,57E-01	-3,77E-03	2,48E-03	3,03E-02	-2,86E-03	-8,67E-05	7,17E-01	6,11E-04	4,38E-04
-6,36E-01	-3,77E-03	2,40E-03	5,05E-02	-2,78E-03	-1,40E-04	7,37E-01	7,24E-04	5,34E-04
-6,16E-01	-3,74E-03	2,30E-03	7,07E-02	-2,67E-03	-1,89E-04	7,58E-01	8,48E-04	6,43E-04
-5,96E-01	-3,74E-03	2,23E-03	9,09E-02	-2,58E-03	-2,35E-04	7,78E-01	9,85E-04	7,66E-04
-5,76E-01	-3,72E-03	2,14E-03	1,11E-01	-2,48E-03	-2,75E-04	7,98E-01	1,13E-03	9,02E-04
-5,56E-01	-3,72E-03	2,07E-03	1,31E-01	-2,37E-03	-3,10E-04	8,18E-01	1,30E-03	1,06E-03
-5,35E-01	-3,71E-03	1,98E-03	1,52E-01	-2,26E-03	-3,44E-04	8,38E-01	1,47E-03	1,23E-03
-5,15E-01	-3,71E-03	1,91E-03	1,72E-01	-2,15E-03	-3,70E-04	8,59E-01	1,67E-03	1,43E-03
-4,95E-01	-3,70E-03	1,83E-03	1,92E-01	-2,03E-03	-3,90E-04	8,79E-01	1,87E-03	1,64E-03
-4,75E-01	-3,66E-03	1,74E-03	2,12E-01	-1,91E-03	-4,05E-04	8,99E-01	2,10E-03	1,89E-03
-4,55E-01	-3,62E-03	1,65E-03	2,32E-01	-1,77E-03	-4,11E-04	9,19E-01	2,34E-03	2,15E-03
-4,34E-01	-3,60E-03	1,56E-03	2,53E-01	-1,64E-03	-4,15E-04	9,39E-01	2,60E-03	2,44E-03
-4,14E-01	-3,60E-03	1,49E-03	2,73E-01	-1,52E-03	-4,15E-04	9,60E-01	2,88E-03	2,76E-03
-3,94E-01	-3,59E-03	1,41E-03	2,93E-01	-1,38E-03	-4,04E-04	9,80E-01	3,18E-03	3,12E-03
-3,74E-01	-3,59E-03	1,34E-03	3,13E-01	-1,26E-03	-3,94E-04	1,00E+00	3,50E-03	3,50E-03
-3,54E-01	-3,55E-03	1,26E-03	3,33E-01	-1,13E-03	-3,76E-04			
-3,33E-01	-3,54E-03	1,18E-03	3,54E-01	-1,00E-03	-3,54E-04			

Tabela 11: Napetost, tok in izračunana moč pri organski sončni celici – meritve z umetnim soncem in z dodano lečo

