

ŠOLSKI CENTER CELJE

Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

IZPLEN ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ RAZLIČNIH TIPOV SONČNIH ELEKTRARN

Raziskovalna naloga

Avtorji:

Matjaž Cepuš, M-4. c

Žiga Klavs, M-4. c

Žiga Maček, M-4. c

Mentorji:

Aleš Ferlež, dipl. inž. str. (UN)

Miloš Bevc, univ. dipl. inž.

Gregor Brežnik, inž.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, marec 2018

IZJAVA

Mentorji, Aleš Ferlež, Miloš Bevc in Gregor Brežnik, v skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljamo, da je v raziskovalni nalogi naslovom Izplen električne energije iz različnih tipov sončnih elektrarn, katere avtorji so Matjaž Cepuš, Žiga Klavs in Žiga Maček:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisnimi pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, _____

žig šole

Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

DOVOLJENJE ZA OBJAVO AVTORSKE FOTOGRAFIJE V RAZISKOVALNI NALOGI

Podpisani Matjaž Cepuš, Žiga Klavs in Žiga Maček izjavljamo, da smo avtorji fotografskega gradiva, navedenega v priloženem seznamu in dovoljujemo v skladu z 2. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, da se lahko uporabi pri pripravi raziskovalne naloge pod mentorstvom Aleša Ferleža, Miloša Bevca in Gregorja Brežnika z naslovom Izplen električne energije iz različnih tipov sončnih elektrarn, katere avtorji so Matjaž Cepuš, Žiga Klavs in Žiga Maček.

Dovoljujemo tudi, da sme Osrednja knjižnica Celje vključeno fotografsko gradivo v raziskovalno nalogo objaviti na knjižničnih portalih z navedbo avtorstva v skladu s standardi bibliografske obdelave.

Celje, _____

Podpis avtorjev:

Priloga:

- seznam fotografskega gradiva (kazalo slik)

ZAHVALA

Zahvaljujemo se vsem, ki so kakorkoli pomagali pri izdelavi raziskovalne naloge. Brez pomoči naloga ne bi nastala, pa naj je šlo le za spodbudne besede, majhno idejo ali pa nasvete in kritike pri izdelovanju izdelka. Najprej bi se zahvalili našim mentorjem Alešu Ferležu, dipl. inž. str. (UN), Milošu Bevcu, univ. dipl. inž. in Gregorju Brežniku, inž., za ves trud, čas, podporo in vztrajnost, ki so jo vložili v izdelovanje raziskovalne naloge. Zahvalili bi se jim tudi za tehnični pregled naloge. Zahvala gre tudi Simoni Tadeji Ribič, prof., za lektoriranje povzetka v angleščini, Brigiti Renner, prof., za slovnični pregled in ravnateljici Simoni Črep, prof., ki podpira raziskovalno dejavnost na šoli.

IZPLEN ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ RAZLIČNIH TIPOV SONČNIH ELEKTRARN

Ključne besede: sledilni sistem, obnovljivi viri energije, učinkovito pridobivanje sončne energije, zbiralna kupola

POVZETEK

Učinkovito pridobivanje sončne energije je ključnega pomena, če želimo povečati izplen električne energije in si hitreje povrniti stroške investicije. Namen naše raziskovalne naloge je ugotoviti, kateri tip sončne elektrarne daje boljši izplen električne energije. Primerjavo smo izvedli med standardnim fiksnim sistemom, dvoosnim sledilnim sistemom in zbiralno lečo. Pred izvajanjem meritev smo s pomočjo programa RETScreen 4 izvedli teoretično raziskavo velikosti izplena za posamezni sistem. Za izvajanje naših meritev najbolj ustreza naklonski kot 30° in azimut 45° . Za izvajanje meritev smo izdelali prenosno merilno postajo, na katero smo pritrdili vse 3 različne sisteme za pridobivanje sončne energije in mikrokontrolnik Arduino UNO, s katerim smo izvajali meritve. Mikrokontrolnik smo povezali z LCD-zaslonom, na katerega smo izpisovali tekoče vrednosti meritev. Ugotovili smo, da dobimo največji izplen električne energije pri zbiralni kupoli.

YIELD OF ELECTRICAL ENERGY FROM DIFFERENT TYPES OF SOLAR POWER PLANTS

Key words: efficient use of energy, renewable sources of energy, energetic inspection, collecting dome

SUMMARY

Efficient production of solar power is crucial if we want to increase yield of electric power and return the cost of our investment as soon as possible. Our purpose was to determine which type of solar plants produced better yield of electrical energy. We compared three different systems, the first one being the standard fixed system, the second two-axis sun-tracking system and the third one a collecting dome. Before we used the RETScreen 4 measuring program we had researched what the theoretical yield for each system is. We found out that in our case the most optimal angle of inclination was 30° and azimuth 45° . To carry out the measurements we needed to create a mobile station that had all three systems attached and was connected with the Arduino UNO microcontroller, which enabled us to compare the three systems' energy yield. The microcontroller was connected to an LCD-screen so that we could observe and compare changes in real-time. We came to the conclusion that we got the highest yield of electrical energy from the collecting dome.

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	HIPOTEZE.....	1
1.2	METODA RAZISKOVALNEGA DELA	2
1.3	STRUKTURA RAZISKOVALNEGA DELA	2
2	SONČNE ELEKTRARNE	3
2.1	TIPI SONČNIH ELEKTRARN.....	5
2.2	TIPI SLEDILNIH SISTEMOV	8
3	ANALIZA IZPLENA ELEKTRIČNE ENERGIJE V PROGRAMU RETSCREEN	11
3.1	PROGRAMSKI PAKET RETSCREEN 4.....	11
3.2	ANALIZA IZPLENA ELEKTRIČNE ENERGIJE PRI RAZLIČNIH NAGIBNIH KOTIH SONČNIH ELEKTRARN	13
3.3	ANALIZA IZPLENA ELEKTRIČNE ENERGIJE PRI RAZLIČNIH TIPIH SONČNIH ELEKTRARN	19
3.4	KOMENTAR ANALIZ	24
4	MERILNA POSTAJA.....	25
4.1	KONCIPIRANJE MERILNE POSTAJE	26
4.1.1	Zahteve	30
4.2	IZDELAVA MERILNE POSTAJE	31
4.2.1	Standardni deli.....	31
4.2.2	Nestandardni deli.....	37
4.2.3	Merilno vezje.....	39
4.2.4	Program in vezava	40
4.3	MERITVE.....	41
4.3.1	Rezultati meritev.....	42
5	PREDSTAVITEV REZULTATOV RAZISKOVALNE NALOGE.....	45
6	ZAKLJUČEK	46
7	VIRI IN LITERATURA	47
8	PRILOGE.....	49

8.1	PRILOGA 1: PROGRAM MATLAB 1 ZA IZPLEN ENERGIJE GLEDE NA NAKLON.....	49
8.2	PRILOGA 2: PROGRAM MATLAB 2 ZA IZPLEN ENERGIJE GLEDE NA SLEDILNI SISTEM...	51
8.3	PRILOGA 3: ARDUINO PROGRAM	53

KAZALO SLIK

Slika 1: Sončna elektrarna [9]	3
Slika 2: Samostojni PV-sistem [2]	4
Slika 3: Omrežni PV-sistem [2]	4
Slika 4: Strešna SE [12].....	5
Slika 5: Integrirana SE [12]	5
Slika 6: Prosto stoječa SE [12]	6
Slika 7: Otočna SE [12]	6
Slika 8: Solarno parkirišče s solarnimi nadstreški [12]	7
Slika 9: Dvoosni sledilni sistem [prirejeno po 13]	8
Slika 10: Enoosni sledilni sistem [prirejeno po 14].....	9
Slika 11: Sončna termoelektrarna [8]	10
Slika 12: Delovanje sončne termoelektrarne [10]	10
Slika 13: Osnovni podatki (uvodna stran)	13
Slika 14: Meteorološki podatki za Maribor.....	14
Slika 15: Nastavitev tipa sistema v RETScreenu 4	15
Slika 16: Podatki o SE.....	16
Slika 17: Izplen električne energije pri različnih naklonskih kotih.....	18
Slika 18: Teoretični izplen fiksne sistema	20
Slika 19: Teoretični izplen enoosnega sledilnega sistema.....	21
Slika 20: Teoretični izplen dvoosnega sledilnega sistema (List 2)	22
Slika 21: Izplen pri različnih sledilnih sistemih	23
Slika 22: Merilna postaja – sprednji pogled	25
Slika 23: Merilna postaja – zadnji pogled	25
Slika 24: Arduino Nano [5]	26
Slika 25: Prvotna skica	26

Slika 26: Razsvetljavni sistem Solatube [7]	27
Slika 27: Zbiralna kupola [6].....	28
Slika 28: Končna skica	29
Slika 29: Vzorčna postavitve sistemov.....	29
Slika 30: Zbiralna kupola s sončno celico	31
Slika 31: Dvoosni sledilni sistem s sončno celico in sledilno kupolo	32
Slika 32: Tečaj za vrata [11].....	33
Slika 33: Kabelski tulci (votlice) [3]	33
Slika 34: Fiksni sistem.....	33
Slika 35: Doza	34
Slika 36: Zaslona in potenciometer	34
Slika 37: Nastavljiva noga.....	35
Slika 38: Ročki za prenašanje.....	36
Slika 39: Okvir za celico	37
Slika 40: Nosilca za okvir celice	38
Slika 41: Merilno vezje	39
Slika 42: Arduino vezje z LCD-zaslonom [4].....	40
Slika 43: Izvajanje meritev na strehi ŠCC.....	41
Slika 44: Testno merilno vezje	41

KAZALO TABEL

Tabela 1: Teoretični izplen fiksne sistema	17
Tabela 2: Zahtevnik	30

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Dnevno sončno sevanje.....	14
Graf 2: Teoretični izplen fiksne sistema	20
Graf 3: Teoretični izplen enoosne sistema.....	21
Graf 4: Teoretični izplen dvoosne sistema	22
Graf 5: Izplen fiksne sistema	42
Graf 6: Izplen dvoosne sistema.....	43
Graf 7: Izplen zbiralne kupole	43
Graf 8: Združeni graf izplena vseh celic	44

UPORABLJENE KRATICE

MS – Microsoft

HE – Hidroelektrarna

PV – Photovoltaic

SE – Sončna elektrarna

1 UVOD

Živimo v svetu, kjer nam okoljske spremembe in zakonodaja o zmanjšanju onesnaževanja narekujejo, da vedno bolj izkoriščamo obnovljive vire energije. Stremimo k temu, da bi v bližnji prihodnosti obnovljivi viri popolnoma nadomestili neobnovljive. Za doseg cilja je nujno, da je pridobivanje čim učinkovitejše. Odločili smo se poglobiti v problematiko učinkovitega pridobivanja sončne energije in izvesti primerjavo med najpogosteje uporabljenim fiksnim sistemom, dvoosnim sledilnim sistemom in zbiralno kupolo, ki se uporablja pri razsvetljevalnih sistemih Solatube.

Pri izvedbi raziskovalne naloge smo naleteli na kar nekaj težav, povezanih z iskanjem primernih naprav za merjenje na internetu, s samo izdelavo merilne postaje in vezja za izvedbo meritev. Na začetku smo imeli težave pri iskanju primernih sončnih celic in sledilnega sistema, ki bi ustrezal velikosti celic. S samim pritrjevanjem naprav na merilno postajo nismo imeli večjih težav. Največ problemov nam je povzročila nastavitve dvoosnega sledilnega sistema, predvsem zaradi pomanjkljivih in nerazumljivih navodil. Z nekaj poskušanja in ogledom videoposnetka na internetu, ki prikazuje delovanje sistema, smo težavo uspeli rešiti. Na koncu smo imeli še nekaj težav z izdelovanjem in namestitvijo merilnega vezja v zaščiteno dozo, ki smo jih uspešno rešili po posvetu z mentorjema. Pri meritvah smo naleteli še na probleme s kupolo, ki smo jo napačno pozicionirali, in sicer zaradi napačnih proizvajalčevih navodil.

1.1 Hipoteze

Cilj naše raziskovalne naloge je bil dokazati, da je izplen najboljše izboljšati s pomočjo zbiralne kupole in da je življenjska doba celice v kupoli daljša od ostalih.

V raziskovalni nalogi smo si postavili naslednje hipoteze:

- Kot postavitev fiksne sončne elektrarne ima vpliv na izplen električne energije.
- Zbiralna kupola bo imela najboljši izplen električne energije.
- Pri trenutni velikosti celice na merilni napravi bo imel dvoosni sistem najslabši izplen, če upoštevamo porabo elektromotorjev.

1.2 Metoda raziskovalnega dela

Zaradi vedno večjega zanimanja za to temo, smo imeli za izdelavo raziskovalne naloge na voljo veliko strokovnih virov in literature. To temo obravnavamo čedalje resneje zaradi vedno večjih potreb po zmanjšanju onesnaževanja okolja s fosilnimi gorivi. Večino naprav, ki so nam omogočile izdelavo raziskovalne naloge, smo našli na spletu. V veliko pomoč nam je bila tudi raziskovalna naloga iz preteklega šolskega leta, ki pa se je bolj osredotočila na učinkovito rabo energije. Pri teoretični raziskavi nam je bil v veliko pomoč programski paket RETScreen 4.

1.3 Struktura raziskovalnega dela

V prvem sklopu raziskovalne naloge smo raziskali strokovno literaturo na temo energije sevanja sonca. V drugem sklopu smo izvedli teoretične meritve s pomočjo programa RETScreen 4. V tretjem sklopu smo na podlagi teorije iz prvega sklopa naredili prenosljivo merilno postajo, na kateri smo izvedli meritve za tri različne sisteme. V četrtem, zadnjem sklopu smo analizirali podatke, ki smo jih pridobili s fizičnimi meritvami in programom RETScreen 4.

2 SONČNE ELEKTRARNE

Sončna elektrarna nam omogoča učinkovito pretvarjanje sončne energije v električno energijo. Gre za okolju popolnoma prijazno pridobivanje energije, brez emisij in uporabe fosilnih goriv. SE (Slika 1) ali PV-generator je več med seboj povezanih visoko zmogljivih, običajno silicijevih monokristalnih sončnih celic. Največji problem sončnih elektrarn v primerjavi z drugimi vrstami elektrarn je, da potrebujemo zelo veliko površino, če želimo imeti elektrarno, ki proizvede veliko energije. Za proizvodnjo enega kW potrebujemo približno 10 m² površine sončnih celic. Velikost same elektrarne je odvisna od željene moči, ki jo stranka zahteva, od vrste sončnih celic, od orientacije in naklona. Ker SE proizvajajo visoke napetosti in majhen tok, lahko uporabimo vodnike manjšega prereza, kar zniža stroške investicije. Sončne celice v elektrarni vežemo najprej zaporedno, da pridobimo potrebno napetost. Celice povežemo še vzporedno, če ima vezava premalo moči. Vzporedno povezane celice so manj občutljive na senčenje kot celice, povezane zaporedno, zato lahko osvetljeni nizi delujejo nemoteno. Skupaj lahko povežemo le celice z enako U-I-karakteristiko, ker v nasprotnem primeru ne dobimo nizov celic z enakimi tokovi in napetostmi. Delovanje naprave, ki je priključena na sončno elektrarno, je odvisno od delovanja elektrarne. To delovanje je nestabilno, zato je posledično tudi delovanje naprave nestabilno. [2]



Slika 1: Sončna elektrarna [9]

SE delimo v dve večji skupini. Poznamo samostojne SE (Slika 2), ki skrbijo za oskrbo električnih porabnikov izven omrežja, in omrežne SE (Slika 3), ki pomagajo pri oskrbi električnih porabnikov v omrežju.



