

**»55. srečanja mladih raziskovalcev Slovenije 2021«**

# Izdelava sončnega sledilnika in primerjava z mirujočo sončno ploščo

Raziskovalna naloga

Raziskovalno področje elektrotehnika, elektronika in robotika

Mentor: Mirko Pešec  
Avtorji: Aljaž Kelc, Jakob Čerič, Jurij Šuman  
II. gimnazija Maribor

**Maribor, maj 2021**

# KAZALO

## Kazalo vsebine

KAZALO	2
Kazalo vsebine	2
Kazalo slik	4
Kazalo grafov	5
Kazalo enačb	5
Povzetek	6
Zahvala	7
1. UVOD	8
1.1 Ozadje	8
1.2 Namen	8
1.3 Hipoteza	8
1.4 Metodologija dela	9
2. TEORIJA	10
2.1. Teoretični donos sončne plošče in primerjava	10
2.1.1 Enačba za energijski donos mirujoče sončne plošče	10
2.1.2 Kako povečati energijski donos sončne plošče	11
2.1.3 Enačba za porabo energije sledilnika sonca	12
2.1.4 Primerjava energijskih izkoristkov	13
2.1.5 Teoretični donos in primerjava	13
3. RAZISKOVANJE	14
3.1. Sončna celica	14
3.1.1 Monokristalne sončne celice	14
3.1.2 Polikristalne sončne celice	14
3.1.3 Tankoplastne sončne celice	14
3.1.4 Amorfne sončne celice	14
3.2 Zaznavanje lokacije sonca	15
3.2.1 Senzorji	15
3.2.2 Preračunavajne	15
3.3 Krmiljenje sledilnika soncu	16
3.4 Način sledenja soncu	17
3.4.1 Sledenje po eni osi	17
3.4.2 Sledenje po dveh oseh	18
3.5 Optimizacija	19
Slika 3: Skica nagnjene sončne plošče	19
3.6 Motorji	20
3.6.1 DC motorji	20
3.6.2 Servo motorji	20
3.8 Hranjenje energije	22

3.8.1 Kislinska baterija na osnovi svinca	22
3.8.2 Nikelj metal hidrid baterija	22
3.8.3 Ionska baterija na osnovi litija	23
3.8.4 Lipo baterije	23
<b>4. IZDELAVA</b>	<b>24</b>
4.1 Strojna oprema	25
4.1.1 Polikristalne sončne celice	27
4.1.2 IR fototranzistor	28
4.1.3 Arduino	29
4.1.4 Servo motor	30
4.1.5 Senzor za merjenje toka in napetosti	31
4.1.6 Napajanje	32
4.2 Program	33
4.2.1 Logika	33
4.2.2 IR fototranzistor	34
4.2.3 Servo motorji	34
4.2.4 Merjenje toka in napetosti	34
4.2.5 Komuniciranje z računalnikom	34
4.3 Popravki sledilca soncu	35
<b>5. TESTIRANJE IN REZULTATI</b>	<b>36</b>
5.1 Testiranje	36
5.2 Rezultati	37
5.2.1 Pridobljena sončna energija	37
5.2.2 Energija, ki jo sledilnik sonca porabi za delovanje	40
5.3 Razprava, interpretacija rezultatov	42
<b>6. SKLEP</b>	<b>43</b>
<b>7. DRUŽBENA ODGOVORNOST</b>	<b>44</b>
<b>8. VIRI</b>	<b>45</b>
8.1 Literatura	45
8.2 Spletni viri	45
8.2 Slike	50
8.3 Grafi	51
<b>9. PRILOGE</b>	<b>52</b>
9.1 Podatki	52
9.1.1 Podatki za izračun proizvedene energije	52
9.1.2 Podatki za izračun porabe servo motorjev	52
9.1.3 Podatki za izračun porabe mikrokrmilnika	53
9.2 Program	54
9.2.1 Sledenje s pomočjo senzorjev	54
9.2.2 Sledenje z vnaprej preračunano potjo	57
9.3 Primer boljšega mehanizem za sledenje	60