U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)	U (V)	I (A)	P (W)
-1,00E+00	-1,32E-02	1,32E-02	-2,93E-01	-1,06E-02	3,11E-03	4,14E-01	-1,05E-03	-4,35E-04
-9,80E-01	-1,32E-02	1,29E-02	-2,73E-01	-1,05E-02	2,87E-03	4,34E-01	-8,66E-04	-3,76E-04
-9,60E-01	-1,33E-02	1,28E-02	-2,53E-01	-1,03E-02	2,61E-03	4,55E-01	-6,97E-04	-3,17E-04
-9,39E-01	-1,31E-02	1,23E-02	-2,32E-01	-1,01E-02	2,34E-03	4,75E-01	-5,40E-04	-2,57E-04
-9,19E-01	-1,31E-02	1,20E-02	-2,12E-01	-9,86E-03	2,09E-03	4,95E-01	-3,94E-04	-1,95E-04
-8,99E-01	-1,31E-02	1,18E-02	-1,92E-01	-9,63E-03	1,85E-03	5,15E-01	-2,58E-04	-1,33E-04
-8,79E-01	-1,29E-02	1,13E-02	-1,72E-01	-9,37E-03	1,61E-03	5,35E-01	-1,27E-04	-6,79E-05
-8,59E-01	-1,29E-02	1,11E-02	-1,52E-01	-9,12E-03	1,39E-03	5,56E-01	-2,91E-06	-1,62E-06
-8,38E-01	-1,29E-02	1,08E-02	-1,31E-01	-8,92E-03	1,17E-03	5,76E-01	1,21E-04	6,97E-05
-8,18E-01	-1,29E-02	1,06E-02	-1,11E-01	-8,62E-03	9,57E-04	5,96E-01	2,47E-04	1,47E-04
-7,98E-01	-1,28E-02	1,02E-02	-9,09E-02	-8,32E-03	7,56E-04	6,16E-01	3,78E-04	2,33E-04
-7,78E-01	-1,27E-02	9,88E-03	-7,07E-02	-8,01E-03	5,66E-04	6,36E-01	5,16E-04	3,28E-04
-7,58E-01	-1,27E-02	9,63E-03	-5,05E-02	-7,71E-03	3,89E-04	6,57E-01	6,62E-04	4,35E-04
-7,37E-01	-1,27E-02	9,36E-03	-3,03E-02	-7,40E-03	2,24E-04	6,77E-01	8,20E-04	5,55E-04
-7,17E-01	-1,26E-02	9,03E-03	-1,01E-02	-7,09E-03	7,16E-05	6,97E-01	9,93E-04	6,92E-04
-6,97E-01	-1,25E-02	8,71E-03	1,01E-02	-6,76E-03	-6,83E-05	7,17E-01	1,18E-03	8,46E-04
-6,77E-01	-1,24E-02	8,39E-03	3,03E-02	-6,44E-03	-1,95E-04	7,37E-01	1,38E-03	1,02E-03
-6,57E-01	-1,23E-02	8,08E-03	5,05E-02	-6,12E-03	-3,09E-04	7,58E-01	1,61E-03	1,22E-03
-6,36E-01	-1,23E-02	7,82E-03	7,07E-02	-5,80E-03	-4,10E-04	7,78E-01	1,85E-03	1,44E-03
-6,16E-01	-1,22E-02	7,52E-03	9,09E-02	-5,46E-03	-4,96E-04	7,98E-01	2,11E-03	1,68E-03
-5,96E-01	-1,22E-02	7,27E-03	1,11E-01	-5,17E-03	-5,74E-04	8,18E-01	2,38E-03	1,95E-03
-5,76E-01	-1,21E-02	6,97E-03	1,31E-01	-4,85E-03	-6,35E-04	8,38E-01	2,69E-03	2,25E-03
-5,56E-01	-1,20E-02	6,67E-03	1,52E-01	-4,53E-03	-6,89E-04	8,59E-01	3,02E-03	2,59E-03
-5,35E-01	-1,19E-02	6,37E-03	1,72E-01	-4,21E-03	-7,24E-04	8,79E-01	3,37E-03	2,96E-03
-5,15E-01	-1,19E-02	6,13E-03	1,92E-01	-3,90E-03	-7,49E-04	8,99E-01	3,74E-03	3,36E-03
-4,95E-01	-1,18E-02	5,84E-03	2,12E-01	-3,59E-03	-7,61E-04	9,19E-01	4,13E-03	3,80E-03
-4,75E-01	-1,16E-02	5,51E-03	2,32E-01	-3,28E-03	-7,61E-04	9,39E-01	4,56E-03	4,28E-03
-4,55E-01	-1,17E-02	5,32E-03	2,53E-01	-3,00E-03	-7,59E-04	9,60E-01	5,00E-03	4,80E-03
-4,34E-01	-1,15E-02	4,99E-03	2,73E-01	-2,72E-03	-7,43E-04	9,80E-01	5,47E-03	5,36E-03
-4,14E-01	-1,14E-02	4,72E-03	2,93E-01	-2,45E-03	-7,18E-04	1,00E+00	5,97E-03	5,97E-03
-3,94E-01	-1,13E-02	4,45E-03	3,13E-01	-2,18E-03	-6,82E-04			
-3,74E-01	-1,12E-02	4,19E-03	3,33E-01	-1,93E-03	-6,43E-04			
-3,54E-01	-1,10E-02	3,89E-03	3,54E-01	-1,69E-03	-5,98E-04			
-3,33E-01	-1,09E-02	3,63E-03	3,74E-01	-1,46E-03	-5,46E-04			
-3,13E-01	-1,08E-02	3,38E-03	3,94E-01	-1,25E-03	-4,93E-04			

