

Solarne elektrane s praćenjem položaja Sunca

Juričan, Mateo

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:121804>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 400/EL/2017

Solarne elektrane s praćenjem položaja Sunca

Mateo Juričan, 5019/601

Varaždin, ožujak 2018. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Elektrotehniku

Završni rad br. 400/EL/2017

Solarne elektrane s praćenjem položaja Sunca

Student

Mateo Juričan, 5019/601

Mentor

Dunja Srpak, dipl.ing., predavač

Varaždin, ožujak 2018. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
PRISTUPNIK	Mateo Juričan	MATIČNI BROJ	5019/601
DATUM	02.06.2017.	KOLEGIJ	Uređaji energetske elektronike
NASLOV RADA	Solarne elektrane s praćenjem položaja Sunca		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Solar power plant with solar tracker

MENTOR	Dunja Srpak	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Miroslav Horvatić, dipl.ing., predavač		
	2. mr.sc.Ivan Šumiga, viši predavač		
	3. Dunja Srpak, dipl.ing., predavač		
	4. Stanko Vincek, struč.spec.el.teh., predavač - zamjenski član		
	5.		

Zadatak završnog rada

BROJ	400/EL/2017
OPIS	

U završnom radu potrebno je opisati rad solarnih elektrana sa fiksno postavljenim solarnim panelima i rad solarnih elektrana sa sustavima za praćenje položaja Sunca. Izraditi maketu elektrane, izvršiti mjerenja i napraviti usporedbu rezultata rada sa i bez praćenja položaja Sunca. Proračunati isplativost ulaganja u sustave za praćenje položaja Sunca na kraće i duže vremensko razdoblje i komentirati dobivene rezultate.

U radu je potrebno:

- opisati komponente solarnih elektrana sa sustavom za praćenje položaja Sunca,
- izraditi maketu sa mogućnošću praćenja položaja,
- izraditi dokumentaciju za upravljački dio (električne sheme, opis rada, popis materijala...),
- analizirati troškove ulaganja u sustave za praćenje i isplativost investicije na duže vremensko razdoblje,
- izvršiti mjerenja pri jednakim vremenskim uvjetima sa i bez praćenja,
- prikazati grafovima izmjerenu snagu u oba slučaja i analizirati dobivene rezultate.

ZADATAK URUČEN

20. 06. 2017.



[Signature]

Predgovor

Zahvaljujem mentorici Dunji Srpak, dipl.ing., na prenijetom znanju, nesebičnoj i velikoj pomoći te kontinuiranoj praćenju procesa nastanka ovog završnog rada. Ujedno zahvaljujem na susretljivosti kod obrane teme i za sve dobronamjerne savjete kojima je učinila ovaj rad uspješnim.

Zahvaljujem svim profesorima Sveučilišta Sjever u Varaždinu te svim profesorima Tehničke škole Čakovec koji su svojim trudom, strpljenjem i entuzijazmom prenijeli svoje znanje kako na predavanjima tako i na laboratorijskim vježbama, te mi omogućili lakše snalaženje oko teme, što je u veliko pomoglo kod izrade ovog završnog rada.

Također se zahvaljujem svojoj obitelji na velikoj i neizmjernoj potpori te pružanju mogućnosti obrazovanja na Sveučilištu Sjever u Varaždinu. Zahvaljujem i svim ostalima kolegama i prijateljima koji su također pripomogli na bilo koji način oko obrazovanja i uspješne izrade ovog završnog rada.

Sažetak

Značajan porast primjene solarne energije doveo je do razvoja moderne tehnologije za iskorištavanje energije Sunca. Ljudi su kroz davninu naučili kako primjenjivati Sunčevu energiju da bi je pretvorili u toplinsku ili neki drugi oblik. Tek nešto kasnije, u novije doba, pojavom fotonaponskih ćelija, Sunčeva energija pretvarala se u električnu. Sunčeva energija uz hidroenergiju i energiju vjetra predstavlja najčišći izvor energije u budućnosti, osobito sada kada je Zemlja zagađena i onečišćena. Direktna pretvorba Sunčeve energije u električnu zasad je neisplativ i neučinkovit način iskorištavanja energije Sunca. Da bi se podignula efikasnost potrebno je povećati stupanj iskoristivosti solarnih panela, a jedan od načina je montiranje solarnih panela na tzv. solarne trackere, tj. sustave za praćenje položaja Sunca. Solarni trackeri fokusiraju solarne panele okomito prema Suncu. Solarni panel koji je montiran na solarni tracker može značajno povećati proizvodnju električne energije u odnosu na fiksno postavljeni solarni panel, od 20% pa do 40% ovisno gdje se nalazi na Zemlji.

Osnovna ideja ovog završnog rada je osmišljavanje, opis i izrada makete sa mogućnošću praćenja položaja Sunca pomoću Arduino Uno razvojne platforme. Razmatranjem ideje završnog rada izrađena je maketa na kojoj se nalazi solarni panel, fotootpornici i dva servo motora. Izrađena maketa je umanjeni prikaz sustava za praćenje položaja Sunca. Fotootpornici su glavni senzori na maketi za praćenje položaja Sunca, njihova glavna uloga je davanje informacija servo motorima kako da pravilno zakreću maketu prema najvećem izvoru svjetlosti.

U posljednjem poglavlju završnog rada razrađena je analiza na temelju dobivenih rezultata mjerenja sa i bez praćenja položaja Sunca i na temelju toga izrađeni su grafovi za bolji uvid u efikasnost sustava za praćenje položaja Sunca.

KLJUČNE RIJEČI: Arduino UNO, mikrokontroler, servo motor, fotootpornik, solarni panel, solar tracker, solarna ćelija, Sunce, Sunčeva energija, fotonaponski efekt, solarna elektrana.

Abstract

A significant increase in using solar energy has brought upon development of modern technologies for using the energy of the Sun. Throughout history, people have found ways how to exploit the Sun, transforming its energy into thermal or other forms. Only in the recent times, with the appearance of photovoltaic cells, have people been able to transform solar energy into electricity. Solar energy, along with hydro and wind energy, represents clean energy sources of the future, especially now, when planet Earth is polluted and contaminated. Direct transformation of solar energy into electricity is momentarily a very inefficient and unprofitable way of using the energy of the Sun. To increase the efficiency, it's necessary to increase the level of useability of the solar cells – one of the ways being the usage of the so-called solar trackers, i.e. systems which track the position of the Sun. Solar trackers focus the solar panels vertically towards the Sun. A solar panel mounted on a solar tracker can significantly increase the production of electricity in comparison to a fixed solar panel, ranging between 20% to 40%, depending on its position on Earth.

The general idea of this final work was devising, describing and making a model which has the possibility to track the position of the Sun, with the help of Arduino UNO development platform. With respect to the idea of the final work, a model was built, which consists of a solar panel, photoresistor and two servo motors. The built model is a scaled down representation of a solar tracking system. Photoresistors are the main sensors on the model, which track the position of the Sun – their main goal is giving information to the servo motors on how to properly rotate the model toward the strongest source of light.

In the last chapter of the final work, an analysis was worked out on the basis of measuring results collected with and without using a solar tracking system. Based on the results, graphs were created for a better insight into the efficiency of a solar tracking system.

KEY WORDS: Arduino UNO, microcontroller, servo motor, photoresistor, solar panel, solar tracker, solar cell, Sun, solar energy, photovoltaic effect, solar power plant

Popis korištenih kratica

AC	(alternating current) izmjenična struja
DC	(direct current) istosmjerna struja
PWM	(pulse-width modulation) pulsno širinska modulacija
Vcc	(positive supply voltage) pozitivni polaritet napona
GND	(ground) uzemljenje
A0	analogni pin (prvi analogni pin Arduina UNO)
D0	digitalni pin (prvi digitalni pin Arduina UNO)
USB	(universal serial bus) univerzalna serijska sabirnica
FN	(fotonaponski sustav)
OIE	(obnovljivi izvori energije)

Sadržaj:

1.	Uvod	1
2.	Sunce	3
2.1.	Sunčeva energija	3
2.2.	Geometrijski položaj Zemlje i Sunca	7
3.	Uvod u fotonaponski sustav	10
3.1.	Fotonaponski efekt	10
3.2.	Solarne ćelije	11
3.2.1.	Početak razvoja solarnih ćelija	11
3.2.2.	Princip rada solarne ćelije	12
3.2.3.	Izrada solarnih ćelija	13
3.3.	Fotonaponski moduli	16
4.	Solarne elektrane	18
4.1.	Osnovna podjela solarnih fotonaponskih sustava	20
4.1.1.	Samostalni fotonaponski sustavi	21
4.1.2.	Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu	23
5.	Sustav za praćenje položaja Sunca	25
5.1.	Vrste solarnih elektrana prema načinu postavljanja solarnih panela	26
5.1.1.	Solarne elektrane s fiksno postavljenim solarnim panelima	27
5.1.2.	Solarne elektrane sa sustavima za praćenje položaja Sunca	29
5.2.	Vrste sustava za praćenje položaja Sunca	33
5.2.1.	Jednoosni sustavi	34
5.2.2.	Dvoosni sustavi	35
5.3.	Ekonomska isplativost	36
5.3.1.	Troškovi ulaganja u sustave za praćenje i isplativost investicije	36
5.4.	Vrste pogona	38
5.4.1.	Aktivni sustavi za praćenje položaja Sunca	38
5.4.2.	Pasivni sustavi za praćenje položaja Sunca	38
5.4.3.	Kronološki sustav za praćenje položaja sunca	39
5.5.	Postavljanje solarne elektrane	40
6.	Praktični dio	41
6.1.	Primjena tehnologije, alati i materijali	41
6.2.	Arduino Uno	43
6.3.	Arduino IDE programsko sučelje	44

6.4.	Servo motor	47
6.5.	Senzori svjetlosti.....	49
6.6.	Solarni panel	50
6.7.	Eksperimentalna i tiskana pločica	51
6.8.	Izrada makete s mogućnošću praćenja položaja Sunca	52
6.8.1.	Izrada postolja za Arduino Uno	52
6.8.2.	Izrada kućišta makete i postolja za solarni panel	53
6.8.3.	Realizacija sustava s mogućnošću praćenja položaja Sunca.....	54
6.9.	Montažna shema elektronike	62
6.10.	Princip rada sustava	63
7.	Rezultati mjerenja	65
7.1.	Analiza rezultata	66
8.	Zaključak	68
9.	Literatura	69
10.	Popis slika:	71
11.	Prilozi	74

1. Uvod

Današnji izvori energije koji se trenutno koriste su nestabilni, prljavi, zagađuju okoliš i planet Zemlju. S vremenom će ti izvori presušiti, s toga je jako bitno da se na vrijeme osigura dovoljno energije iz obnovljivih izvora. Najvažniji obnovljivi izvor energije je Sunce koje ima najveći potencijal i na neki način povezano je sa svim ostalim obnovljivim izvorima. Stoga je bitno razvijati solarnu tehnologiju i poticati proizvodnju iz solarnih fotonaponskih sistema.

Svakodnevna potrošnja električne energije iz godine u godinu se sve više povećava, te je postala jedan od najbitnijih resursa. Nije samo dio strukture, već se ovisnost o električnoj energiji povećava s uvođenjem upotrebe toplinskih pumpi i električnih automobila. S tim se istovremeno u svijetu javlja društvena svijest o pitanju održivog razvoja i samoopskrbe, kao i energetska neovisnost na temelju obnovljivih izvora energije. Obnovljivi izvori energije (OIE) se mogu podijeliti u nekoliko osnovnih skupina, ovisno o njihovoj srodnosti, ne uzimajući u obzir odakle zapravo potječu: energija vjetra, energija vodenih tokova, energija vodika, energija iz biomase, energija iz okoliša i naravno Sunčeva energija.

Sunčeva energija je obnovljiv i neograničeni izvor energije koja potječe od nuklearnih reakcija u središtu Sunca gdje temperatura dostiže i 15 milijuna °C. Sunce u svakom satu odašilje određenu količinu energije prema Zemlji, koja je dovoljna da pokrije sveukupne energetske potrebe čovječanstva u jednoj kalendarskoj godini. [1] Tehnologija korištenja Sunčeve energije ne proizvodi stakleničke plinove koji uzrokuju globalno zatopljenje i ne proizvode radioaktivni otpad.

Posljednjih se godina osobito pažljivo istražuju mogućnosti korištenja nuklearne energije. Od svih novih, nekonvencionalnih izvora energije danas je razvijena jedino tehnologija iskorištavanja energije dobivene cijepanjem (fisijom) teških jezgri, dok tehnologija nuklearne fuzije nije još toliko razvijena. Poput fuzije ni Sunčeva energija još dugo neće postati dominantan energetska izvor. Međutim, za razliku od fuzije, Sunčeva energija se već sada može koristiti u jednostavnijim primjerima i tako se mogu štedjeti drugi izvori energije. [2]

Postoje dva osnovna načina upotrebe Sunčeve energije: pretvorba Sunčeve energije u toplinsku za grijanje i za pripremu potrošne tople vode i pretvorba Sunčeve energije u električnu. Izravna pretvorba Sunčeve svjetlosti u električnu energiju vrši se pomoću solarnih fotonaponskih pretvarača koji se izvide kao fotonaponske ćelije, a mogu biti od: amorfnog silicija, monokristaličnog i polikristaličnog silicija i kadmij-telurida ili bakar-indij-diselenida.

O kutu upada Sunčevih zraka ovisi količina dobivene električne energije. Što Sunčeve zrake padaju okomitije na fotonaponski kolektor to su gubitci manji, a budući da se Zemlja vrti

oko svoje osi i oko Sunca dolazi do promjene kuta upada Sunčevih zraka na površinu Zemlje, odnosno na fotonaponski kolektor. Da se postigne što okomitiji upad Sunčevih zraka potrebno je pratiti kretanje Sunca. [7]

Dragocjena energija se svakog dana sve više i više gubi zbog nepokretnih solarnih sustava i ti gubici mogu dosežati iznos koji je identičan kao i dobivena energija, stoga se sve češće koriste sustavi za praćenje položaja Sunca (*eng. solar tracker*). To su uređaji koji se zakreću da prate kretanje Sunca, i na njima se mogu montirati fotonaponski kolektori. Osnovni dijelovi takvih sustava bit će detaljnije opisani u daljnjem tekstu ovog završnog rada.

2. Sunce

Sunce je središnja zvijezda Sunčevog sustava, planetarnog sustava u kojem se nalazi Zemlja, te izvor gotovo sve raspoložive energije na Zemlji. Promjer Sunca procjenjuje se na 1,39 milijuna kilometara, a masa $1,98 \cdot 10^{30}$ kg, dok njegova udaljenost od Zemlje iznosi 149,5 milijuna kilometara.

Sunce ima oblik velike užarene kugle koje se sastoji od različite smjese plinova te u svom kemijskom sastavu uglavnom sadrži helij (He) i vodik (H), a od ostalih elemenata u njemu se nalaze kisik (O), željezo (Fe), ugljik (C), dušik (N), silicij (Si), neon (Ne), sumpor (S) i magnezij (Mg). Energija sa Sunca do Zemlje dolazi u obliku Sunčevog zračenja. U unutrašnjosti Sunca odvijaju se termonuklearne reakcije prilikom kojih se vodik pretvara u helij uz oslobađanje velikih količina energije koja sa Sunčeve površine odlazi u svemir, najvećim dijelom u obliku elektromagnetskog zračenja i neutrina. Neutrini su električki neutralne elementarne čestice iz skupine leptona, dok su leptoni elementarne čestice na koje ne djeluje jaka sila.

Dio energije dolazi do površine Zemlje i omogućava odvijanje svih procesa i proizvodnju električne energije. Temperatura u jezgri Sunca procjenjuje se na 15 milijuna K (Kelvina), a na površini na 5780 K, te se temperatura uzima kao efektivna temperatura površine Sunca. [3] [9]

2.1. Sunčeva energija

Sve veći interes za alternativne energetske izvore posljednjih se godina uveliko povećao, osobito za Sunčevu (solarnu) energiju. Ljudi su nakon energetske krize 1973. godine postali svjesni problema energije u budućnosti. Da bi se energetska kriza učinila podnošljivom, potrebno je razviti nove izvore energije, djelotvornije iskoristavati energiju i u skladu s tim mijenjati način života i štedjeti energiju. [2]

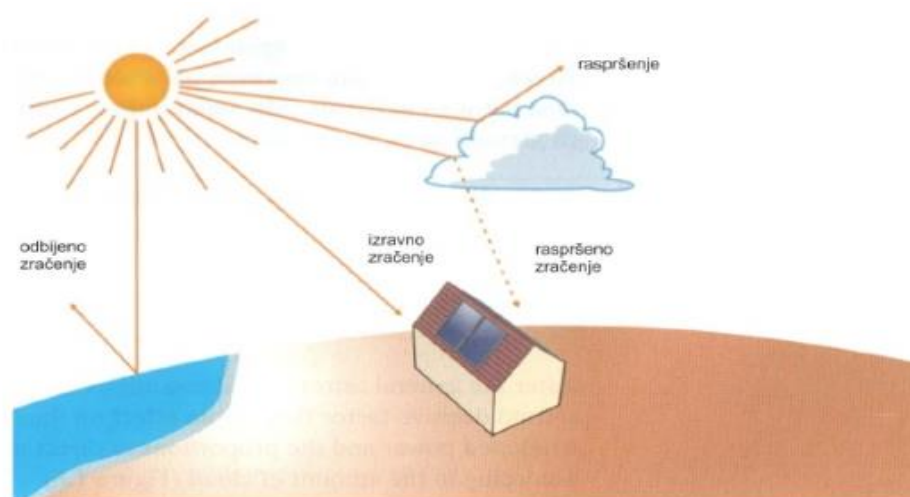
Sunčeva energija je obnovljiv i neograničeni izvor energije od kojeg, izravno ili neizravno, potječe najveći dio drugih izvora energije na Zemlji. U užem smislu podrazumijeva količinu energije prenesenu Sunčevim zračenjem. Jedinica Sunčeve energije je J (Džul), ali se najčešće koristi kWh (kilovatsat). Sunce je glavni izvor elektromagnetskog zračenja koje prolazi atmosferom i neiscrpan je obnovljivi izvor energije. Ono daje energiju koja održava život, pokreće atmosferu i različitim sustavima gibanja oblikuje vrijeme i klimu.

Snaga Sunčevog zračenja koje Sunce emitira u svemir iznosi $3,8 \cdot 10^{26}$ W, od čega samo mali dio stigne na zemlju pod kutom od $0,53^\circ$. Velika je količina energije Sunčevog

zračenja, a do vrha Zemljine atmosfere dolazi samo pola milijarditog dijela emitirane energije, tj. oko $1,7 \cdot 10^{17}$ W. Ta snaga prelazi više od 100 000 puta snagu svih elektrana na zemlji kad rade punim kapacitetom. Dovoljno je manje od jednog sunčanog sata da pokrije cjelokupnu potrebu za energijom gotovo 6,5 milijardi ljudi koji žive na Zemlji. [8]

Sunčevo zračenje je kratkovalno zračenje koje od Sunca stiže na Zemlju. Njegova je jedinica W/m^2 . Ovisno o načinu upada na proizvoljno postavljenu plohu na Zemlji, zračenje može biti: [3]

- izravno (neposredno, direktno): zračenje koje na plohu dolazi bez prethodnog raspršivanja u atmosferi,
- raspršeno (difuzno): zračenje koje na plohu dolazi iz svih smjerova od nebeskog svoda jer nastaje raspršivanjem Sunčevih zraka u Zemljinoj atmosferi,
- odbijeno (reflektirano): zračenje koje na plohu dolazi nakon odbijanja od nekih drugih okolnih ploha.



Slika 2.1. Sunčevo zračenje [35]

Unatoč tome da Sunce samo u jednoj sekundi oslobodi više energije nego što je civilizacija tijekom svojeg razvoja uspjela upotrijebiti, važnost proučavanja energije Sunca i pretvorbe energije Sunčeva zračenja u korisne oblike energije poprima sasvim novu dimenziju s velikom mogućnošću rješavanja problema energetske krize, koja je u svijetu sve prisutnija. [8] Sunčeva energija je energija Sunca, njegova toplina i svjetlost koju ljudi koriste od davnina uz pomoć raznih neposredno napredujućih tehnologija. Sunčeva zračenja, uz sekundarne Sunčeve izvore kao što su energija vjetra, energija valova, hidroenergija i biomasa spadaju u

najčešće dostupne obnovljive izvore energije na Zemlji. Upotrebljava se samo mali dio Sunčeve energije od one koja je na raspolaganju. Sunčeva energija omogućuje proizvodnju električne energije pomoću toplinskih strojeva ili fotonaponskih sustava.

Na slici 2.2. prikazana je godišnja usporedba Sunčevog zračenja na površini Zemlje s godišnjom potrošnjom energija u svijetu, te zaliham fosilnih goriva (ugljen, nafta, plin) i nuklearnih goriva (uran).



Slika 2.2. Godišnja usporedba Sunčevog zračenja na površini Zemlje s godišnjom potrošnjom energije u svijetu, te zaliham fosilnih i nuklearnih goriva [36]

Kao izrazito prihvatljiv obnovljivi izvor energije, Sunčeva energija bi u skorijoj budućnosti mogla postati glavni nositelj ekološki održivog energetskeg razvoja. Stoga se intenzivno istražuju novi procesi i postupci pretvorbe Sunčeve energije u toplinsku, električnu, te u ostale oblike energije. Uzme li se u obzir visoka cijena klasične energije, cijena barela nafte, stogodišnje crpljenje fosilnih izvora energije, te sve stroži ekološki zakoni i propisi, dolazi se do zaključka kako će uz zaštitu okoliša korištenje Sunčeve energije postati posao budućnosti.

Tehnički potencijal Sunčeve energije dio je prirodnog potencijala pri čemu se u obzir uzimaju dostupne tehnologije pretvorbe Sunčeve u druge korisne oblike energije (toplinsku, rashladnu i električnu) i vodi računa o učinkovitosti pretvorbe i fizičkoj raspoloživosti prostora na kojem se solarni pretvornici mogu postaviti. Potencijal energije Sunčeva zračenja koji padne na neku građevinu, slika 2.3., nekoliko je puta veći od potreba takve građevine za energijom. [1]

Danas na tržištu postoje tehnički uređaji i oprema kvalitetne tehničke razine za pretvorbu energije Sunčeva zračenja u električnu ili u neki drugi oblik energije kao što su

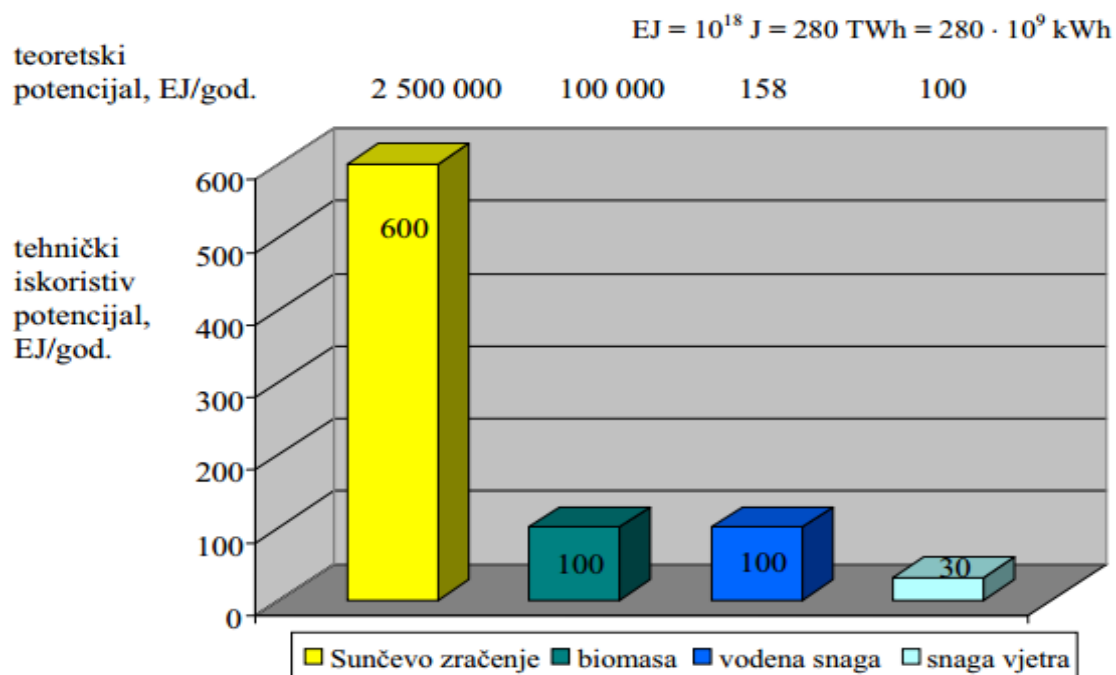
toplinska energija ili energija hlađenja. Time je smanjen uvoz energenata, postignuta je udobnost boravka u takvom objektu, osigurana je opskrba i smanjen je negativni utjecaj na okoliš iz energetskeg sektora.



Slika 2.3. Ogroman potencijal energije Sunčeva zračenja pada na svaku građevinu [8]

Republika Hrvatska, se nažalost, iako je u odnosu na razvijene i gusto naseljene zemlje srednje i sjeverne Europe u mnogo boljem položaju, ne samo zbog mnogo većeg prostora koji je na raspolaganju, nego i zbog 2 do 3 puta veće insolacije (količina energije što je prima Zemlja sa sunčevim zrakama) i značajno povoljnije klime u hladnijem dijelu godine, nalazi na samom dnu Europe po ugrađenom broju takvih sustava.