## **Kazalo slik**

Slika 1: Skica sledenja soncu po eni osi	17
Slika 2: Skica sledenja soncu po dveh oseh	18
Slika 3: Skica nagnjene sončne plošče	19
Slika 4: Sledilnik soncu	24
Slika 5: Prikaz delov sledilca sonca	26
Slika 6: Prikaz elektronike	26
Slika 7: Polikristalne sončne celice	27
Slika 8: Fototranzistor TCRT5000	28
Slika 9: Mikrokrmlnik Arduino Mega	29
Slika 10: Fototranzistor TCRT5000	30
Slika 11: Čip INA219	31
Slika 12: NiMH baterija	32

## **Kazalo grafov**

Graf 1: Moč sončne plošče v odvisnosti od časa	37
Graf 2: Moč sledilnika sonca v odvisnosti od časa	38
Graf 3: Primerjava moči sončnih celic v odvisnosti od časa	39
Graf 4: Poraba servo motorjev v vatih v času ene ure	40
Graf 5: Poraba servo motorjev pri obratu za 180 stopinj	40

## **Kazalo enačb**

Enačba 1: Proizvedena energija	10
Enačba 2: Moč porabnika	12
Enačba 3: Energija porabnika	12
Enačba 4: Čas, potreben za poljubno število obratov	12
Enačba 5: Energija potrebna za delovanje	12
Enačba 6: Dopolnjena enačba za proizvedeno energijo	12
Enačba 7: Primerjava med energijama	13

# Povzetek

Namen naše raziskovalne naloge je raziskovanje možnosti sledenja soncu z namenom učinkovitega pridobivanja sončne energije, ter ugotavljanje razlike v pridobljeni energiji med mirujočo sončno celico in sončno celico, ki sledi soncu (sledilnik sonca). V naši raziskovalni nalogi smo skušali potrditi oziroma zavreči hipotezo: sledilnik sonca, ki je vedno obrnjen proti soncu proizvede več električne energije kot mirujoča sončna plošča. Našo nalogo smo začeli s preučevanjem literature. Ko smo imeli teoretično podlago smo se lotili izdelave lastnega sončnega sledilnika. Delo je potekalo tako, da smo najprej naredili 3D načrt sledilnika, ga izdelali, preizkusili in napisali program s pomočjo katerega lahko sledi soncu. Izvedli smo različne meritve in z njimi potrdili našo hipotezo. Ugotovili smo, da sledilnik sonca v najprimernejših pogojih proizvede približno 30 % več energije kot mirujoča sončna plošča.

# **Zahvala**

Iskreno se zahvaljujemo mentorju, ki nam je pri izdelavi naše raziskovalne naloge nudil pomoč, nas usmerjal ter zagotovil vse potrebne materiale, da smo naš sledilnik sonca lahko izdelali.

Prav tako se zahvaljujemo družinskim članom in prijateljem, ki so nam vedno priskočili na pomoč, ko smo jih potrebovali.

# 1. UVOD

## 1.1 Ozadje

Globalno segrevanje je resen problem moderne družbe. Fosilna goriva povzročajo velike okoljske probleme in zato znanstveniki poskušajo odkriti razne zelene alternative. Ena izmed teh alternativ je sončna energija. Sončno energijo izkoriščamo s pomočjo sončnih plošč. Te pretvarjajo sončno energijo v električno. Večina sončnih plošč je mirujočih, zato ne izkoristijo vse sončne energije, ki pada na njih. Sončne plošče pa lahko s pomočjo motorjev premikamo tako, da sledijo soncu. S tem lahko bistveno povečamo proizvodnjo električne energije.

## 1.2 Namen

Namen naše raziskovalne naloge je raziskovanje različnih možnosti sledenja soncu, ugotavljanje razlik v pridobljeni energiji med mirujočo sončno ploščo in sledilnikom sonca, ter izdelava lastnega sledilnika sonca. Naši cilj je, da si odgovorimo na sledeča vprašanja:

1. Ali lahko izdelamo sončno ploščo, ki sledi soncu (sledilnik sonca)?
2. Ali je sončna plošča<sup>1</sup>, ki sledi soncu bolj učinkovita od sončne plošče, ki ne sledi soncu in za koliko bolj/manj je učinkovita?