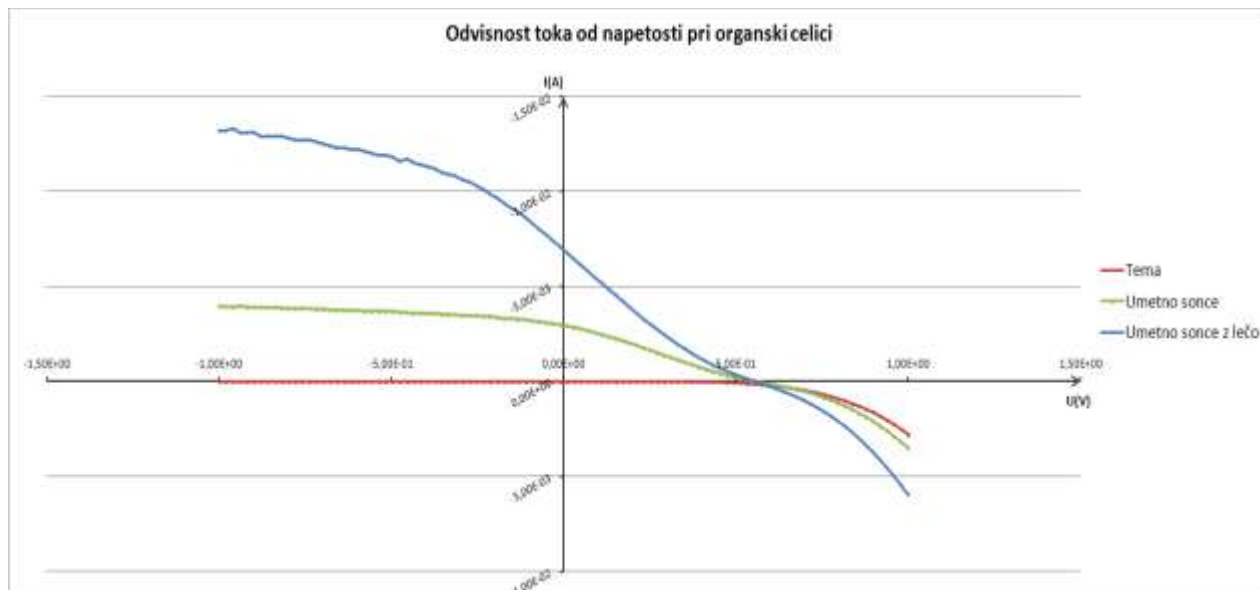


Diagram 3: Primerjava organske sončne celice – meritve v temi, z umetnim soncem in z dodano lečo

Iz podatkov v tabelah 10 in 11 ter prikaza na diagramu 3 je razvidno, da dodana leča poveča maksimalno moč, vendar ne tako močno kot pri amorfni silicijevi celici. Zbir podatkov, odčitanih z diagrama in izračunanih po enačbah v poglavju 2.3.2, je prikazan v tabeli 12.

Tabela 12: Zbir podatkov za organsko sončno celico

	P_{MAX} (W)	P_{IN} (W)	I_{sc} (A)	U_{oc} (V)	FF (/)	η (%)
Umetno sonce	0.000415	0.030	0.00295	0.566	0.25	1.38
Umetno sonce + leča	0.000761	0.093	0.00693	0.566	0.19	0.82

Na osnovi zbranih rezultatov smo ugotovili, da je postavljena hipoteza 1, ki pravi, da lahko z lečami povečamo maksimalno moč sončne celice, potrjena.