Teoretski potencijal Sunčeva zračenja od ostalih obnovljivih izvora energije (biomase, vodenih snaga, snage vjetra) značajno je veći. Tehnički iskoristiv potencijal Sunčeve energije, onaj koji se danas tehnički i tehnološki može iskoristiti za pretvorbu energije Sunčeva zračenja u električnu energiju ili neki drugi oblik energije, još je uvijek veći od ukupne svjetske potrošnje energije. (slika 2.4.) [8]

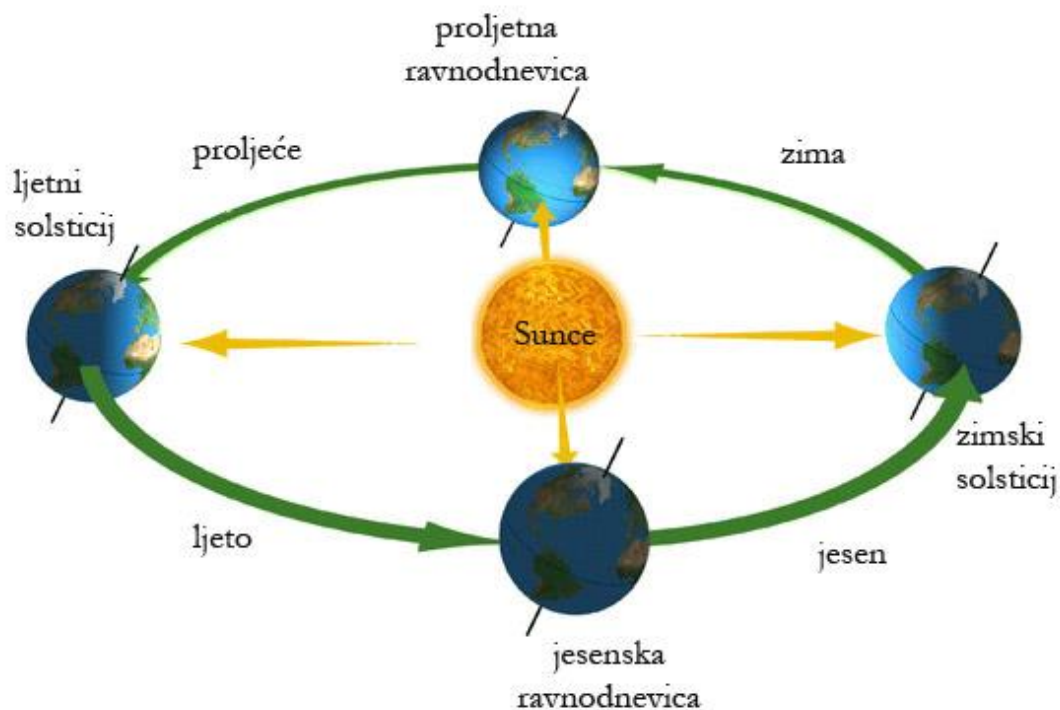


Slika 2.4. Teoretski i tehnički potencijal obnovljivih izvora energije [8]

2.2. Geometrijski položaj Zemlje i Sunca

Uvjeti pod kojima Sunčevo zračenje pada na plohe na površini Zemlje proizlaze iz prividnog kretanja Sunca na nebeskom svodu. Ono je posljedica rotacije Zemlje oko Sunca, što uzrokuje izmjenu godišnjih doba, i vlastite rotacije Zemlje oko polarnih osi simetrije u smjeru sjever-jug, što uzrokuje izmjenu dana i noći. Zemlja rotira oko Sunca po eliptičnoj putanji (ekliptici), koja je vrlo malog ekscentriciteta ($e = 0,0167$), pri čemu velika os elipse iznosi 149 680 000 km, a mala 149 660 000 km pa je elipsa osvojem oblikom vrlo slična kružnici. Ekscentricitet se koristi za opisivanje putanji nebeskih tijela.

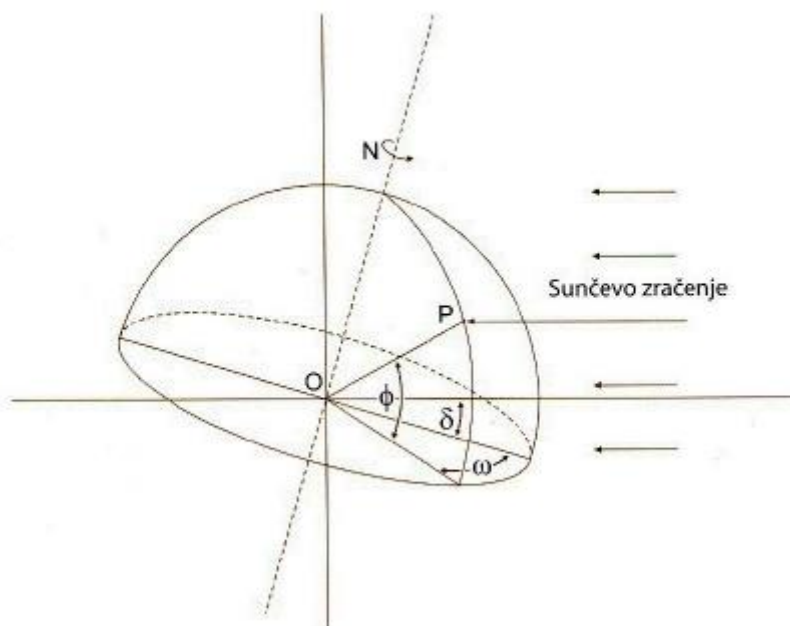
Geometrijski položaj Zemlje i Sunca te prividnog kretanja Sunca na obzorju (linija koja dijeli Zemlju od neba) može se pri tome predložiti na tzv. celestijalnoj kugli, čije središte je u središtu Zemlje, a polumjer odgovara udaljenosti od Zemlje do Sunca. [3]



Slika 2.5. Kretanje zemlje oko Sunca [37]

Položaj Sunca u odnosu na promatrača na Zemljinoj površini može se opisati s tri osnovna kuta prikazana na slici 2.6.:

- **zemljopisna širina (φ)** – kutna udaljenost promatrača od ekvatora prema sjeveru ili jugu,
- **deklinacija Sunca (δ)** – kutna udaljenost spojnice središta Zemlje i središta Sunca i ekvatorijalne ravnine, odnosno kutna udaljenost točke u kojoj je Sunce trenutno u zenitu i ekvatora,
- **satni kut Sunca (ω)** – vrijeme izraženo kutom, odnosno kut projekcije na ekvatorijalnu ravninu linije koja spaja centar Sunca i centar Zemlje i linije koja spaja centar Zemlje i promatranu točku.



Slika 2.6. Zemljopisna širina, deklinacija Sunca i satni kut Sunca u odnosu na promatrača na Zemljinoj površini [38]

Iz ta tri osnovna kuta određuju se i sve ostale veličine koje opisuju prividno kretanje Sunca na nebu:

- **visina ili elevacija Sunca (γ_s)** - kut između središta Sunčevog diska i vodoravne ravnine,
- **azimut Sunca (α_s)** – kut između projekcije Sunčeve zrake na vodoravnu plohu i smjera sjever-jug u vodoravnoj ravnini.
- **Upadni kut Sunčevog zračenja (θ)** – kut između Sunčevih zraka i okomice na plohu.

3. Uvod u fotonaponski sustav

3.1. Fotonaponski efekt

Pojam „fotonaponsko“ („*photovoltaic*“) dolazi od Grčke riječi $\phi\omega\varsigma$ (*phōs*) što znači „svjetlost“, i „volt“, od imena talijanskog fizičara Alessandra Volta, što znači električno, po kojemu je jedinica elektromotorne sile, volt, dobila ime. Termin *photovoltaic* prvi puta je upotrijebljen krajem 19. stoljeća. U izravnom prijevodu pojam *photovoltaic* znači „struja iz svjetla“ i upravo takav prijevod najbolje opisuje princip rada fotonaponskih (PV) ćelija – pretvaranje energije Sunčevog zračenja u električnu energiju putem fotonaponskog efekta. [10]

Edmond Becquerel (1820.-1891.), bio je francuski fizičar koji se bavio proučavanjem Sunčeve svjetlosti, magnetizma, optike i elektriciteta. Godine 1839. otkriva fotonaponski efekt, na čemu se temelji princip rada solarne ćelije. Imao je samo 19 godina kada je to učinio u laboratoriju svog oca, uglednog znanstvenika koji je radio na području elektrokemije, fiziologije, meteorologije i poljoprivrede. On je taj efekt opisao kao proizvodnju električne struje kada se dvije ploče zlata ili platine urone u kiselu, neutralnu ili lužnatu otopinu te izlože Sunčevu zračenju.

Godine 1868. Edmond Bacquerel objavio je važan rad pod naslovom „Svjetlost, njezino porijeklo i njezini efekti“. U to vrijeme njegovo otkriće nije probudilo prevelik interes, ali nije bilo zaboravljeno sve do danas, kad je na 150. godišnjicu Europska unija ustanovila nagradu koja nosi njegovo ime i dodjeljuje se jedanput godišnje za najistaknutiji doprinos razvoju fotonaponske pretvorbe Sunčeve energije. Više od 40 godina prošlo je nakon njegova otkrića da bi tek 1883. godine Charls Fritts načinio prvu solarnu ćeliju izgrađenu od selenija sa tankim slojem zlata te tako ostvario potencijalnu barijeru na kontaktu metal-poluvodič. [8]

3.2. Solarne ćelije

3.2.1. Početak razvoja solarnih ćelija

Prvu solarnu ćeliju (silicijevu) čija je djelotvornost pretvorbe bila samo ispod 1% otkrio je Russel Ohl 1941. godine. Skupina istraživača (Darly Chapin, Calvin Souther i Gerald Pearson) u Bell laboratoriju u New Yorku 1954. godine izradila je silicijevu ćeliju s učinkovitošću od 6% i prvi solarni modul pod imenom Bellova solarna baterija.

Prvu komercijalnu primjenu 1958. godine solarne ćelije nisu našle na Zemlji, nego u svemirskim istraživanjima na satelitima. Tu je njihova cijena bila prihvatljiva, u odnosu na sve ostale visoke troškove. Svi sateliti i svemirski brodovi opskrbljeni su silicijevim solarnim ćelijama (slika 3.1.). Tek je energetska kriza 70-ih godina „prizemljila“ te uređaje i tada se uočilo da ne postoje neograničene zalihe fosilnih goriva te da treba potražiti i razviti nove, obnovljive energetske izvore.



Slika 3.1. Svemirski satelit opskrbljen solarnim ćelijama [39]

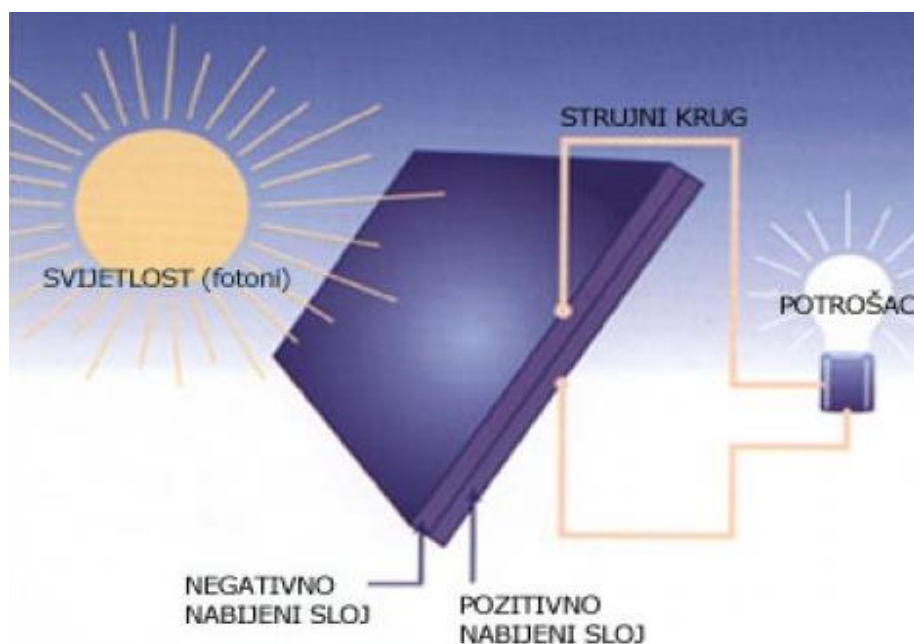
Usprkos znatnijim investiranjima u proučavanje i razvoj solarne fotonaponske tehnologije, danas je cijena solarnih ćelija, odnosno fotonaponskih sustava, visoka i oni su prodajno konkurentni drugim klasičnim izvorima električne struje samo u određenim područjima primjene, tj. na mjestima gdje nema u blizini električne mreže. Vodeći svjetski energetičari procijenili su da će fotonaponska tehnologija u 21. stoljeću, zbog opadanja dostupnih zaliha konvencionalnih goriva, dominirati u zadovoljavanju potrebe za električnom energijom. [8]

3.2.2. Princip rada solarne ćelije

Princip rada solarnih ćelija temelji se na fotonaponskom efektu: kad se Sunčevo zračenje apsorbira u solarnoj ćeliji na njezinim krajevima se pojavljuje elektromotorna sila (napon) tako da se ćelija obasjana Sunčevim zračenjem može koristiti kao izvor električne energije.

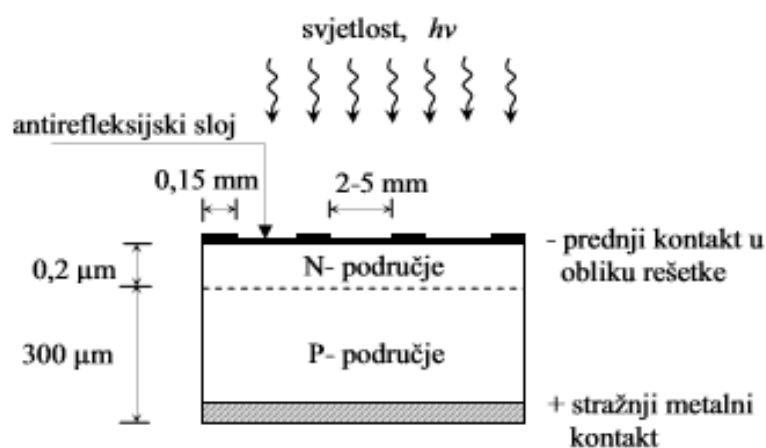
Kod praćenja apsorpcije i emisije Sunčeva zračenja (elektromagnetskih valova) zračenje se može promatrati kao snop čestica, tzv. fotona. Za proračun fotostruje solarne ćelije potrebno je poznavati tok fotona koji upadaju na ćeliju. Fotoni su čestice bez naboja koje se gibaju brzinom svjetlosti i svaki foton nosi određenu količinu energije. [8]

Kontakt na P-dijelu postaje pozitivan, a na N-dijelu negativan. Ako su kontakti ćelije spojeni s vanjskim trošilom poteći će električna struja.



Slika 3.2. Princip rada solarne ćelije [40]

U silicijevoj su solarnoj ćeliji na površini pločice P-tipa difundirane primjese (npr. fosfora) tako da na tankom površinskom sloju nastane područje N-tipa poluvodiča. Na prednjoj površini ćelije nalazi se metalna rešetka koja ne zauzima puno prostora tako da gotovo i ne utječe na apsorpciju Sunčeva zračenja, a stražnja strana ćelije pokrivena je metalnim kontaktom. Prednja strana površine može se prekriti prozirnim antirefleksijskim slojem da bi se povećala djelotvornost ćelije i tako smanjuje refleksiju Sunčeve svjetlosti. Solarna ćelija postaje poluvodička dioda, odnosno PN-spoj kada se na njezinim krajevima pojavljuje elektromotorna sila (napon) i ponaša se kao ispravljački uređaj koji propušta struju samo u jednom smjeru. [2]



Slika 3.3. Silicijeva solarna ćelija [8]

3.2.3. Izrada solarnih ćelija

Danas je znatno ubrzan tehnološki napredak u istraživanju materijala za izradu samih ćelija i pronalasku novih koncepata i procesa njihove proizvodnje. Silicij je osnovni materijal za izradu solarnih ćelija kojeg ima mnogo u Zemljinoj kori (najzastupljeniji nakon kisika, udjelom 28%). Apsolutno dominira, s udjelom od oko 98%, i to pretežno u tehnologiji kristalnog silicija. Sama proizvodnja solarnih ćelija vrlo je skupa. Cijena proizvodnje solarnih ćelija različita je za amforne, polikristalne i monokristalne. Amforne solarne ćelije su najjeftinije i u njima se kristalizacija molekula silicija odvila na prirodan način i rezultat je solarna ćelija koja ima stupanj djelovanja maksimalno 6%. Nešto skuplje, polikristalne ćelije, ostvaruju stupanj djelovanje od 11 do 14%. Uglavnom prevladava tehnologija proizvodnje monokristalnog silicija dobivenog tehnologijom lebdeće zone. Monokristalne ćelije ostvaruju djelovanje, između 12 i 16%. U sva tri slučaja radi se o dosta malom stupnju djelovanja pri energetske pretvorbi koja se zbiva u ćelijama. Danas se na tržištu mogu naći različite silicijeve

solarne ćelije, različitih boja i dimenzija. Uobičajene su dimenzije $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$, $12,5 \times 12,5\text{ cm}$, $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$, $21\text{ cm} \times 21\text{ cm}$.



Slika 3.4. Monokristalne solarne ćelije [41]

Izrada solarnih ćelija je dosta složen tehnološki proces, pa je u skladu s tim i cijena solarnih ćelija dosta visoka. Međutim, posljednjih godina cijena solarnih ćelija je u padu, a karakteristike u laboratorijskim ispitivanjima im se podižu. Da bi cijena solarnih ćelija bila prihvatljivija potrebno je pojednostaviti s jedne strane njihovu izradu, a s druge strane koristiti druge, jeftinije materijale.



Slika 3.5. Postupak proizvodnje solarnih ćelija i solarnog modula [8]

Na slici 3.5. prikazan je postupak, u važnijim fazama, proizvodnje solarnih ćelija. Također je i prikazan postupak montaže solarnih ćelija u solarni modul i na koncu primjena solarnih modula, npr. postavljanje solarnih modula na krov neke kuće, kao dio fotonaponskog sustava za dobivanje električne energije. [8]

U modernije vrijeme pojavile se tehnički naprednije visoko djelotvorne solarne ćelije, tzv. koncentrirajuće solarne ćelije. Takve ćelije se obično ugrađuju u fotonaponske sustave koji prate kretanje Sunca (*eng. Tracking System*), a stupanj djelovanja im je oko 35%, dok je stupanj djelovanje modula 25%. (slika 3.6.). [8]



Slika 3.6. Fotonaponski sustav koji prati kretanje Sunca [42]

3.3. Fotonaponski moduli

Element koji nastaje međusobnim povezivanjem više fotonaponskih ćelija naziva se fotonaponski modul. Pri tome ćelije se mogu međusobno spojiti serijski u niz ili paralelno u podmodul. Fotonaponski moduli proizvode istosmjernu struju i to obično s naponom od 12 ili 24 V. Na slici 3.7. prikazani su fotonaponski moduli različitih dimenzija s različitim brojem fotonaponskih ćelija. [6]



Slika 3.7. Fotonaponski moduli različitih dimenzija s različitim brojem solarnih ćelija [43]

Bitan razlog za povezivanje fotonaponskih ćelija u module je postizanje puno veće izlazne snage u odnosu na snagu koju bi omogućila pojedina ćelija. Osim toga, njihovim se električnim spajanjem i fizičkim povezivanjem u modul značajno poboljšavaju korisna svojstva kao što su jednostavnost rukovanja, postavljanja i održavanja, te otpornost na vanjske utjecaje. Bitno je spomenuti kako fotonaponski moduli nemaju pokretnih dijelova što je prednost u odnosu na npr., vjetroturbine. Modul bi trebao biti jednostavan za ugradnju i dostupan cijenom, a istovremeno bi trebao imati što veću iskorištenost površine uz što manju masu i adekvatan dizajn. [6]

Nekoliko zahtjeva za postavljanje fotonaponskih modula:

- mehanička stabilnost,
- postojanost prema utjecajima iz neposredne okoline kao što su vremenski utjecaji (padaline, vlažnost, udari vjetra i sl.), mehanička oštećenja,
- stabilnost u području temperatura od -50 do +90 °C
- otpornost na ultraljubičasto zračenje,
- sigurnost od strujnog udara i drugih opasnosti vezanih uz primjenu električne energije.

4. Solarne elektrane

U elektranama se proizvodi električna energija. Elektrane su postrojenja u kojima se neki prirodni ili pretvorbeni oblik energije (nuklearna, kemijska, kinetička, potencijalna ili energija Sunčevog zračenja) pretvara (transformira) u električnu energiju. Proizvodnju električne energije trebali bi stoga zvati pretvorbom nekog oblika energije u električni oblik, a odgovarajuća postrojenja – postrojenjima za pretvorbu energije u električni oblik. Elektrane služe za masovnu proizvodnju električne energije koju putem električne mreže, prenose i distribuiraju do svakog potrošača. Temeljna karakteristika svake elektrane je njezina instalirana snaga koja se dobije kao aritmetički zbroj naznačenih prividnih snaga s natpisnih pločica generatora u (MVA) ili nazivnih snaga primarnih pogonskih strojeva u (MW). Instalirana snaga je istovremeno i nazivna snaga elektrane. Elektrane mogu biti manjih snaga (nekoliko desetaka megavata), srednjih snaga i velikih snaga (od nekoliko stotina megavata pa do nekoliko tisuća megavata). Elektrane srednjih snaga mogu biti od par stotina megavata; ta granica nije čvrsta. Za velike elektroenergetske sustave je par stotina megavata srednja veličina, a za male sustave to je već velika mjera.

Solarne elektrane su postrojenja u kojima se solarna energija pretvara u toplinsku, a zatim u električnu energiju. U elektroenergetske svrhe Sunčevo zračenje može se koristiti na dva načina: za proizvodnju topline putem Sunčevih apsorbera ili za izravnu pretvorbu u električnu energiju pomoću fotonaponskih ćelija, fotoćelija.

Danas u svijetu ima dosta primjera većih fotonaponskih solarnih elektrana, odnosno postrojenja za masovnu proizvodnju električne energije. Neki od primjera su: fotonaponski sustav Perovo u Ukrajini, kapaciteta 100 MW, čiji je vlasnik Activ Solar i solarna elektrana Topaz u Kaliforniji snage 500 MW, elektrana se nalazi u općini San Luis Obispo. Znatno češće se fotonaponski solarni moduli instaliraju u kućanstva ili neke javne ustanove gdje se obavlja proizvodnja električne energije manjih iznosa. Njihova primjena je osobito značajna za opskrbu manjim količinama električne energije objekata do kojih ne dopire javna električna mreža ili je na drugi način otežan priključak na mrežu. Primjeri su: parkirališni automati (slika 4.2.), telefonske govornice duž autoputeva, radio-prijem u udaljenim vikendicama ili planinarskim kućama. [5]



Slika 4.1. Solarna elektrana Topaz u Kaliforniji [44]

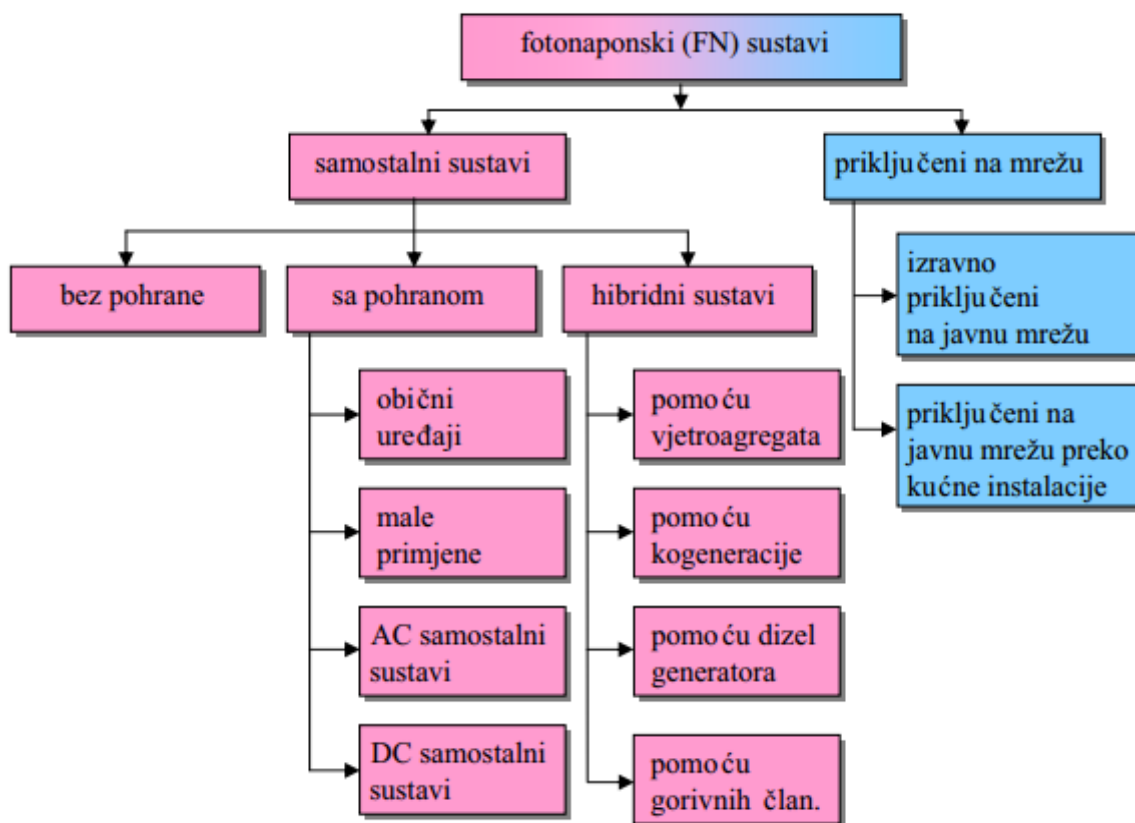


Slika 4.2. Parkirališni automati sa solarnim modulima [45]

4.1. Osnovna podjela solarnih fotonaponskih sustava

Solarni fotonaponski sustavi (FN) mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine:

- Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (*off grid*), takozvani samostalni, otočni ili autonomni sustavi.
- Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu, takozvani mrežni sustavi (*on grid*).