Slika 2: Samostojni PV-sistem [2]



Slika 3: Omrežni PV-sistem [2]

2.1 Tipi sončnih elektrarn

Poznamo veliko različnih tipov sončnih elektrarn, ki se razlikujejo po načinu uporabe in mestu postavitve:

- SE na strehah (SE, inštalirana na streho objektov - hiše, bloki, kmetije, industrijska poslopja.) [12]



Slika 4: Strešna SE [12]

- Integrirane SE (SE predstavlja primarno kritino strehe, kar je dobra rešitev za novogradnje.) [12]



Slika 5: Integrirana SE [12]

- Prosto stoječe SE (Postavljamo jih na neizkoriščenih zemljiščih, kot so polja, travniki ... Običajno so inštalirane na fiksnih sistemih z naklonskim kotom 30° , ki zagotavlja najbolj optimalen izplen.) [12]



Slika 6: Prosto stoječa SE [12]

- Otočne SE (Uporabljajo se za neodvisno oskrbo individualnih hiš in manjših objektov, ki jih ni mogoče priklopiti na električno omrežje.) [12]



Slika 7: Otočna SE [12]

- Solarna parkirišča in nadstreški (Solarna parkirišča dobimo tako, da sončne celice namestimo na strehe parkirnih hiš, nadstreške ...) [12]



Slika 8: Solarno parkirišče s solarnimi nadstreški [12]

2.2 Tipi sledilnih sistemov

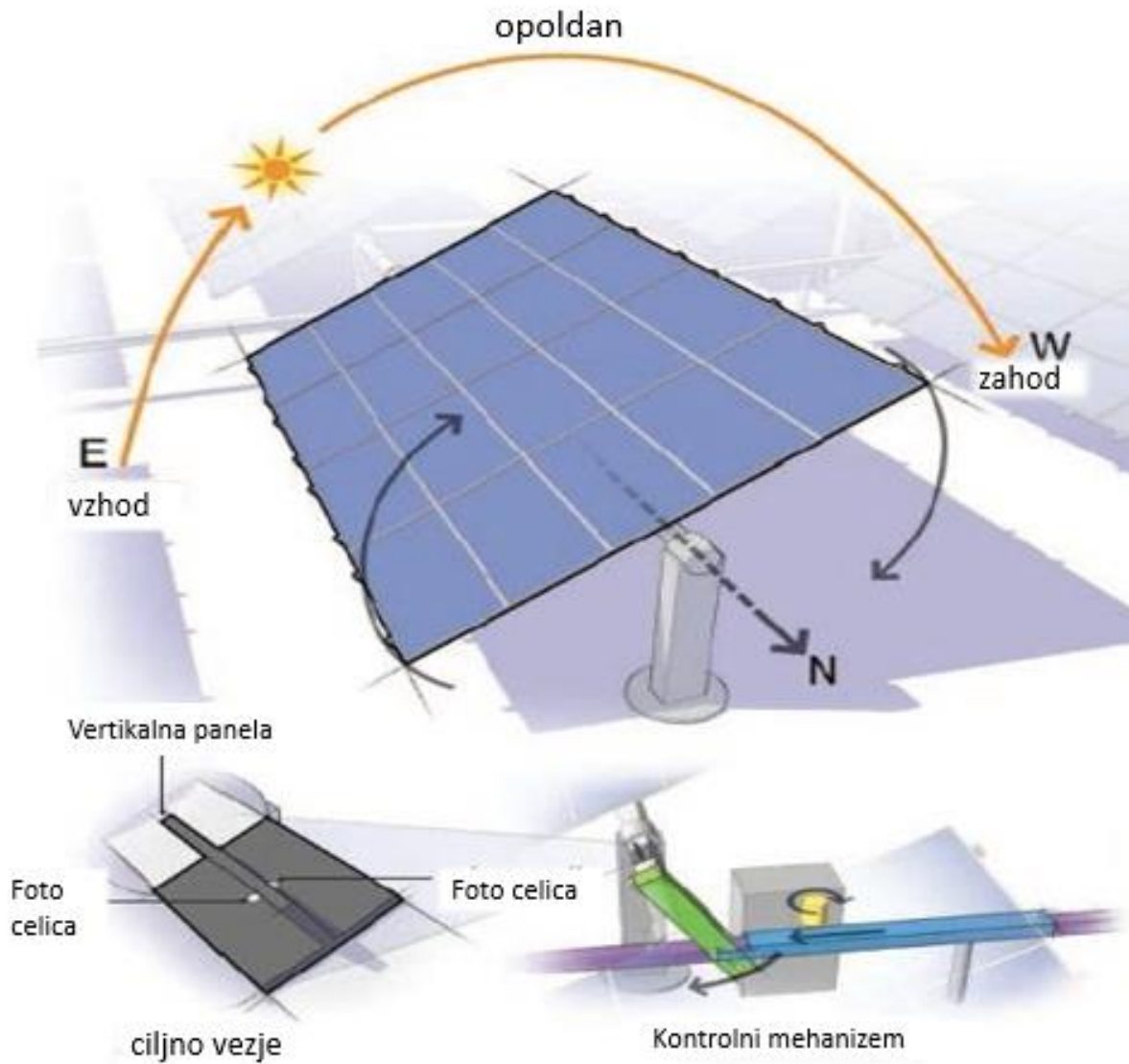
Poznamo dva tipa sledilnih sistemov: enoosni (Slika 9) in dvoosni (Slika 10). Enoosni sledilni sistem sledi soncu samo po azimutu Ψ (premik levo desno), ne sledi pa mu po naklonu β (premik gor dol). Zaradi tega ni tako učinkovit kot dvoosni sledilni sistem, ki sledi soncu po obeh oseh in zagotavlja skoraj stoodstotno pravokotnost ravnine sončne celice. Ta skoraj popolna pravokotnost nam v povprečju prinese do 30 % večji izplen kot enakovredna celica, inštalirana na fiksnem sistemu. [2]

Sledenje omogočata dva ali en elektromotor, odvisno od sistema. Na obeh sistemih se uporablja reduktorski prenos moči elektromotorja. S pomočjo satelitske navigacije ali sledilne kupole (v našem primeru) krmilimo elektromotorja, da v kratkih časovnih presledkih prilagodita naklon in azimut. Za spremljanje sonca lahko uporabljamo sistem, krmiljen na čas, ki pa ni tako natančen, saj je sonce ob različnih letnih časih ob istem času na drugem mestu. [2]

Kljub večjemu izplenu pa imajo sledilni sistemi tudi nekaj slabosti. Prednost pred fiksnimi sistemi imajo samo poleti in na območjih z veliko celoletnega sonca. V oblačnem vremenu in pozimi pa lahko pogonski elektromotorji porabijo več električne energije, kot jo sama celica proizvede. Slabost sledilnih sistemov je tudi visoka začetna investicija in visoki stroški vzdrževanja. Pri velikem naklonu so lahko tudi občutljivi na veter. Zaradi teh slabosti se sledilni sistemi ne uporabljajo tako pogosto kot fiksni. Prav tako njihova uporaba ni možna pri sončnih toplotnih zbiralnikih, ki se uporabljajo za segrevanje vode. [2]



Slika 9: Dvoosni sledilni sistem [prirejeno po 13]

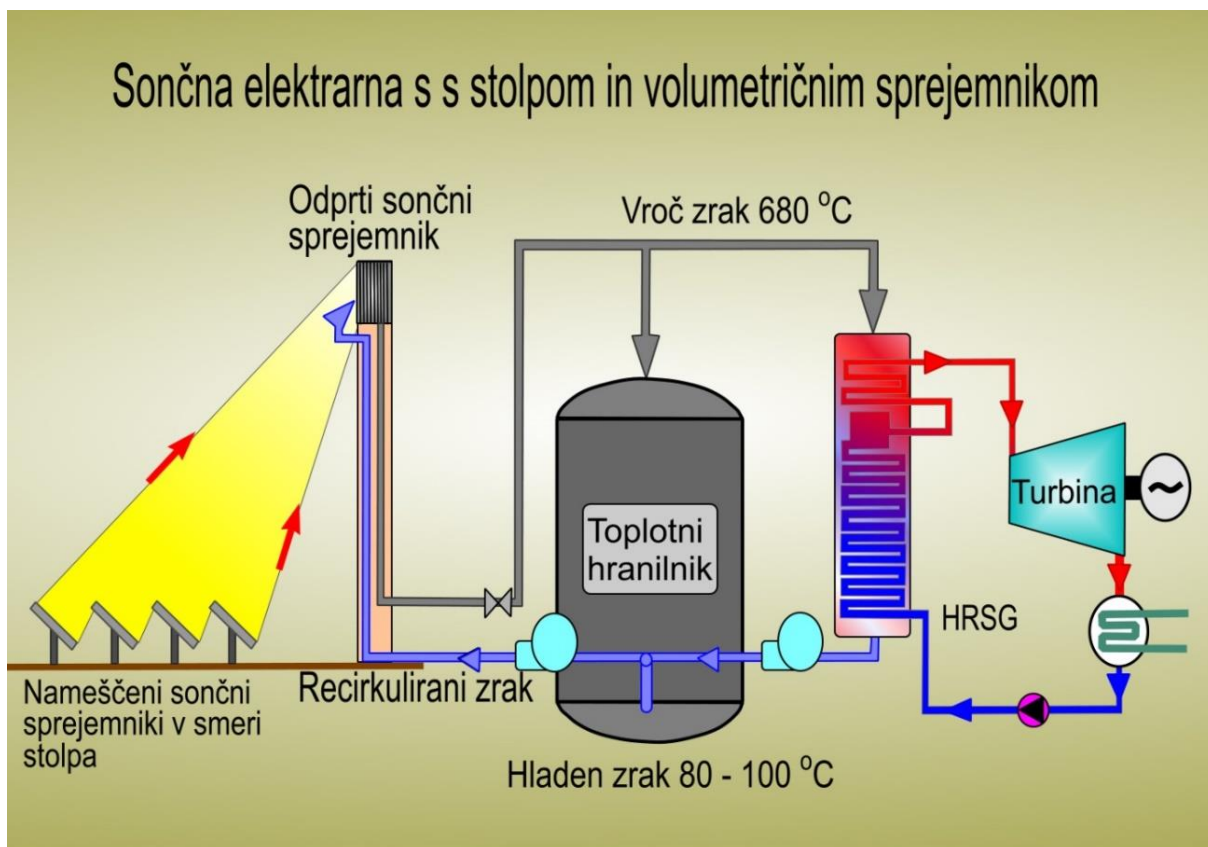


Slika 10: Enoosni sledilni sistem [prirejeno po 14]

Sledilni sistemi se najpogosteje uporabljajo pri parabolnih toplotnih koncentradorjih sončnih termoelektarn (Slika 11). S pomočjo sledilnih sistemov in ogledal usmerimo žarke v solarni stolp. Skoncentrirani sončni žarki vodo spremenijo v paro, ki potem vrtilo parno turbino. Slika 12 nazorno prikazuje delovanje sončne termoelektrarne. [2]



Slika 11: Sončna termoelektrarna [8]



Slika 12: Delovanje sončne termoelektrarne [10]

3 ANALIZA IZPLENA ELEKTRIČNE ENERGIJE V PROGRAMU RETSCREEN

Pred izdelavo merilne postaje in pred izvajanjem meritev smo opravili teoretično analizo v programu RETScreen 4. Na podlagi ugotovitev smo izdelali prenosno merilno postajo, ki smo jo uporabili za izvajanje meritev. Najuporabnejša podatka, ki smo ju pridobili s pomočjo programa, sta optimalni naklonski kot, ki znaša 30° , in azimut, ki znaša 45° .

3.1 Programski paket RETScreen 4

Programski paket RETScreen 4 je razvila kanadska vlada z namenom reševanja klimatskih razmer, zmanjševanja izpustov v ozračje, izrabe obnovljivih virov energije, ocene proizvodnje energije, varčevanja z energijo, prikaza stroškov v času življenjske dobe projektov, tveganj za različne vrste energetske učinkovitih tehnologij. S pomočjo programa lahko pridemo do integrirane analize projekta, ki se uporablja po vsem svetu. Omogoča tehniško in ekonomsko analizo, poleg tega pa tudi oceno zmanjšanja toplogrednih plinov. Ker se v današnjih časih vedno bolj pojavlja zanimanje za obnovljive vire energije, so se skladno s tem razvile tudi različne verzije programa RETScreen.

Program je namenjen izdelavi novih in izboljšanju obstoječih projektov, študijam, usposabljanju ljudi, pridobivanju znanja in boljšemu razumevanju tehničnih ter finančnih zmogljivosti možnih projektov. Vsebuje tudi zbirko podatkov za proizvode, stroške in klimatske podatke. RETScreen 4 znatno zmanjšuje stroške, ki nastanejo v fazah predinvesticijskih raziskav, študije izvedljivosti projekta, izbire opreme itd. Programsko orodje uporablja več kot 250.000 uporabnikov po vsem svetu, poleg tega je dostopen v 35 jezikih, kar pokriva 2/3 celotne človeške populacije. Program je zelo priljubljen tudi na univerzah, saj ga uporablja že 270 univerz. Na voljo je v brezplačni različici na uradni spletni strani.

Program RETScreen omogoča tudi podrobno ekonomsko vrednotenje načrtovanih sistemov. Narejen je v okolju MS Excel. Vsebuje več delovnih listov, preračun pa poteka s pomočjo vgrajenih makrojev.

Program RETScreen 4 v splošnem omogoča analizo projektov oz. omogoča izračune in prikaze:

- energetskega modela
- hidrološkega modela in izračun obremenitve v primeru gradnje HE
- podatke o opremi
- analize stroškov
- analize vplivov na okolje/emisij
- finančni povzetek
- občutljivost in tveganje

Pomembne prednosti uporabe tega programa so vgrajene baze meteoroloških podatkov in podatki o učinkovitostih proizvajalcev iz celega sveta. Med drugim lahko s pomočjo tega programa ocenimo količino proizvedene energije na določeno časovno enoto. V pomoč nam je lahko npr. pri izgradnji HE, saj mu preko vhodnih podatkov nastavimo določene parametre, ki jih predčasno ugotovimo glede na naše razmere, ta pa nam opravi tako finančni kot tudi strojni del izračuna. Obstajajo tudi različice programa, ki so namenjene sončnim elektrarnam, vetrnim in malim vodnih elektrarnam. Model pa vključuje tudi izkustvene enačbe za izračun izkoristka različnih vrst turbin.

Ko začnemo z izračunom v programskem paketu RETScreen 4, moramo najprej izpolniti prve tri delovne liste. Nato sledi analiza stroškov, zatem pa tabela finančnega povzetka. Preko analize vplivov na okolje ugotovimo, kakšen bo vpliv projekta na okolico. Tabele se vedno izpolnjujejo od zgoraj navzdol, ta postopek večkrat ponovimo, saj le tako pridemo do najboljših rezultatov.

RETScreen znatno zmanjšuje stroške, ki nastanejo v fazah predinvesticijskih raziskav, študije izvedljivosti projekta, izbire opreme itd. [1]

3.2 Analiza izplena električne energije pri različnih nagibnih kotih sončnih elektrarn

Najprej nas je zanimalo, ali je kot 30° res najugodnejši glede na izplen električne energije. Zato smo najprej naredili analizo kota, ker jo bomo v nadaljevanju potrebovali pri analizi sistema.

Po odprtju programa (Slika 13) smo morali najprej izpolniti uvodno stran, ki poleg podatkov o projektu vsebuje tudi podatke o tipu elektrarne in metodi analize. Nastavili smo vse ustrezne enote (€ in "metric units). Nastaviti smo morali tudi ustrezno lokacijo (Climate data location), in sicer v našem primeru Maribor. Za Maribor smo se odločili, ker je najbližje kraju Celje, ki ga ni bilo mogoče izbrati. Same meritve pa smo izvajali v Celju.

Project information		See project database
Project name	Izplen električne energije različnih tipov sončnih elektrarn	
Project location	Maribor	
Prepared for	AV ETEU	
Prepared by	Žiga Klavs, Žiga Maček, Matjaž Cepuš	
Project type	Power	
Technology	Photovoltaic	
Grid type	Central-grid	
Analysis type	Method 2	
Heating value reference	Higher heating value (HHV)	
Show settings	<input checked="" type="checkbox"/>	
Language - Langue	English - Anglais	
User manual	English - Anglais	
Currency	Euro	
Units	Metric units	
Site reference conditions		Select climate data location
Climate data location	Maribor	
Show data	<input type="checkbox"/>	

Slika 13: Osnovni podatki (uvodna stran)

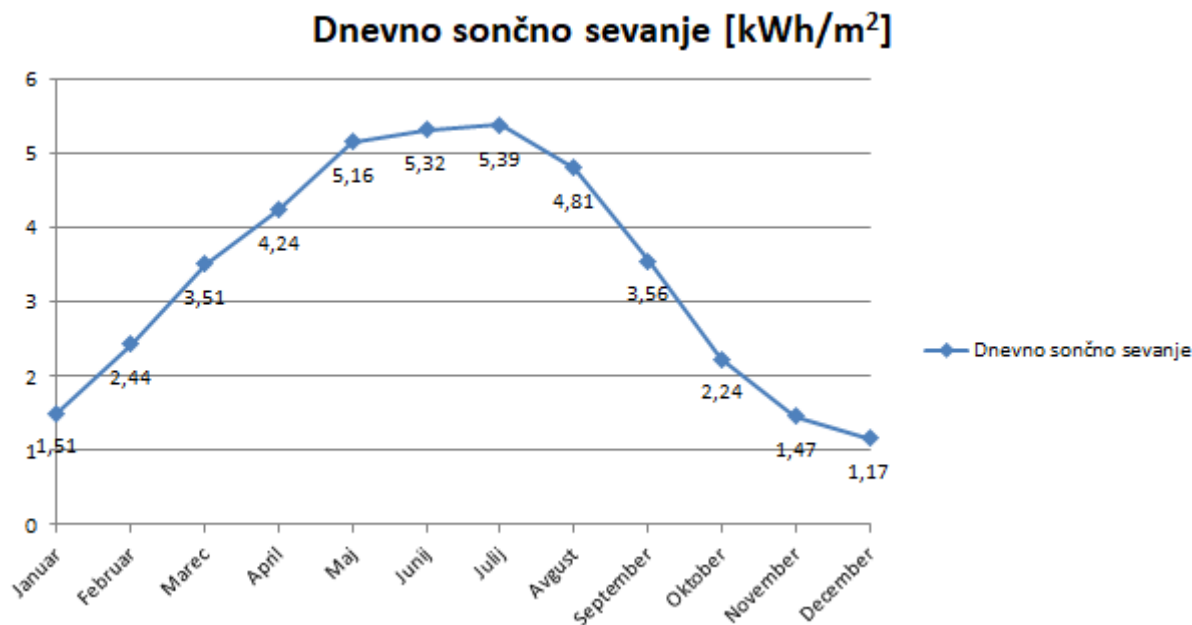
S klikom na kvadratak »show data« se nam prikažejo meteorološki podatki za izbrani kraj (Slika 14).