Hipoteza je potrjena za amorfno silicijevu in organsko sončno celico, ne pa tudi za DSSC. Razlog je v očitni močno zmanjšani učinkovitosti celice zaradi izhajanja elektrolita. Iz razmerja površin vpadne svetlobe z lečo in brez nje bi sicer pričakovali porast moči za faktor 3.1, a se je moč pri amorfni silicijevi celici dejansko povečala le za 2.24-krat, pri organski pa za 1.83-krat.

Hipotezo 2, ki pravi, da se z uporabo leče maksimalna moč pri organski in celici DSSC poveča bolj kot pri amorfni silicijev, pa moramo ovreči.

Za DSSC je razlog sicer morda le v neučinkovitosti celice zaradi iztekanja elektrolita, pri organski celici pa je manjša maksimalna moč dokazana.

4.2 Vpliv leče na dvig temperature površine sončne celice

Tabela 13: Porast temperature na površini amorfne silicijeve celice z lečo in brez nje

	Amorfna silicijeva celica brez leče	Amorfna silicijeva celica z lečo
Čas (min)	Temperatura na površini (°C)	Temperatura na površini (°C)
0	28,7	28,9
9	33,8	40,1
14	35,4	47,8
22	36,1	51,3
31	38,1	61,6

Temperatura sončne celice se znatno hitreje dviguje pri uporabi leče, saj je »k« v linearni enačbi kar 3.6-krat višji (diagram 4).

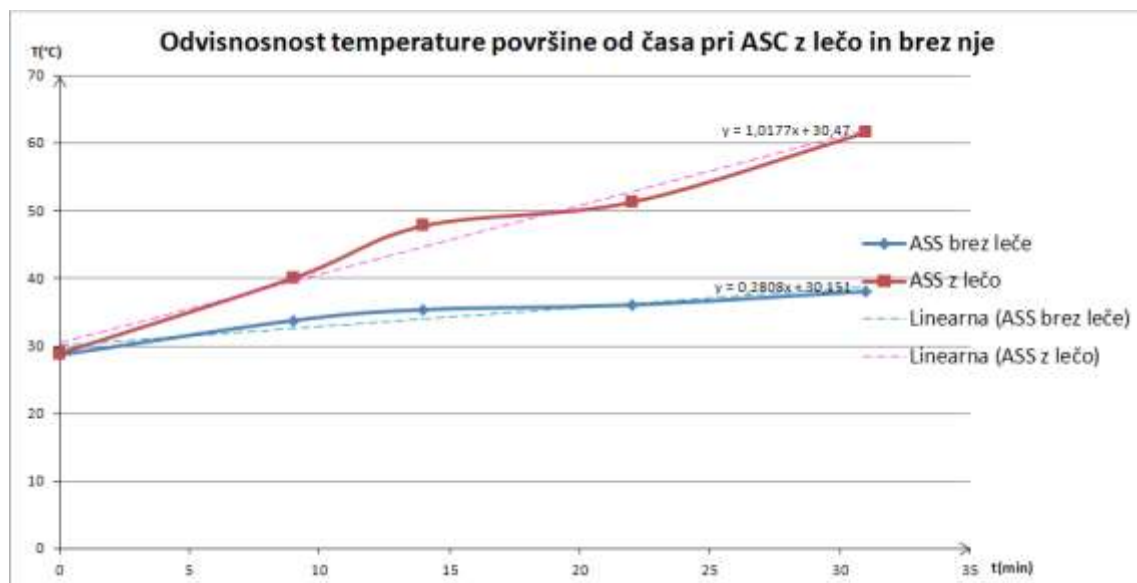


Diagram 4: Primerjava porasta temperature površine amorfne silicijeve celice v odvisnosti od časa kot posledica izpostavljenosti soncu (25. 2. 2011, 10:56 do 11:27) z lečo in brez nje

Hipotezo 3 lahko v celoti potrdimo, saj so meritve pokazale, da se z uporabo leč temperatura amorfne sončne celice povečuje s faktorjem 3.6.