Slika 4.3. Osnovna podjela fotonaponskih sustava [8]

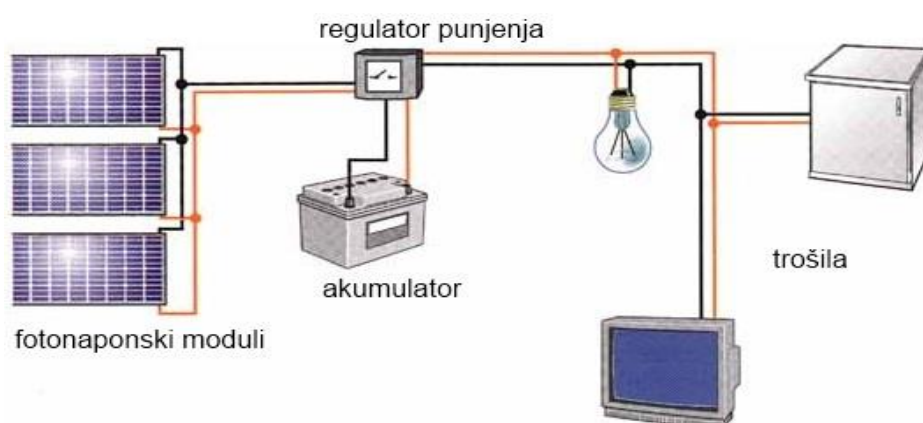
4.1.1. Samostalni fotonaponski sustavi

Samostalni fotonaponski sustavi, odnosno sustavi koji nisu priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (individualne zgrade, vikendice, kampovi, izolirani objekti na otocima ili planinama, mala seoska naselja), su sustavi u kojima proizvedena električna energija služi za pokrivanje potreba potrošača. Mogu biti sa ili bez pohrane energije, što će ovisiti o načinu potrošnje energije i o vrsti primjene.

Proizvodnja električne energije u svakom elektroenergetskom sustavu uvijek mora odgovarati njezinoj potrošnji, a kako kod samostalnih fotonaponskih sustava to pretežno nije slučaj, oni se opremaju spremnikom energije, odnosno akumulatorima.

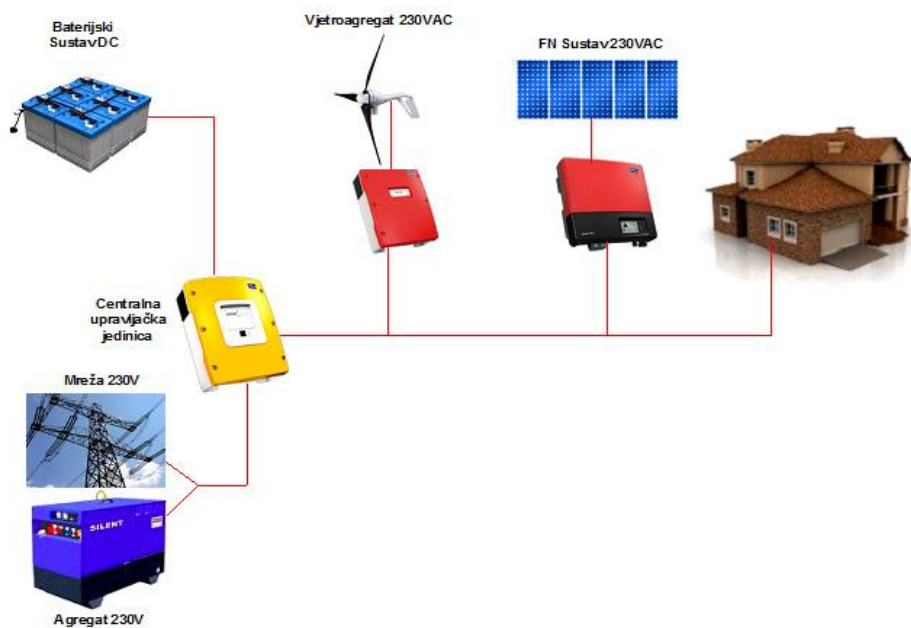
Samostalni fotonaponski sustavi mogu proizvoditi istosmjernu struju (DC) (Slika 4.4.) ili izmjeničnu (AC) struju uz upotrebu izmjenjivača. Sastavni dijelovi autonomnih sustava su: fotonaponski moduli (obično spojeni paralelno ili serijski-paralelno), akumulator, regulator punjenja, trošila, izmjenjivač (ako trošila rade na izmjeničnu struju). [4]

Samostalni sustavi izvide se najčešće s fiksnim solarnim generatorom, te jednoosnim ili dvoosnim sustavom za praćenje prividnog kretanja Sunca. Ako su fotonaponski moduli fiksni onda se postavljaju pod nekim kutom (idealni kut je oko 30°). Investicijski troškovi su puno manji kod takvih sustava u odnosu na sustave s praćenjem Sunca, ali i proizvodnja električne energije je i do 40% manja u odnosu na sustav s dvoosnim praćenjem prividnog kretanja Sunca. Kod takvih sustava s praćenjem Sunca troškovi su puno veći u odnosu na one bez praćenja, pa treba pronaći povoljno rješenje za neku lokaciju.



Slika 4.4. Samostalni fotonaponski sustav za trošila na istosmjernu struju [46]

Hibridni fotonaponski sustavi nastaju povezivanjem samostalnih fotonaponskih sustava s drugim alternativnim izvorima kada Sunčevo zračenje nije dovoljno za proizvodnju električne energije. Mogu biti povezani u sklopu s vjetroagregatima, hidrogeneratorima, pomoćnim plinskim ili dizelskim agregatima. Njihova prednost u odnosu na samostalne fotonaponske sustave je veća garancija i raspoloživost isporuke električne energije, te mogućnost da se kao spremnici električne energije koriste manji kapaciteti akumulatora. [26]



Slika 4.5. Hibridni fotonaponski sustav [47]

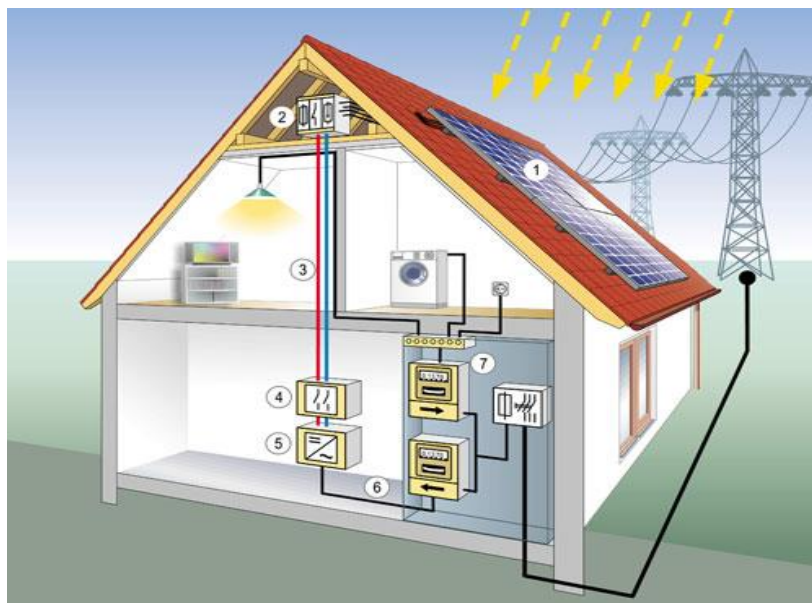
4.1.2. Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili umreženi fotonaponski sustavi su oni u kojima se proizvedena električna energija koristi za pokrivanje potreba objekta na kojem se sustav nalazi (kuće, zgrade i sl.). Mogu biti izravno priključeni ili mogu biti priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije. Umreženi sustavi moraju biti opremljeni izmjenjivačem koji pretvara istosmjernu struju solarnog generatora u izmjeničnu, sinkroniziranu s naponom i frekvencijom mreže. Primjenom takvih sustava otklonjen je nedostatak samostalnih fotonaponskih sustava, a to je nemogućnost usklađivanja proizvodnje i potrošnje električne energije (korištenje skupih akumulatora). Javna elektroenergetska mreža ima uloga spremnika električne energije kod takvih sustava. Kad je u solarnom generatoru proizvodnja električne energije veća od potrebe objekta, višak se dostavlja u mrežu, a kad je proizvodnja nedovoljna za pokrivanje potreba objekta energija se uzima iz mreže. Nedostatak umreženih sustava je vezan uz pretvorbu istosmjerne u izmjeničnu struju, npr. usklađivanje frekvencija, faza i napona na izlazu izmjenjivača s vrijednostima iz mreže.

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu mrežu preko kućne instalacije (Slika 4.6.) pripadaju distribuiranoj proizvodnji električne energije i omogućuju povezivanje distribuiranih sustava na centralizirane sustave, sustave priključene na niskonaponsku razinu elektroenergetskog sustava. [8]

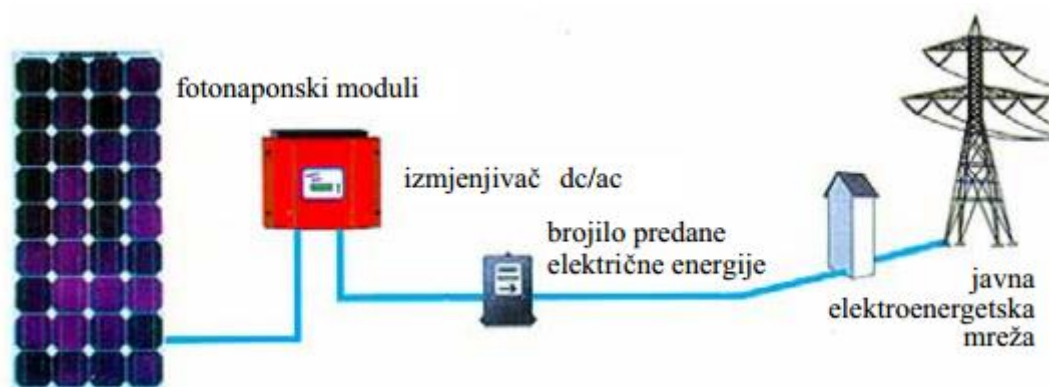
Sastavni dijelovi fotonaponskog sustava, priključenog na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije su:

1. fotonaponski moduli
2. spojna kutija sa zaštitnom opremom
3. kablovi istosmjernog razvoda
4. glavna sklopka za odvajanje
5. izmjenjivač DC/AC
6. kablovi izmjeničnog razvoda
7. brojila predane i preuzete električne energije.



Slika 4.6. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije [48]

Fotonaponski sustavi izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (Slika 4.7.) svu proizvedenu električnu energiju izručuju u elektroenergetski sustav. Ti sustavi se instaliraju na većim površinama i za njih je karakteristična veća snaga. Obično zahtijevaju od 30 do 40 m^2 površine za jedan kW snage. [8]

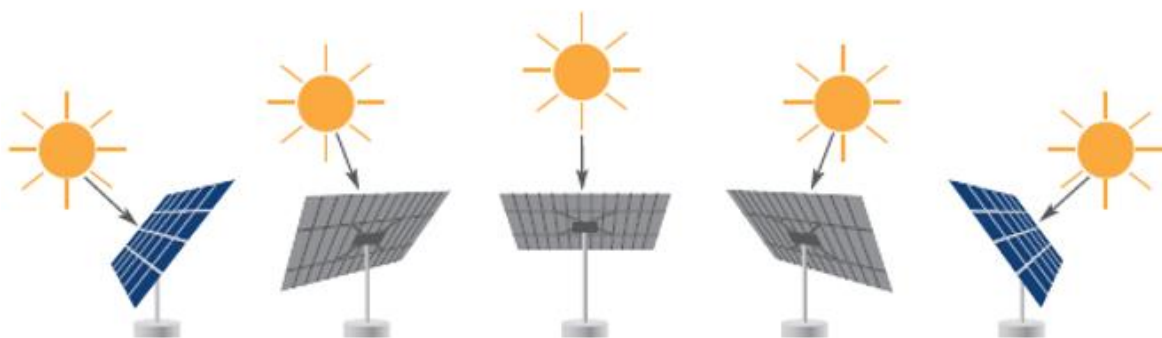


Slika 4.7. Fotonaponski sustav izravno priključen na javnu elektroenergetsku mrežu [8]

5. Sustav za praćenje položaja Sunca

Sustav za praćenje položaja Sunca je uređaj za usmjeravanje fotonaponskih panela, koncentrirajućih solarnih reflektora, leća ili drugih optičkih uređaja izravno prema Sunčevu zračenju. U ravnim fotonaponskim panelima (PV), sustavi za praćenje položaja Sunca se koriste kako bi smanjili kut upadanja između nadolazeće zrake svijetlosti i samog fotonaponskog panela. Time se količina energije proizvedena iz fiksne instalirane snage pogonskih uređaja povećava. Koncentrirajući sustavi iziskuju visok stupanj točnosti da bi osigurali da je koncentrirano Sunčevo zračenje usmjereno izravno na solarnu ćeliju, koja je na (ili u blizini) žarišne točke solarnog reflektora ili leće. Za razliku od koncentrirajućih sustava, ne-koncentrirajući sustavi ne zahtijevaju visok stupanj točnosti, i sustav za praćenje položaja Sunca nije potreban, ali može značajno doprinijeti i utjecati na količinu proizvedene energije. [12]

Udio energije koja se može iskoristiti povećava se pomicanjem površine fotonaponskog panela da prati kretanje Sunca. U danima s visokom insolacijom i velikom izravnim Sunčevom zračenju, sustav praćenja položaja Sunca omogućuje relativno veliki prinos. Ljeti, sustav za praćenje postiže oko 50% više zračenja tijekom sunčanih dana, a zimi, 300% ili više, u usporedbi s vodoravnom površinom. Velika većina dobivene energije pri korištenju sustava za praćenje položaja Sunca postiže se tijekom ljeta. [34]



Slika 5.1. Sustav za praćenje položaja Sunca [49]

Sustavi za praćenje položaja Sunca u usporedbi sa fotonaponskim ćelijama relativno su jeftini i to ih čini posebno učinkovitima za fotonaposne sustave sa visokim stupnjem iskoristivosti. Većina sustava za praćenje položaja Sunca treba pregled i podmazivanje na godišnjoj bazi, a sustav najučinkovitije radi ako se položaj sezonski prilagođava. [12]

5.1. Vrste solarnih elektrana prema načinu postavljanja solarnih panela

Idealan položaj solarnih panela kod sustava za praćenje položaja Sunca ili kod fiksno postavljenih solarnih panela podrazumijeva onaj položaj pri kojemu je količina Sunčevog zračenja koja dospijeva do panela najveća moguća.

Solarne elektrane se uglavnom dijele prema načinu postavljanja solarnih panela na:

- solarne elektrane s fiksno postavljenim solarnim panelima,
- solarne elektrane sa sustavima za praćenje položaja Sunca.

5.1.1. Solarne elektrane s fiksno postavljenim solarnim panelima

Solarne elektrane s fiksno postavljenim solarnim panelima su one koje nemaju mogućnost praćenja položaja Sunca. To su najčešće sistemi koji su pričvršćeni, odnosno fiksirani na krovove kuća, zgrada i sl. (slika 5.2.) Njihov stupanj iskorištenja je manji nego kod sistema koji imaju mogućnost praćenja Sunca, ali ipak se primjenjuju.



Slika 5.2. Fiksno postavljeni solarni paneli na krovu kuće [50]

Na slikama 5.3. i 5.4. prikazana je fotonaponska elektrana FNE Orahovica 1 koja se nalazi na području Virovitičko-podravske županije, u gradu Orahovici. Elektrana je izvedena korištenjem polikristalne fotonaponske tehnologije visoke učinkovitosti, a solarni paneli postavljeni su na statičnu fiksnu konstrukciju. Ukupno je ugrađeno 2.000 fotonaponskih modula na površini od 15.000 m². Elektrana je opremljena centralnim pretvaračima napona (inverterima) koji također prikupljaju sve podatke o proizvodnji i omogućuju daljinsko upravljanje i očitavanje podataka. Elektrana je kompletno automatizirana, te se gotovo sve operacije i kontrole, kao npr. praćenje proizvodnje, mogu obavljati daljinskim putem. [13]



Slika 5.3. Fotonaponska elektrana FNE Orahovica 1 [13]



Slika 5.4. Fotonaponska elektrana FNE Orahovica 1 [13]

Kod solarnih elektrana s fiksno postavljenim solarnim panelima vrlo je bitan nagib površine panela β , to je kut između površine solarnog panela i vodoravne ravnine, odnosno tla. Budući da deklinacija varira kroz godinu, sukladno tome mijenja se i najprikladniji kut kod fiksne konstrukcije. Pomoću jednadžbe kojom se predvidi položaj Sunca odredi se najprikladniji kut (jednadžba 1). Kod solarnih elektrana s fiksno postavljenim solarnim panelima važno je da su paneli okrenuti prema jugu i pod optimalnim nagibom od oko 30° . Takva orijentacija je dobra ljeti, jer tada Sunčeve zrake, kad je Sunce najviše, padaju okomito na solarne panele.

Fiksno postavljeni solarni paneli su pogodni za konstrukciju na krovove kuća, koji su orijentirani prema jugu i imaju naklon krovišta oko 30°. Odgovarajući objekti za konstrukciju takvih solarnih panela su stambene zgrade, javni objekti, krovovi tvornica posebice zbog njihovih velikih krovnih površina.

$$\beta = \varphi - \delta \quad (1)$$

δ	[°]	deklinacija
φ	[°]	zemljopisna širina

5.1.2. Solarne elektrane sa sustavima za praćenje položaja Sunca

Solarne elektrane sa sustavima za praćenje položaja Sunca (tracker solarna elektrana) tip je elektrane sa solarnim panelima koji su postavljeni na već spomenute trackere (sustav u kojem solarni paneli prate položaja Sunca i orijentiraju se automatski) kako bi učinkovitost prikupljanja Sunčeve energije bila što veća. Elektromotori osiguravaju da su solarni paneli uvijek postavljeni u optimalnom položaju u odnosu na Sunčeve zrake i upravo zbog toga njihova je efikasnost veća u odnosu na solarne elektrane s fiksno postavljenim solarnim panelima. Ako je kut pod kojim pada Sunčevo svjetlo na solarni panel previsok ili prenizak, solarna elektrana ne iskorištava svoj puni kapacitet što znači da ne proizvodi toliko energije koliko bi se moglo jer Sunčeve zrake ne padaju pod pravim kutom na solarne panele. Kroz dan Sunce se pomiče od istoka prema zapada, dok visina Sunca ovisi o godišnjem dobu, pa je tako zimi Sunce puno bliže Zemlji u odnosu na ljeto. Nedostaci ovog sustava su prije svega veća potreba ulaganja u samu izgradnju, ali i redovito održavanje samog sustava kao što je podmazivanje pokretnih dijelova.

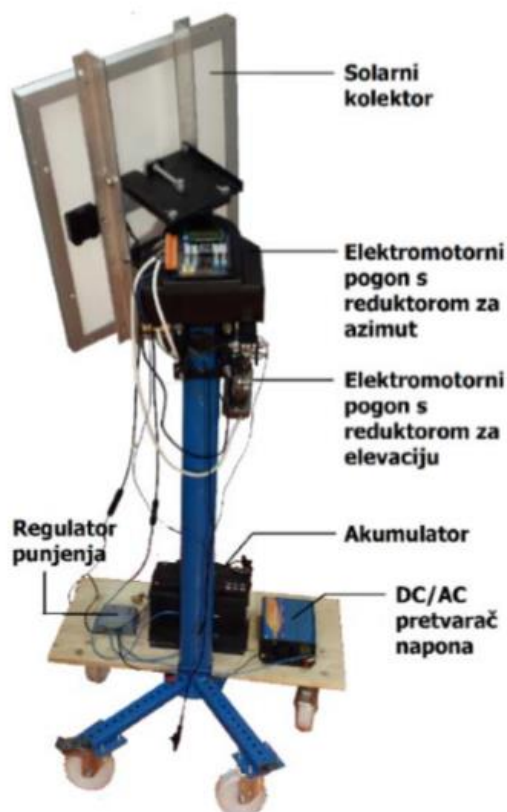
Osnovni dijelovi sustava za praćenja položaja Sunca su upravljačka elektronika, senzori za detektiranje pozicije sunca, motori koji zakreću fotonaponske panele i mehanička nosiva konstrukcija.

Nosiva konstrukcija omogućuje pričvršćivanje fotonaponskih ploča na željeni dio kao npr. na zgradu, kuću ili zemljište i osigurava odgovarajuće usmjerenje solarnih ćelija. Postoje nosive konstrukcije za kose krovove, ravne krovove i nosive konstrukcije na zemlji. Kod nosivih konstrukcija za kose krovove montažni sustavi fotonaponskih modula integrirani na krovove najprihvatljiviji su cijenom, ali kut nagiba modula odgovara kutu nagiba krova. U slučaju malih nagiba koji iznose manje od 10° postoje sustavi koji se integriraju na krovnu

površinu s određenim dodatnim kutom nagiba. Krovovi koji maju nagib veći od 60° prema horizontalnoj površni sustavi se ne montiraju. Kod nosivih konstrukcija za ravne krovove površine se ostvaruju bez dodatnih većih građevinskih radova. Nosači fotonaponskih modula su prilagođeni vremenskim prilikama u kojima je fotonaponska elektrana instalirana (jaki udari vjetra, težina snijega, prenaponska zaštita.) Fotonaponski moduli mogu biti postavljeni i na zemlju gdje također postoje mogućnosti od jakih udara vjetra na tom području, ali za razliku od sustava koji su integrirani na krovove, ovdje se može osigurati optimalan položaj modula u odnosu na Sunce.

Zakretanje fotonaponskih panela može se bazirati na osnovi podataka dobivenih iz optičkih senzora koji se koriste za detekciju položaja Sunca ili na podlozi astronomskih podataka koji ovise o vremenu i datumu, te geografskom položaju fotonaponskih panela. Kako bi se takvim sustavom moglo upravljati i kontrolirati potrebno je imati adekvatno korisničko sučelje. Neke informacije kao što su: trenutni napon na izlazu iz fotonaponskih panela, trenutna pozicija panela, jačina vjetra i temperatura vrlo su važne korisniku. Danas se standardno grade sustavi koji dopuštaju nadzor i upravljanje s bilo kojeg položaja na Zemlji i u bilo koje doba dana, odnosno najprikladnije rješenje je da se sustav poveže s Internetom. [7]

Sustav za praćenje položaja Sunca sastoji se od metalne konstrukcije na kojoj se nalazi fotonaponski kolektor, motori za zakretanje fotonaponskog kolektora, mikroupravljački sklop, optički senzor za detektiranje pozicije Sunca, regulator punjenja baterija i baterije. [7]



Slika 5.5. Dijelovi solarnog sustava za praćenje položaja Sunca [7]

Postavljanje solarnih panela u samo jednoj poziciji smanjuje njihov puni potencijal i njihova iskoristivost je samim time znatno manja zato što iskorištavamo njihov potencijal samo u jednom dijelu dana. Za kontinuirano podešavanje kuta postoji sustav za praćenje položaja Sunca – solar tracker koji osigurava da je solarni panel uvijek okrenut prema onom dijelu neba odakle dolazi najviše Sunčevih zraka. [14]

Tracker nosači okreću solarne panele tijekom dana prema Suncu ili u slučaju da oblak zakriva Sunce, prema najsvjetlijim dijelu neba. Eksperti sustave za praćenje položaja Sunca, tj. solarne trackere imenuju još i „suncokretima“ jer liče na suncokrete s obzirom na način kretanja prema Suncu. Solarni trackeri okreću se u svim smjerovima prema Suncu, horizontalno i vertikalno, te time stječu maksimalnu iskoristivost solarne elektrane i Sunčeve svjetlosti – do 40% u odnosu na klasične solarne elektrane koje imaju fiksno postavljene solarne panele. [14]

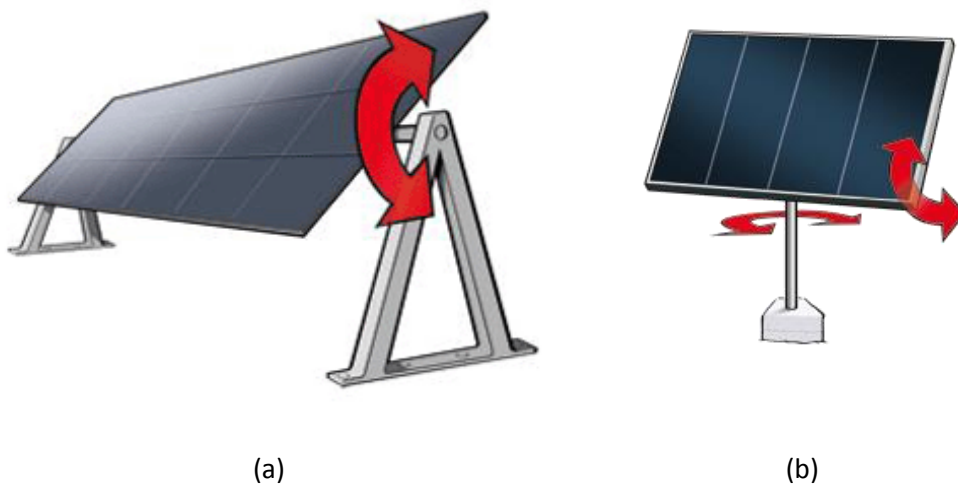
Poduzeće Larix d.o.o. iz Varaždina izgradilo je jednu od prvih solarnih elektrana sa sustavom za praćenje položaja Sunca (slika 5.6), poznatije pod imenom tracker sustav, snage 25,5 kW. Izgradnju je naručilo poduzeće Croma – Varaždin d.o.o. te time pokazalo svoju naklonost prema obnovljivim izvorima energije (OIE). [15]



Slika 5.6. Tracker solarna elektrana u Svetom Iliji snage 25,2 kW [15]

5.2. Vrste sustava za praćenje položaja Sunca

Osnovni tipovi sustava za praćenje položaja Sunca dijele se na: jednoosne (slika 5.7.a), dvoosne (slika 5.7.b) i kombinirane sustave za praćenje položaja Sunca. Jednoosni i dvoosni sustavi za praćenje položaja Sunca sadrže podvrste različitih tracking sustava, dok kombinirani sustavi imaju jedan pogon za praćenje po azimutu, a kutna visina se podešava ručno.