Climate data	Unit	Climate data location	Project location
	Latitude	°N	46,5
Longitude	°E	15,7	15,7
Elevation	m	265	265
Heating design temperature	°C	-10,1	
Cooling design temperature	°C	28,4	
Earth temperature amplitude	°C	20,1	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days	
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d	
January	-0,9	82,5%	1,51	96,1	2,0	-3,5	566	0	
February	0,3	79,2%	2,44	95,9	2,3	-1,6	496	0	
March	5,0	72,7%	3,51	95,8	2,5	3,7	403	0	
April	9,9	69,1%	4,24	95,5	2,8	9,2	243	0	
May	14,7	70,7%	5,16	95,7	2,5	15,2	102	146	
June	17,6	72,8%	5,32	95,7	2,2	18,9	12	228	
July	20,6	71,0%	5,39	95,8	1,9	21,4	0	329	
August	19,2	74,0%	4,81	95,8	1,8	20,6	0	285	
September	15,5	79,7%	3,56	95,9	1,8	15,0	75	165	
October	10,2	82,9%	2,24	96,0	1,7	9,3	242	6	
November	3,5	85,3%	1,47	95,9	1,8	2,7	435	0	
December	0,8	85,6%	1,17	96,1	2,0	-2,3	533	0	
Annual	9,8	77,1%	3,41	95,9	2,1	9,1	3.127	1.159	
Measured at	m					10,0	0,0		

Slika 14: Meteorološki podatki za Maribor

Iz preglednice povprečnih mesečnih meteoroloških podatkov smo za sončno sevanje, ki je pomemben podatek za pridobivanje sončne energije, naredili graf (Graf 1).

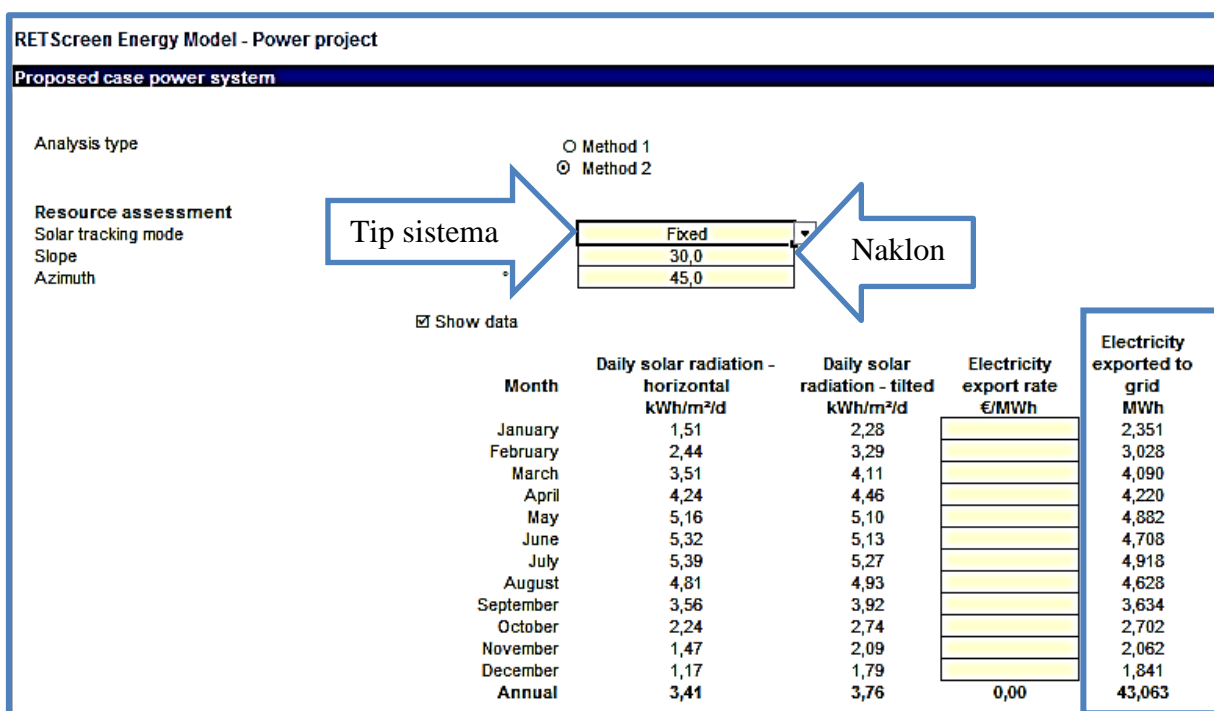


Graf 1: Dnevno sončno sevanje

Po izpolnjeni uvodni strani smo kliknili na drugi zavihek (Energy model), kar prikazuje slika 15. V tem zavihku smo najprej nastavili metodo, po kateri bomo izvedli preračun. Izbrali smo obsežnejšo metodo 2.

Naslednji parameter, ki smo ga morali določiti, je tip SE, ali gre za fiksni sistem, enoosni sledilni sistem oz. dvoosni sledilni sistem. V prvem delu raziskovalne naloge nas je zanimal kot. Zaradi tega smo določili vpliv naklona modula pri različnih kotih, in sicer pri fiksnem tipu elektrarne. Posledično smo najprej izbrali fiksni sistem.

Sledila je nastavitvev naklona modula. V ta okvirček smo vnašali vrednosti od 10 do 50, po koraku 10. Pri tem smo dobili podatke o vplivu kota naklona sončnih modulov na izplen električne energije. Ti podatki so odvisni od kraja, ki smo ga določili na prvi strani programa. Obkrožene podatke smo za vsako spremembo kota kopirali in si naredili ustrezne tabele (Tabela 1), s pomočjo katerih smo analizirali vpliv kota postavitve SE. Določiti smo morali še kot azimuta, ki je bil ves čas 45° .



Slika 15: Nastavitve tipa sistema v RETScreenu 4

Na koncu smo morali v program vnesti še podatke o sončni elektrarni (Slika 16). Določili smo tip SE, tj. »poly-Si«, neznane podatke, ki smo jih potrebovali za analizo, pa smo predpostavili, saj pri primerjavi izplenov nimajo bistvenega pomena. Inštalirano moč SE smo predpostavili na 40 kWp. Dodatne izgube zaradi umazanije oz. snega na sončnih panelih smo predpostavili na 11 %. Izkoristek razsmernika smo nastavili na 90 %, njegovo nazivno moč pa na 40 kW.

Annual solar radiation - horizontal	MWh/m ²	1,24	
Annual solar radiation - tilted	MWh/m ²	1,37	
Photovoltaic			
Type		poly-Si	
Power capacity	kW	40,00	
Manufacturer		Sungen	
Model		poly-Si - SGM-200P	200 unit(s)
Efficiency	%	12,3%	
Nominal operating cell temperature	°C	45	
Temperature coefficient	% / °C	0,40%	
Solar collector area	m ²	326	
Miscellaneous losses	%	11,0%	
Inverter			
Efficiency	%	90,0%	
Capacity	kW	40,0	
Miscellaneous losses	%		
Summary			
Capacity factor	%	12,3%	
Electricity exported to grid	MWh	43,063	

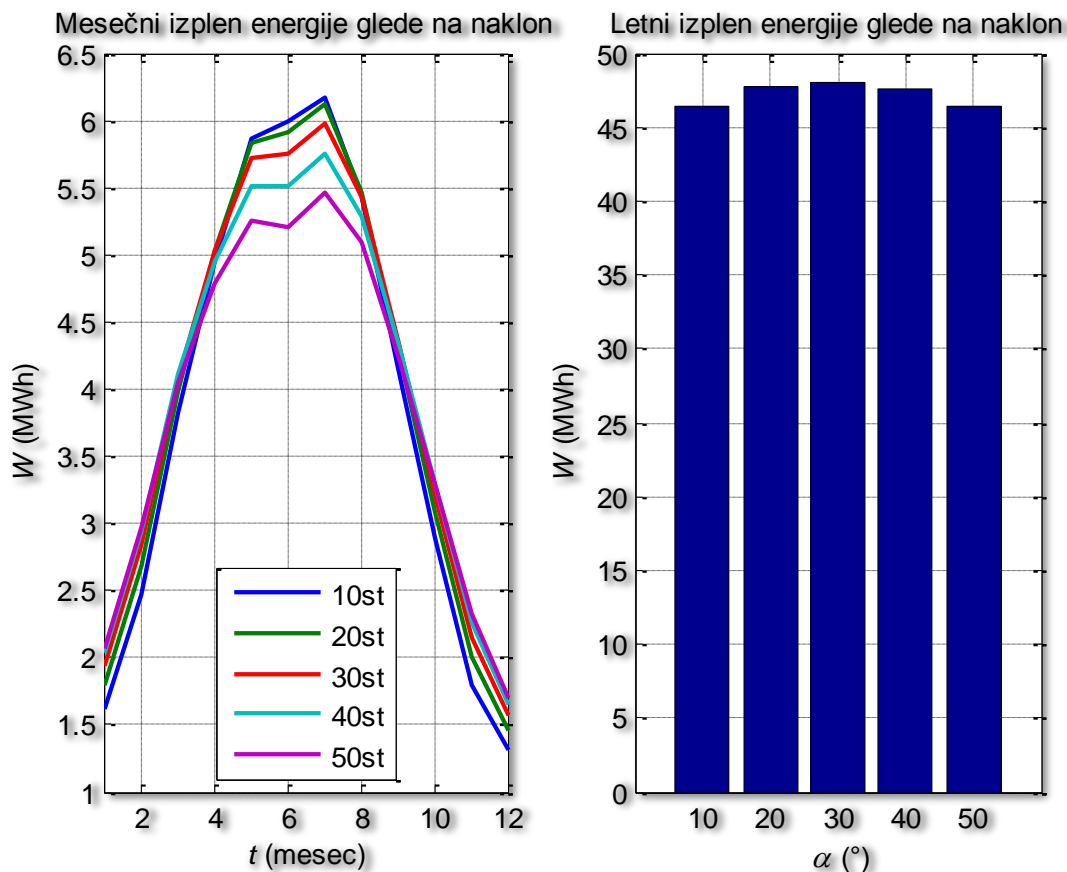
Slika 16: Podatki o SE

V prvem delu smo primerjali razlike v izplenu med različnimi naklonskimi koti pri fiksnem sistemu. Ti podatki so prikazani v tabeli 1. Podatki so razporejeni po mesecih v letu. Na koncu je prikazan skupen izplen glede na naklonski kot. Iz tabele je razvidno, da je najboljši izplen pri kotu 30°.

Tabela 1: Teoretični izplen fiksnega sistema

MESEC	W(10,45)	W(20,45)	W(30,45)	W(40,45)	W(50,45)
1	1,626	1,802	1,937	2,03	2,077
2	2,473	2,682	2,84	2,936	2,966
3	3,816	3,988	4,08	4,11	4,055
4	4,953	5,032	5,033	4,951	4,792
5	5,869	5,837	5,725	5,518	5,249
6	5,991	5,912	5,753	5,508	5,207
7	6,173	6,121	5,984	5,751	5,46
8	5,43	5,463	5,426	5,293	5,089
9	4,151	4,293	4,347	4,338	4,245
10	2,888	3,079	3,218	3,289	3,291
11	1,802	2,002	2,157	2,264	2,321
12	1,308	1,456	1,572	1,654	1,7
SKUPAJ	46,479	47,666	48,073	47,641	46,451

Za boljšo predstavo razlik v izplenu med različnimi naklonskimi koti smo s pomočjo pridobljenih podatkov v programu Matlab napisali program (Priloga 1), ki je izrisal grafe (slika 17). Levi graf prikazuje mesečni izplen energije glede na naklon, desni pa letni izplen energije glede na naklon.



Slika 17: Izplen električne energije pri različnih naklonskih kotih

Iz zgornjega grafa o letnem izplenu se vidi, da je pri naklonu 30° dejansko največji izplen energije. Najslabša izplena pa sta pri kotu 10° in 50° .

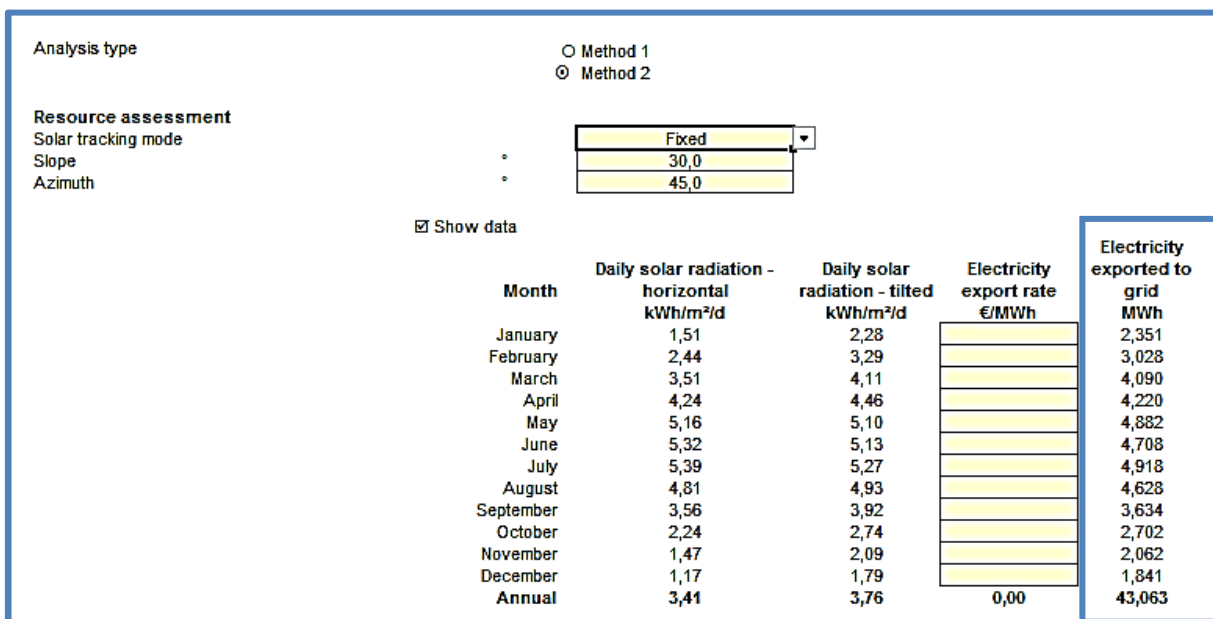
Iz prikazanega mesečnega izplena se vidi, da je izplen pri 30° tudi najbolj konstanten. Pri ostalih kotih izplen niha, na začetku leta je manjši, sredi leta je največji in na koncu spet najmanjši (primer za 10° - modra barva) ali pa ravno obratno, na začetku in na koncu leta največji in sredi leta najmanjši za primer nagiba 50° (označen z vijolično barvo).

3.3 Analiza izplena električne energije pri različnih tipih sončnih elektrarn

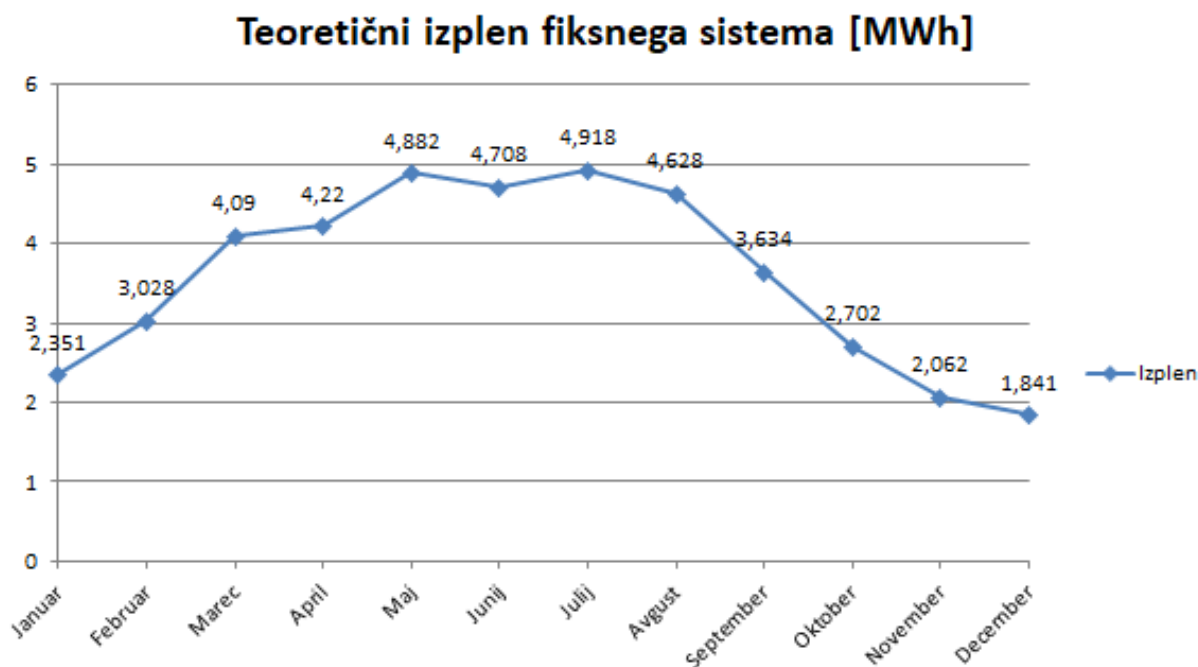
V drugem delu smo analizirali izplen električne energije pri fiksnem sistemu (naklon modulov 30° , azimutni kot 45°), enoosnem sledilnem sistemu (naklon modulov 30° , azimutni kot 45°) in dvoosnem sledilnem sistemu. To smo storili tako, da smo v programu RETScreen spreminjali tip SE (prikazan na sliki 15 – zgornja puščica, ki kaže iz desne proti levi strani). Najprej smo nastavili fiksni sistem (fixed), potem enoosni sledilni sistem (one-axis) in nazadnje še dvoosni sledilni sistem (two-axis). Pri programu RETScreen je treba upoštevati, da analiza izplena ne vključuje porabe elektromotorjev pri enoosnem in dvoosnem sledilnem sistemu. Dobljene podatke o izplenu električne energije za vsak tip SE smo prikazali v tabeli, iz katere smo nato črpali podatke, potrebne za grafični prikaz.