4.3 Ocena smotrnosti uporabe zbiralnih leč

Izhodiščni podatki:

- Iz meritev lahko razberemo, da se učinkovitost amorfne silicijeve sončne celice z uporabo leč poveča za okoli 2.24-krat.
- V viru (9) lahko zasledimo podatek o ceni FV modula Bisol. Cena modula z močjo 233 W je 587.16 €. Sestavljen je iz 60 polikristalnih silicijevih sončnih celic dimenzije 156 x 156 mm.
- Cena enosnega motorja za sledenje FV modula soncu je po izjavi dobavitelja Trio, d. d. od 1500 do 1600 € (10). Na pogon lahko namestimo 12 modulov.
- Namestitev modulov na sistem za sledenje soncu zahteva prosto površino 60 m² za 12 modulov (Bisolov modul 1.63 m² x 12 = 19.61 m²). Glede na površino torej v tem primeru potrebujemo 3.1-krat večjo površino zemljišča za namestitev.

- Cena leče s premerom 75 mm je 32\$ ali 23€ (11). Cena serijsko izdelanih polikarbonatnih leč bi bila morda bistveno cenejša, vendar takšne ponudbe nismo uspeli pridobiti.
- Stroška ploščnega hladilnika ter črpalke za krogotok nismo vrednotili.

Predvidevanja:

- Tudi za polikristalno silicijevo celico velja povečanje maksimalne moči za 2.24-krat.
- Toplotne izgube pri prenosu iz celice na ploščni izmenjevalec, nato pa na sanitarno vodo so zanemarljive.

Ocena smotrnosti:

Če se izhodna moč sončne celice z uporabo leč poveča za 2.24-krat, potrebujemo za enak učinek 2.24-krat manjšo površino sončnih celic. Poenostavljeno rečeno, pričakujemo tudi 2.24-krat nižjo ceno FV-modula (namesto 587 € okoli 262 € za moč 233 W). Preostalih 325 € mora torej pokriti stroške leč in njihove namestitve, ploščnega hladilnika ter sledilnega sistema.

Glede na zapisane izhodiščne podatke lahko izračunamo, da znaša strošek sledilnega sistema za 1 modul 125 do 133 €.

Na enako velik modul bi lahko namestili maksimalno 286 leč s premerom 75 mm. Snop svetlobe iz leče ima obliko kroga, zato bi morale biti tudi celice okrogle. Njihov premer bi bil v danem primeru 33 mm in bi na enaki velikosti modula zasedle le 0.54766 m². V primerjavi z Bisolovimi moduli je to za 2.66-krat manj. Pri zgoraj navedeni ceni, bi strošek leč znašal 6578 €. Če bi želeli cenovno sprejemljivo investicijo, bi morala biti cena leče znatno nižja kot 1 €.

Če bi dodatno nastalo toploto na sončnih celicah odvajali s ploščnim hladilnikom, polnjenim s sredstvom proti zamrzovanju, in iz tega toploto indirektno prenašati na sanitarno vodo (uporabna s vsaj 50 °C), bi morali dopustiti dvig temperature sončne celice minimalno na 60

°C. Če zanemarimo toplotne izgube in predvidimo, da bi pri indirektnem segrevanju sredstvo proti zamrzovanju ohladili za 10 °C, bi se pri tem sprostil naslednji toplotni fluks:

$$T_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 149 \text{ W/mK pri } 300 \text{ }^\circ\text{C (12)}$$

$$l = 0.04 \text{ m (13)}$$

$$q = \frac{\lambda}{l} \cdot (T_1 - T_2) = 37,2 \text{ W/m}^2$$

Iz tega lahko izračunamo masni pretok sanitarne vode, ki jo na površini 1 m² segrejemo iz $T_v = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ na $T_{iz} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. C_p za vodo znaša 4200 J/kgK.