Slika 5.7. Sustavi za praćenje položaja Sunca: a) jednoosni, b) dvoosni [51]

5.2.1. Jednoosni sustavi

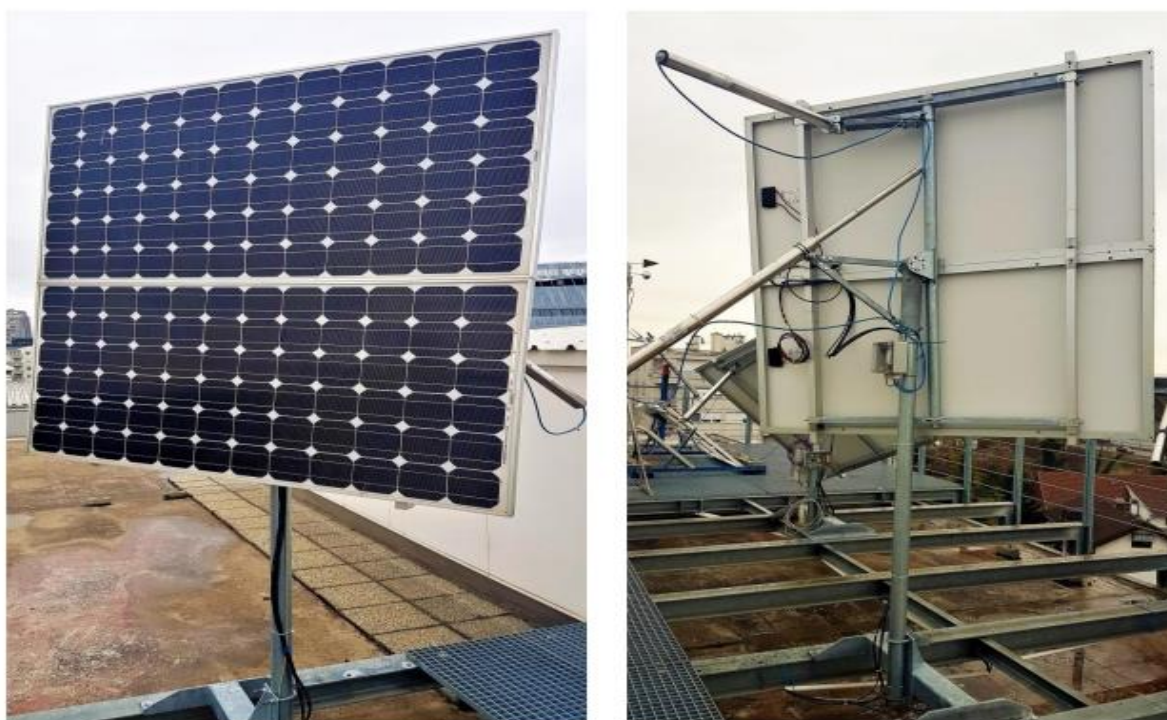
Jednoosni sustavi imaju jedan pogon, obično za praćenje po azimutu Sunca, te mogućnost pomicanja samo u jednom smjeru i to je najčešće rotacija po vertikalnoj osi, čime je omogućeno pokretanje solarnih panela u smjeru sjever-jug. Jednoosni sustavi za praćenje položaja Sunca u pravilu koriste polarno praćenje za maksimalnu solarnu djelotvornost, te za praćenje obično imaju ručno podešavanje nagiba na drugoj osi i on se prilagođava u redovitim razmacima tijekom godine. U usporedbi s fiksno postavljenim sustavim za praćenje položaja Sunca, jednoosni sustav povećava godišnju proizvodnju za približno oko 30%, a dvoosni sustavi za dodatnih 6%. [12]



Slika 5.8. Solarni paneli na jednoosnom nosaču [52]

5.2.2. Dvoosni sustavi

Dvoosni sustavi imaju dva pogona, jedan za praćenje po azimutu, a drugi po kutnoj visini Sunca, te dopuštaju solarnim panelima pomicanje po horizontali u smjeru istok-zapad, ali također dozvoljavaju i mijenjati kut nagib solarnog panela u odnosu na horizont, što znači da će solarni paneli uvijek biti okrenuti u optimalnom kutu prema Suncu, što u konačnici znači i više proizvedene energije. Ovisno o mogućnostima i željama investitora, automatska regulacija može biti izvedena više ili manje sofisticirano (programirano pomicanje solarnih panela kroz godinu, ugrađeni senzori za praćenje sunca, itd.), te također postoji mogućnost ugradnje zaštite od nepovoljnih vremenskih uvjeta kao što su vjetar, snijeg i sl. Postoje dvije vrste dvoosnih sustava za praćenje položaja Sunca, polarni i visinsko-azimutni. [17]



Slika 5.9. Solarni paneli na dvoosnom nosaču [53]

5.3. Ekonomska isplativost

Ni sami eksperti ne mogu se složiti da li su ekonomičniji jednoosni ili dvoosni sustavi za praćenje položaja Sunca, iako ekonomska isplativost ovisi o mnogo čimbenika. Dvoosni sustavi su mnogo kompleksniji, a samim time i mnogo skuplji, a energija koju je moguće dobiti korištenjem dvoosnih sustava za praćenje možda i neće biti značajno veća od energije koja se može dobiti korištenjem jednoosnih sustava za praćenje položaja Sunca. Kako su jednoosni sustavi jednostavniji, samim time je i početna investicija u njih znatno niža, ali i dvoosni sustavi imaju svoje prednosti i dobre strane. Dalekosežno gledano, dvoosni sustavi za praćenje imaju veću učinkovitost i jednostavniji su za čišćenje, ali su zbog svoje složenosti skuplji za održavanje i opstojanje. Svakako je da će količina energije koju je moguće dobiti sa sustavom za praćenje biti puno veća od one koju je moguće dobiti sa fiksnim sustavom. Proizvođači opreme često navode različite raspone efikasnosti tracking sustava u odnosu na fiksne sustave. Ne postoje dva ista mjesta, ni dvije identične lokacije, stoga je dobro prije postavljanje bilo kakvog sustava napraviti procjenu i usporedbu uloženog i dobivenog za svako pojedino mjesto. [18]

5.3.1. Troškovi ulaganja u sustave za praćenje i isplativost investicije

Za velike fotonaponske sustave potreban je veliki prostor i velike slobodne površine, te se stoga prednost daje manjim distribuiranim izvorima pri čemu se koriste sve moguće raspoložive površine kao što su npr. krovovi kuća. Pri tome te površine na kojima su smješteni solarni paneli i dalje zadržavaju svoje glavne funkcije. Troškovi ulaganja u fotonaponsku opremu mogu se podijeliti na: troškove ulaganja u solarne panele, troškove ulaganja u izmjenjivače, troškove ulaganja u regulatore punjenja i punjenja baterija, troškove ulaganja u akumulatore, troškove ulaganja u ostalu opremu, troškovi projektantsko-konzultantskih usluga i troškova montažne opreme.

Isplativost ulaganja u izgradnju solarnih elektrana sa sustavima za praćenje položaja Sunca ovisi o mnogo parametara poput:

- veličine, položaja, učinkovitosti i orijentacije,
- zračenju Sunca,
- tarifnih stavki i cijene električne energije,
- poticaja za proizvedenu električnu energiju,
- kamatnih stopa i poreznih olakšica.

Temeljni faktori pri analizi isplativosti, odnosno računanja razdoblja povrata su trend kretanja cijene električne energije, iznosa poticaja i poreznih olakšica.

Primjer Sunčane elektrane s dvoosnim praćenjem

Za analizu troškova ulaganja u sustave za praćenje položaja i isplativost investicija kao primjer poslužit će Sunčana elektrana s dvoosnim praćenjem položaja Sunca Solektra. [31]

Tehnički parametri Sunčane elektrane Solektra:

Instalirana snaga: 30 kW.

Vrsta sustava: dvoosno praćenje položaja Sunca.

Očekivana specifična godišnja proizvodnja: 1,750 kWh.

Očekivana godišnja proizvodnja: 54,740 kWh/god.

Ostvarena proizvodnja u 2013. god.: 44,247 kWh.

Otkupna cijena električne energije za 2013. god.: 3,6217 kn/kWh.

Ukupan iznos investicije u Sunčanu elektranu Solektra iznosio je 779 004,74 kn, od čega je 206 979,74 kn bilo vlastito učešće (26 %), a kreditna sredstva iznosila su 572 025,00 kn (76 %).

Garancije:

- HAMAG – 80% vrijednosti kredita
- hipotekarno jamstvo

Za prikaz isplativosti projekta (Sunčane elektrane Solektra) koristit će se metoda razdoblja povrata. Otplatni period je razdoblje potrebno da se investicijsko ulaganje pokrije očekivanim pozitivnim gotovinskim tijekovima. Broj godina potrebnih za nadoknadu ulaganja je jednako početnom ulaganju kroz godišnji novčani primitci. [33]

$$I = \sum_{t=1}^{tp} Ft \quad (2)$$

gdje je:

- I – investicijski troškovi
- tp – razdoblje povrata
- Ft – neto novčani tok u godini t

$$Ft = 3,6217 \frac{kn}{kWh} * 54,740 \frac{kWh}{god} = 198251,85 kn$$

$$I = 779\,004,74 kn$$

$$tp = \frac{I}{Ft} = \frac{779\,004,74}{198251,85} = 3,929 god. \approx 4 god.$$

Rok povrata investicije za Sunčanu elektranu Soletra procjenjuje se na 4 godine.

Isplativost u ulaganje u sustave za praćenje Sunca isključivo ovisi o cijeni električne energije koja se proizvodi i prodaje. Trenutno to nije isplativo bez subvencija jer je tržišna cijena oko 0,30 kn/kWh, a trebala bi biti oko 1,00 kn da bi povrat investicije bio barem 8-9 godina.

Isplativost svih tehnologija proizvodnje energije, pa tako i solarnih elektrana, određuju:

- prihodi i ušteda od korištenja sustava,
- troškovi ulaganja (investicije),
- pogonski troškovi,
- troškovi servisa i održavanja,
- troškovi raspremanja na završetku radnog vijeka postrojenja,
- neizravni (preventivni i sanacijski) troškovi očuvanja okoline.

Ima mnogo prednosti ulaganja u Sunčane elektrane. Neke od prednosti su: osiguranje otkupa proizvedene električne energije, definirana otkupna cijena u razdoblju od 14 godina, relativno kratak rok naplate proizvedene energije, financijska pristupačnost investicije, rentabilnost investicije, ekološka prihvatljivost proizvodnje električne energije, jednostavnost održavanja.

5.4. Vrste pogona

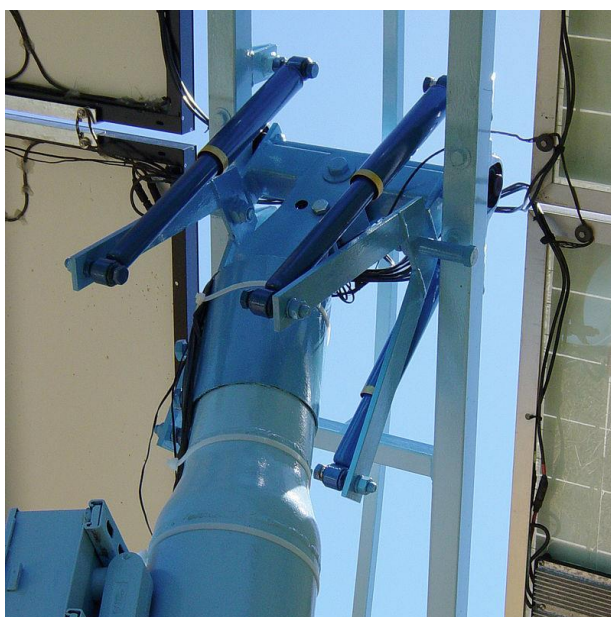
5.4.1. Aktivni sustavi za praćenje položaja Sunca

Aktivni tragači tj. sustavi za praćenje položaja Sunca koriste za pomak modula elektronički upravljive motore, kako bi se izbjegli inercijski gubici, i zupčaste vodilice kako bi se usmjerili prema Suncu. Aktivni dvoosni sustavi za praćenje također se koriste za orijentiranje heliostata – računalno kontrolirana zrcala koja reflektiraju Sunčevu svjetlost prema apsorberu solarnog tornja tj. prema centralnoj stanici napajanja. Svako zrcalo je u velikom polju individualno usmjereno, pa se zrcala kontroliraju programski, centralnim računalnim sustavom koji omogućuje gašenje sustava prema potrebi, primjerice tijekom održavanja. [12]

5.4.2. Pasivni sustavi za praćenje položaja Sunca

Pasivni sustavi za praćenje položaja Sunca koriste nisku točku vrelišta komprimiranog plina koji je prešao s jedna strane na drugu (pomoću sunčeve topline stvara se tlak plina) čime uzrokuje da se sustav za praćenje pomiče kao odgovor na neravnotežu. Kako je ovo neprecizno

usmjeravanje, takav sustav za praćenje položaja Sunca nije prikladan za određene tipove koncentrirajućih fotonaponskih panela, ali radi dobro za ostale fotonaponske panele. Pasivni sustavi za praćenje imaju amortizere koji sprečavaju suvišno gibanje uzrokovano jakim naletima vjetra. Kako bi usmjerili ranojutarnju Sunčevu svjetlost na solarni panel i držali ga nagnutim prema Suncu koriste se reflektori/sjenila. Vrijeme neophodno za to može se značajno smanjiti uporabom samo-otpuštanjem iz pozicije u koju je pričvršćen navečer, što pozicionira panel neprimjetno iznad zenita (kako fluid ne bi morao svladavati gravitaciju) – lagano otpuštajuća opruga onemogućuje otpuštanje u noćnim vjetrovitim okolnostima. [12]



Slika 5.10. Glava Zomework-ovog pasivnog sustava za praćenje Sunca [54]

5.4.3. Kronološki sustav za praćenje položaja sunca

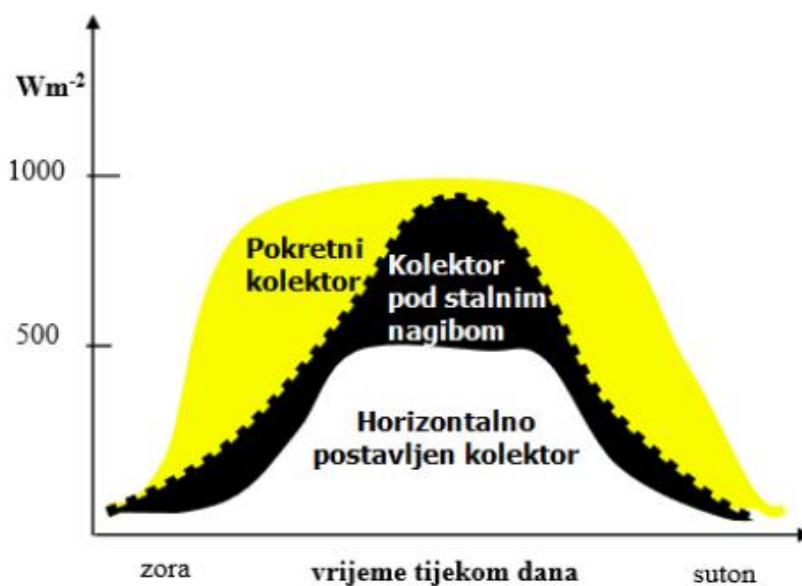
Kronološki sustavi za praćenje položaja Sunca rade tako da se suprotstavljaju Zemljinoj rotaciji, tako što se okreću istom brzinom kao i Zemlja, ali u suprotnom smjeru. Zapravo odnos brzina nije sasvim jednak, jer kako Zemlja ide oko Sunca položaj Sunca se mijenja u odnosu na Zemlju za 360° svake godine ili 365,24 dana. Kronološki sustav za praćenje položaja Sunca vrlo je detaljan sustav, posebice za uporabu za polarno praćenje, a ujedno i vrlo jednostavan. Metoda upravljanja može biti vrlo jednostavna, poput zupčanika koji se vrti na vrlo malim prosječnim brzinama vrtnje od jednog okreta Zemlje oko Sunca dnevno (15° na sat). Tragač tj. kronološki sustav za praćenje bi se u teoriji mogao u potpunosti rotirati, uz pretpostavku da postoji dovoljno prostora za potpunu rotaciju, te uz pretpostavku da uvijanje žica ne predstavlja

problem kao kod solarnih koncentratora ili se sistem može vraćati u početno stanje svaki dan kako bi se problem izbjegao. Alternativno rješenje je da se koristi elektronički upravljački sklop sa stvarnim vremenskim satom koji se uključuje na „solarno vrijeme“ (satni kut). [12]

5.5. Postavljanje solarne elektrane

Analiza položaja i procjena dobivene energije prikazuje vrlo važan korak u procesu planiranja i izgradnje fotonaponskog sistema za praćenje položaja Sunca. Veliku pažljivost treba posvetiti sjenčanju solarnog panela i procjeni potencijala Sunčevog zračenja. Kod postavljanja solarnih panela potrebno je voditi računa o tome da solarni paneli nisu u sjeni. Izvori sjena mogu biti vrlo različiti, a razlikujemo prirodne i umjetne izvore sjena. Prirodni izvori su primjerice prirodne barijere, planine, brda, i sl., dok umjetni izvori mogu biti susjedni objekti, dimnjaci, krovovi kuća, jarboli, zastave itd. Za izračun duljine sjene preporučuju se koristiti odgovarajući softveri kojih ima dovoljno na tržištu.

Iz grafa (slika 5.11.) je vidljivo kako horizontalno postavljeni i pokretno postavljeni solarni kolektor imaju približno identičnu krivulju po obliku, samo što je vrijednost dobivene energije na pokretno postavljenom kolektoru skoro dvostruko veća. Ujedno je iz grafa očito da se na kolektoru koji je pod stalnim nagibom maksimum postiže samo u kratkom periodu oko podneva, dok se kod pokretnog kolektora maksimum proteže skoro tijekom cijelog dana.



Slika 5.11. Grafički prikaz dobivene energije tijekom jednog dana [19]

6. Praktični dio

Praktični dio ovog završnog rada je izrada makete sa mogućnošću praćenja položaja Sunca. Sustav je baziran na Arduino platformi. Sustav s mogućnošću praćenja položaja Sunca okretat će se uz pomoć dva servo motora od kojih je jedan horizontalan, a drugi vertikalni. Ti servo motor rotiraju sustav prema najvećem izvoru svjetlosti. Četiri LDR (*eng. Light Dependant Resistor*), tj. četiri fotootpornika očitavaju jačinu i smjer svjetlosti. Po dva fotootpornika postavljena su na svaku stranu (lijevo, desno, gore, dolje). Cilj završnog rada je napraviti odgovarajuću maketu kako bi cijeli sustav pravilno djelovao i kako bi se okretao u smjeru s kojeg dolazi najveća svjetlost, stoga fotootpornici (LDR) moraju biti pravilno i na određen način odvojeni kako ne bi dobivali krivu povratnu informaciju.

6.1. Primjena tehnologije, alati i materijali

Prilikom izrade ovog završnog rada koristi se Arduino Uno razvojna platforma čiji će rad biti opisan u daljnjem tekstu završnog rada, četiri fotootpornika, dva servo motora SG90, solarni panel čija je izlazna snaga 1 W, otpornici od 10 k Ω , drvene ploče za izradu kućišta na koje će se kasnije montirati maketa sa mogućnošću praćenja položaja Sunca, mala drvena pločica koja služi kao postolje na kojem se nalazi solarni panel i na kojoj su smješteni fotootpornici, eksperimentalna pločica sa žicama koja će samo poslužiti svrsi da se spoje komponente i modul bez ikakvog lemljenja, tiskana pločica za lemljenje i plastični materijal polimetilakrilat (PMMA), poznat i kao pleksiglas od kojeg će se napraviti postolje za Arduino Uno. Arduino Uno je vrlo jednostavan za korištenje, nije skup, i programiranje istog nije pretjerano zahtjevno, upravo zbog toga je idealan za ovaj završni rad. Kućište na kojem će se nalaziti maketa napravljeno je od različitih vrsta drvenih ploča jer materijal kao što je drvo nije prezahtjevno za obradu. Dva servo motora, horizontalni i vertikalni, brinu o pokretljivosti cijele makete, njihova brzina i preciznost dobro se uklapaju u cijeli sustav. Kao senzori osvjetljenja tu su 4 fotootpornika koji su smješteni zajedno sa solarnim panelom na postolje predviđeno za njih. Nalaze se iznad svakog ruba solarnog panela, na propisan su način odvojeni kako bi cijeli sustav pravilno funkcionirao.

Prilikom izrade praktičnog dijela rada korišten je sljedeći alat:

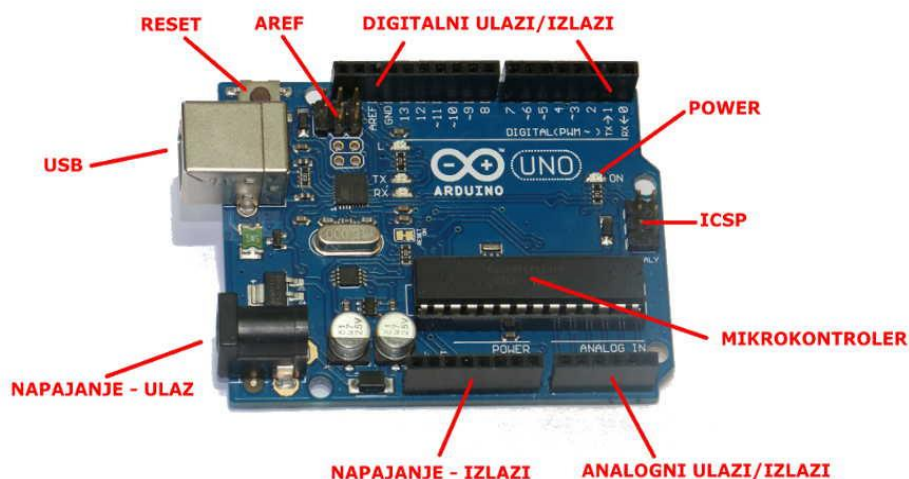
- Ubodna pila
- Ručna pila
- Bušilica
- Čekić
- Lemilica
- Metar
- Kutnik
- Kombinirana kliješta
- Skalpel
- Odvijač
- VC830L digitalni multimeter

Popis materijala za potrebe izrade makete ovog završnog rada:

- Drvene ploče
- Lemna nit
- Mast za lemljenje
- Matice
- Podlošci
- Vijci
- Bužir
- Žice različitih veličina i boja
- Vruće ljepilo
- Brusni papir
- Izolir traka
- Crna boja za farbanje kućišta

6.2. Arduino Uno

Razvojna platforma Arduino Uno (Slika 6.1.) razvijena je u Italiji i bazirana je na sklopovskom i programskom paketu koji je fleksibilan i jednostavan za korištenje. Arduino platforma je skup elektroničkih i softverskih komponenti koje se mogu jednostavno povezivati u složenije cjeline s ciljem izrade različitih elektroničkih sklopova. Na Arduino pločici nalazi se mikrokontroler koji je ujedno i srce Arduina. Mikrokontroler je integrirani sklop koji služi za komunikaciju s računalom. Osim njega na pločici se nalaze i elektronički dijelovi koji omogućavaju rad samog mikrokontrolera (stabilizatori napona, kvarcni oscilator za generiranje frekvencije takta i drugo). Mikrokontroler koji upravlja Arduino Unom proizvodi tvrtka ATMEL. Upravljačka jedinica ATMEGA328P najrasprostranjenija je u primjeni, pa se tako koristi na osnovnoj Arduino prototipnoj pločici. Arduino ima 14 digitalnih i 6 analognih pinova koji služe za spajanje raznih elemenata. Digitalni pinovi označeni su slovom D, a analogni sa slovom A. [20, 21]



Slika 6.1. Arduino Uno [55]

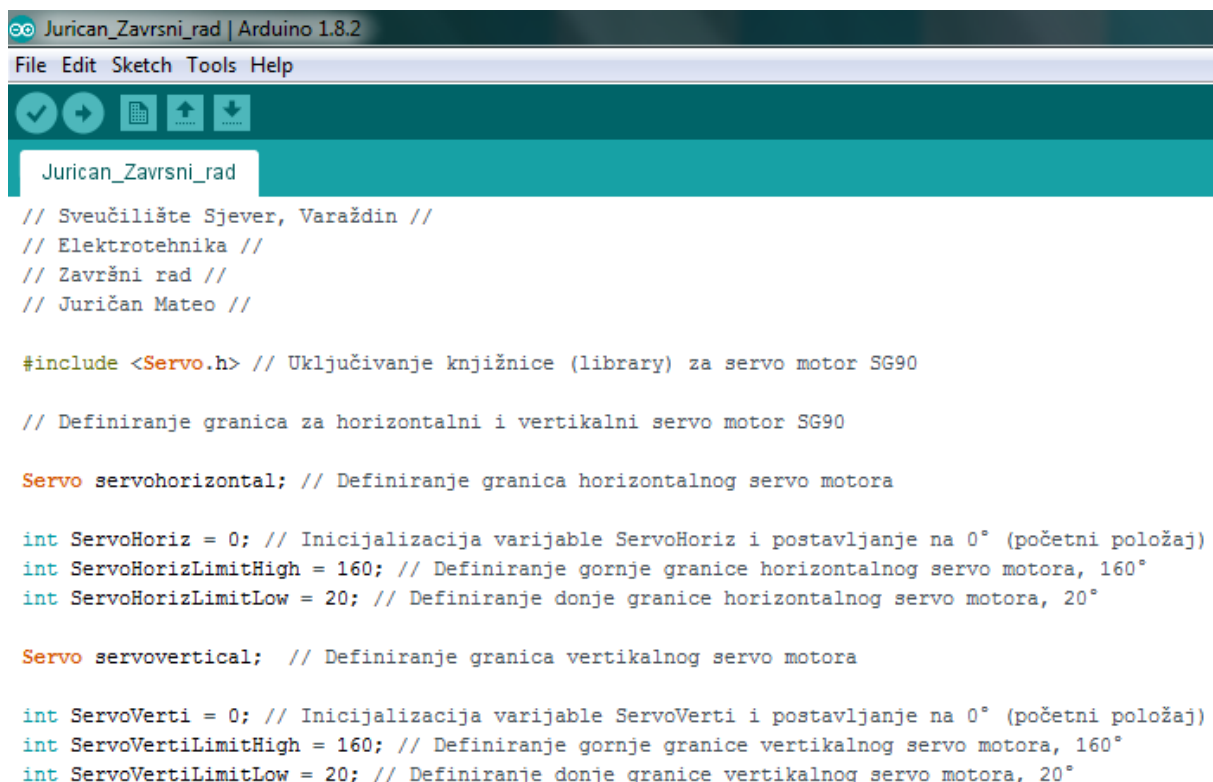
Mikrokontroler radi na naponskoj razni od 5 V. Prilikom spajanja vanjskih elemenata, kako bi se izbjegla oštećenja, treba paziti da naponska razina ne prelazi radnu naponsku razinu. Preko USB komunikacijskog porta učitava se programski dio s računala na Arduino Uno, a sam programski kod piše se u Arduino IDE programskom sučelju. Razne specifikacije Arduino Uno sustava prikazane su u tablici 6.1.