Rezultati analiz teoretičnega izplena so prikazani v nadaljevanju. Rezultati izplena fiksnega sistema so prikazani na sliki 18 in grafu 2, enoosnega sledilnega sistema na sliki 19 in grafu 3 in dvoosnega sledilnega sistema na sliki 20 in grafu 4. Za analizo smo uporabili kompleksnejšo metodo 2.

Izplen fiksnega sistema

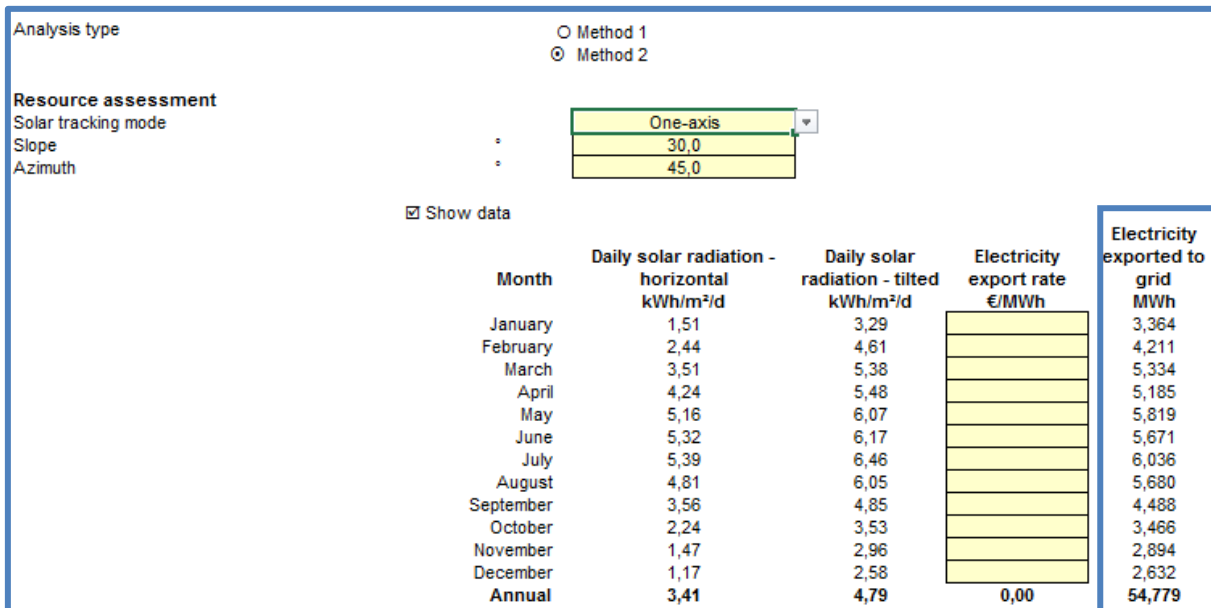


Slika 18: Teoretični izplen fiksnega sistema

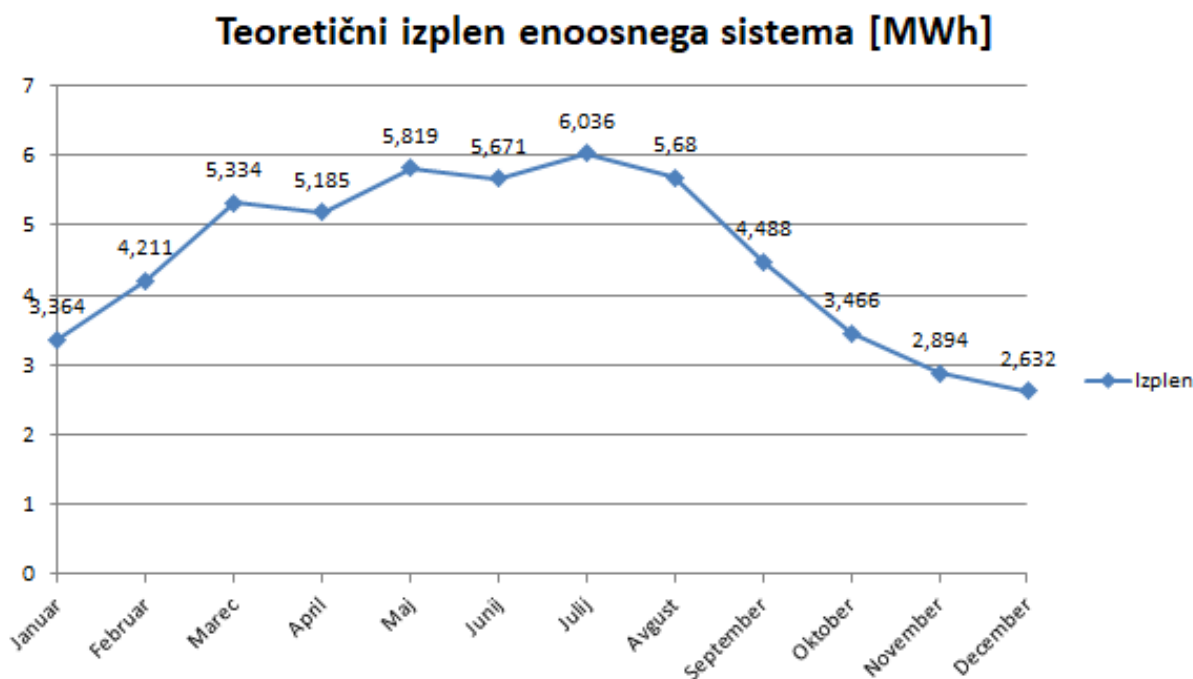


Graf 2: Teoretični izplen fiksnega sistema

Izplen enoosnega sistema

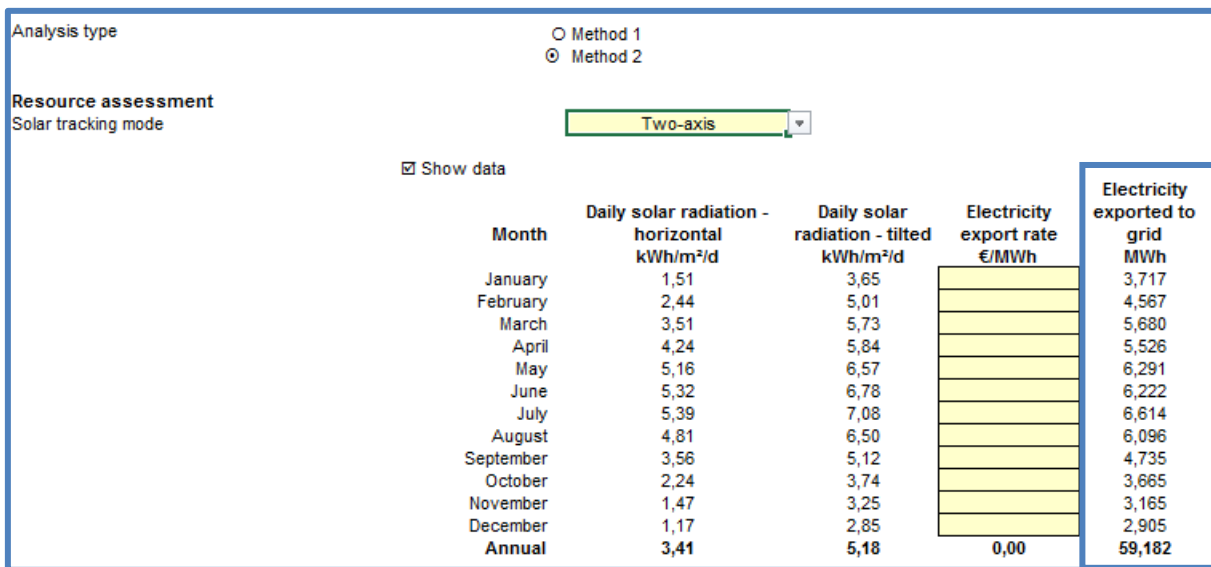


Slika 19: Teoretični izplen enoosnega sledilnega sistema

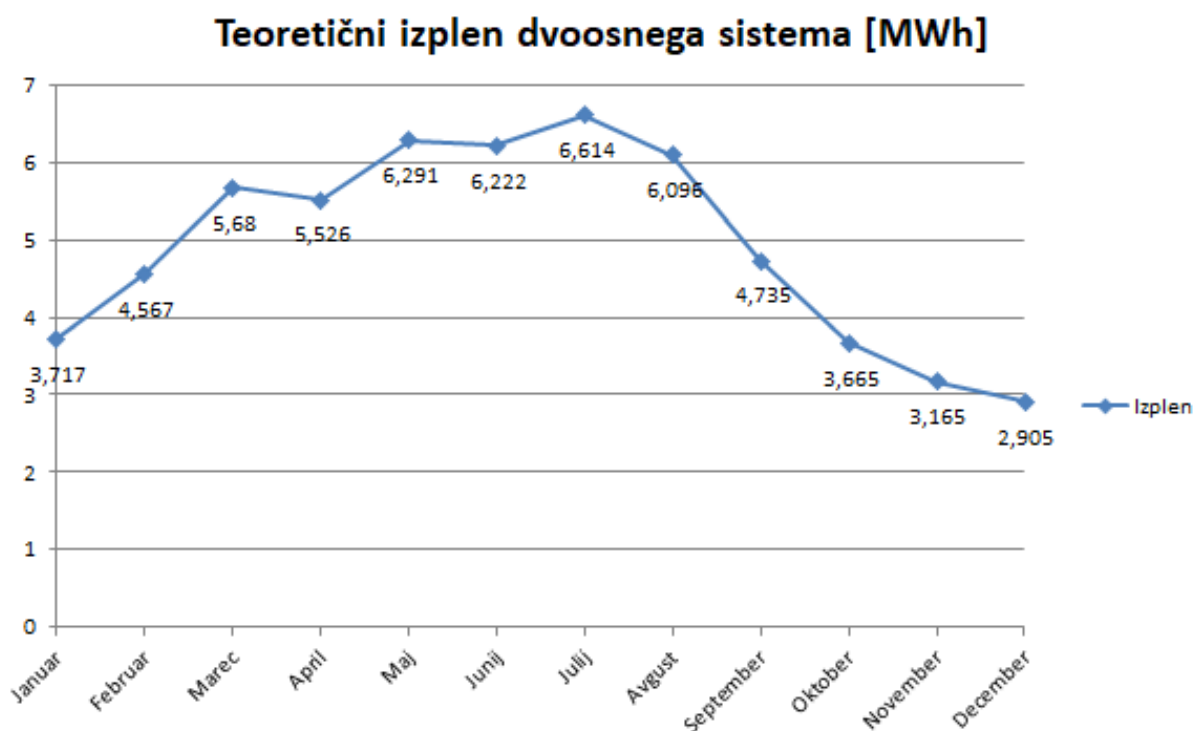


Graf 3: Teoretični izplen enoosnega sistema

Izplen dvoosnega sistema

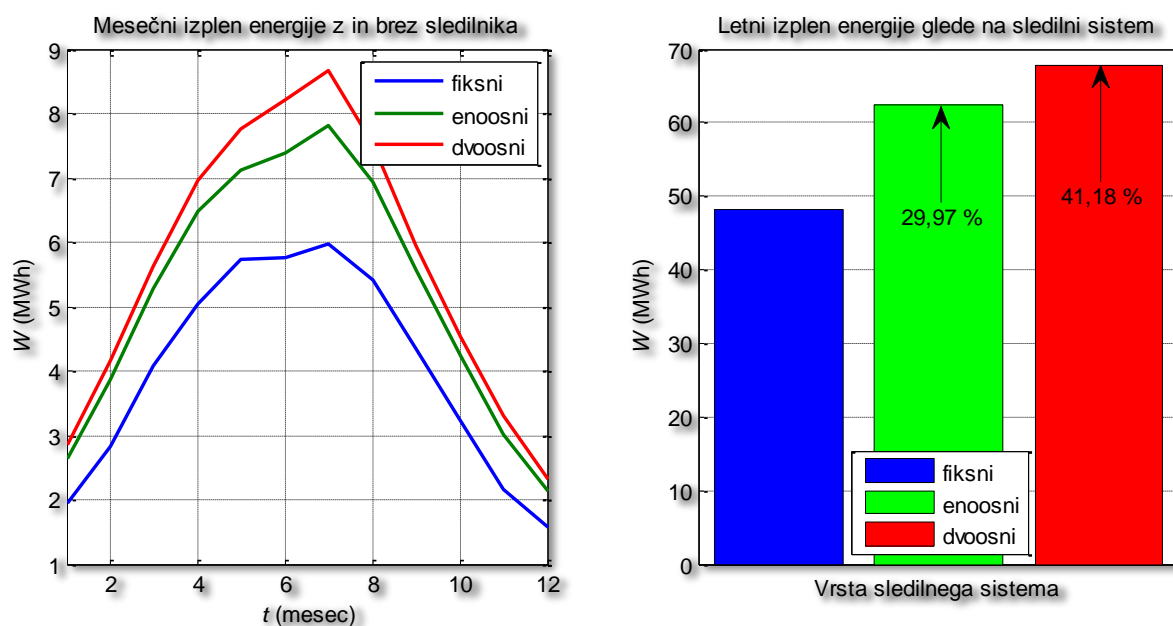


Slika 20: Teoretični izplen dvoosnega sledilnega sistema (List 2)



Graf 4: Teoretični izplen dvoosnega sistema

Kot rezultat analize vpliva tipa sledilnega sistema na izplen električne energije smo dobili spodnja grafa (Slika 21) za mesečni in letni izplen energije s sledilnikom in brez njega. Naredili smo jih s pomočjo napisanega programa (Priloga 2) v Matlabu. Z grafa o mesečnem izplenu energije je jasno razvidno, da ima dvoosni sistem bistveno večji izkoristek kot fiksni sistem in tudi večjega od enoosnega sistema, kar velja za celo leto. Z grafa o letnem izplenu pa vidimo, kakšen je celoletni izplen energije glede na sledilni sistem. Vidimo, da je enoosni sledilni sistem približno 30 %, dvoosni sledilni sistem pa 41 % učinkovitejši od fiksne sistema.



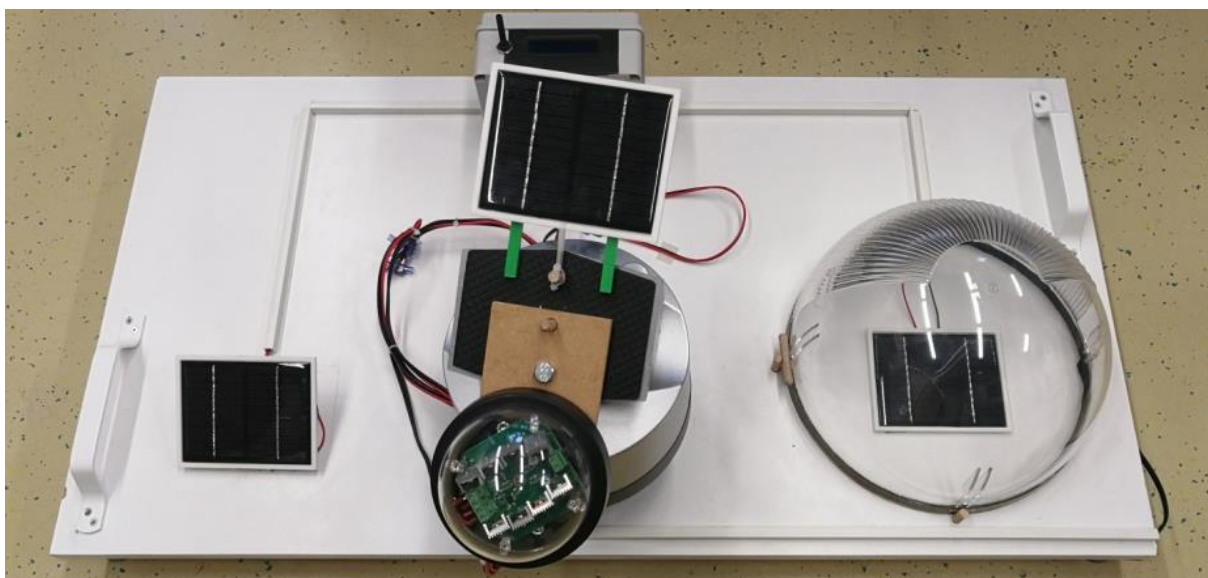
Slika 21: Izplen pri različnih sledilnih sistemih