## 1.3 Hipoteza

Pred raziskovanjem smo postavili hipotezo:

Sončna plošča, ki je vedno obrnjena proti soncu (sledilnik sonca), proizvede več električne energije kot mirujoča sončna plošča.

---

<sup>1</sup> sončna plošča - ang. solar panel, več sončnih celic povezanih na eni plošči

## **1.4 Metodologija dela**

Našo naloge smo začeli s preučevanjem literature. To zajema raziskovanje različnih sončnih celic, senzorjev, baterij, motorjev, načinov sledenja soncu... Ko smo končali s preučevanjem, smo preračunali, če v teoriji sledilec sonca lahko proizvede več energije, kot mirujoča sončna plošča. Naredili smo 3D model sledilnika soncu v programu Fusion 360. Nato smo začeli s praktičnim delom. Dele ogrodja smo natisnili s 3D tiskalnikom in jih sestavili. Dodali smo vso potrebno elektroniko in opravili osnovne teste. Po potrebi smo napake v delovanju popravili. Na koncu smo opravili več testov, da lahko odgovorimo na zadana vprašanja. Ko smo imeli vse potrebne podatke, smo opravili analizo in zapisali ugotovitve.

## 2. TEORIJA

V tem poglavju bomo na podlagi podatkov, ki so nam na voljo izračunali, če je izkoristek sledilnika sonca večji kot izkoristek mirujoče sončne plošče. Tako bomo ugotovili, če se nam postavitev sledilnika sonca v teoriji sploh splača.

### 2.1. Teoretični donos sončne plošče in primerjava

#### 2.1.1 Enačba za energijski donos mirujoče sončne plošče

Parametri, ki vplivajo na proizvedeno energijo sončne plošče so:

- **površina** (površina sončnih celic na sončni plošči),
- **čas** (koliko časa je sončna plošča izpostavljena sončni svetlobi),
- **lega** (kje na Zemlji je postavljena in kako je orientirana<sup>2</sup>),
- **količina izgub** (energija, ki se izgubi na poti do porabnika),
- **količina izpostavljenosti** <sup>3</sup>(koliko od možne količine svetlobe prejme sončna plošča - na količino izpostavljenosti vpliva orientacija sončne plošče),
- **učinkovitost** (svetloba, ki jo sončna plošča pretvori v električno energijo).

Vse naštete parametre povežemo v enačbo za energijo, ki jo proizvede sončna plošča:

$$E = S \times H \times K_i \times k_u \times (1 - k_i)$$

Enačba 1: Proizvedena energija (Photovoltaic-software.com, 2021)

Kjer predstavljajo:

E - energija, ki jo sončna plošča proizvede [Wh],

S - površina sončnih celic [ $m^2$ ],

H - letna povprečna radiacija na kvadratni meter [kWh na  $m^2$ ] - vključuje leto in čas,

$K_i$  - količina izpostavljenosti [%],

$k_i$  - količina izgub [%],

$k_u$  - učinkovitost [%].

Enačba predstavlja energijo, ki jo proizvede sončna plošča. Pri tem upošteva, da ne moremo izkoristiti čisto vse sončne energije ki pade na Zemljo, saj:

- se nekaj svetlobe od sončne celice odbije (to določa  $K_i$ ),
- izkoristek celice ni 100 % (to določa  $k_u$ ),
- se nekaj energije na poti do porabnika izgubi (to določa  $k_i$ ).