Mikrokontroler	ATMEGA328P
Brzina rada (frekvencija procesora)	16 MHz
Radni napon	5 V
Ulazni napon (preporučeni)	7-12 V
Ulazni napon (granični)	6-20 V
Broj digitalnih I/O pinova	14
Broj PWM digitalnih pinova	6
Broj analognih pinova	6
DC struja po I/O pinu	20 mA
DC struja za 3.3 V pin	50 mA
Flash memorija	32 kb
SRAM	2 kb
EEPROM	1 kb

Tablica 6.1. Specifikacije Arduino Uno sustava

6.3. Arduino IDE programsko sučelje

Za pisanje programskog dijela ovog završnog rada, programskog koda, koristi se Arduino IDE programsko sučelje i programski jezik C. Programski kod za automatiziranu maketu solarnog pratitelja položaja Sunca izrađen je nakon pravilnog odabira potrebnih elemenata. Najprije se trebalo upoznati s pojedinim elementima elektroničkog sklopa i s njihovim principima rada, te na temelju toga napisati funkcije pojedinih elemenata koje se kasnije spajaju u cjelinu.



```
Arduino 1.8.2
File Edit Sketch Tools Help

Jurican_Zavrsni_rad

// Sveučilište Sjever, Varaždin //
// Elektrotehnika //
// Završni rad //
// Juričan Mateo //

#include <Servo.h> // Uključivanje knjižnice (library) za servo motor SG90

// Definiranje granica za horizontalni i vertikalni servo motor SG90

Servo servohorizontal; // Definiranje granica horizontalnog servo motora

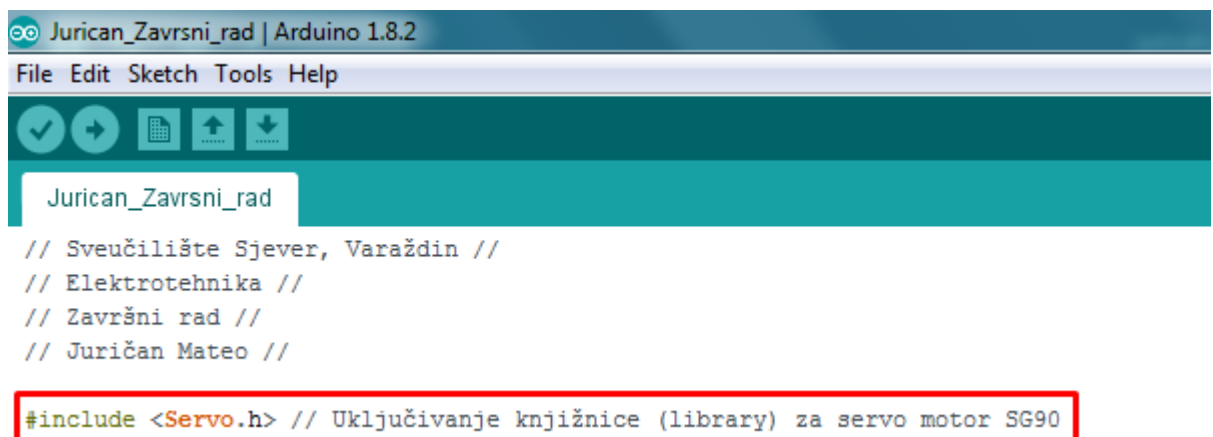
int ServoHoriz = 0; // Inicijalizacija varijable ServoHoriz i postavljanje na 0° (početni položaj)
int ServoHorizLimitHigh = 160; // Definiranje gornje granice horizontalnog servo motora, 160°
int ServoHorizLimitLow = 20; // Definiranje donje granice horizontalnog servo motora, 20°

Servo servovertical; // Definiranje granica vertikalnog servo motora

int ServoVerti = 0; // Inicijalizacija varijable ServoVerti i postavljanje na 0° (početni položaj)
int ServoVertiLimitHigh = 160; // Definiranje gornje granice vertikalnog servo motora, 160°
int ServoVertiLimitLow = 20; // Definiranje donje granice vertikalnog servo motora, 20°
```

Slika 6.2. Arduino IDE programsko sučelje

Na samom početku pisanja programskog koda najprije se moraju uključiti knjižnice za svaki pojedini element. Prije samog pisanja programskog dijela, knjižnice je potrebno preuzeti i instalirati na Arduino IDE programsko sučelje. Za ovaj završni rad korištena je knjižnica za servo motor (slika 6.3.) Za komentiranje određene linije koda koristi se oznaka „//“. Komentiranjem se prikazuje značenje pojedinih linija koda, a samo komentiranje, tekst koji je iza „//“ se ne kompajlira (*eng. compile*), ne prevodi se.



```
Arduino 1.8.2
File Edit Sketch Tools Help

Jurican_Zavrsni_rad

// Sveučilište Sjever, Varaždin //
// Elektrotehnika //
// Završni rad //
// Juričan Mateo //

#include <Servo.h> // Uključivanje knjižnice (library) za servo motor SG90
```

Slika 6.3. Uključivanje knjižnice za servo motor

Nakon što se uključe sve potrebne knjižnice, potrebno je definirati vrijednosti koje će se koristiti kod programiranja sustava automatizirane makete solarnog pratitelja. Za svaku vrijednost potrebno je definirati pin na Arduinu i potrebne konstante. U ovom programskom kodu definirane su gornje i donje granice horizontalnog i vertikalnog servo motora, te pinovi na koje su priključeni fotootpornici (slika 6.4.). Postoje dvije vrste glavne petlje u programskom kodu Arduino IDE sučelja, void setup () i void loop (). Unutar petlje void setup () postavljaju se parametri varijabla, petlja služi za inicijalizaciju stanja i izvršava se samo prilikom prvog pokretanja programskog koda. Unutar petlje void loop () piše se programski kod za rad procesa i ta petlja se ponavlja.

```
// Definiranje granica za horizontalni i vertikalni servo motor SG90

Servo servohorizontal; // Definiranje granica horizontalnog servo motora

int ServoHoriz = 0; // Inicijalizacija varijable ServoHoriz i postavljanje na 0° (početni položaj)
int ServoHorizLimitHigh = 160; // Definiranje gornje granice horizontalnog servo motora, 160°
int ServoHorizLimitLow = 20; // Definiranje donje granice horizontalnog servo motora, 20°

Servo servovertical; // Definiranje granica vertikalnog servo motora

int ServoVerti = 0; // Inicijalizacija varijable ServoVerti i postavljanje na 0° (početni položaj)
int ServoVertiLimitHigh = 160; // Definiranje gornje granice vertikalnog servo motora, 160°
int ServoVertiLimitLow = 20; // Definiranje donje granice vertikalnog servo motora, 20°

// Definiranje fotootpornika (LDRs)
// Položaj fotootpornika i spajanje žica na pinove Arduina kada je maketa okrenuta naopako

int ldrTopLeft = 1; // Gore lijevi fotootpornik, bijela žica
int ldrTopRight = 2; // Gore desni fotootpornik, zelena žica
int ldrBottomLeft = 0; // Dolje lijevi fotootpornik, žuta žica
int ldrBottomRight = 3; // Dolje desni fotootpornik, narančasta žica
```

Slika 6.4. Definiranje granica servo motora i pinovi fotootpornika

6.4. Servo motor

U izradi ovog završnog rada korištena su dva servo motora SG90 (slika 6.5.). Jedan servo motor koristi se za horizontalno okretanje, a drugi za vertikalno okretanje. Ovaj servo motor ima veliku prednost u odnosu na druge vrste elektromotora. Malih je dimenzija, te mu se može zadavati kut za koji će se okretati i brzina okretanja. Servo motor SG90 ima tri priključka: uzemljenje (GND), pozitivan polaritet napona (Vcc) i priključak za upravljački signal. Česta pojava su vibracije izazvane padovima napona na servo motoru kod uključivanja samog motora, a mogu se izbjeći stabilnim napajanjem. Karakteristike Tower Pro SG90 servo motora:

Dimenzije: 23x12x29 mm

Masa: 9g

Napon: 3.0-7.2 V

Radna brzina: 60 stupnjeva za 0.12s

Kontrola servo motora: analogna

Zakretni moment: 1kg/cm kod 4.8 V

Konektor: JR

Dužina žice konektora: 150mm

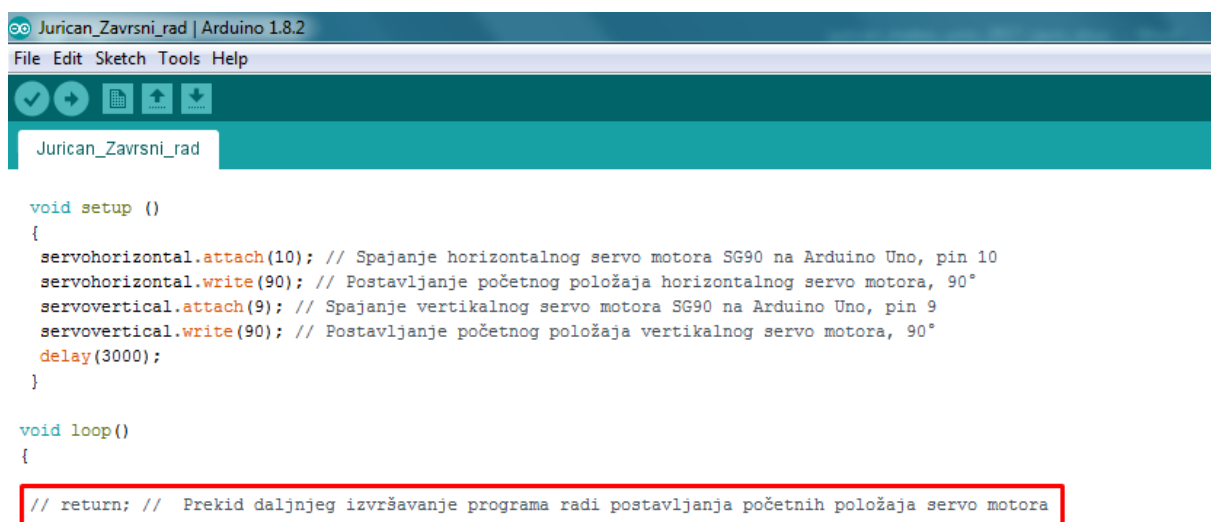
Raspon temperature: -30 do +60



Slika 6.5. Servo motor SG90 [56]

Servo motor se u Arduino IDE programskom sučelju definira s knjižnicom `#include <Servo.h>`, a varijabla pojedinog motora definira se pomoću naredbe `Servo servohorizontal` za horizontalni servo motor i `Servo servovertical` za vertikalni servo motor. Nakon definiranja servo motora potrebno mu je zadati upravljački pin. Upravljački pin se spaja na upravljačku žicu servo motora. Pin Arduino mora sadržavati PWM regulaciju. PWM uzastopno šalje impulse za promjenu položaja. PWM pinovi na Arduino Uno su 3, 5, 6, 9, 10, 11 [22]. To su digitalni pinovi Arduina. Za ovaj završni rad korišteni su pinovi 9 i 10. Pin 9 koristi se za spajanje vertikalnog servo motor, a pin 10 za spajanje horizontalnog servo motora.

Pin se horizontalnom servo motoru zadaje unutar void `setup ()` petlje: `servohorizontal.attach (10)`, a vertikalnom servo motoru također unutar void `setup ()` petlje: `servovertical.attach (9)`. Početni položaj pojedinog servo motora također se definira unutar void `setup ()` petlje. Početni položaji horizontalnog i vertikalnog servo motora su 90 stupnjeva. Kutove zakretanja servo motora potrebno je namjestiti tijekom montaže makete, a maksimalni kut zakreta ovog servo motora je 180 stupnjeva.



```
void setup ()
{
  servohorizontal.attach(10); // Spajanje horizontalnog servo motora SG90 na Arduino Uno, pin 10
  servohorizontal.write(90); // Postavljanje početnog položaja horizontalnog servo motora, 90°
  servovertical.attach(9); // Spajanje vertikalnog servo motora SG90 na Arduino Uno, pin 9
  servovertical.write(90); // Postavljanje početnog položaja vertikalnog servo motora, 90°
  delay(3000);
}

void loop()
{
  // return; // Prekid daljnjeg izvršavanje programa radi postavljanja početnih položaja servo motora
}
```

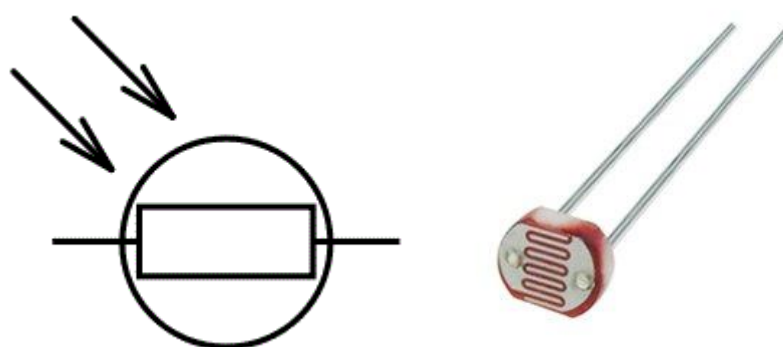
Slika 6.6. Definiranje pinova i granica servo motora SG90

Naredba na slici 6.6., uokvirena crvenom bojom, služi za prekid daljnjeg izvršavanja programa zato što se maketa, da nema te naredbe, počinje odmah okretati i tražiti izvor svijetlosti. Ako je naredba komentirana ona se ne kompajlira, ne prevodi. Da bi se ona izvršila potrebno je samo obrisati „//“ ispred naredbe.

6.5. Senzori svjetlosti

Senzori svjetlosti na ovoj maketi nalaze se na drvenoj podlozi gdje je predviđeno mjesto i za solarni panel. Oni su smješteni malo iznad svakog ruba solarnog panela. To su četiri LDR (*eng. Light Dependent Resistor*) otpornika koji očitavaju intenzitet svjetlosti koja pada na njih. Razmaknuti su na dovoljnu udaljenost kako bi očitavanje smjera svjetlosti bilo lakše i točnije.

Fotootpornik (*eng. LDR ili photoresistor*) je otpornik, čiji se električni otpor smanjuje s povećanjem intenziteta ulazne svjetlosti. Izrađuju se od poluvodičkih materija koji imaju veliki električni otpor. Ako svjetlost s dovoljno velikom frekvencijom (granična frekvencija) padne na fotootpornik poluvodič će upiti fotone svjetlosti i izbaciti elektrone koji stvaraju električnu struju u zatvorenom strujnom krugu. Najčešće se označuju simbolom prikazanim na slici 6.7. Optički fenomen u kojem se povećava vodljivost materija kada materijal apsorbira svjetlost naziva se fotovodljivost, to je ujedno i princip rada fotootpornika. Kada fotoni padaju, tj. kada svjetlost pada na fotootpornik, elektroni iz valentnog pojasa od poluvodičkog materijala prelaze u vodljivi pojas. Kako bi elektroni mogli prijeći u vodljivi pojas, fotoni koji padaju na fotootpornik moraju imati veću energiju od elektrona u valentnom pojasu. Što više svjetlosti s dovoljno jakom energijom pada na fotootpornik, to više elektrona prelazi u vodljivi pojas, što rezultira većim brojem nosioca naboja. Rezultat svega toga je da sve više struje prolazi kroz uređaj kada je krug zatvoren i time se smanjuje otpor samog fotootpornika. [23]



Slika 6.7. Simbol i slikoviti prikaz fotootpornika [57]

6.6. Solarni panel

Solarne ćelije su tanki poluvodički uređaji koji pretvaraju Sunčevu energiju izravno u električnu pomoću fotoelektričnog efekta. Princip rada, povijest i izrada solarnih ćelija objašnjen je u prijašnjem dijelu ovog završnog rada. Takvi uređaji ponašaju se kao izvor energije za široku primjenu, kao kod malih uređaja kao što su kalkulatori, te paneli smješteni na vrhovima osobnih stambenih objekata. Više solarnih ćelija čine solarne module, poznatije kao solarni paneli ili fotoonaponske ploče.

Kada izvor svjetlosti nije nužno Sunčeva svjetlost, takve ćelije se nazivaju fotonaponske ćelije. One se mogu koristiti za detekciju svjetlosti ili nekog drugog elektromagnetskog zračenja u blizini vidljivog spektra, kao na primjer detektori infracrvenog svjetla, ili mjerenje jačine svjetlosti.

Solarni panel (slika 6.8.) u ovom završnom radu smješten je na prethodno izrađenom drvenom postolju koje je predviđeno za njega, a iznad rubova solarnog panela smješteni su ranije spomenuti fotootpornici koji očitavaju jačinu svjetlosti koja pada na njih.

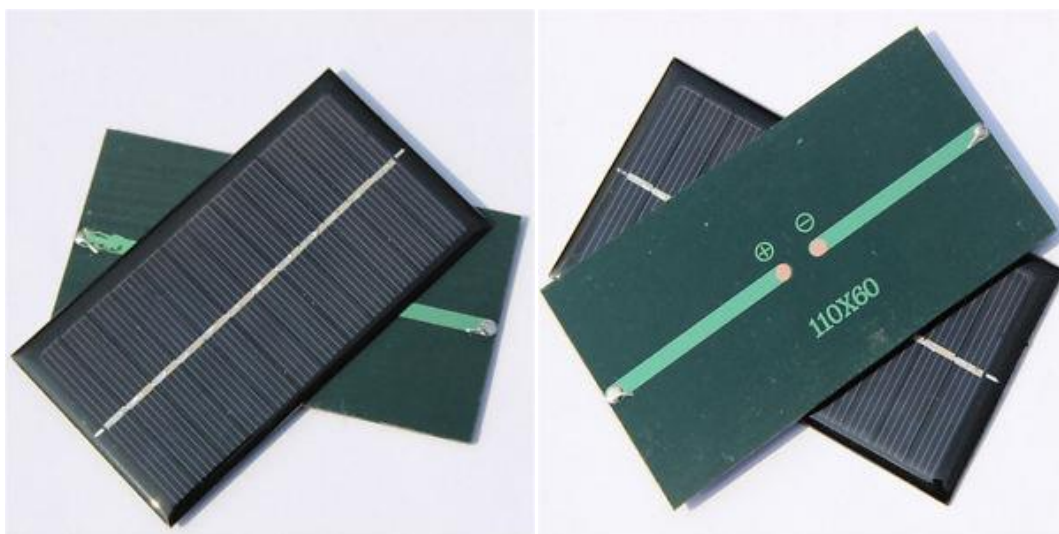
Karakteristike solarnog panela:

Dimenzija: 110 x 60 x 2.5 mm

Radni napon: 6 V

Izlazna snaga: 1W

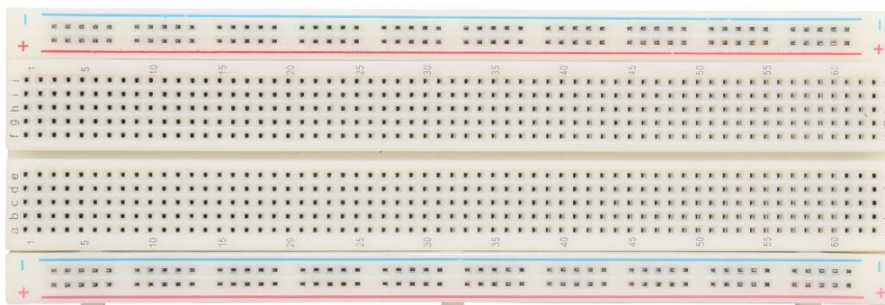
Radna struja: 0-200 mA



Slika 6.8. Solarni panel [58]

6.7. Eksperimentalna i tiskana pločica

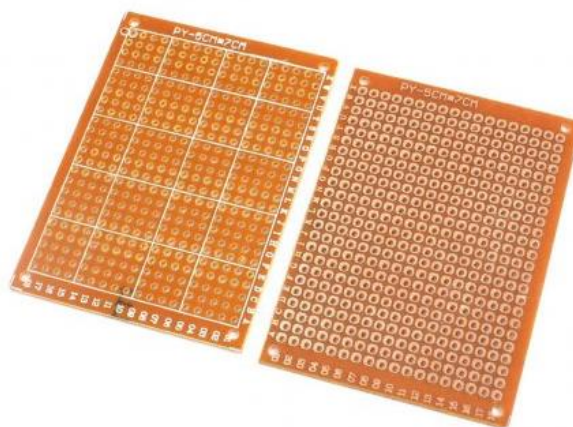
Eksperimentalna pločica je komad opreme koji je vrlo bitan za rad s elektronikom. Omogućava spajanje komponenti i modula bez ikakve potrebe za lemljenjem i na taj se način omogućava jednostavno i brzo testiranje, prototipiranje i učenje. Veličina eksperimentalne pločice za ovaj završni rad je 16,5 x 5,5 x 0,85 cm. (slika 6.9.)



Slika 6.9. Eksperimentalna pločica

Nakon spajanja, eksperimentalna pločica zamjeni se tiskanom pločicom. Eksperimentalna pločica poslužila je samo da vidimo da li su spoj i shema ispravni i da li sve funkcionira.

Tiskana pločica naziv je za sredstvo kojim se mehanički i električki povezuju elektroničke komponente. Pločica se sastoji od podloge od izolatorskog materijala na kojoj se različitim postupcima oblikuje vodljiva struktura. Tiskana pločica za ovaj završni rad ima vodljiv sloj samo s jedne svoje strane, te ima niz rupica kroz koje se povlače izvodi elektroničkih elementi i žice. Na takvoj pločici komponente se slažu na strani pločice koja nema vodljivi sloj, a njihovi izvodi se leme na suprotnoj strani. Dimenzija tiskane pločice koja se koristi za ovaj završni rad je 5cm x 7cm. (slika 6.10.)