3.4 Komentar analiz

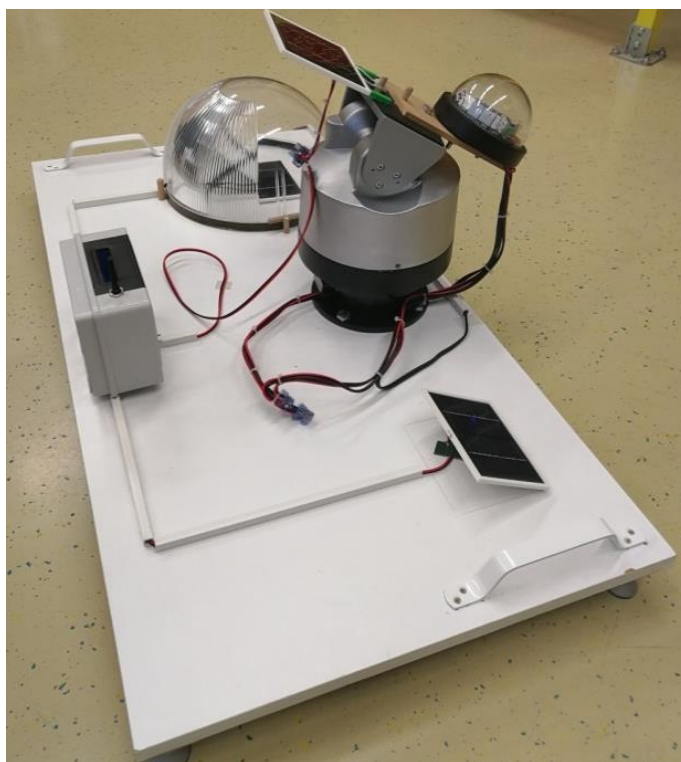
Pri teoretični analizi o izplenu smo prišli do spoznanja, kako nam lahko program RETScreen olajša delo glede izbire in postavitve SE. V prvem delu smo analizirali, pri katerem nagibu ima SE, inštalirana na fiksni sistem, najboljši izkoristek. Skozi analizo in grafične prikaze smo ugotovili, da je to pri nagibnem kotu 30° . To spoznanje smo potem uporabili pri drugem delu analize, kjer smo morali pri nagibnem kotu 30° ugotoviti, kateri sistem SE ima največji izplen energije. Na podlagi podatkov iz programa RETScreen smo ugotovili, da je najprimernejši dvoosni sledilni sistem. Prišli smo do rezultata, da je v Mariboru enoosni sledilni sistem 30 % učinkovitejši kot fiksni, medtem ko dvoosni kar dobrih 41 % učinkovitejši od fiksnega. Iz tega lahko potrdimo teoretični del, pri katerem smo predvideli, da se dejansko poveča izplen električne energije za 20 %–25 % v primeru enoosnega sledenja in 30 %–35% v primeru dvoosnega sledenja v primerjavi s fiksnim sistemom. [1]

4 MERILNA POSTAJA

Odločili smo se, da izdelamo prenosljivo merilno postajo (Sliki 22 in 23), ki bo omogočala enostavno primerjavo delovanja in izplena treh sistemov: fiksnega sistema, dvoosnega sledilnega sistema in zbiralne kupole. Kompaktnost merilne postaje nam omogoča, da jo lahko brez težav prenašamo in izvajamo meritve na različnih mestih.



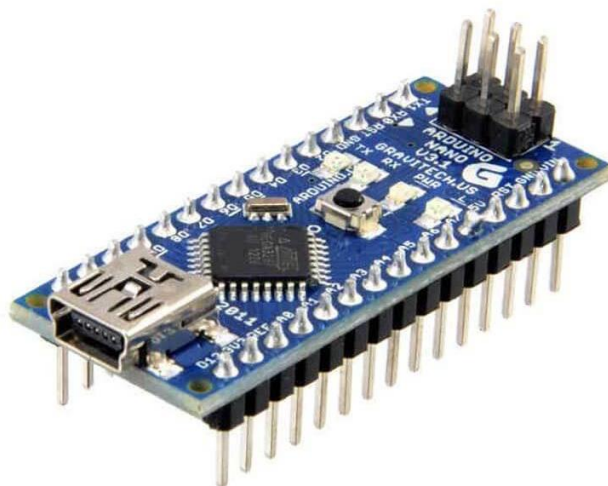
Slika 22: Merilna postaja – sprednji pogled



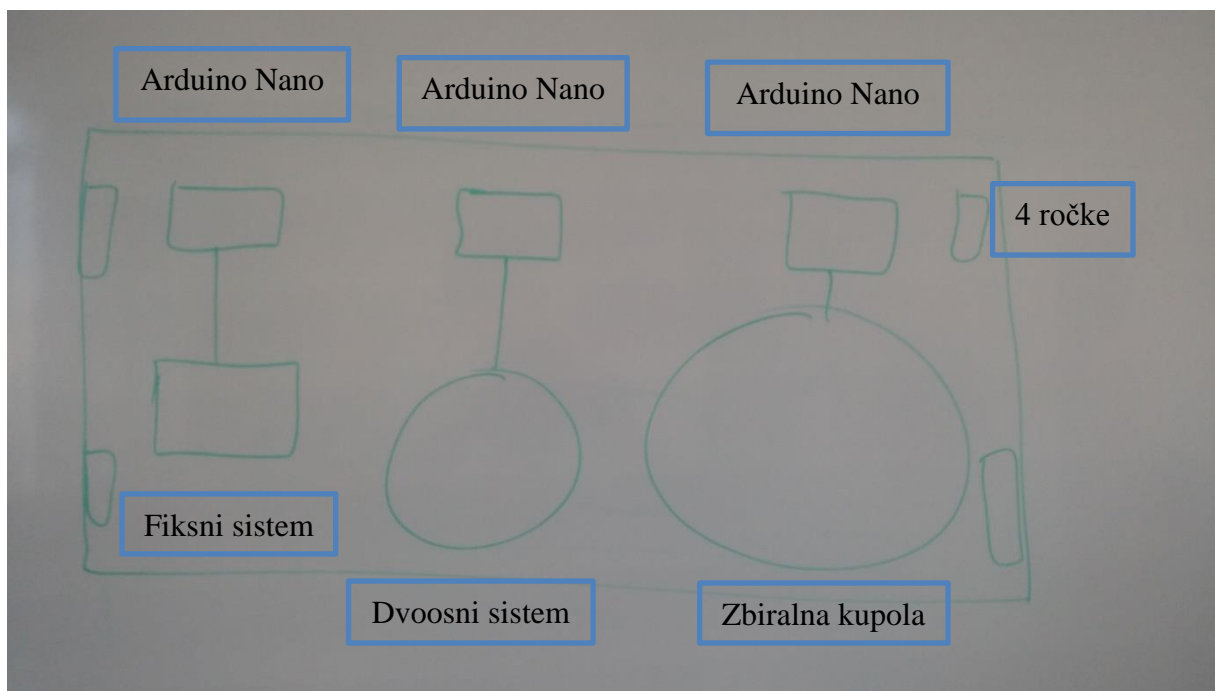
Slika 23: Merilna postaja – zadnji pogled

4.1 Koncipiranje merilne postaje

Do končne oblike merilne postaje smo prišli šele v tretjem poskusu. V prvi fazi razvijanja smo imeli v načrtu postavitev treh sledilnih sistemov (fiksne, enoosnega in dvoosnega). Za izvajanje meritev smo nameravali uporabiti tri mikrokontrolerje Arduino nano (Slika 24). Vsak mikrokontroler bi izvajal meritve za svoj sistem.



Slika 24: Arduino Nano [5]



Slika 25: Prvotna skica

V drugi fazi smo se zaradi majhnih razlik v izplenu med enosnim in dvoosnim sistemom odločili za inovativno rešitev (Slika 25), ki je trenutno še ni na tržišču (zbiralna kupola). Na kupolo smo ob brskanju po socialnih omrežjih (Facebook) naleteli po naključju. V osnovi se kupola uporablja za inovativni razsvetljavni sistem, ki deluje na osnovi zbiranja in odbijanja sončnih žarkov s pomočjo kupole in ogledal Solatube (Slika 26).



Slika 26: Razsvetljavni sistem Solatube [7]

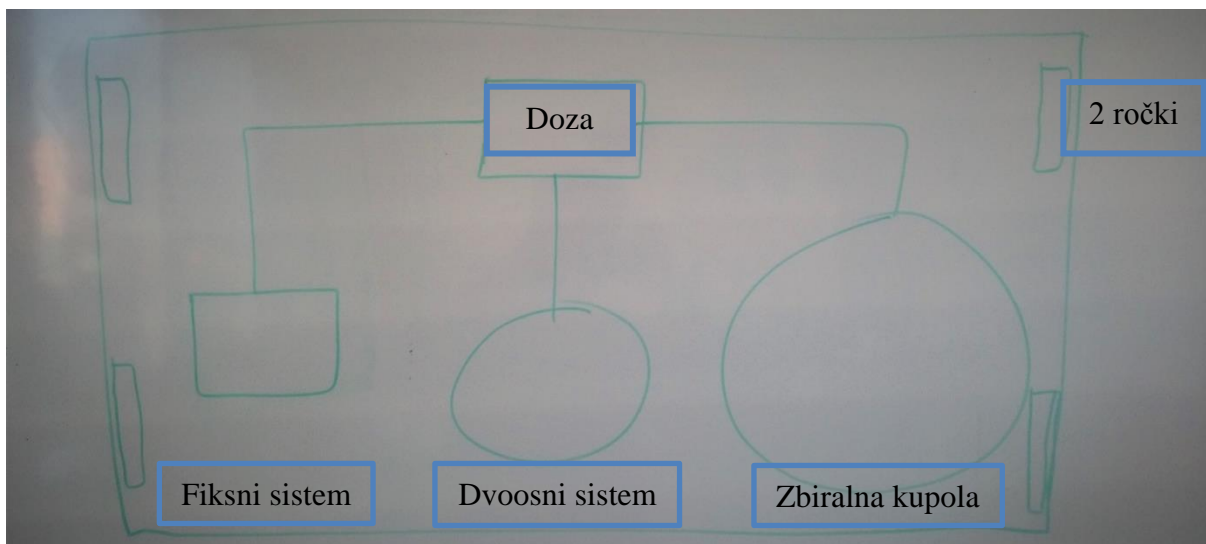
Zbiralna kupola

S pomočjo zbiralne kupole (Slika 27) zbiramo sončne žarke 15° – 165° , kar pomeni, da je ta način veliko učinkovitejši kot način zbiranja sončne energije s pomočjo fiksnega sistema. Ta sistem nam omogoča, da je celica skozi celoten dan osvetljena s sončno svetlobo ne glede na to, pod katerim kotom se nahaja sonce. Celica v notranjosti kupole je ostala hladna, kar pomeni, da kupola preprečuje pretirano segrevanje. To vpliva na življenjsko dobo celice, kar je velika prednost tega sistema. Prednost tega sistema je tudi ta, da ga ni potrebno vzdrževati in zaščititi sončno celico pred zunanji vplivi. Pri pozicioniranju kupole smo naleteli na težavo, in sicer zareze na zadnji strani kupole morajo biti obrnjene proti severu in ne proti jugu, kot je navedeno v navodilih. Kupola bi morala za največji možni izplen delovati v kombinaciji s cevjo, v kateri so odbojna telesa (ogledala), ampak je zaradi težav pri transportu nismo dobili.

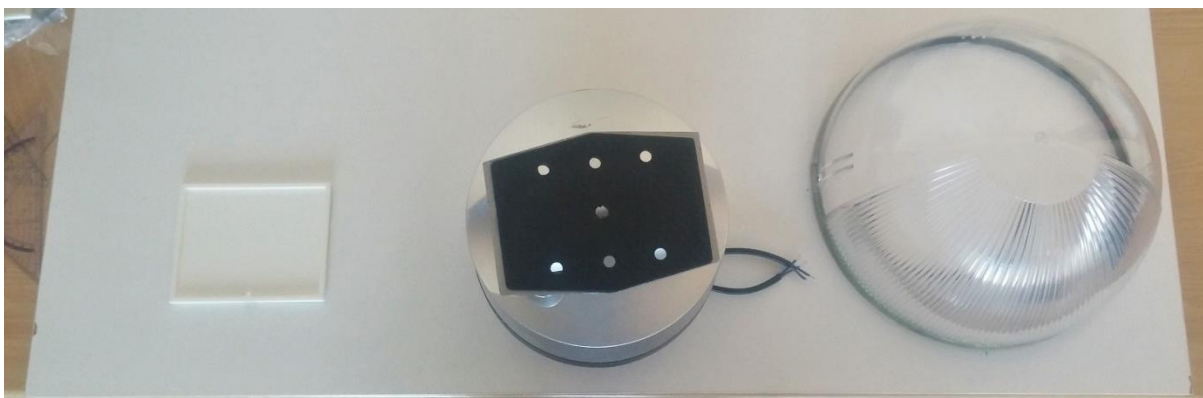


Slika 27: Zbiralna kupola [6]

V tretji fazi (Slika 28) smo se odločili, da bomo meritve zaradi večje natančnosti izvajali z enim mikrokontrolnikom Arduino Uno. Ugotovili smo tudi, kako morajo biti sistemi razvrščeni, da se med seboj ne bodo prekrivali in da bodo imeli enake pogoje (Slika 29).



Slika 28: Končna skica



Slika 29: Vzorčna postavitve sistemov

4.1.1 Zahteve

Celotna raziskovalna naloga je bila financirana s strani Srednje šole za strojništvo, mehatroniko in medije, zato smo morali upoštevati, da bo izdelek uporabljen za nadaljnje izobraževanje dijakov pri rednem pouku in izbirnem predmetu Inovativna energetika. Tako bodo imeli lažjo predstavo, kako teorija izgleda v praksi. Paziti smo morali tudi na cene posameznih komponent, saj smo bili finančno omejeni. Postajo smo želeli povezati z računalnikom za lažje opravljanje meritev.

Naša osebna zahteva je bila, da naredimo prvi večji izdelek na šoli, ki bo prenosljiv in ga bo možno transportirati s šolskim dvigalom.

Zahteve in želje so prikazane v zahtevniku (Tabela 2). Zahteve, ki morajo biti izpolnjene, so v prvem stolpcu označene s črko Z. Zahteve, za katere si želimo, da bi bile izpolnjene, pa so označene v prvem stolpcu s črko Ž.

Tabela 2: Zahtevnik

Z – zahteva Ž – želja	zahteva/želja
Z	cenovno ugodno
Z	lahko prenosljivo
Z	trije tipi sistemov na postaji
Ž	povezava z računalnikom
Ž	uporaba za nadaljnje izobraževanje

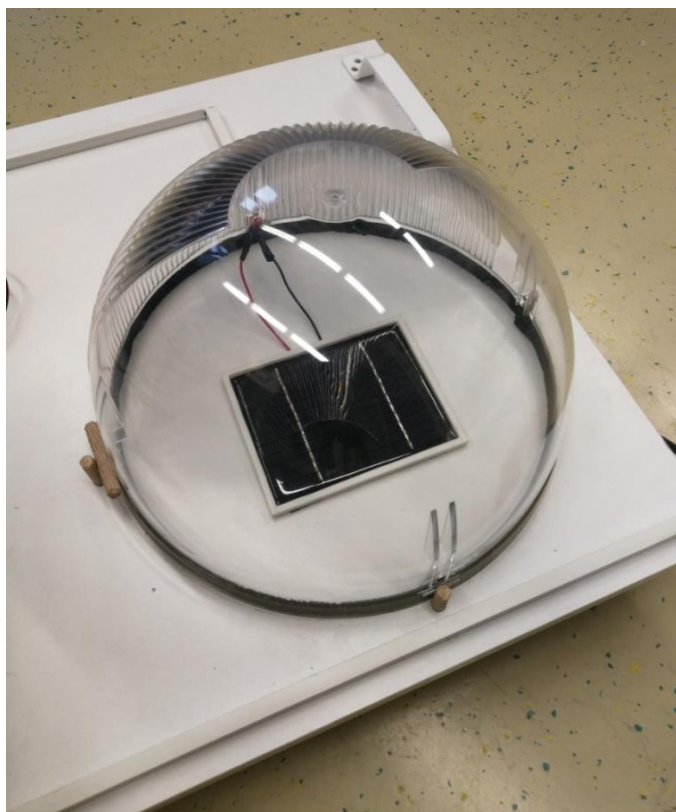
4.2 Izdelava merilne postaje

Izdelavo merilne postaje smo razdelili v štiri sklope: standardni deli, nestandardni deli, program in merilno vezje. Za delitev v sklope smo se odločili zaradi cenejše in hitrejše izvedbe ter da smo lahko vključili znanja, ki smo jih pridobili skozi srednješolsko izobraževanje.