<sup>2</sup>pomen orientacije je podrobneje predstavljen v poglavju 3.5 Optimizacija

<sup>3</sup>količina izpostavljenosti je podrobneje predstavljena v poglavju 2.1.2 Kako povečati donos sončne plošče

## **2.1.2 Kako povečati energijski donos sončne plošče**

Energijski donos dane sončne plošče lahko povečamo tako, da:

- sončno ploščo postavimo na bolj primerno lego in jo primerno orientiramo,
- povečamo površino sončnih celic - sončne celice razporedimo bolj gosto na sončno ploščo,
- zmanjšamo količino izgub - uporabimo učinkovitejše prevodnike,
- povečamo učinkovitost - uporabimo boljše sončne celice, ki pokrijejo večji spekter svetlobe,
- povečamo količino izpostavljenosti sončni svetlobi - ta dejavnik je podrobnejše opisan v nadaljevanju tega poglavja.

Donos sončne plošče bomo poskušali povečati tako, da bomo čim bolj povečali njeno izpostavljenost sončni svetlobi.

Večina sončnih plošč je pokrita z zaščitno plastjo stekla. Količina izpostavljenosti je odvisna od količine svetlobe, ki se od sončne plošče odbije. (Rensselaer Polytechnic Institute (RPI), 2008). Več svetlobe, kot se odbije, manjši je izkoristek. Intenzivnost odbite svetlobe je odvisna od vpadnega kota svetlobe. Manjši kot je vpadni kot, bolj se svetloba odbija, večje so izgube (Michael A. Gottlieb and Rudolf Pfeiffer, 2013). Da čim bolj zmanjšamo odboj svetlobe, mora sončna svetloba vedno padati pravokotno na sončno ploščo. To lahko dosežemo na več načinov (uporaba posebnih premazov, uporabo ogledal, leč ...). Mi bomo to dosegli z obračanjem sončne plošče tako, da je vedno usmerjena pravokotno na sonce. Sončni žarki posledično padajo pravokotno na vse sončne celice. Odbije se približno 4 % svetlobe. Koeficient izkoristka sledilca soncu je tako okoli 96 %. (Mike Ulizio, 2015) Sončno ploščo, ki "sledi" soncu, imenujemo sledilnik sonca.

### 2.1.3 Enačba za porabo energije sledilnika sonca

Upoštevati moramo, da potrebuje sledilnik sonca za delovanje energijo. Za izračun porabljene energije moramo izračunati moč vseh porabnikov, ki omogočajo, da sončna plošča sledi soncu.

$$P = M \times \omega = I \times U$$

Enačba 2: Moč porabnika (Kladnik R. in Kodba S., stran 49, 2016)

Kjer predstavlja  $P$  moč porabnika,  $M$  navor motorja,  $\omega$  kotno hitrost,  $I$  tok potreben za delovanje porabnika in  $U$  napetost potrebno za delovanje porabnika.

Moč porabnika pomnožimo s časom (koliko časa porabnik obratuje na dani moči) in tako dobimo energijo, ki jo sledilnik sonca porablja za delovanje.

$$E = P \times t$$

Enačba 3: Energija porabnika

Kjer predstavlja  $P$  moč naprave in  $t$  čas delovanja naprave.

Da izračunamo, koliko časa potrebuje servo motor, da opravi en obrat uporabimo enačbo:

$$t = \varphi / \omega$$

Enačba 4: Čas, potreben za poljubno število obratov

Kjer predstavlja  $t$  čas delovanja naprave,  $\varphi$  kot, ki ga opiše servo motor (v enem dnevu) in  $\omega$  kotno hitrost servo motorja.

Enačbo za donos mirujoče sončne plošče razširimo tako, da od proizvedene energije odštejemo energijo, ki jo sledilnik sonca potrebuje za delovanje:

$$(P_1 \times t_1) + (P_2 \times t_2) + \dots + (P_k \times t_k)$$

Enačba 5: Energija potrebna za delovanje

Kjer  $k$  predstavlja število naprav.