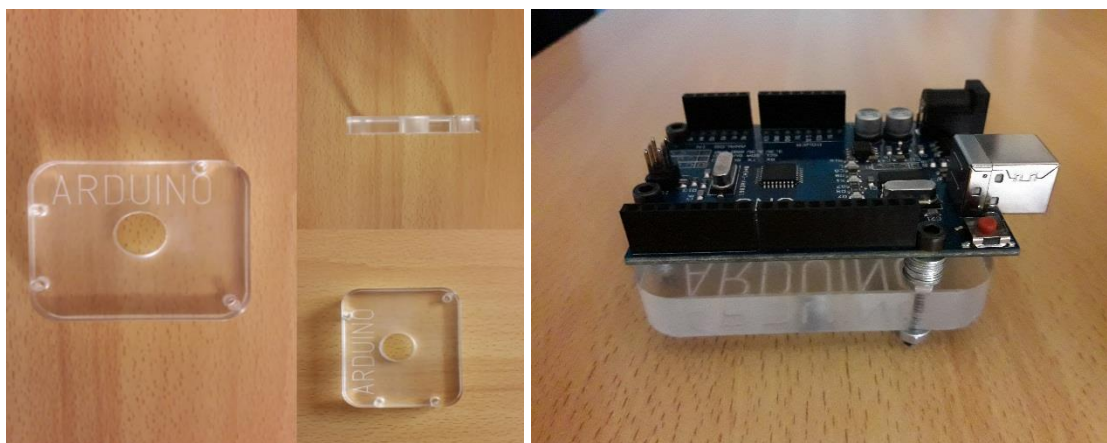


Slika 6.10. Tiskana pločica

6.8. Izrada makete s mogućnošću praćenja položaja Sunca

6.8.1. Izrada postolja za Arduino Uno

Postolje na kojem će se nalaziti razvojna platforma Arduino Uno izrađeno je od plastičnog materijala polimetilakrilata (PMMA), poznatog i kao pleksiglas. Pleksiglas je kruti, prozirni, termoplastični materijal otporan na velik broj korozivnih kemikalija, pa je stoga primjeren za vanjsku primjenu. Lakši je od stakla, no odlikuje ga izuzetna otpornost na udarce, te ga je vrlo teško razbiti i upravo zbog toga i zbog svoje jednostavnosti za obradu bit će najbolje rješenje koje će poslužiti kao postolje Arduina za izradu makete sa mogućnošću praćenja položaja Sunca. Dimenzije postolja napravljenog od pleksiglasa je 7cm x 6cm x 1cm.

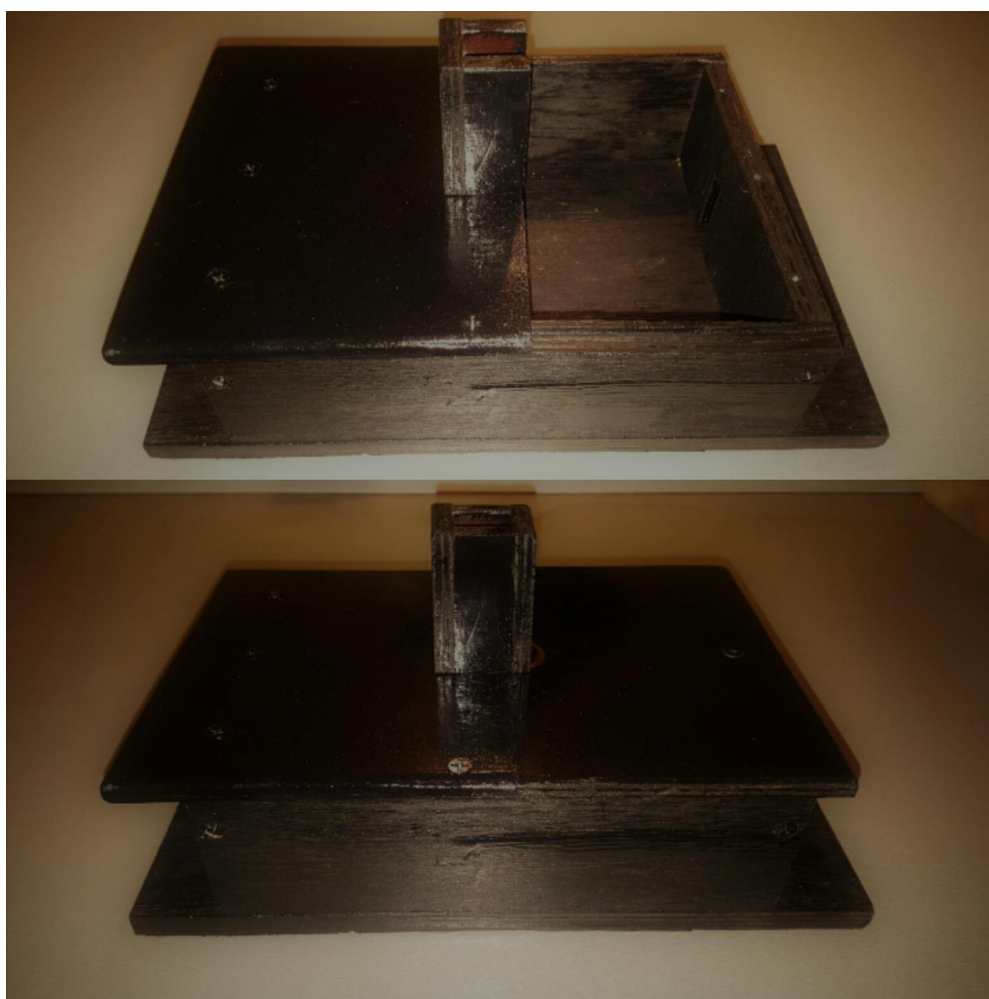


Slika 6.11. Postolje za Arduino Uno

Nakon izrade postolja, pomoću vijaka, Arduino Uno se pričvrsti za samo postolje. Obzirom da Arduino Uno već ima izbušene rupice koje su predviđene da se on pričvrsti za neku površinu potrebno je samo staviti vijke u rupice, podloške jedan na drugog radi visine i zategnuti pomoću matica.

6.8.2. Izrada kućišta makete i postolja za solarni panel

Za izradu kućišta na kojem će se nalaziti maketa korištene su drvene ploče različitih dimenzija. Gornja strana ploče izrezana je na dva jednaka dijela od kojih će se jedan dio klizno moći otvarati. Na sredini ploče napravljen je mali toranj u kojeg će se staviti i pričvrstiti horizontalni servo motor, a samim time i cijela maketa. Drveni toranj je dimenzije 4cm x 3cm i visine 6 cm. Ostale stranice i podnožje same makete napravljeni su također od istog materijala kao i gornja stranica. Sa desne strane na prednjoj strani makete izrezana je rupa dimenzije 2 cm x 4.5 cm radi USB priključka.



Slika 6.12. Postolje makete za praćenje položaja Sunca

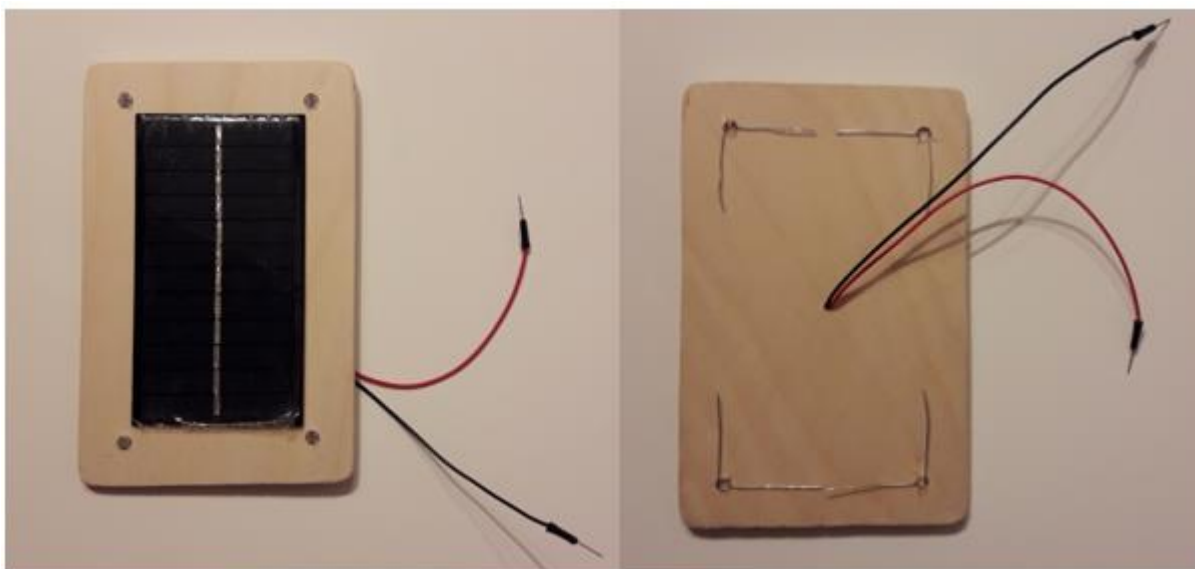
Za izradu postolja na kojem je smješten solarni panel i četiri fotootpornika korištena je drvena pločica dimenzije 150 x 95mm i debljine 4mm. Drvenu pločicu je najprije trebalo izrezati na određenu dimenziju, kako bi zatim na nju mogli ispravno smjestiti solarni panel i postaviti, pričvrstiti fotootpornike.



Slika 6.13. Postolje za solarni panel i fotootpornike

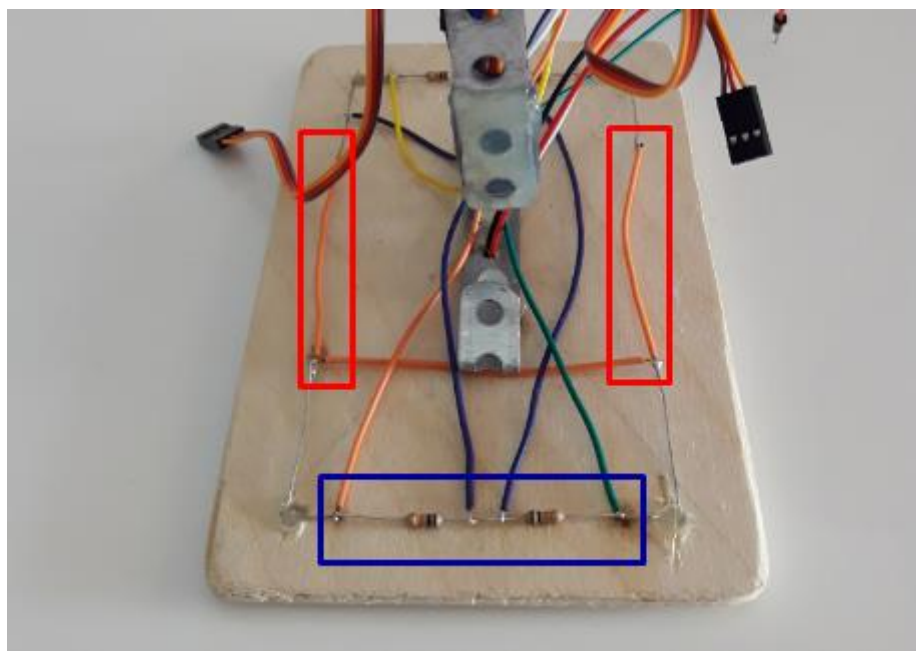
6.8.3. Realizacija sustava s mogućnošću praćenja položaja Sunca

Na prethodno izrađenom postolju za solarni panel napravi se, izbuši, rupu u sredini i četiri rupe sa strane tako da se u njih mogu umetnuti fotootpornici. Nakon toga na solarni panel zaleme se lemilicom dvije žice, crvena „+“ i crna „-“. Solarni panel se postavi i centrira na sredinu postolja i provuku se te dvije žice kroz središnju rupu koja je prethodno izbušena. Nakon uspješnog postavljanja solarnog panela na postolje predviđenog za njega, četiri fotootpornika postave se malo iznad rubova solarnog panela (gore, dolje, lijevo, desno). Najprije se skrate žice svakog fotootpornika da se kasnije mogu lakše spojiti i nakon toga se postavi svaki fotootpornik u rupu koju smo prethodno izbušili. Fotootpornici se nakon što su postavljeni učvrste vrućim ljepilom da ne bi tijekom okretanja makete ispali van.



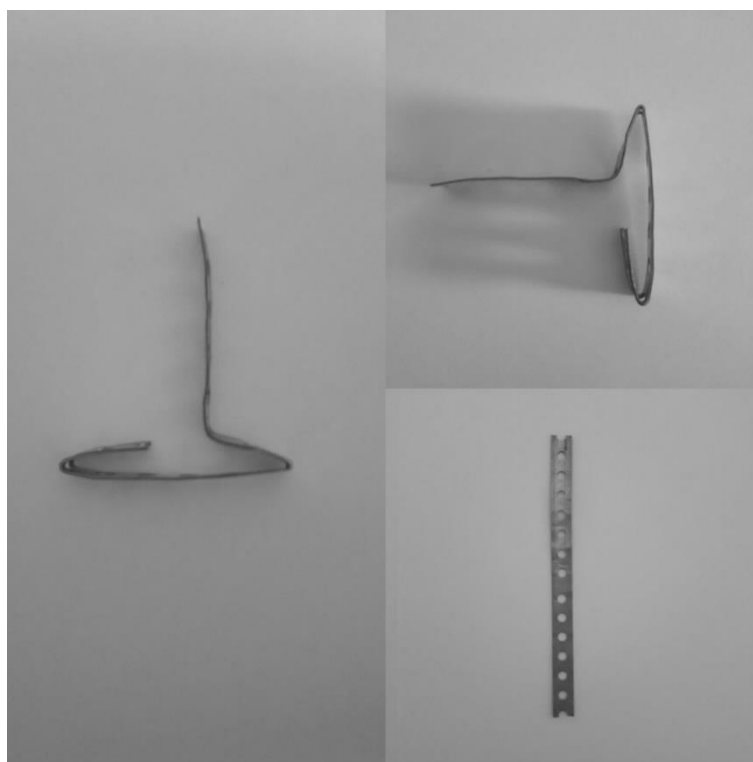
Slika 6.14. Solarni panel i fotootpornici smješteni na postolju

Nakon učvršćivanja fotootpornika vrućim ljepilom, potrebno ih je zalemiti. Prvo se zaleme žicom duži krajevi, sa oba dvije strane (lijevo i desno), dva međusobno udaljena fotootpornika sa narančastom žicom kako je prikazano na slici 6.15. (uokvireno crvenom bojom), a zatim se dodaju po dva otpornika (ukupno 4 otpornika) od $10\text{ k}\Omega$ sa svake strane (gore i dolje) i zaleme se sa preostala dva fotootpornika (uokvireno plavom bojom).



Slika 6.15. Povezivanje fotootpornika i otpornika od $10\text{ k}\Omega$

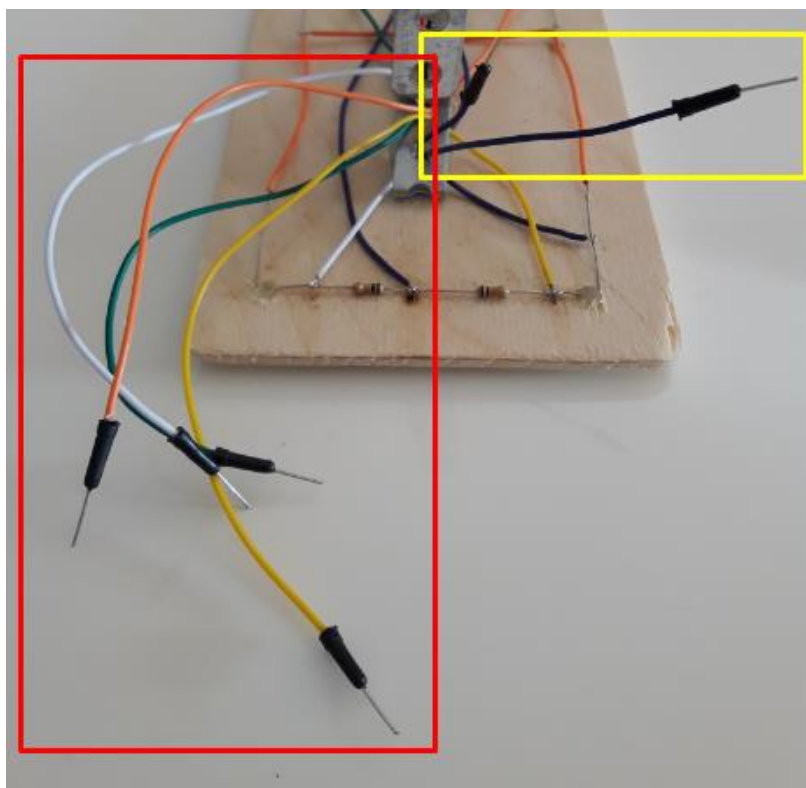
Nakon pravilnog povezivanja fotootpornika i otpornika potrebno je izraditi prvu metalnu trakicu koja se vrućim ljepilom učvrsti na sredinu podnožja drvene pločice. Metalna trakica najprije je bila ravna, da bi se zatim presavijanjem dobila željena struktura trakice. Kroz nju će se zatim provući žice i učvrstiti servo motor koji će biti vertikalno postavljen. Na nju će se također učvrstiti i druga metalna trakica koja će na sebi imati pričvršćen servo motor koji će biti postavljen horizontalno. Na kraju će se kroz ovu metalnu trakicu na kojoj je pričvršćen vertikalni servo motor moći provući dvije žice sa solarnog panela (crvena i crna) koje će poslužiti kod mjerenja.



Slika 6.16. Izrada prve metalne trakice

Nakon što je prva metalna trakica postavljena i učvršćena uzmu se 4 žice, u ovom slučaju za izradu ove makete to su bijela, žuta, zelena i narančasta žica (na slici uokvireno crvenom bojom) i zalemi se svaka žica između jednog fotootpornika i otpornika, i provuku se kroz metalnu trakicu. Te četiri žice koriste se za povezivanje izlaza četiri fotootpornika na Arduino pločicu. Zatim se nakon ispravnog povezivanja, zaleme dvije plave žice, na slici uokvirene žutom bojom, od kojih se jedna koristi za napajanje, pozitivan polaritet napona (Vcc), a druga plava žica za uzemljenje (GND). Kasnije se žica koja se koristi za napajanje produžila crvenom žicom radi bolje preglednosti i lakšeg snalaženja tijekom spajanje na eksperimentalnu

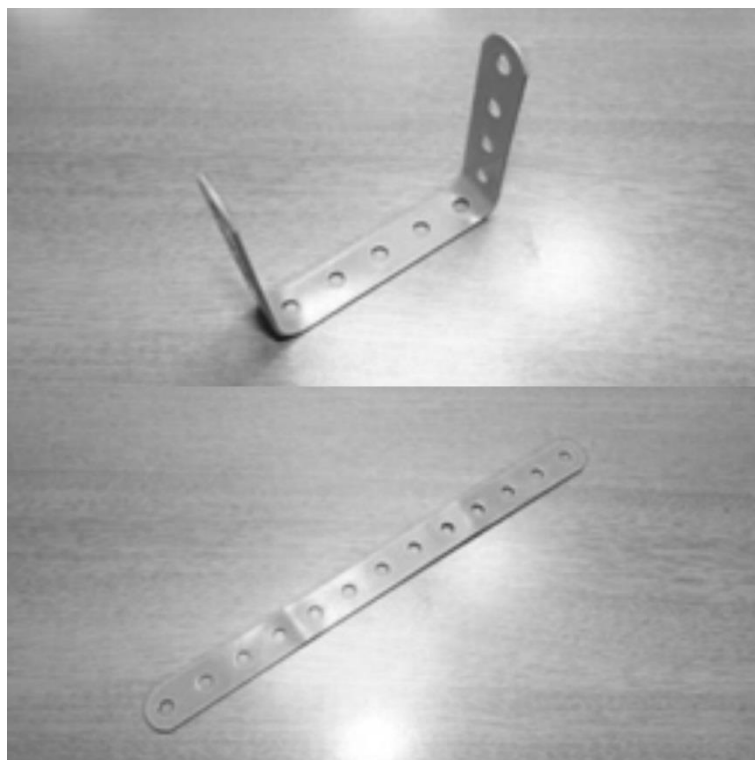
pločicu, a kasnije i na tiskanu pločicu. Tako da se na kraju ima jedna plava žica koja se koristi za uzemljenje (GND), i jedna plavo-crvena žica koja se koristi za napajanje (Vcc).



Slika 6.17. Spajanje žica četiri LDR-a, Vcc i GND

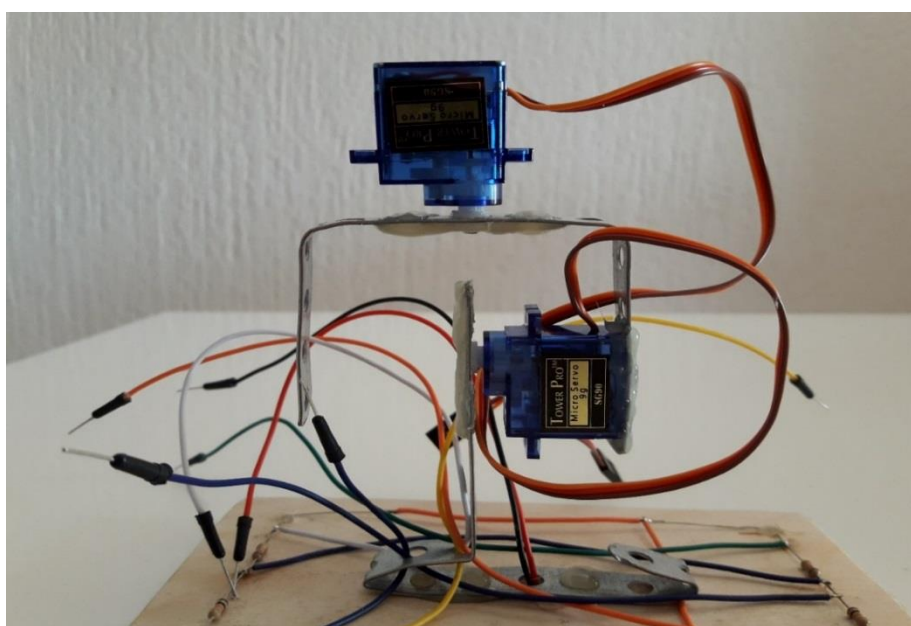
Nakon što su žice pravilno zalemljene i postavljene potrebno je na metalnu trakicu pričvršćenu na sredini podnožja drvene pločice pričvrstiti servo motor. Servo motor bit će postavljen u vertikalnom položaju. Motor se učvrsti malim vijkom i dodatno se osigura, da ne bi tijekom vrtnje ispao, vrućim ljepilom.

U sljedećem koraku potrebno je izraditi i drugu metalnu trakicu na koju će se pričvrstiti servo motor koji će biti postavljen horizontalno. Horizontalno postavljen servo motor se također, radi dodatnog osiguranja, nakon učvršćivanja vijkom, učvrsti i vrućim ljepilom da ne bi tijekom okretanja makete ispao.



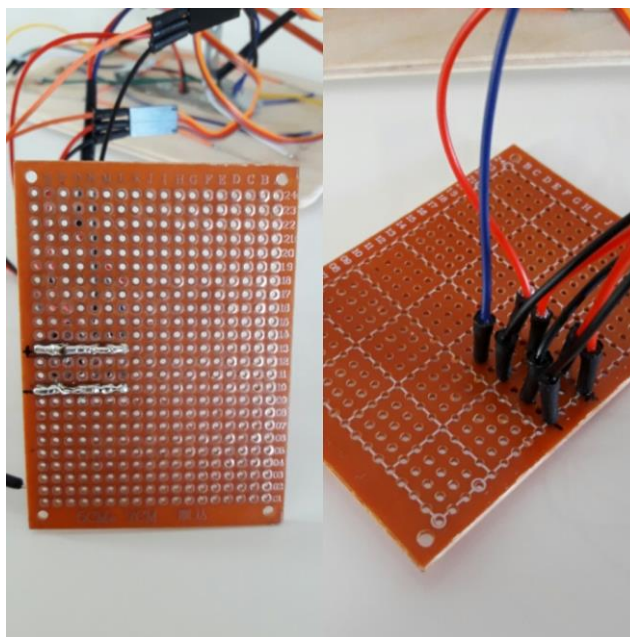
Slika 6.18. Izrada druge metalna trakice

Kad su oba dva servo motora učvršćena vijcima na metalne trakice i dodatno učvršćena vrućim ljepilom, najprije se uzme onaj dio makete gdje se nalazi solarni panel i vertikalno postavljen servo motor i na njega se pričvrsti vrućim ljepilom druga metalna trakica i horizontalno postavljen servo motor. (slika 6.19.)