4.2.1 Standardni deli

Zbiralna kupola

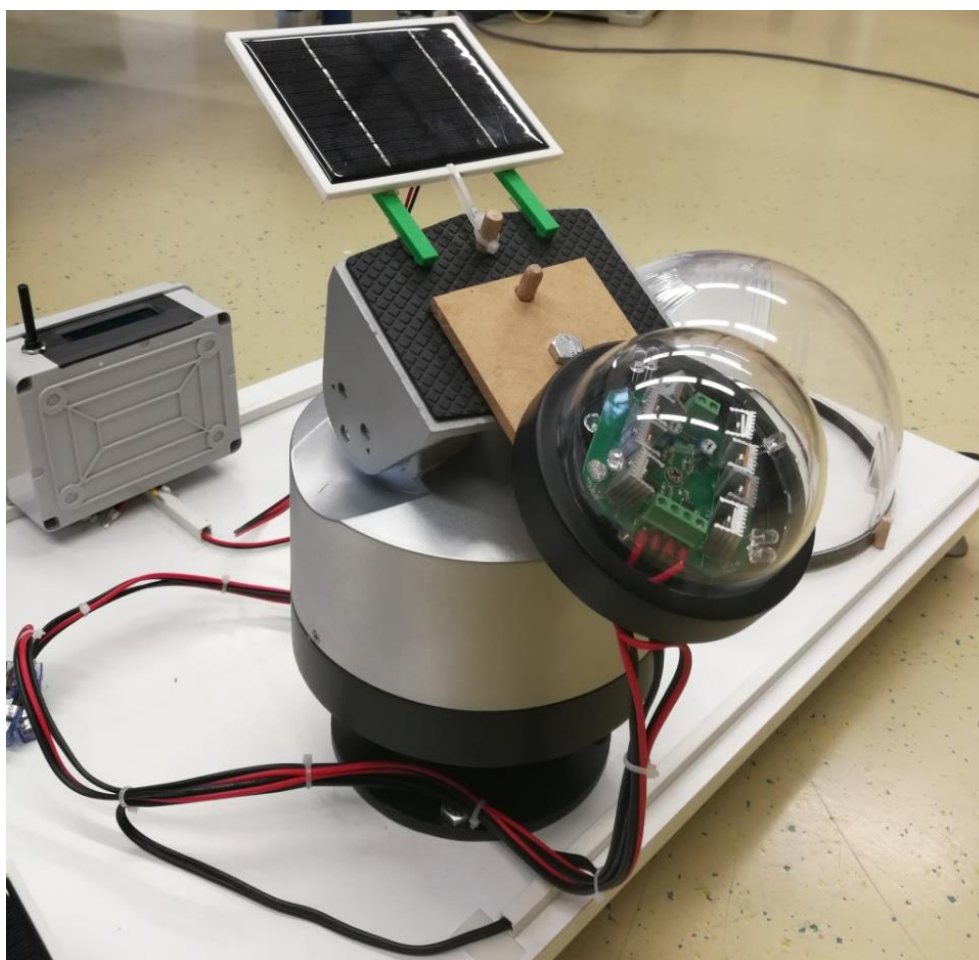
Zbiralno kupolo smo pritrdili na merilno postajo z lesenimi zatiči, ki se uporabljajo pri sestavljanju omar in predalnikov. Ta način pritrditve je cenovno ugoden in omogoča enostavno odstranitev kupole ter dostop do celice. Celico smo namestili na sredino v notranjosti kupole, vzporedno s podlago (naklonski kot 0°) (Slika 30). Kabel smo do mikrokrmilnika Arduino Uno pripeljali po kanalu. S tem smo ga zaščitili in pridobili na estetiki.



Slika 30: Zbiralna kupola s sončno celico

Dvoosni sledilni sistem

Dvoosni sledilni sistem (Slika 31) smo na postajo pritrčili z vijakčno zvezo štirih vijakov. Zaradi slabega dizajna sistema smo sledilno vezje v obliki kupole nanj pritrčili z leseno iverno ploščo 8 cm x 16 cm x 0,75 cm. Sončno celico smo pritrčili s komponentami, ki smo jih natisnili s 3D-tiskalnikom MakerBot. Zaradi pomanjkljivih in nerazumljivih navodil smo imeli nekaj težav z vezavo in vzpostavitvijo pravilnega delovanja sledilnega sistema. Kabla, ki sta že bila povezana na oba motorja, smo morali podaljšati, ker sta bila prekratka. Najprej smo kabla med seboj povezali s spajkanjem, za estetiko in varnost pa smo namestili termo požirko. Med testiranjem je prišlo do nepravilnega delovanja, kar je povzročilo, da sta se kabla, ki povezujeta oba motorja s sledilno kupolo, strgala. Sistem smo morali razstaviti in ponovno ožičiti. Da se to ne bi več ponovilo, smo kabla motorja in kabla, ki sta povezana na sledilno kupolo, povezali s forbox sponkami. Sončno celico smo z merilnim vezjem povezali na enak način kot pri kupoli. Sistem deluje na 12 V in 2,5 A.



Slika 31: Dvoosni sledilni sistem s sončno celico in sledilno kupolo

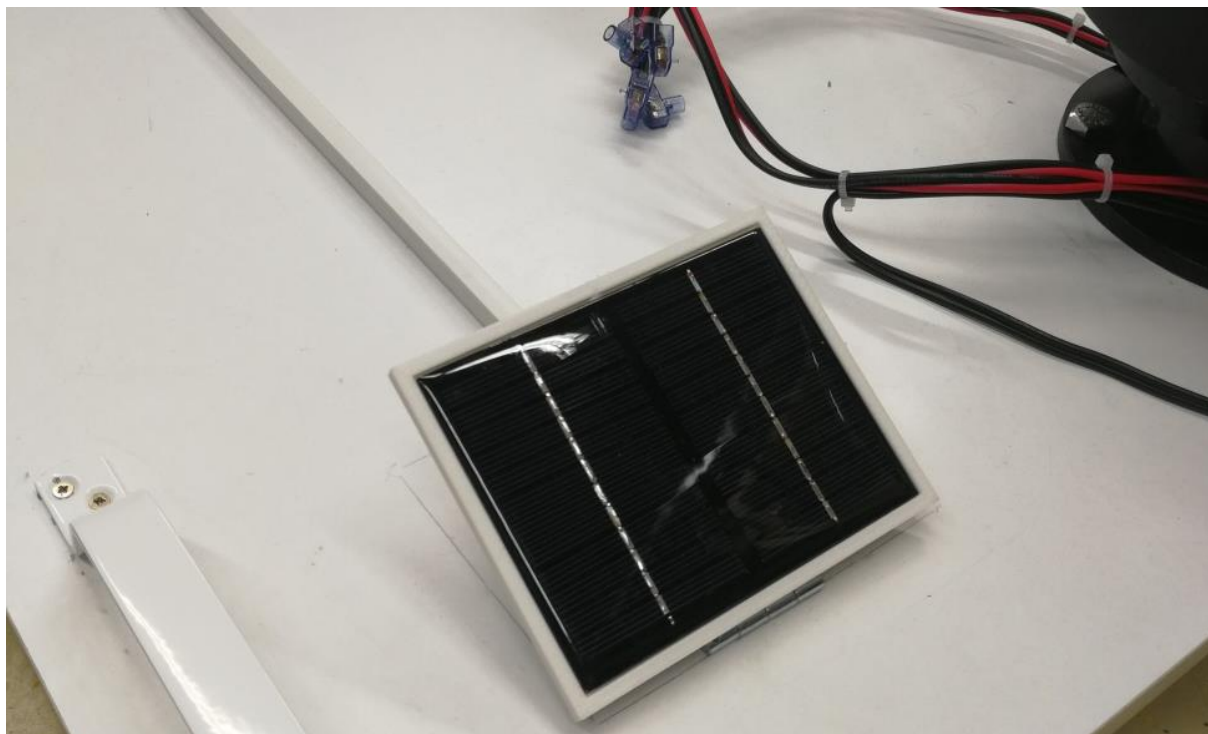
Fiksni sistem

Fiksni sistem (Slika 34) smo na postajo pritrčili s tečajem za vrata (Slika 32), kot 30° pa smo nastavili s kablskim tulcem (votlico), ki je prikazan na sliki 33. Sončno celico smo z merilnim vezjem povezali na enak način kot pri kupoli in dvoosnem sledilnem sistemu.



Slika 32: Tečaj za vrata [11]

Slika 33: Kablski tulci (votlice) [3]



Slika 34: Fiksni sistem

Doza

Mikrokrmilnik Arduino Uno in merilno vezje smo zaščitili pred vremenskimi vplivi z vodotesno dozo (IP 54) (Slika 35). Poleg zaščite doza pripomore tudi k večji estetiki. Vanjo smo vgradili še zaslon, na katerega mikrokrmilnik Arduino Uno izpisuje vrednosti meritev. Potenciometer služi za nastavljanje ostrine zaslona (Slika 36).



Slika 35: Doza



Slika 36: Zaslona in potenciometer

Nastavljive noge

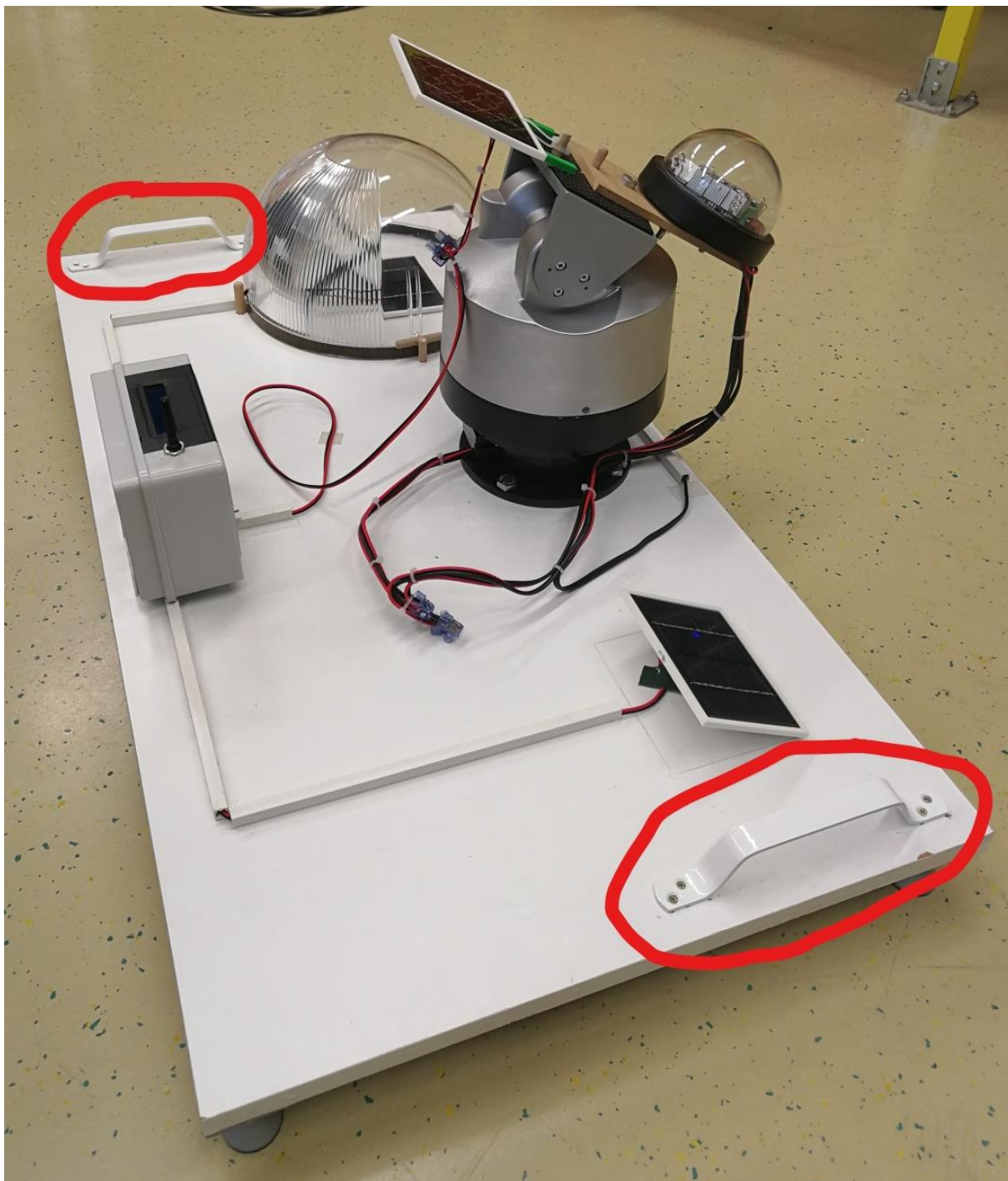
Na spodnjo stran platforme smo namestili nastavljive noge (Slika 37), s katerimi lahko postajo postavimo v vodoravno lego tudi na neravnih terenih.



Slika 37: Nastavljiva noga

Ročke za prenašanje

Na koncu smo zaradi lažjega prenašanja na postajo pritrdili dve ročki (Slika 38) in ne štiri ročke, kot je prikazano na sliki 28.

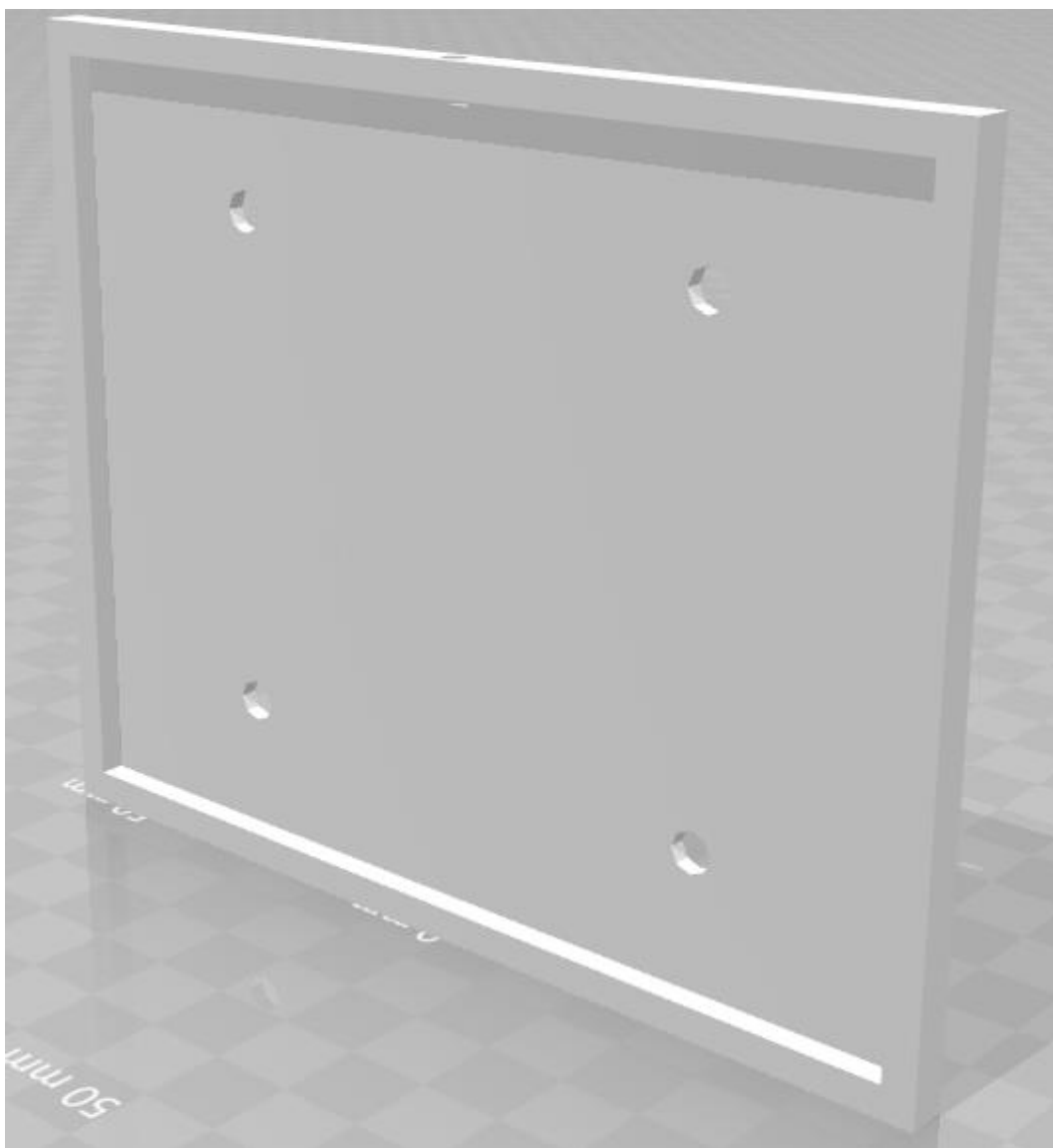


Slika 38: Ročki za prenašanje

4.2.2 Nestandardni deli

Okvirji za celice

Sončne celice smo namestili v plastične okvirje (Slika 39), ki smo jih naredili sami. Najprej smo narisali model v programu Creo Parametric 3.0 in shranili datoteko v obliki stl. To datoteko smo potem odprli v programu MakerBot Print in model pripravili za tiskanje. Okvirje smo natisnili s 3D-tiskalnikom MakerBot Replicator 5th generation. Okvirji zaščitijo celico in omogočajo enostavno namestitev. Celice smo na okvir prilepili z dvostranskim lepilnim trakom.



Slika 39: Okvir za celico

Nosilca

Za pritrditev celice z okvirjem na dvoosni sledilni sistem smo izdelali dva nosilca (Slika 40). Narejena sta po enakem postopku kot okvirji, z uporabo programa Creo in 3D-tiskalnika.