$$\Phi m = \frac{Q}{C_p \cdot (T_{iz} - T_v)} = 0,3 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 1,06 \text{ kg/h}$$

Ob upoštevanju izgub bi torej z 1 m² sončnih celic lahko segreli manj kot 1 kg vode za 30 °C v eni uri. Ob tem pa bi na račun višje temperature (z diagrama 4 sledi, da je temperatura z lečo enaka 60 °C, temperatura brez nje pa 38 °C) izgubili 11 % moči sončne celice (22 °C · 0,5 %/°C).

Na osnovi ugotovitev lahko hipotezo 4, ki pravi, da je uporaba leč ekonomsko upravičena, saj se dodatni investicijski stroški pozitivno povrnejo v obliki večje količine pridobljene energije, za amorfnu silicijevo celico upravičeno ovržemo.

Tudi če bi cena posamezne leče znašala le nekaj centov, se padec moči sončne celice zaradi višje temperature ne bi pokrilo s pridobljeno toplo vodo, saj moramo upoštevati še stroške investicije v ploščni hladilnik in stroške obratovanja. Močno se poveča tudi potrebna površina za namestitev FV-modulov.

5 Zaključek

Rezultati meritev so pokazali, da je moč sončnih celic možno povečati z uporabo leč, vendar pa smo to uspeli dokazati le za amorfnu silicijevo in organsko sončno celico, ne pa tudi za DSSC. Razlog je v očitni močno zmanjšani učinkovitosti celice zaradi izhajanja elektrolita. Iz razmerja površin vpadne svetlobe z lečo in brez nje bi sicer pričakovali porast moči za faktor 3.1, a se je moč pri amorfnu silicijevi celici dejansko povečala le za 2.24-krat, pri organski pa za 1.83-krat. V obeh primerih pa je padla izračunana učinkovitost.

Ko smo se odločili za preverjanje vpliva leč na maksimalno moč, smo želeli hkrati dokazati, da se vse vrste celic ne odzivajo enako. Pričakovali smo, da bo vpliv večji pri organski celici in celici DSSC kot pri amorfnu silicijevi. Za razliko od silicijevih sončnih celic zanju v literaturi namreč nismo opazili posebnih navedb o negativnem vplivu segrevanja. Hipotezo smo morali ovreči - pri organski celici zato, kjer je manjša maksimalna moč dokazana, pri DSSC pa stanje celice ni omogočilo relevantnih meritev.

Potrdili smo negativni vpliv leč na temperaturo amorfnu silicijeve sončne celice, saj se ta primerjalno povečuje s faktorjem 3.6; višja temperatura namreč nižja učinkovitost celice.

Ocena smotrnosti izvedbe FV-modulov z lečami je pokazala, da se dodatni investicijski stroški ne povrnejo. Tudi če bi cena posamezne leče znašala le nekaj centov, se padec učinkovitosti sončne celice zaradi višje temperature ne bi pokrilo s pridobljeno toplo vodo, saj moramo upoštevati tudi stroške investicije v ploščni hladilnik in stroške obratovanja. Močno bi se povečala tudi potrebna površina za namestitve FV-modulov, kar pogosto predstavlja omejitveni faktor.

Navedena dejstva leče bolj zblizujejo s fantazijo kot z realnostjo. Na osnovi rezultatov zapisanih v tej nalogi, kot iztočnico za nadaljnje raziskave predlagamo delo v smeri izdelave sončnih celic iz cenejših materialov ter celic, ki bodo omogočale večjo učinkovitost. Slednje bi lahko dosegli z razvojem celic, ki bi učinkovito delovale tudi pri disperzni svetlobi oblačnega dne. Zaradi težav z obstojnostjo celice DSSC v času mojega raziskovalnega dela bi v prihodnje vsekakor veljalo ponoviti meritve z uporabo leče na tej vrsti celic. Potrebna bi bila tudi primerjalna meritev povišanja temperature ter njenega posledičnega vpliva na učinkovitost celice.