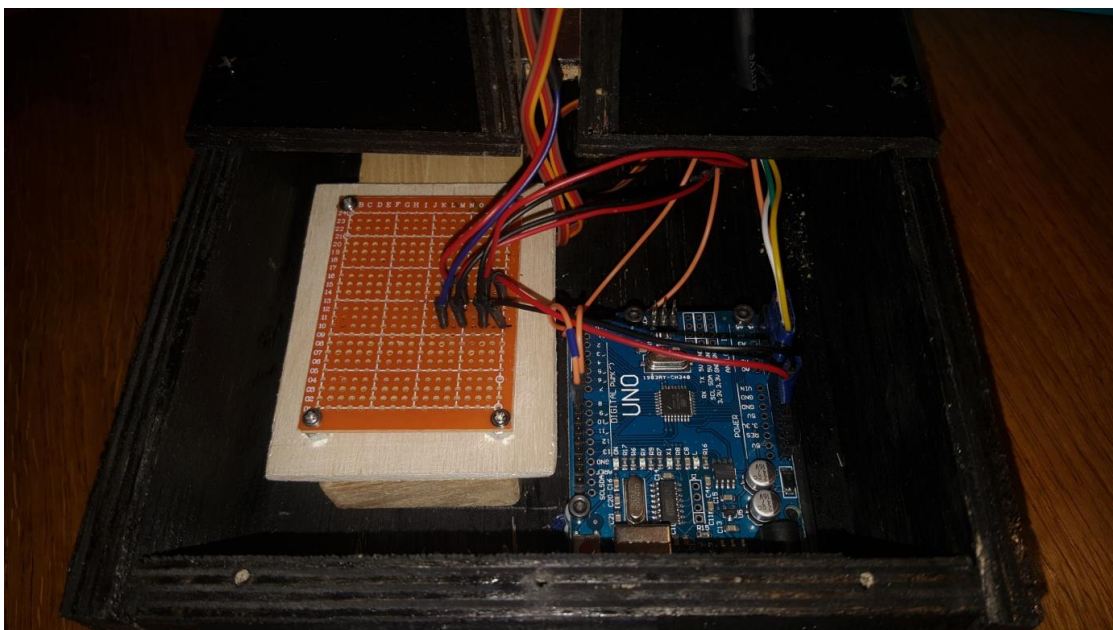
Slika 6.19. Međusobno učvršćivanje dva servo motora i metalnih trakica

Nakon što su oba dva servo motora međusobno pričvršćena potrebno je na tiskanu pločicu zalemiti žice koje će se kasnije priključiti na pinove Arduina. Najprije se na tiskanoj pločici označi „+“ i „-“ i zatim se zaleme žice. Žice koje je potrebno zalemiti su GND (-) i Vcc (+). Svaki servo motor ima svoje napajanje, uzemljenje i jednu žicu za upravljački signal koja će biti direktno priključena na Arduino pin tako da nju nije bilo potrebno lemiti na tiskanu pločicu.



Slika 6.20. Lemljenje žica na tiskanu pločicu

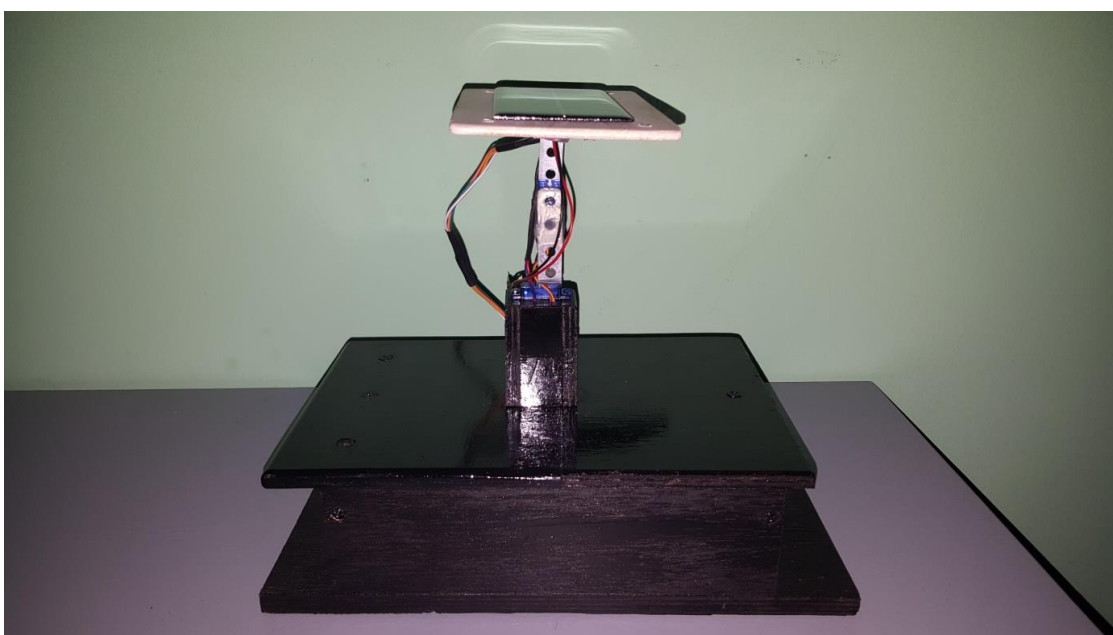
Prije samog postavljanja i učvršćivanja makete tiskana se pločica sa četiri mala vijka i pomoću matica pričvrsti za mali komad drvene pločice radi lakšeg postavljanja na podnožje kućišta. Radi odgovarajuće visini i stabilnosti cijele makete, ispod tiskane pločice umetnut je komad drveta da se prilikom okretanja makete ne odspoje žice i učvršćen je zajedno sa tiskanom pločicom na dno kućišta. Arduino UNO koji je na svome podnožju vrućim se ljepilom učvrsti na podnožje kućišta čim bliže tiskanoj pločici.



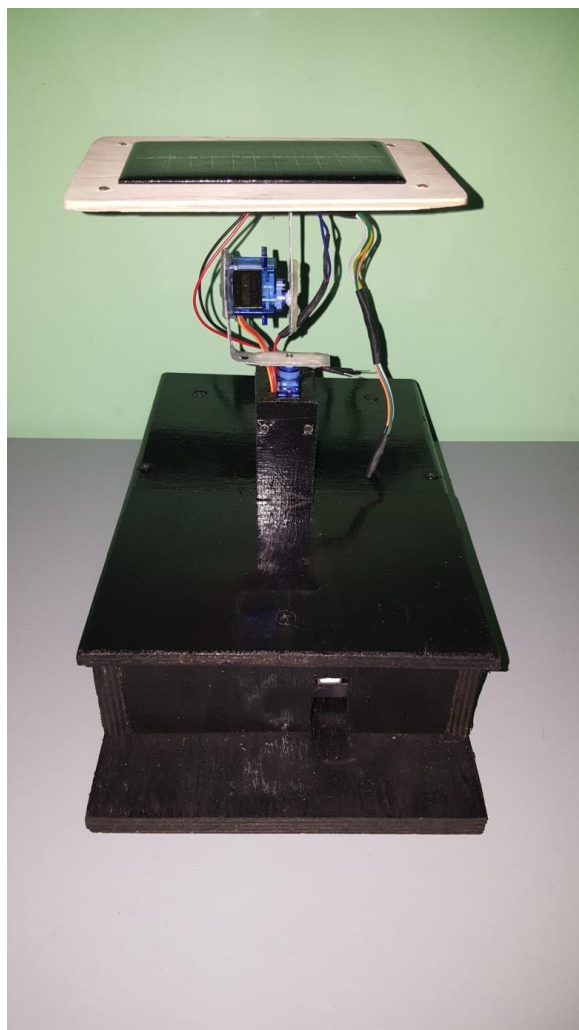
Slika 6.21. Unutrašnjost makete

Po završetku montiranja sustava za praćenje položaja Sunca na kućište, dio metalne trakice na kojoj je pričvršćen horizontalni servo motor odrezao se kliještama za rezanje lima zbog omotavanja žica na tu istu trakicu. To nije utjecalo na stabilnost sustava zato što je sami sustav dovoljno pričvršćen na drveni toranj kućišta.

Završni izgled makete za praćenje položaja Sunca sa različitih strana gledanja prikazan je na slikama 6.22., 6.23. i 6.24.



Slika 6.22. Izgled makete sa bočne strane



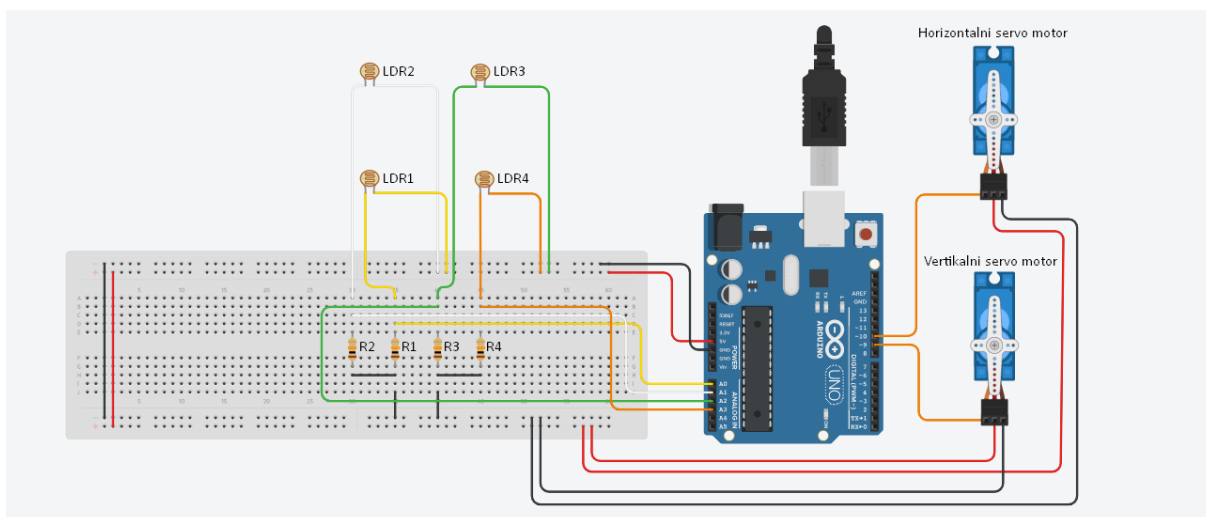
Slika 6.23. Izgled makete sa prednje strane



Slika 6.24. Izgled makete sa ptičje perspektive

6.9. Montažna shema elektronike

Za izradu montažne sheme elektronike ovog završnog rada korištena je stranica Autodesk circuits [24]. Da bi uopće počeli sa izradom montažne sheme najprije se potrebno registrirati. Sama registracija je besplatna i nakon toga moguć je rad na stranici. Stranica Autodesk circuits omogućuje izradu montažne sheme i unos programskog koda koji je najprije napisan u samom programu Arduino. Također, stranica nudi i simulaciju izrađenog sustava i izradu elektroničke sheme. Sama simulacija pojednostavljuje izradu realnog sustava. Autodesk circuits sadržava sve potrebne elemente za izradu sustava za praćenje položaja Sunca. Elementi za korištenje montažne sheme elektronike u programu Autodesk circuits su: horizontalni i vertikalni servo motor, četiri fotootpornika (LRD1, LRD2, LRD3, LRD4), četiri otpornika (R1, R2, R3, R4), eksperimentalna pločica, Arduino Uno i žice za povezivanje.



Slika 6.25. Montažna shema elektronike

Nakon izrade montažne sheme unosi se programski kod koji je najprije napisan u programu Arduino i pokreće se simulacija. Postupak simulacije je dao očekivane rezultate i ispravno ponašanje samog sustava.

6.10. Princip rada sustava

Maketa sa mogućnošću praćenja položaja Sunca radi na principu da se okreće pomoću horizontalnog i vertikalnog servo motora prema najvećem izvoru svjetlosti. Izvor svjetlosti može biti prirodan (Sunce) ili umjetan (žarulja, svjetiljke, itd.).

Za demonstraciju ovog završnog rada, ove makete za praćenje položaja Sunca poslužit će svjetiljka na mobilnom uređaju. Okretanje mobilnog uređaj u raznim smjerovima dat će uvid u pravilan rad makete i solarni panel pratit će svjetlo na njemu.

Sustav funkcionira tako da se najprije snimaju analogne vrijednosti svakog fotootpornika, zatim se računa prosjek između njih i nakon toga uspoređuju se vrijednosti gornjeg i donjeg, te lijevog i desnog fotootpornika.



```
// Snimanje analognih vrijednosti svakog fotootpornika //

int TopLeft = analogRead(ldrTopLeft); // Analogna vrijednost gore lijevog fotootpornika
int TopRight = analogRead(ldrTopRight); // Analogna vrijednost gore desnog fotootpornika
int BottomLeft = analogRead(ldrBottomLeft); // Analogna vrijednost dolje lijevog fotootpornika
int BottomRight = analogRead(ldrBottomRight); // Analogna vrijednost dolje desnog fotootpornika

// Izračun prosjeka između fotootpornika //

int avgTop = (TopLeft + TopRight) / 2; // Prosjek između gornjih fotootpornika
int avgBot = (BottomLeft + BottomRight) / 2; // Prosjek između donjih fotootpornika
int avgLeft = (TopLeft + BottomLeft) / 2; // Prosjek između lijevih fotootpornika
int avgRight = (TopRight + BottomRight) / 2; // Prosjek između desnih fotootpornika
```

Slika 6.26. Snimanje vrijednosti i izračun prosjeka

Od 61. linije koda gleda se vrijednost između gornjeg i donjeg fotootpornika i ako je vrijednost gornjeg manja od vrijednosti donjeg vertikalni servo motor se pomiče za 1° prema dolje. Zatim se gleda vrijednost donjeg i gornjeg fotootpornika i ako je vrijednost donjeg manje od vrijednosti gornjeg vertikalni se servo motor pomiče za 1° prema gore.

Linije koda od 64 do 67 osiguravaju da se ne prelazi zadani limit vertikalnog servo motora, a linija koda 68 označava čekanje od 10ms (0.01s).

```

61 if (avgTop < avgBot) // Ako je vrijednost gornjeg fotootpornika manja od vrijednosti donjeg fotootpornika
62 {
63     servovertical.write(ServoVerti +1); // Pomak vertikalnog servo motora za 1° prema dolje
64     if (ServoVerti > ServoVertiLimitHigh)
65     {
66         ServoVerti = ServoVertiLimitHigh;
67     }
68     delay(10);
69 }
70 else if (avgBot < avgTop) // Ako je vrijednost donjeg fotootpornika manja od vrijednosti gornjeg fotootpornika
71 {
72     servovertical.write(ServoVerti -1); // Pomak vertikalnog servo motora za 1° prema gore
73     if (ServoVerti < ServoVertiLimitLow)
74     {
75         ServoVerti = ServoVertiLimitLow;
76     }
77     delay(10);
78 }
79 else
80 {
81     servovertical.write(ServoVerti);
82 }

```

Slika 6.27. Pomak vertikalnog servo motora

Nakon toga gleda se vrijednosti između lijevih i desnih fotootpornika. Prvo se gleda vrijednosti između lijevog i desnog fotootpornika i ako je vrijednost lijevog veća od vrijednosti desnog horizontalni se servo motor pomiče za 1° u lijevo. I na kraju se gleda vrijednost između desnog i lijevog fotootpornika i ako je vrijednost desnog veća od vrijednosti lijevog horizontalni se servo motor pomiče u desnu stranu za 1°.

Linije koda od 87 do 90 osiguravaju da se ne prelazi zadani limit horizontalni servo motora, a linija koda 100 označava čekanje od 10ms (0.01s).

```

84 if (avgLeft > avgRight) // Ako je vrijednost lijevog fotootpornika veća od vrijednosti desnog fotootpornika
85 {
86     servohorizontal.write(ServoHoriz +1); // Pomak horizontalnog servo motora za 1° u lijevo
87     if (ServoHoriz > ServoHorizLimitHigh)
88     {
89         ServoHoriz = ServoHorizLimitHigh;
90     }
91     delay(10);
92 }
93 else if (avgRight > avgLeft) // Ako je vrijednost desnog fotootpornika veća od vrijednosti lijevog fotootpornika
94 {
95     servohorizontal.write(ServoHoriz -1); // Pomak horizontalnog servo motora za 1° u desno
96     if (ServoHoriz < ServoHorizLimitLow)
97     {
98         ServoHoriz = ServoHorizLimitLow;
99     }
100    delay(10);
101 }
102 else
103 {
104     servohorizontal.write(ServoHoriz);
105 }

```

Slika 6.28. Pomak horizontalnog servo motora

7. Rezultati mjerenja

U završnom radu potrebno je izvršiti mjerenja pri jednakim vremenskim uvjetima sa i bez praćenja položaja Sunca, te usporediti rezultate. Mjerenje se vršilo iz sata u sat tokom čitavog dana od 7:00 do 19:00 sati.

Napon i struja će se mjeriti pomoću digitalnog multimetra VC830L. Kod mjerenja napona multimeter je bio podešen na mjerno područje V, a pri mjerenju struje multimeter je bio podešen na mjerno područje mA. U tablicu su upisani rezultati mjerenja napona i struje pri jednakim vremenskim uvjetima sa i bez praćenja položaja Sunca, a snaga se izračunala prema formuli: $P = U * I$. (3)

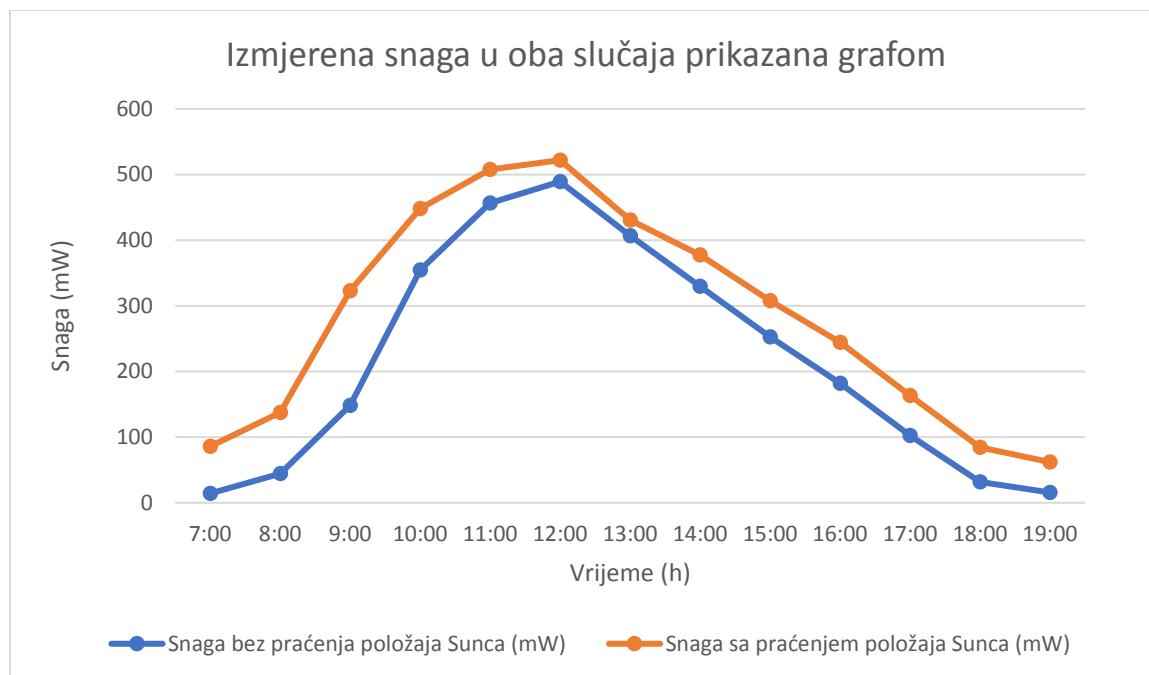
Također u tablicu je upisana i prosječna snaga za oba slučaja.

	Napon (V)		Struja (mA)		Snaga (mW)	
Vrijeme (h)	Bez praćenja	Sa praćenjem	Bez praćenja	Sa praćenjem	Bez praćenja	Sa praćenjem
7:00	3,39	4,5	4,20	19,1	14,24	85,95
8:00	4,41	5,1	10,1	27,0	44,54	137,7
9:00	6,08	6,31	24,4	51,2	148,35	323,07
10:00	6,8	6,96	50,8	64,4	345,44	448,23
11:00	6,98	7,10	65,4	71,5	456,49	507,65
12:00	7,05	7,14	69,4	73,1	489,27	521,93
13:00	6,88	7,0	59,1	61,5	406,61	430,5
14:00	5,9	6,6	55,9	57,2	329,81	377,52
15:00	5,5	6,0	45,9	51,3	252,45	307,8
16:00	4,9	5,4	37,1	45,3	181,79	244,62
16:00	4,1	4,5	25,0	36,3	102,5	163,35
18:00	3,1	4,0	10,3	21,1	31,93	84,4
19:00	2,9	3,5	5,4	17,7	15,66	61,95
Prosjek snaga (mW)					216,8523	284,2054
Proizvedena električna energija (mWh)					2819,0799	3694,6702

Tablica 7.1. Rezultati mjerenja

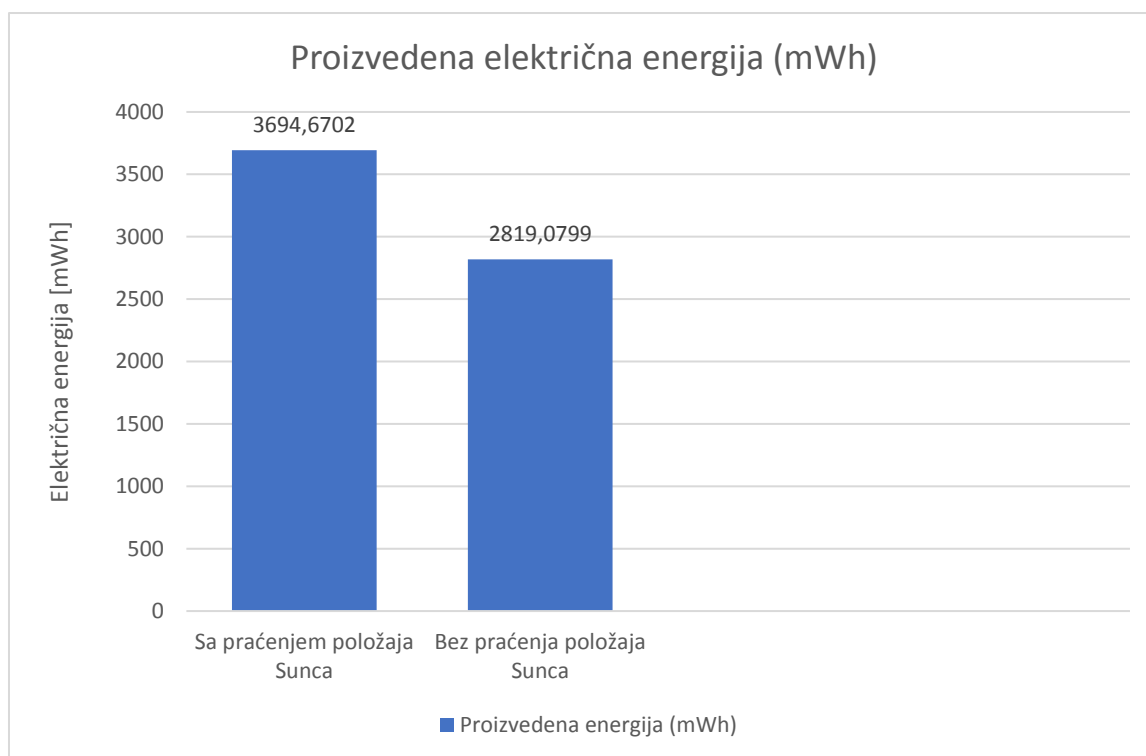
7.1. Analiza rezultata

Iz tablice 7.1. može se vidjeti da je postignuta snaga sa praćenjem položaja Sunca veća u odnosu na postignutu snagu bez praćenja položaja, tj. pri fiksnom postavljanju solarnog panela. Razlike su uglavnom ujutro i u poslijepodnevnim satima kad Sunčeve zrake više ne padaju na solarni panel pod pravim kutom, te stoga solarni panel ne daje maksimalnu izlaznu snagu. To je posebno vidljivo na grafičkoj analizi rezultata mjerenja, što je prikazano niže na grafu.



Slika 7.1. Izmjerena snaga u oba slučaja

Maketa sa praćenjem položaja Sunca proizvela je 3694,6702 mWh električne energije, dok je proizvedena električna energije bez praćenja položaja Sunca, tj. kada je solarni panel bio fiksno postavljen pod pravim kutom bila 2819,0799 mWh. To je također prikazano na donjem grafikonu.



Slika 7.2. Proizvedena električna energija

Iz tih podataka može se vidjeti da je maketa sa praćenjem položaja Sunca proizvela 23,70 % više električne energije u odnosu kada je solarni panel bio fiksno postavljen.

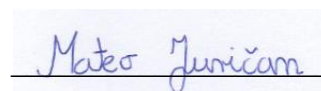
8. Zaključak

Besplatan izvor energije kao i čistoća u proizvodnji rezultira time da su obnovljivi izvori energije u današnje vrijeme sve važniji izvori u elektroenergetskom sustavu. Obnovljiv izvor energije s najviše potencijala i s najvećom iskoristivošću je Sunce. Da bi se taj obnovljiv izvor energije dao iskoristiti i da bi ljudi imali koristi od Sunca potrebne su solarne elektrane koje pretvaraju Sunčevu energiju u električnu.

Sunčevo zračenje koje upada na plohu solarnog panela mijenja se tijekom dana, mjeseca i godine. Ono također ovisi o položaju promatranog mjesta te o klimatskim uvjetima. Promjene Sunčevog zračenja koje se dešavaju tijekom dana vezane su za gibanje Zemlje oko Sunca i samim time zrake Sunca ne padaju izravno na plohu solarnog panela. Sustav koji kontinuirano prati prividan položaj Sunca omogućava najbolju iskoristivost Sunčeve energije i postavlja solarni panel pod kutom koji omogućuje njegov puni potencijal. Različiti tipovi solarnih elektrana mogu se podijeliti prema vrsti postavljanja solarnih panela. Solarne elektrane s fiksno postavljenim solarnim panelima znatno su neefikasnije i proizvode manje električne energije od solarnih elektrana sa sustavima za praćenje položaja Sunca. Idealan položaj solarnih panela bilo kod sustava za praćenje položaja Sunca ili kod solarnih panela koji su na fiksnoj konstrukciji podrazumijeva onaj položaj pri kojemu je količina Sunčevog zračenja koja dopijeva do solarnog panela najveća moguća.