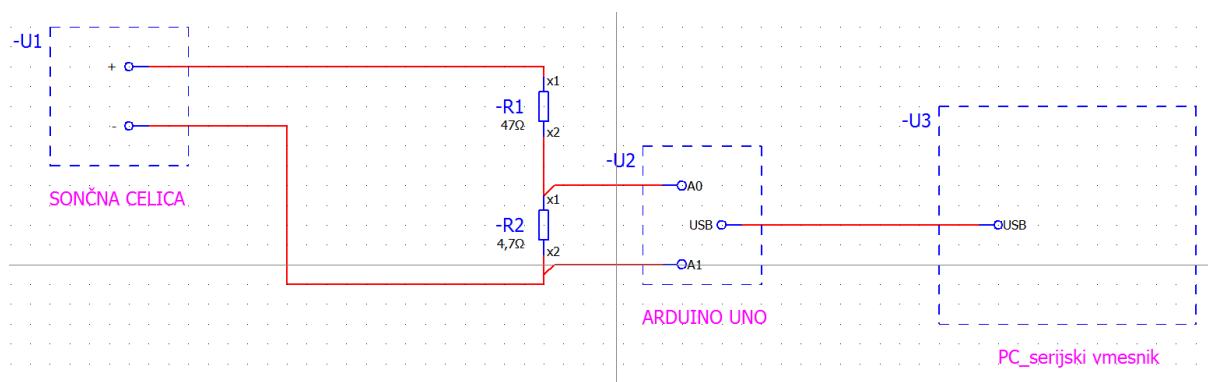
Slika 40: Nosilca za okvir celice

Iverna plošča

Osnova merilne postaje je iverna plošča (100 cm x 50 cm), na katero so pritrjeni vsi sistemi, doza, kanali, noge in ročke za prenašanje.

4.2.3 Merilno vezje

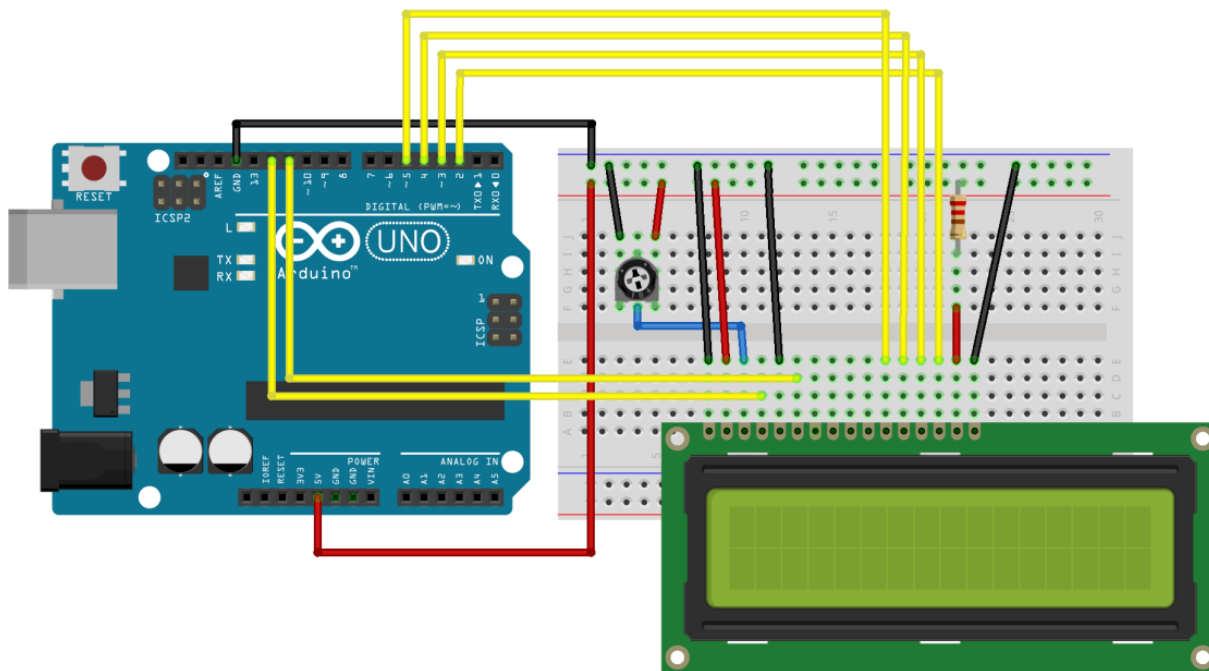
Za izvajanje meritev smo naredili vezje (slika 41), ki smo ga narisali v programu EPLAN. Izdelati smo morali tri vezja, ker imamo tri sončne celice. Vezje je sestavljeno iz dveh zaporedno vezanih uporov. Na drugi upor je vzporedno vezan mikrokrmilnik Arduino. Stran upora, ki je obrnjena proti plusu, je vezana na analogni vhod na Arduino, stran, obrnjena proti minusu, pa na GND-priključek na Arduino. Arduino je z USB-kablom povezan na računalnik, kjer se na serijskem vmesniku izpisujejo vrednosti meritev.



Slika 41: Merilno vezje

4.2.4 Program in vezava

Program za izvajanje meritev smo napisali v programskem jeziku C++. Razdeljen je na dva dela. Prvi del služi prikazovanju vrednosti meritev na LCD-zaslonu in na serijskem vmesniku na računalniku. Drugi del programa pa je namenjen izvajanju meritev s pomočjo merilnega vezja. Vezava LCD-zaslona je prikazana na sliki 42. Za program glej prilogo 3.



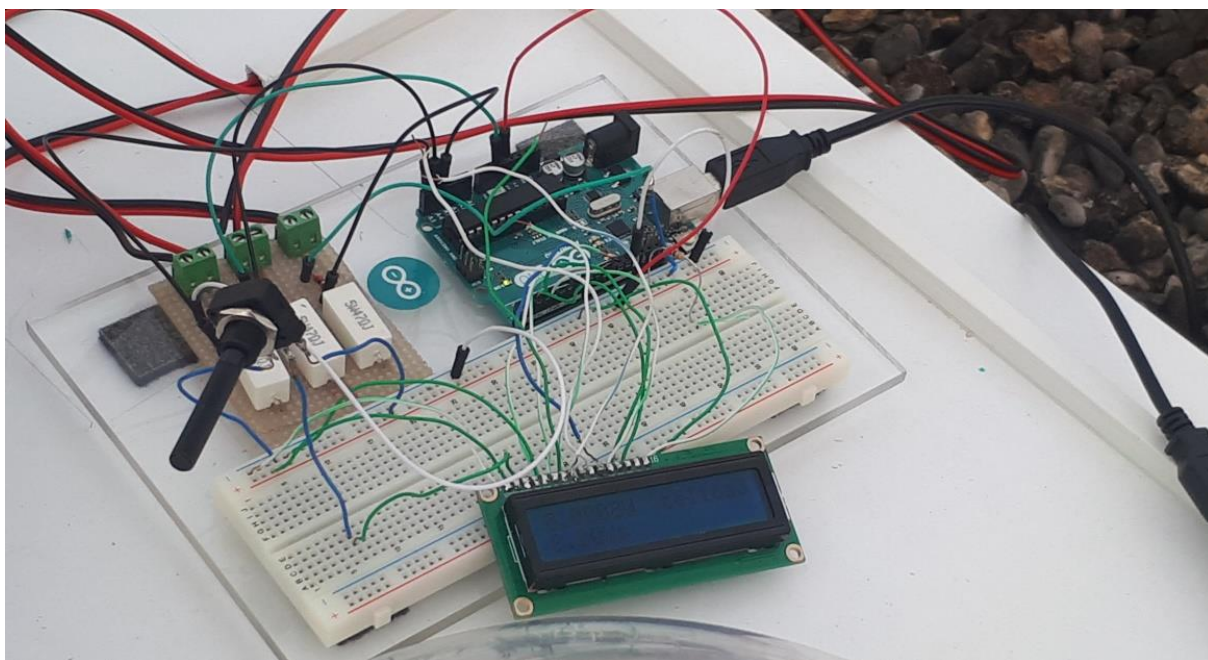
Slika 42: Arduino vezje z LCD-zaslonom [4]

4.3 Meritve

Meritve izplena smo izvajali na strehi Šolskega centra Celje v torek, 30. 1. 2018, od 8.30 do 13.00 (Sliki 43 in 44). Ves čas izvajanja meritev smo spremljali delovanje sistemov preko serijskega vmesnika na računalniku. Zaradi neenakomerne podlage smo morali merilno postajo umeriti s pomočjo nastavljevih nog. Zaradi neenakomernega odboja svetlobe smo morali postajo pred začetkom meritev prestaviti na drugo stran strehe. Zaradi tega smo zamaknili pričetek izvajanja meritev z 8.00 na 8.30. Dvoosni sistem smo s pomočjo usmernika napajali z 12 V in 2,5 A.



Slika 43: Izvajanje meritev na strehi ŠCC

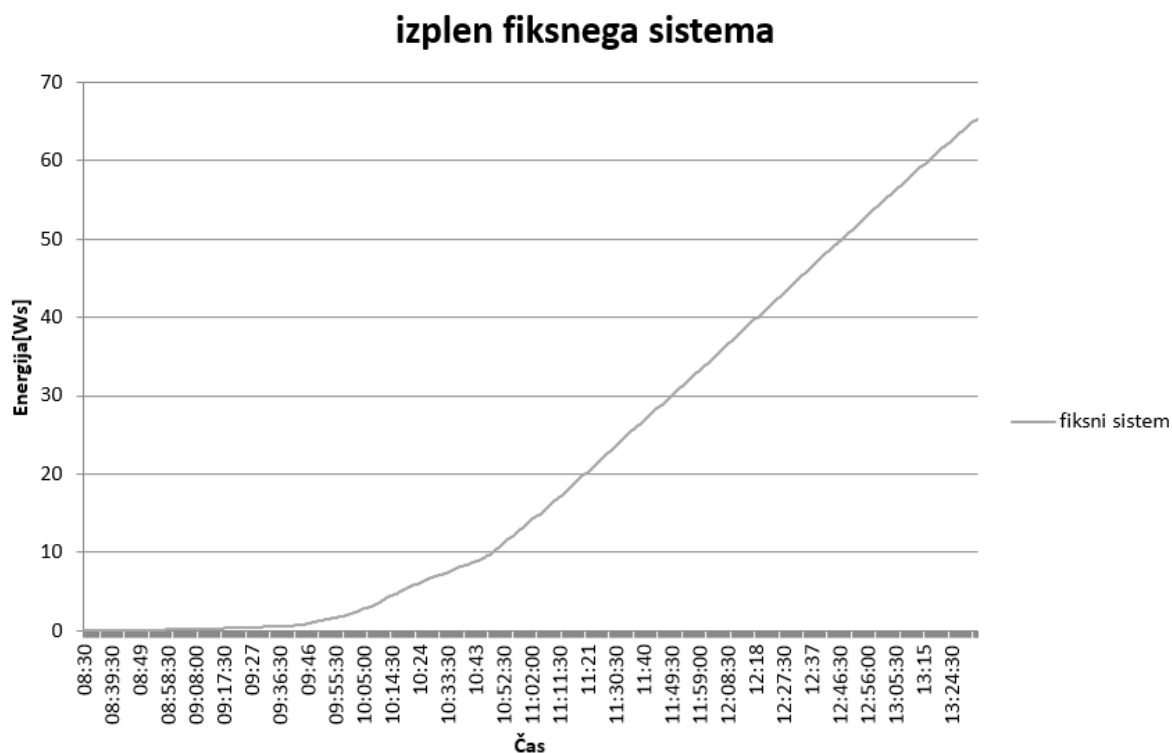


Slika 44: Testno merilno vezje

4.3.1 Rezultati meritev

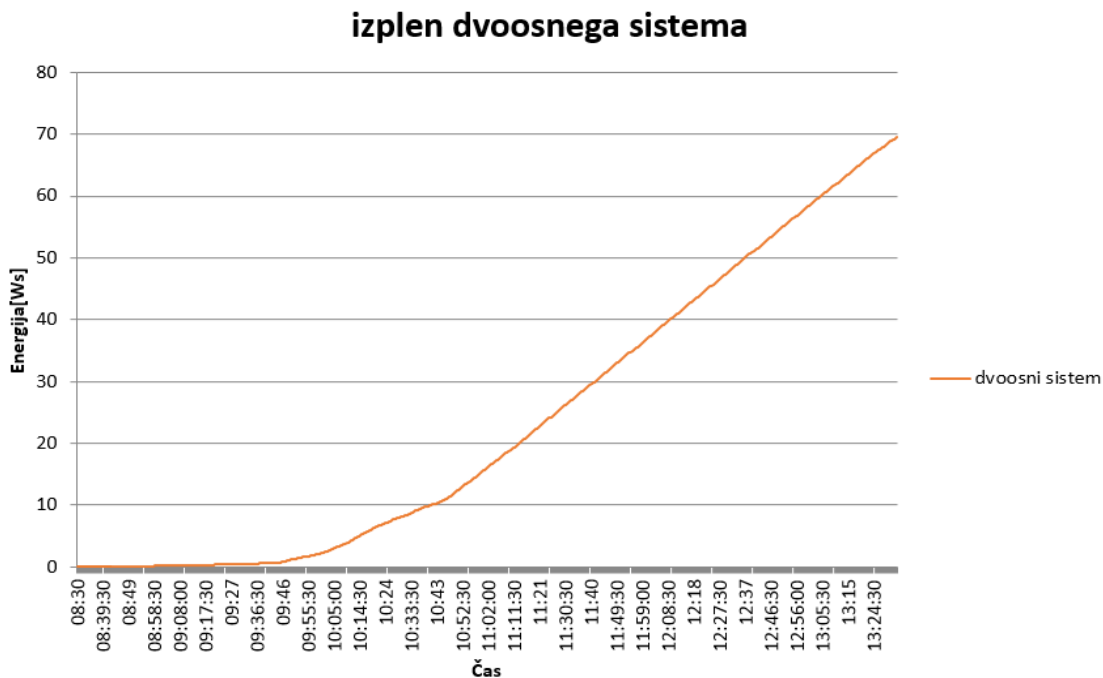
Po opravljenih meritvah smo pridobljene podatke analizirali s pomočjo programa MS excel. Iz podatkov smo narisali grafe, ki prikazujejo dejavnost posamezne celice v enakem časovnem obdobju.

Na spodnjem grafu 5 so prikazani podatki o izplenu celice s fiksnim sistemom, ki je v 5 urah zbrala 65 Ws energije.



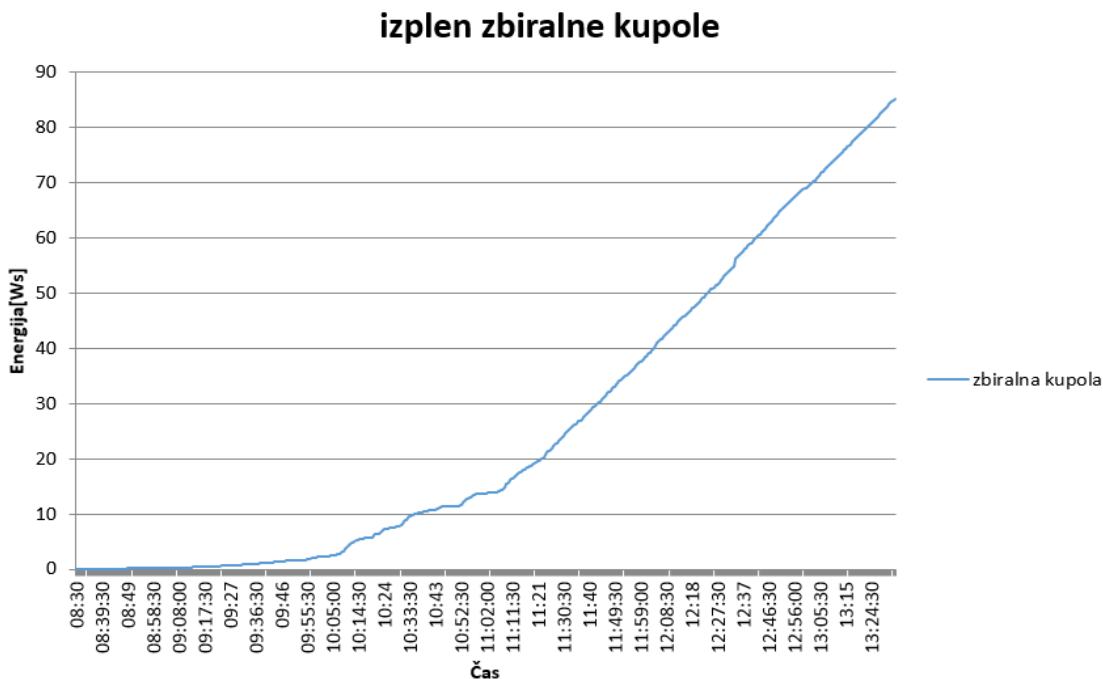
Graf 5: Izplen fiksnega sistema

Na grafu 6 so prikazani podatki o izplenu celice z dvoosnim sledilnim sistemom, ki je v 5 urah zbrala 70 Ws.