Iz tega dobimo razširjeno enačbo, ki jo lahko uporabimo za izračun energijskega presežka:

$$E = S \times H \times K_i \times k_u \times (1 - k_i) - (P_1 \times t_1 + P_2 \times t_2 + \dots + P_k \times t_k)$$

Enačba 6: Dopolnjena enačba za proizvedeno energijo

## 2.1.4 Primerjava energijskih izkoristkov

Ko med sabo primerjamo proizvedeno energijo dveh sončnih plošč ali celic, uporabimo enačbo:

$$\frac{E_1}{E_2}$$

Enačba 7: Primerjava med energijama

$E_1$  predstavlja proizvedeno energijo prve sončne plošče ali celice,  $E_2$  pa energijo druge sončne plošče ali celice. Dobimo rezultat kolikokrat je sončna plošča ali celica, ki proizvede energijo  $E_1$  učinkovitejša kot plošča ali celica, ki proizvede energijo  $E_2$ .

## 2.1.5 Teoretični donos in primerjava

Izkoristek mirujoče sončne plošče in sledilnika soncu se razlikuje le v koeficientu izpostavljenosti (ostale količine se med sabo pokrajšajo), saj je to edini dejavnik, na katerega bomo s sledenjem soncu vplivali. Koeficient izpostavljenosti sledilca soncu je enak 96 %.<sup>4</sup> Koeficientu izpostavljenosti mirujoče sončne plošče pa je enak 67,4 %. (Rensselaer Polytechnic Institute, 2008).

Koeficiente med sabo delimo in ugotovimo, da proizvede sledilnik soncu ob enakonočju na sončen dan 42,4 % več energije, kot mirujoča sončna plošča.

Treba pa je upoštevati porabo energije pri sledilniku sonca. Porabo bomo izračunali iz specifikacij elektronike, ki jo imamo namen uporabiti v sončnem sledilniku. Vsi podatki, ki so bili uporabljeni za izračun, so navedeni v prilogah v poglavju 9.1 Podatki.

Ko odštejemo porabo sledilnika sonca od njegove proizvedene energije ugotovimo, da je sledilnik soncu ob enakonočju na sončen dan proizvede 29,7 % več energije, kot mirujoča sončna plošča. To pomeni, da se postavitev sledilnika sonca v teoriji splača.

---

<sup>4</sup> podatek je podrobneje razložen v poglavju 2.1.2 Kako povečati energijski donos sončne plošče

# **3. RAZISKOVANJE**

## **3.1. Sončna celica**

Sončna celica je naprava, ki sončno svetlobo pretvori v električno energijo. Več sončnih celic tvori sončno ploščo. Poznamo več vrst sončnih celic.

### **3.1.1 Monokristalne sončne celice**

Monokristalne sončne celice so narejene iz monokristalnega silicija. Visoka čistost silicija je razlog, da ima ta tip sončnih celic eno najvišjih stopenj učinkovitosti. Monokristalne sončne celice imajo visok donos, zasedejo malo prostora in imajo izmed vseh vrst sončnih celic najdaljšo življenjsko dobo, so pa tudi najdražje. (Greenmatch, 2021)

### **3.1.2 Polikristalne sončne celice**

Polikristalne sončne celice izdelujejo s taljenjem surovega silicija, kar je hitrejši in cenejši postopek kot tisti, ki se uporablja za izdelavo monokristalnih sončnih celic. Zato so polikristalne sončne celice cenejše. Imajo manjši izkoristek (približno 15 - 20 %) in imajo krajšo življenjsko dobo, saj so bolj občutljive na višje temperature. (Greenmatch, 2021)

### **3.1.3 Tankoplastne sončne celice**

Tankoplastne sončne celice<sup>5</sup> nastanejo tako, da na podlago naložimo enega na drugega več plasti fotovoltaičnega materiala (silicij, kadmij ali baker). Njihova izdelava je poceni, saj je zanje potrebno manj materiala kot za druge sončne celice. So izredno prilagodljivi na okolje – visoke temperature imajo na njih izredno nizek vpliv. Njihova slabost je ta, da zavzemajo izredno veliko prostora – niso primerni za manjše površine ter to, da je njihova življenjska doba precej krajsa kot življenjska doba monokristalnih in polikristalnih sončnih celic. (Greenmatch, 2021)