Sa izvršenim mjerenjima dobiveni su rezultati koji potvrđuju pravilan rad makete sa praćenjem položaja Sunca. Na temelju mjerenja dobiveni rezultati pokazuju da se sa sustavom za praćenje položaja Sunca dobiva 23,70% više električne energije u odnosu na fiksni način rada sustava. Što se tiče ekonomske isplativosti i investicije u sustave za praćenje, to ovisi o svakom slučaju zasebno. Ako nema odgovarajuće lokacije za solarne elektrane ili je prostor pogodan za instalaciju elektrane ograničen, sustav za praćenje položaja Sunca tj. tracker sustav je najbolje i najidealnije rješenje.

U Varaždinu, 29.03. 2018.



Mateo Juričan

9. Literatura

Knjige:

- [1] B. Labudović : Obnovljivi izvori energije, Energetika marketing d.o.o., Zagreb 2002.
- [2] Vladimir Knapp, Petar Kulišić : Novi izvori energije, Školska knjiga-Zagreb
- [3] B. Labudović : Osnove primjene solarnih toplinskih sustava, Energetika marketing, Zagreb 2010.
- [4] Vladimir Potočnik : Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj, Zagreb 2002.
- [5] Marijan Kalea : Električna energija, Zagreb 2007.
- [6] B. Labudović: Osnovne primjene fotonaponskih sustava, Energetika marketing, Zagreb 2011.
- [7] S. Vincek, struč. spec. ing. el., dr. sc. Lj. Cvitaš, dipl. ing. : Sustav za nadzor i upravljanje pozicionera fotonaponskih ploča, Tehnički glasnik 8, 2(2014), 134-139
- [8] Doc. dr. sc. Ljubomir Majdandžić dipl. ing.: Fotonaponski sustavi, priručnik, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu, Srednja škola Oroslavlje

Internet izvori:

- [9] <http://www.obnovljivi.com/energija-sunca/50-povijest-koristenja-energije-sunca>, dostupno 08.06.2017.
- [10] http://www.rego-stan.hr/hrvatski/aktivnosti-upravitelja-detalji_9/sve-o-solarnim-celijama_64/, dostupno 21.06.2017.
- [11] http://mojotok.info/dt_portfolio/energetska-ucinkovitost/, dostupno 21.06.2017.
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker, dostupno 17.07.2017.
- [13] <http://www.obnovljivi.com/obnovljivi-izvori-energije-u-regiji/1587-fne-orahovica-1>, dostupno 18.07.2017.
- [14] <http://www.croenergo.eu/Izgradjena-tracker-solarna-elektrana-u-Svetom-Iliji-7753.aspx>, dostupno 19.07.2017.
- [15] <http://www.zelenaenergija.org/clanak/grad-zagreb-objavio-natjecaj-za-ugradnju-sustava-oie/421dogadjanje/schrack-info-dani-2012-u-osijeku/hrvatska/clanak/izgradena-tracker-solarna-elektrana-u-svetom-iliji/3670>, dostupno 22.07.2017.
- [16] <http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/2-energija-sunca-i-fotonaponske-celije/>, dostupno 22.07.2017.

- [17] <http://www.solarno.hr/katalog/proizvod/TRAC5KW/deger-tracker-5000>, dostupno 20.07.2017.
- [18] <http://www.zelenaenergija.org/clanak/fotonaponski-sustavi-koji-prate-kretanje-sunaca/3385>, dostupno 22.07.2017.
- [19] <http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali14/14E04.pdf> , dostupno 20.07.2017.
- [20] <https://sysportal.carnet.hr/node/1418>, dostupno 08.11.2017.
- [21] <http://www.hztk.hr/media/Automatika/DIO1.pdf>, dostupno 08.11.2017.
- [22] <https://e-radionica.com/hr/blog/2016/06/23/kkm-servo-motor-tower-pro-sg90/>, dostupno 08.11.2107.
- [23] <https://www.electrical4u.com/light-dependent-resistor-ldr-working-principle-of-ldr/>
- [24] <https://circuits.io/>, dostupno 08.11.2017.
- [25] <https://www.arduino.cc/>, dostupno 08.11.2017.
- [26] <http://www.obnovljivi.com/energija-sunca/53-moderni-nacini-pretvorbe-energije-sunca-u-elektricnu-energiju-fotonapon?start=2>, dostupno 08.11.2017.
- [27] <http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/Sunce%20prezentacija.pdf>, dostupno 08.11.2017.
- [28] <http://blog.thesietch.org/2007/06/29/how-solar-panels-are-made-a-tutorial/>, dostupno 21.07.2017.
- [29] https://www.fmf.unilj.si/~stepisnik/sola/energvir/Seminarji08_09/Soncne%20celice_txt.pdf, dostupno 08.07.2017.
- [30] <http://www.degerenergie.de/>, dostupno 08.11.2017.
- [31] https://mafiadoc.com/sunane-elektrane-solektra-primjer-dobre-prakse-_5a01b7c01723ddf91b3bcec9.html, dostupno 08.11.2017.
- [32] <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-uno-schematic.pdf>, dostupno 08.11.2017
- [33] https://elf.foi.hr/pluginfile.php/54360/mod_resource/content/0/01_Isplativost-KM_20130131.pdf, dostupno 08.11.2017

Radovi:

- [34] Planning and Installing Photovoltaic Systems, a guide for installers, architects and engineers, second edition, Copyright © The German Energy Society (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS LV Berlin BRB), 2008

10. Popis slika:

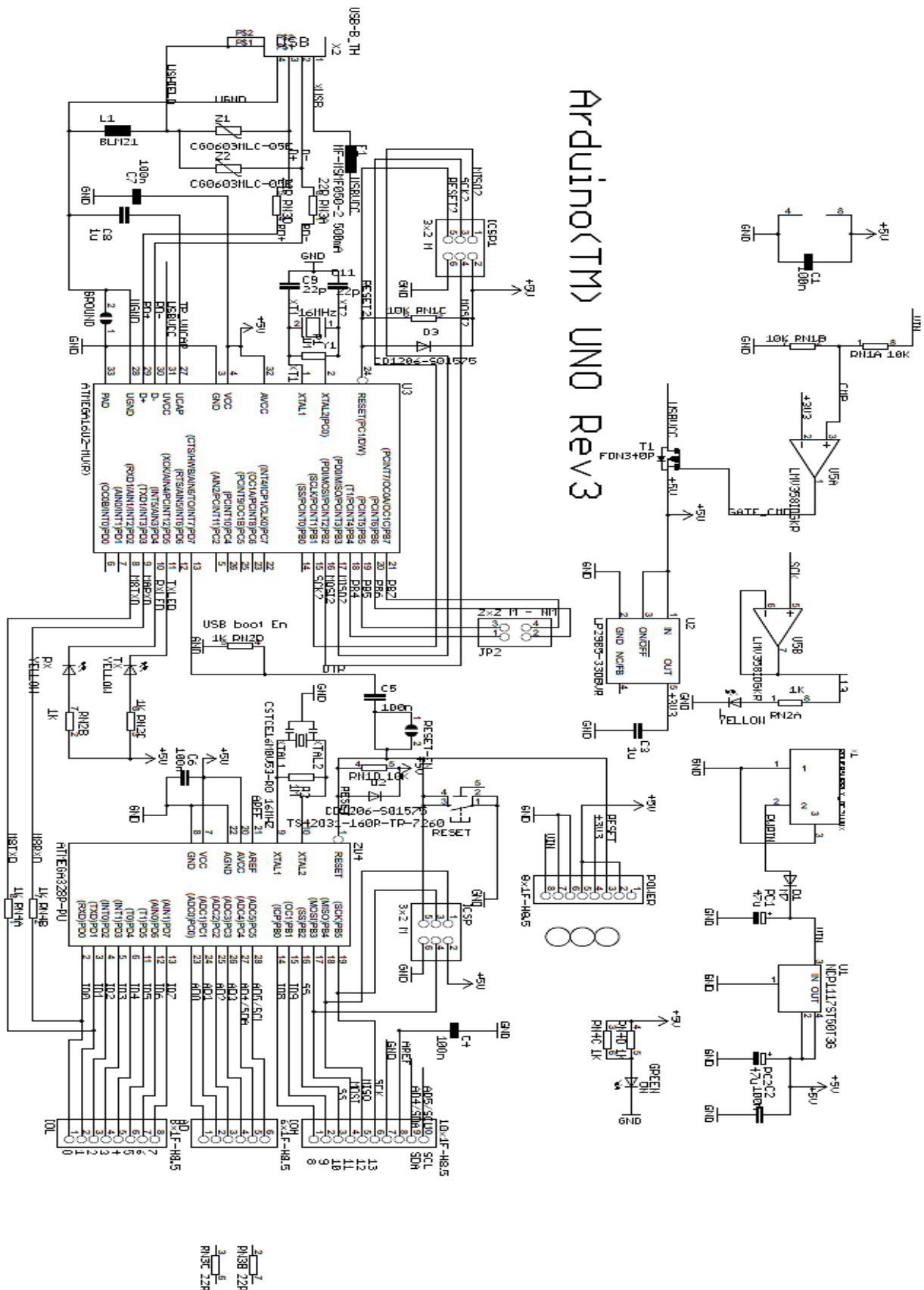
<i>Slika 2.1. Sunčevo zračenje, Izvor: [35] https://www.slideshare.net/valent/suneva-energija-zdeslav-mati, dostupno 24.07.2017.</i>	4
<i>Slika 2.2. Godišnja usporedba Sunčevog zračenja na površini Zemlje s godišnjom potrošnjom energije u svijetu, te zalihama fosilnih i nuklearnih goriva, Izvor: [36] http://mojotok.info/dt_portfolio/energetska-ucinkovitost/, dostupno 24.07.2017.</i>	5
<i>Slika 2.3. Ogroman potencijal energije Sunčeva zračenja pada na svaku građevinu [8]</i>	6
<i>Slika 2.4. Teoretski i tehnički potencijal obnovljivih izvora energije [8]</i>	7
<i>Slika 2.5. Kretanje zemlje oko Sunca, Izvor: [37] http://www.aad.hr/lista/3/zanimljivosti/4/zasto_dolazi_do_izmjene_godisnjih_doba_.html, dostupno 24.07.2017.</i>	8
<i>Slika 2.6. Zemljopisna širina, deklinacija Sunca i satni kut Sunca u odnosu na promatrača na Zemljinoj površini, Izvor: [38] http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali14/14E04.pdf, dostupno 24.07.2017.</i>	9
<i>Slika 3.1. Svemirski satelit opskrbljen solarnim ćelijama, Izvor: [39] http://wifinotes.com/energy/applications-of-solar-energy.html, dostupno 24.07.2017.</i>	11
<i>Slika 3.2. Princip rada solarne ćelije, Izvor: [40] http://www.radionicaarhitekturefranic.hr/solarne%20elektrane.html, dostupno 25.07.2017.</i>	12
<i>Slika 3.3. Silicijeva solarna ćelija [8]</i>	13
<i>Slika 3.4. Monokristalne solarne ćelije, Izvor: [41] http://www.baterije.org/komponente%20solarnih%20sistema.html, dostupno 25.07.2017.</i>	14
<i>Slika 3.5. Postupak proizvodnje solarnih ćelija i solarnog modula [8]</i>	15
<i>Slika 3.6. Fotonaponski sustav koji prati kretanje Sunca, Izvor: [42] http://www.supernovatech.in/products/solar-tracker/, dostupno 26.07.2017.</i>	16
<i>Slika 3.7. Fotonaponski moduli različitih dimenzija s različitim brojem solarnih ćelija, Izvor: [43] https://www.indiamart.com/primotechenergy-solutions/photovoltaic-modules.html, dostupno 26.07.2017.</i>	16
<i>Slika 4.1. Solarna elektrana Topaz u Kaliforniji, Izvor: [44] http://www.croenergo.eu/S-radom-pocela-najveca-solarna-elektrana-24597.aspx, dostupno 26.07.2017.</i>	19
<i>Slika 4.2. Parkirališni automati sa solarnim modulima, Izvor: [45] http://www.zgh.hr/aktualnosti-10/novosti-170/obavijest-korisnicima-parkiralista-u-bednjanskoj-ulici/7014, dostupno 26.07.2017.</i>	19

<i>Slika 4.3. Osnovna podjela fotonaponskih sustava [8]</i>	<i>20</i>
<i>Slika 4.4. Samostalni fotonaponski sustav za trošila na istosmjernu struju, Izvor: [46]</i>	
<i>http://flamtron.hr/solar/index.php/hr/fotonaponski-sustavi/autonomni-ili-samostalni-fotonaponski-sustavi, dostupno 26.07.2017.</i>	<i>21</i>
<i>Slika 4.5. Hibridni fotonaponski sustav, Izvor: [47]</i>	
<i>http://eoling.sistemi.hr/ELEnergijskeSustave/Hibridnisustavi/tabid/103/language/hr-HR/Default.aspx, dostupno 26.07.2017.</i>	<i>22</i>
<i>Slika 4.6. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije, Izvor: [48]</i>	
<i>http://flamtron.hr/solar/index.php/hr/solarne-elektre-klijuc-u-ruke/79-solarna-energija/fotonaponski-sustavi, dostupno 26.07.2017.</i>	<i>24</i>
<i>Slika 4.7. Fotonaponski sustav izravno priključen na javnu elektroenergetsku mrežu [8].....</i>	<i>24</i>
<i>Slika 5.1. Sustav za praćenje položaja Sunca, Izvor: [49]</i>	
<i>http://www.solarlinepower.com/products/solar-tracker, dostupno 04.08.2017.</i>	<i>25</i>
<i>Slika 5.2. Fiksno postavljeni solarni paneli na krovu kuće, Izvor: [50]</i>	
<i>https://www.tportal.hr/biznis/clanak/isplati-li-se-instalirati-solarnu-elektre-na-kucu-20120715, dostupno 04.08.2017.</i>	<i>27</i>
<i>Slika 5.3. Fotonaponska elektrana FNE Orahovica 1 [13].....</i>	<i>28</i>
<i>Slika 5.4. Fotonaponska elektrana FNE Orahovica 1 [13].....</i>	<i>28</i>
<i>Slika 5.5. Dijelovi solarnog sustava za praćenje položaja Sunca [7].....</i>	<i>31</i>
<i>Slika 5.6. Tracker solarna elektrana u Svetom Iliji snage 25,2 kW [15]</i>	<i>32</i>
<i>Slika 5.7. Sustavi za praćenje položaja Sunca: a) jednoosni, b) dvoosni, Izvor: [51]</i>	
<i>https://antinuclear.files.wordpress.com/2016/07/diagram-solar-tracker.gif, https://punjab-pk.all.biz/solar-tracker-sun-tracker-g3350, dostupno 04.08.2017..</i>	<i>33</i>
<i>Slika 5.8. Solarni paneli na jednoosnom nosaču, Izvor: [52]</i>	
<i>http://repozitorij.fsb.hr/7503/1/Marcus%202017_zavr%C5%A1na%20rad.pdf, dostupno 04.08.2017.</i>	<i>34</i>
<i>Slika 5.9. Solarni paneli na dvoosnom nosaču, Izvor: [53]</i>	
<i>http://repozitorij.fsb.hr/7503/1/Marcus%202017_zavr%C5%A1na%20rad.pdf, dostupno 04.08.2017.</i>	<i>35</i>
<i>Slika 5.10. Glava Zomework-ovog pasivnog sustava za praćenje Sunca, Izvor: [54]</i>	
<i>http://www.wikiwand.com/hr/Sustav_pra%C4%87nja_polo%C5%BEaja_Sunca, dostupno 04.08.2017.</i>	<i>39</i>

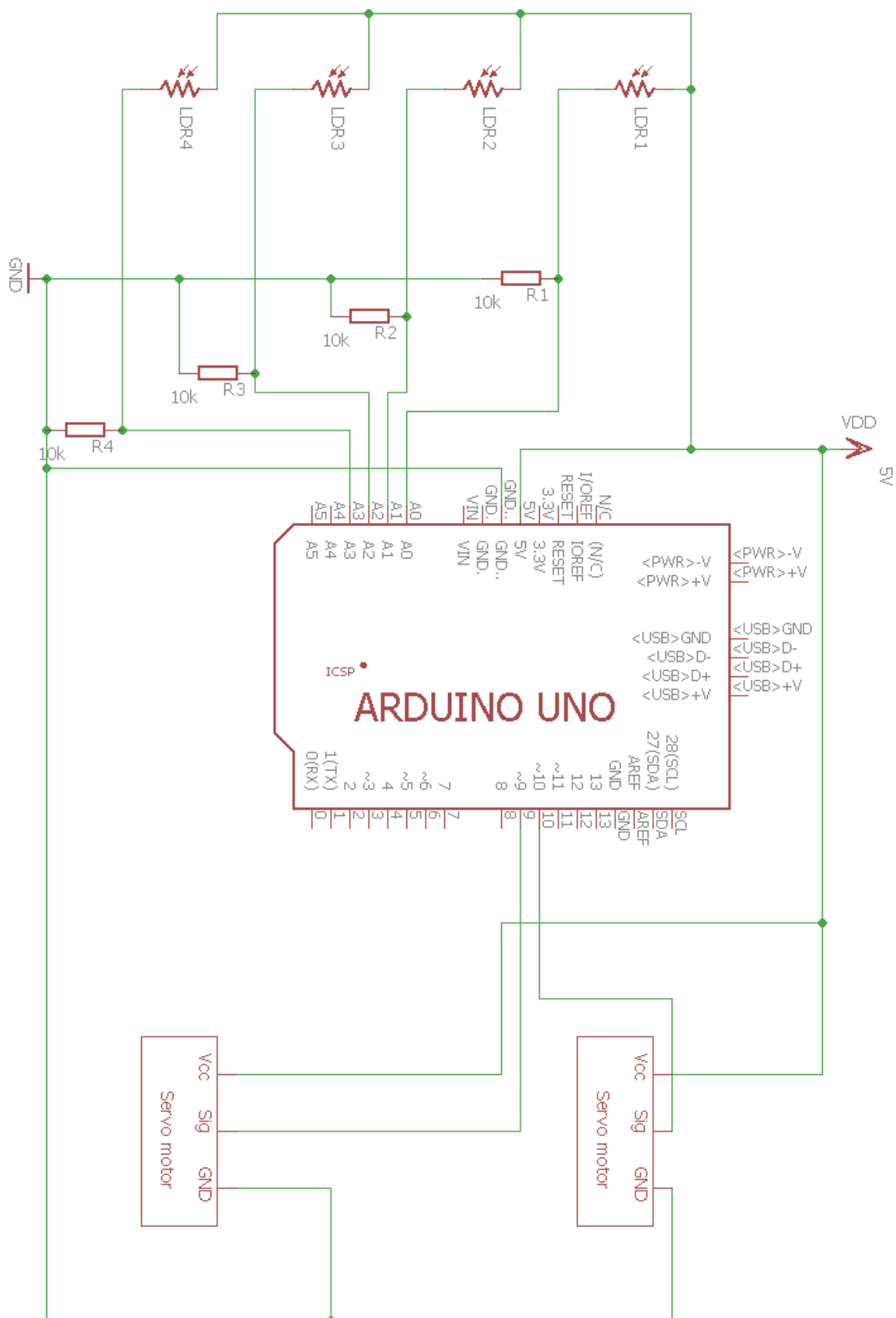
<i>Slika 5.11. Grafički prikaz dobivene energije tijekom jednog dana [19].....</i>	<i>40</i>
<i>Slika 6.1. Arduino Uno, Izvor: [55] https://sysportal.carnet.hr/node/1418, dostupno 08.11.2017.</i>	<i>43</i>
<i>Slika 6.5. Servo motor SG90, Izvor: [56] http://www.campuscomponent.com/store/motor/servo-motor, dostupno 08.11.2017.....</i>	<i>47</i>
<i>Slika 6.7. Simbol i slikoviti prikaz fotootpornika, Izvor: [57] http://kucingnges.blogspot.hr/2015/11/light-dependent-resistor-ldr.html, dostupno 08.11.2017.....</i>	<i>49</i>
<i>Slika 6.8. Solarni panel, Izvor: [58] https://www.ebay.co.uk/itm/6V-1W-Solar-Panel-Module-DIY-For-Light-Battery-Cell-Phone-Toys-Chargers-1PCS-/311887735753, dostupno 08.11.2017.....</i>	<i>50</i>

11. Prilozi

PRIOLOG 1: ELEKTRONIČKA SHEMA ARDUINO UNO (REW 3) [32]



PRILOG 2: ELEKTRONIČKA SHEMA ARDUINO SUSTAVA ZA PRAĆENJE POLOŽAJA SUNCA



PRILOG 3: PROGRAMSKI KOD ARDUINO

```
// Sveučilište Sjever, Varaždin //
// Elektrotehnika //
// Završni rad //
// Juričan Mateo //

#include <Servo.h> // Uključivanje knjižnice (library) za servo
motor SG90

// Definiranje granica za horizontalni i vertikalni servo motor
SG90

Servo servohorizontal; // Definiranje granica horizontalnog
servo motora

int ServoHoriz = 0; // Inicijalizacija varijable ServoHoriz i
postavljanje na 0° (početni položaj)

int ServoHorizLimitHigh = 160; // Definiranje gornje granice
horizontalnog servo motora, 160°

int ServoHorizLimitLow = 20; // Definiranje donje granice
horizontalnog servo motora, 20°

Servo servovertical; // Definiranje granica vertikalnog servo
motora

int ServoVerti = 0; // Inicijalizacija varijable ServoVerti i
postavljanje na 0° (početni položaj)

int ServoVertiLimitHigh = 160; // Definiranje gornje granice
vertikalnog servo motora, 160°

int ServoVertiLimitLow = 20; // Definiranje donje granice
vertikalnog servo motora, 20°

// Definiranje fotootpornika (LDRs)

// Položaj fotootpornika i spajanje žica na pinove Arduina kada
je maketa okrenuta naopako

int ldrTopLeft = 1; // Gore lijevi fotootpornik, bijela žica
int ldrTopRight = 2; // Gore desni fotootpornik, zelena žica
int ldrBottomLeft = 0; // Dolje lijevi fotootpornik, žuta žica
int ldrBottomRight = 3; // Dolje desni fotootpornik, narančasta
žica

void setup ()
{
    servohorizontal.attach(10); // Spajanje horizontalnog servo
motora SG90 na Arduino Uno, pin 10

    servohorizontal.write(90); // Postavljanje početnog položaja
horizontalnog servo motora, 90°
```

```

servovertical.attach(9); // Spajanje vertikalnog servo motora
SG90 na Arduino Uno, pin 9

servovertical.write(90); // Postavljanje početnog položaja
vertikalnog servo motora, 90°

delay(3000);

}

void loop()

{

// return; // Prekid daljnjeg izvršavanje programa radi
postavljanja početnih položaja servo motora

ServoHoriz = servohorizontal.read();

ServoVerti = servovertical.read();

// Snimanje analognih vrijednosti svakog fotootpornika //

int TopLeft = analogRead(ldrTopLeft); // Analogna vrijednost gore
lijevog fotootpornika

int TopRight = analogRead(ldrTopRight); // Analogna vrijednost
gore desnog fotootpornika

int BottomLeft = analogRead(ldrBottomLeft); // Analogna
vrijednost dolje lijevog fotootpornika

int BottomRight = analogRead(ldrBottomRight); // Analogna
vrijednost dolje desnog fotootpornika

// Izračun prosjeka između fotootpornika //

int avgTop = (TopLeft + TopRight) / 2; // Prosjek između gornjih
fotootpornika

int avgBot = (BottomLeft + BottomRight) / 2; // Prosjek između
donjih fotootpornika

int avgLeft = (TopLeft + BottomLeft) / 2; // Prosjek između
lijevih fotootpornika

int avgRight = (TopRight + BottomRight) / 2; // Prosjek između
desnih fotootpornika

if (avgTop < avgBot) // Ako je vrijednost gornjeg fotootpornika
manja od vrijednosti donjeg fotootpornika

{

servovertical.write(ServoVerti +1); // Pomak vertikalnog servo
motora za 1° prema dolje

if (ServoVerti > ServoVertiLimitHigh)

{

ServoVerti = ServoVertiLimitHigh;

}

}

```

```

delay(10);
}
else if (avgBot < avgTop) // Ako je vrijednost donjeg
fotootpornika manja od vrijednosti gornjeg fotootpornika
{
servovertical.write(ServoVerti -1); // Pomak vertikalnog servo
motora za 1° prema gore
if (ServoVerti < ServoVertiLimitLow)
{
ServoVerti = ServoVertiLimitLow;
}
delay(10);
}
else
{
servovertical.write(ServoVerti);
}
if (avgLeft > avgRight) // Ako je vrijednost lijevog
fotootpornika veća od vrijednosti desnog fotootpornika
{
servohorizontal.write(ServoHoriz +1); // Pomak horizontalnog
servo motora za 1° u lijevo
if (ServoHoriz > ServoHorizLimitHigh)
{
ServoHoriz = ServoHorizLimitHigh;
}
delay(10);
}
else if (avgRight > avgLeft) // Ako je vrijednost desnog
fotootpornika veća od vrijednosti lijevog fotootpornika
{
servohorizontal.write(ServoHoriz -1); // Pomak horizontalnog
servo motora za 1° u desno
if (ServoHoriz < ServoHorizLimitLow)
{
ServoHoriz = ServoHorizLimitLow;
}
}
}

```

```
}  
delay(10);  
}  
else  
{  
servohorizontal.write(ServoHoriz);  
}  
// delay(50); // Čekanje od 50ms (0.05s) do ponovnog pokretanja  
petlje loop  
}
```

Sveučilište
Sjever

— VŽKC



MMI —

SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU

I

SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Mateo Juričan pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Solarne elektrane s praćenjem položaja Sunca te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Mateo Juričan

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Mateo Juričan neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom Solarne elektrane s praćenjem položaja Sunca čiji sam autor.

Mateo Juričan