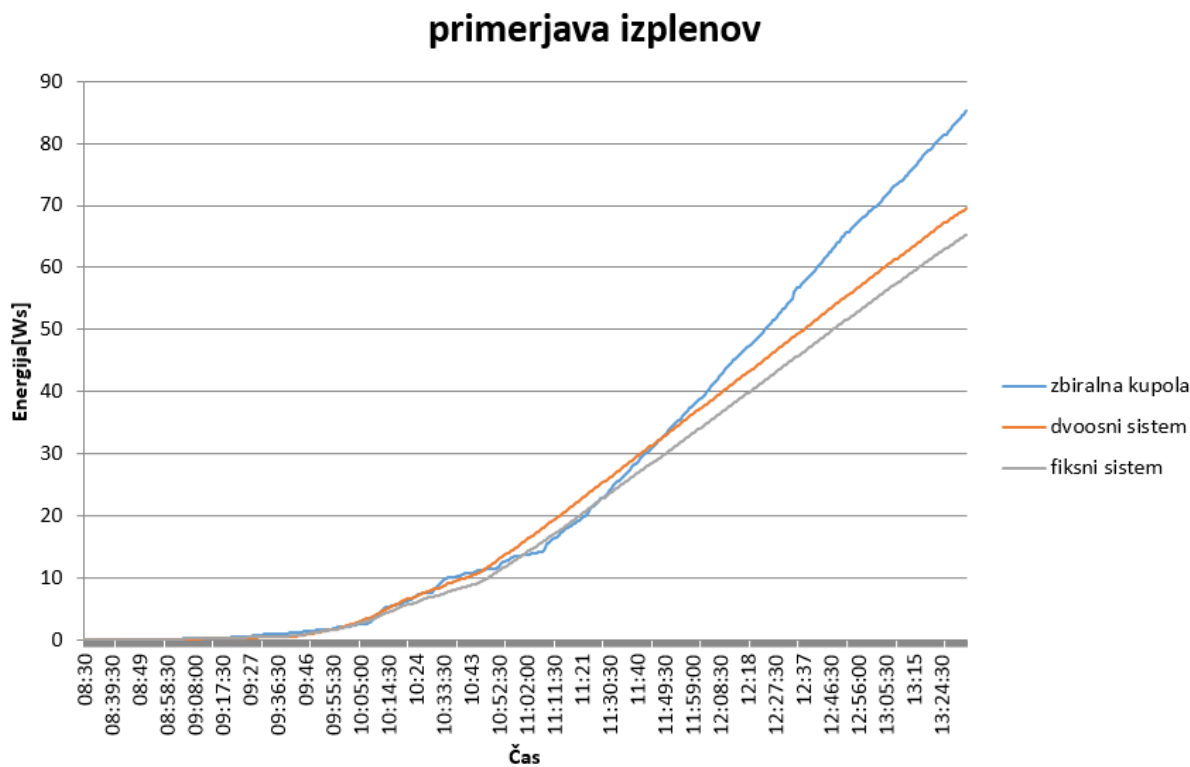
Graf 6: Izplen dvoosnega sistema

Na grafu 7 so prikazani podatki o izplenu celice z zbiralno kupolo, ki je v 5 urah zbrala 85 Ws.



Graf 7: Izplen zbiralne kupole

Na koncu smo vse grafe združili v enega in tako dobili direktno primerjavo med celicami. Iz združenega grafa 8 je razvidno, da je imela največji izplen celica z zbiralno kupolo, ki je zbrala 85 Ws energije. Druga je bila celica z dvoosnim sledilnim sistemom, ki je zbrala 70 Ws energije. Najslabši izplen pa je imela celica s fiksnim sistemom, ki je zbrala samo 65 Ws energije.



Graf 8: Združeni graf izplena vseh celic

5 PREDSTAVITEV REZULTATOV RAZISKOVALNE NALOGE

Naša prva hipoteza temelji na dejstvu, da ima naklonski kot pri fiksni SE vpliv na izplen električne energije. To hipotezo smo potrdili teoretično s programom RETScreen 4. Podatke, ki smo jih pridobili, smo nato analizirali. Naredili smo tabelo in narisali grafe, iz katerih je razvidno, da naklonski kot močno vpliva na izplen električne energije in posledično na povrnitev investicijskih stroškov. Ugotovili smo, da celica pri naklonskem kotu 30° deluje najbolj konstantno.

Druga hipoteza je bila, da bo imela zbiralna kupola največji izplen. Te hipoteze nismo mogli potrditi teoretično s programom RETScreen, ker takega sistema še ni na trgu. Po analizi meritev pa smo ugotovili, da tudi ta hipoteza popolnoma drži, saj je imela kupola največji izplen. Pri tem smo upoštevali porabo motorjev dvoosnega sistema.

Zadnja hipoteza temelji na dejstvu, da bo imel ob velikosti celice, ki smo jo uporabili, in upoštevanju porabe elektromotorjev dvoosni sledilni sistem najslabši končni izplen izmed treh uporabljenih sistemov. Računsko smo tudi to hipotezo potrdili. Dvoosni sistem porabi v eni sekundi 60 Ws. Izračun: $P = U \cdot I$, napetost U je 12 V, tok I pa 2,5 A. Rezultat izračuna je 30 W. Ker ima dvoosni sistem dva motorja moramo to vrednost pomnožiti z dva. Energija, ki jo je celica pridobila skozi cel dan, ja zadostovala za 1,16 sekunde delovanja dvoosnega sledilnega sistema. Porabo motorjev smo od vrednosti izplena (glej graf 6) odšteli naknadno, zato je v grafu 6 in 8 nismo upoštevali. Ugotovili smo tudi, da bi bile izgube ob uporabi večje celice zanemarljive glede na izkoristek. Poraba elektromotorjev bi se zmanjšala z uporabo bolj sofisticiranega in predvsem dražjega dvoosnega sledilnega sistema.

6 ZAKLJUČEK

Raziskave so pokazale, da lahko izplen električne energije učinkovito povečamo in s tem zmanjšamo potrebe po površini, kar je največji problem sončnih elektrarn. Povečamo ga lahko z ustreznim sončnim sledilnikom oziroma zbiralnikom. Izbira je odvisna od tega, kje na Zemlji želimo postaviti sončno elektrarno in katero vrsto elektrarne bomo postavili. Če želimo postaviti sončno elektrarno za oskrbovanje domače hiše ali vikenda, se je najbolje odločiti za fiksni sistem, ker je velikost elektrarne premajhna, da bi se nam povrnili stroški investicije sledilnega sistema ali zbiralnika. Če postavljamo sončno elektrarno večje moči in obsega, pa se lahko odločamo med tremi različnimi sistemi. Če nismo na območju z veliko celoletnega sonca, se je najbolje odločiti za enoosni sledilni sistem z mehansko nastavitvijo naklona, predvsem ker je bistveno cenejši od dvoosnega sistema in ker v tem primeru nima bistveno manjšega izplena kot dražji dvoosni sledilni sistem. Če pa smo na območju z veliko celoletnega sonca, pa je naša najboljša izbira dvoosni sledilni sistem, ker je v tem primeru njegov izplen veliko večji zaradi stalne pravokotnosti celice na sončne žarke. Prav tako se nam stroški investicije zelo hitro povrnejo. Ne glede na to, kje sta oba sledilna sistema postavljena, pa imata slabši izplen od naše inovativne rešitve – zbiralne kupole. V našem primeru – SE majhne moči je kupola v relativno kratkem času zbrala 18 % več električne energije kot dvoosni sledilni sistem in 24 % več kot fiksni sistem. Dvoosni sledilni sistem je z zagotavljanjem stalne pravokotnosti sončne celice uspel zbrati 7 % več električne energije kot fiksni sistem. Če bi meritve izvajali poleti ali na območju z močnejšim soncem, bi bil odstotek povečanja izplena večji. Največja prednost zbiralne kupole pa je, da je veliko cenejša od dvoosnega sistema, ki je v našem primeru povečal izplen električne energije v primerjavi s fiksnim le za 7 %. Prepričani smo, da bi bila razlika v izplenu še večja, če bi bila zbiralna kupola posebej prilagojena za zbiranje sončnih žarkov za sončne celice in ne za razsvetljavo. Kupola zagotovo tudi podaljša življenjsko dobo sončne celice, saj je bila celica v kupoli po opravljenih meritvah hladna, ostali dve pa zelo vroči.

7 VIRI IN LITERATURA

- [1] FERLEŽ, A. Energetski trg EU, zapiski predavanj, 2017.
- [2] ŽALAR, Z. Obnovljivi viri energije. 1. Izdaja. Ljubljana: BookStore.si, 2016.
- [3] Altech corp. [online]. (citirano 21. 2. 2018). Dostopno na naslovu: <http://www.altechcorp.com/HTML/Ferrules-A.html>
- [4] Arduino [online]. (citirano 21. 2. 2018). Dostopno na naslovu: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HelloWorld>
- [5] Component7 [online]. (citirano 21. 2. 2018). Dostopno na WWW: <http://www.component7.com/arduino-nano-3.0-atmega328>
- [6] Ebay [online]. (citirano 21. 2. 2018). Dostopno na naslovu: <https://www.ebay.com/itm/ODL-10-in-Solar-LensR-Dome-Tubular-Skylights-Acrylic-Leak-Proof-Replacement-New-/132351986348?epid=1700416002&hash=item1ed0cb0aac:g:EA>
- [7] EcoInventos [online]. (21. 2. 2018). Dostopno na naslovu: <https://ecoinventos.com/solatube-luz-natural/>
- [8] Ekošola [online]. (citirano 28. 2. 2018). Dostopno na naslovu: <http://www.ekosola.si/2014-15/projekti/ekokviz-za-ss-energija-je-zivljenje/>
- [9] INPRO 22 [online]. (citirano 21. 2. 2018). Dostopno na naslovu: <http://www.inpro-projektiranje.com/reference.html>
- [10] Instalater [online]. (citirano 28. 2. 2018). Dostopno na naslovu: <https://www.instalater.si/prispevek/402/sledenje-soncu>
- [11] Mini Farma [online]. (citirano 21. 2. 2018). Dostopno na naslovu: <http://www.minifarma.hr/proizvod/amig-sarnir-90-65-mod-423-d-l-inox>
- [12] Plan-net Solar (online). (citirano 27. 2. 2018). Dostopno na naslovu: <http://www.plan-net-solar.si/soncne-elektrarne/vrste-soncnih-elektrarn/>
- [13] ResearchGate [online]. (citirano 21. 2. 2018). Dostopno na naslovu: https://www.researchgate.net/figure/Mechanical-structure-for-the-dual-axis-solar-tracker_fig2_315666507

- [14] The energy collective [online]. (citirano 21. 2. 2018). Dostopno na naslovu:
<http://www.theenergycollective.com/sol-systems/2417216/tracking-sun-increasing-popularity-trackers>

8 PRILOGE

8.1 Priloga 1: Program Matlab 1 za izplen energije glede na naklon

```
%% Avtorji: Žiga Klavs, Žiga Maček, Matjaž Cepuš
```

```
% Predmet= Raziskovalna naloga
```

```
% Vaja: Izplen električne energije
```

```
clc
```

```
clear all % izbriše spremenljivke
```

```
close all % zapre vse
```

```
podatki=xlsread('Podatki_PV_sledilnik.xlsx');
```

```
m=podatki(1:12,1); % branje mesecev
```

```
st10=podatki(1:12,2); % izplen 10 stopinj
```

```
st20=podatki(1:12,3); % izplen 20 stopinj
```

```
st30=podatki(1:12,4); % izplen 30 stopinj
```

```
st40=podatki(1:12,5); % izplen 40 stopinj
```

```
st50=podatki(1:12,6); % izplen 50 stopinj
```

```
figure(1); % izris grafa
```

```
subplot(1,2,1);
```

```
plot(m,[st10,st20,st30,st40,st50],'linewidth',1.5);
```

```
grid on;
```

```
xlabel('\it t \rm(mesec)'); % kaj piše na x osi
```

```
ylabel('\it W \rm(MWh)'); % kaj piše na y osi
```

```
axis([1 12 1 6.5]); % limite x in y osi
```

```
title ('Mesečni izplen energije glede na naklon')  
legend ('10st','20st','30st','40st','50st','location','south'); %legenda  
naklon=10:10:50; %podatki za izpis po vrsti  
letni_izplen=podatki(13,2:6);  
  
subplot(122); %izris letni izplen energije glede na mesec  
bar(naklon,letni_izplen); %definiramo osi  
grid on;  
xlabel('\it \alpha \rm(^\circ)'); % kaj piše na x osi  
ylabel('\it W \rm(MWh)'); % kaj piše na y osi  
title ('Letni izplen energije glede na naklon')
```

8.2 Priloga 2: Program Matlab 2 za izplen energije glede na sledilni sistem

```
fiksni=st30;

lf=podatki(13,4); % celotni letni fiksni

enoosni=podatki(19:30,2);

le=podatki(31,2); % celotni letni enoosni

dvoosni=podatki(37:48,2);

dl=podatki(49,2); % celotni letni dvoosni

figure(2); %izris grafa mesečni izplen električne energije z in brez sledilnika
subplot(121);

plot(m,[fiksni,enoosni,dvoosni],'linewidth',1.5);

grid on;

xlabel('\it t \rm(mesec)'); % kaj piše na x osi

ylabel('\it W \rm(MWh)'); % kaj piše na y osi

axis([1 12 1 9]); % limite x in y osi

title ('Mesečni izplen energije z in brez sledilnika')

legend ('fiksni','enoosni','dvoosni','south'); %legenda

%tip=1:1:3

%subplot(122); %izris letni izplen energije glede sledilni sistem

%bar(tip,[lf,le,dl]); %definiramo osi

%grid on;

%xlabel('Vrsta sledilnega sistema'); % kaj piše na x osi

%ylabel('\it W \rm(MWh)'); % kaj piše na y osi
```

```
%title ('Letni izplen energije glede na sledilni sistem')

subplot(122) % letni izplen
bar(1,lf,'b'); hold on % vsavi skupne stroške za posamezne
bar(2,le,'g'); hold on
bar(3,dl,'r'); grid on
xlabel('Vrsta sledilnega sistema'); % kaj piše na x osi
ylabel('\it W \rm(MWh)'); % kaj piše na y osi
set(gca,'XTick',[]); % brez vrednosti na x-osi (samo naslov)
title ('Letni izplen energije glede na sledilni sistem')
legend ('fiksni','enoosni','dvoosni','location','south'); % legenda

%% Odstotki
enoosni=((le/lf)-1)*100
dvoosni=((dl/lf)-1)*100

-----

%Primerjava s fiksnim sistemov
enoosni =

    29.9732

dvoosni =

    41.1811
```


8.3 Priloga 3: Arduino program

```

#include <LiquidCrystal.h>           // knjižnica za LCD-zaslon
double U2,U, I, P, W;               // za merjenje podatkov celice 1
int n;
int n2;
int n3;
char prikaz;
double U22, U21, I2, P2, W2;       // za merjenje podatkov celice 2
double U23, U3, I3, P3, W3;       // za merjenje podatkov celice 3
unsigned long cas_menjave;

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // določitev pinov

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);              // za komunikacijo
  analogReference(INTERNAL);       // referenčna vrednost Arduina

  W = 0;                           // moč celica 1
  W2 = 0;                           // moč celica 2
  W3 = 0;                           // moč celica 3

  prikaz='M';                       // spremenljivka za prikazovanje
  cas_menjave=millis()+2000;        // čas menjave
}

void loop() {

  //---celica1---

  n = analogRead(3);                // merjenje analogne vrednosti
  U2 = n*1.1/1023;                  // pretvorba v napetost (2)
  U = U2*11;                        // pretvorba v napetost (celica)
  I = 1000*U2/4.7;                  // pretvorba tok
  P = U*I/1000;                     // moč celica
  W = W + P*0.5;                    // energija delo celica

  //---celica2---

  n2 = analogRead(4);               // merjenje podatkov
  U22 = n2*1.1/1023;
  U21 = U22*11;
  I2 = 1000*U22/4.7;
  P2 = U2*I2/1000;
  W2 = W2 + P2*0.5;

  //---celica3---

  n3 = analogRead(5);               // merjenje podatkov
  U3 = n3*2.2/1023;
  I3 = U3/0.2;
  P3 = U3*I3/1000;
  W3 = W3 + P3*0.5;

  if (prikaz== 'M')                 // če je spremenljivka aktivna (moč)
  {
    lcd.setCursor(0, 0);            // izpis moči celica 1
    lcd.print(P,3);
    lcd.print("W ");
  }
}

```

```

lcd.setCursor(8, 0);          // izpis moči celice 2
lcd.print(P2,3);
lcd.print("W ");

lcd.setCursor(6, 1);        // izpis moči celica 3
lcd.print(P3,3);
lcd.print("W ");
}

if (prikaz== 'E')          // če je spremenljivka aktivna (energija)
{
  lcd.setCursor(0, 0);      // izpis energije celica 1
  lcd.print(W,3);
  lcd.print("Ws");

  lcd.setCursor(8, 0);      // izpis energije celice 2
  lcd.print(W2,3);
  lcd.print("Ws");

  lcd.setCursor(6, 1);      // izpis energije celica 3
  lcd.print(W3,3);
  lcd.print("Ws");
}

if (millis())>cas_menjave) // menjave med energijo in močjo
{
  if (prikaz== 'M') prikaz= 'E';
  else prikaz= 'M';
  cas_menjave=cas_menjave+2000;
}

// izpis podatkov računalniku pri optimiranju

/*Serial.println("celica1");
Serial.print(U,2);          // izpis podatkov računalniku
Serial.print("V ; ");
Serial.print(I,2);
Serial.print("mA ; ");
Serial.print(P,3);
Serial.print("W ");
Serial.print(W,1);
Serial.println("Ws ");

Serial.println("celica2");
Serial.print(U21,2);        // izpis podatkov računalniku
Serial.print("V ; ");
Serial.print(I2,2);
Serial.print("mA ; ");
Serial.print(P2,3);
Serial.print("W ");
Serial.print(W2,1);
Serial.println("Ws ");

Serial.println("celica3");
Serial.print(U3,2);        // izpis podatkov računalniku
Serial.print("V ; ");
Serial.print(I3,2);
Serial.print("mA ; ");
Serial.print(P3,3);
Serial.print("W ");
Serial.print(W3,1);
Serial.println("Ws ");

```

```
Serial.print(n);  
Serial.print(" ;");  
Serial.print(n2);  
Serial.print(" ;");  
Serial.print(n3);  
Serial.print(" ;");  
Serial.println(millis());  
delay(500);  
*/  
  
}
```