6 Viri in literatura

1. The German Energy Society, *Planning & Installing Photovoltaic Systems*, Malta, Gutenberg Press Ltd., 2009, stran 19-21, 42, 46-47 in 49-50, ISBN 978-1-84407-442-6.
2. Lenardic, D., PVRESOURCES, 10. 4. 2007, (prebrano 19. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.pvresources.com/si/uporaba.php>
3. Iskra TELA, d.d., FOTO-ELEKTRO-KEMIČNA CELICA ALI DSC Dye Solar Cell, 2010, stran 9-11.
4. Weihao, G., *An overview on P3HT:PCBM, the most efficient organic solar cell material so far*, Solid State Physics II, 2009, stran 1-9.
5. Berginc, M., *Vpliv snovnogeometrijskih lastnosti in pogojev delovanja na učinkovitosti elektrokemijskih sončnih celic*, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2009, stran 2.
6. REUK, REUK.co.uk, 9.1.2007, (prebrano 21.9.2010). Dostopno na naslovu: <http://www.reuk.co.uk/Concentrating-Solar-Voltaics.htm>
7. NET-IT, Energija-solar, 2009-2011, (prebrano 25.2.2011). Dostopno na naslovu: www.energija-solar.si/index.aspx?category=3&id=29
8. Koloni, T., *Prenos toplote in snovi*, Ljubljana, 1999, stran 29 do 31 in 80, ISBN 961-6286-09-9.
9. Styleshout, DomSolar, 2006 – 2011, (prebrano 8.3.2011). Dostopno na naslovu: <http://shop.domsolar.com/si/pv-modul-bisol-233-w-i797.shtml>
10. Klaro.si, TRIO, d.d., 2003-2010, (prebrano 8.3.2011). Dostopno na naslovu: <http://www.trio-trzic.si/solarni-motorji/>
11. Sunex Inc., Sunex, 2011, (prebrano 8.3.2011). Dostopno na naslovu: <http://www.optics-online.com/dxs.asp>
12. Silicon, Wikipedia, 8.3.2011 (prebrano 10.3.2011). Dostopno na naslovu: <http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon>

13. BISOL, d.o.o., Crystalline Silicon PV Modules, 2009, (prebrano 8.3.2011). Dostopno na naslovu:
http://www.platendt.nl/media/www.platenduurzametechnieken.nl/downloads/zonnepanelen/bisol_0906_en.pdf

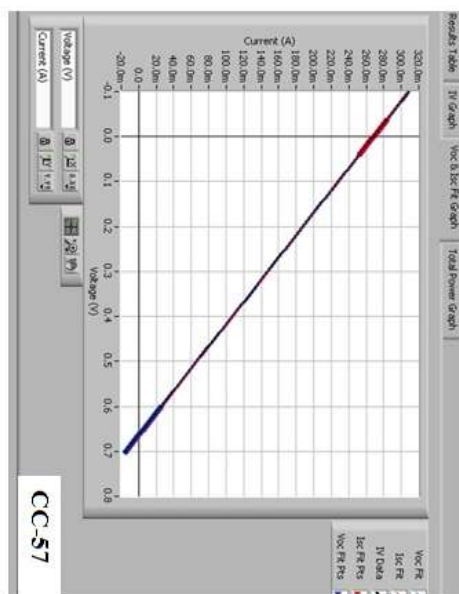
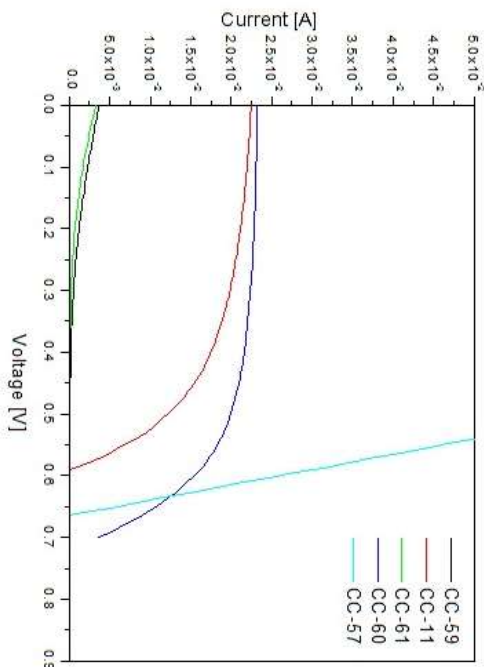
SLIKE:

14. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c1/Klassieren.jpg> (Google, 19. 2. 2011)
15. <http://earthandindustry.com/files/2010/10/Polycrystalline-Silicon-Solar-Cell.jpg> (Google, 19. 2. 2011)
16. http://4.bp.blogspot.com/_UsT4EGaUYgI/S__JuQPBM-I/AAAAAAAAATs/U_NoRs3TJvM/s320/amorphous-thin-film.jpg (Google, 19. 2. 2011)
17. The German Energy Society, *Planning & Installing Photovoltaic Systems*, Malta, Gutenberg Press Ltd., 2009, stran 20, ISBN 978-1-84407-442-6.
18. The German Energy Society, *Planning & Installing Photovoltaic Systems*, Malta, Gutenberg Press Ltd., 2009, stran 21, ISBN 978-1-84407-442-6.
19. The German Energy Society, *Planning & Installing Photovoltaic Systems*, Malta, Gutenberg Press Ltd., 2009, stran 42, ISBN 978-1-84407-442-6.
20. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/PEDOT.png> (Google, 3. 3. 2011)
21. http://sces.phys.utk.edu/~dagotto/condensed/HW1_2009/osc.pdf, stran 2 (Google, 3. 3. 2011)
22. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/PCBM.png> (Google, 3. 3. 2011)
23. <http://depts.washington.edu/cmditr/mediawiki/images/1/1f/Opvlayers.png> (Google, 3. 3. 2011)

24. Berginc, M., *Vpliv snovnogeometrijskih lastnosti in pogojev delovanja na učinkovitosti elektrokemijskih sončnih celic*, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2009, stran 2
25. Berginc, M., *Vpliv snovnogeometrijskih lastnosti in pogojev delovanja na učinkovitosti elektrokemijskih sončnih celic*, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2009, stran 3
26. The German Energy Society, *Planning & Installing Photovoltaic Systems*, Malta, Gutenberg Press Ltd., 2009, stran 50, ISBN 978-1-84407-442-6.
27. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7230> (Google, 24. 2. 2011)

Priloge

Measurement	Voc V	Isc A	Jsc mA/cm ²	I _{max} A	V _{max} V	P _{max} mW	Fill Factor	Efficiency	R at Voc	R at Isc	Power W
CC-59 2010-12-22 10-14-58	0.590474	0.003658	3.658258	0.001662	0.15356	0.255184	11.8135	0.2552	2394.349	68.339	0.000593
CC-11 2010-12-22 10-13-49	0.590462	0.022437	22.43667	0.016657	0.422866	7.043899	53.1695	7.0439	5.140733	192.606	0.010479
CC-61 2010-12-22 09-59-53	0.521072	0.003269	3.268525	0.001425	0.119746	0.170651	10.0198	0.1707	6002.822	55.499	0.000411
CC-60 2010-12-22 09-54-22	0.721024	0.023205	23.20546	0.018959	0.531771	10.08201	60.2569	10.082	5.89998	601.988	0.014039
CC-57 2010-12-22 09-52-06	0.663878	0.268328	20.09949	0.134326	0.332728	44.6942	25.0898	3.3479	2.458476	2.495	0.089281



Priloga 1: Meritve celice DSSC številka CC-57 na Inštitutu Borisa Kidriča, december 2010