### **3.1.4 Amorfne sončne celice**

Izdelava amorfnih silicijevih sončnih celic je precej cenejša kot izdelava kristalnih, saj se porabi veliko manj silicija kot za druge sončne celice. Izredno tanko plast silicija (1 mikrometer) položijo na steklo ali železo. So izredno lahke in se enostavno namestijo tudi na ukrivljene površine. Električno energijo lahko proizvajajo tudi v slabo osvetljenih okoljih. Izkoristki sončnih celic iz amorfnega silicija dosežejo v laboratorijskih pogojih do 12 %, v serijski proizvodnji pa med 5 % in 8 %. Glavna slabost teh celic je hiter padec energijskega izkoristka - že po nekaj mesecih izkoristek pade na 4 %. (Team ProductLine, 2019)

---

<sup>5</sup> tankoplastne sončne celice - ang. thin-film solar cell

## **3.2 Zaznavanje lokacije sonca**

Pri sončnem sledilniku je pomembno, da vedno vemo, kje se sonce nahaja. To dosežemo tako, da preračunamo njegovo lokacijo, ali pa jo določimo s pomočjo senzorjev.

### **3.2.1 Senzorji**

Da lahko sledimo soncu, potrebujemo senzorje, ki zaznavajo sončno svetlubo. Pomembno je, da porabljači čim manj energije. Poznamo več vrst senzorjev, ki se uporabljajo za zaznavanje svetlobe.

#### **Fotoupornik**

Fotoupornik je upornik, katerega upornost je odvisna od količine svetlobe, ki jo prejema. Fotoupornik je sestavljen iz polprevodnika z visoko upornostjo in za delovanje potrebuje zelo majhen tok (manj kot 0,5 mA). (Pongrac B., 2021)

#### **Fotodioda**

Fotodioda je polprevodna naprava, ki pretvarja svetlubo v električni tok (podobno kot sončna celica). Fotodioda ne porablja energije za delovanje. (electronicshub.org, 2018)

#### **Fototranzistor**

Fototranzistor je polprevodna naprava, ki spreminja električni tok med oddajnikom in prejemnikom glede na količino svetlobe, ki jo prejme. Fototranzistor je bolj občutljiv na spremembe kot fotodioda in fotoupornik, vendar za delovanje potrebuje večji tok kot fotoupornik (100 mA). (EILPROCUS, 2021)

### **3.2.2 Preračunavajne**

Lego sonca na nebu lahko preračunamo, če vemo lokacijo, kjer je sončna plošča postavljena, datum in uro. S tem načinom lahko že vnaprej določimo pot, ki jo mora sončna plošča opraviti. Tako ne potrebujemo senzorjev in prihranimo nekaj energije potrebne za sledenje. Ta metoda sledenja je nezanesljiva, saj lahko kakršnakoli napaka v preračunavanju ali nenatančnost povzroči ogromne izgube energije.

### **3.3 Krmiljenje sledilnika soncu**

Za enostavnejše projekte, za katere nam ni treba izvajati tako kompleksnih kalkulacij, je najboljša izbira mikrokrmilnik.

Mikrokrmilnik je majhen računalnik, sestavljen iz enega ali več procesorjev, ter pomnilnika. (Keim R., 2019). Omogoča izvajanje preprostejših algoritmov in kalkulacij. Uporabimo ga lahko za nadziranje motorjev, branje podatkov iz senzorjev, komuniciranje z različnimi napravami ... Mikrokrmilnike najpogosteje programiramo v programskeh jezikih C++, Python ali Java. (Swain, 2017)

Za enostavnejše projekte se najpogosteje uporablja mikrokrmilniki podjetja Arduino (Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Micro ...), saj so enostavni za uporabo in so zaradi svoje fleksibilnosti uporabni v mnogih raznolikih projektih. Precej pogosta je tudi uporaba mikrokrmilnika PowerTeensy 3.2. Tudi ta je enostaven za uporabo. Je bolj zmogljiv, kot večina mikrokontrolerjev podjetja Arduino, zato omogoča izvajanje kompleksnejših algoritmov in kalkulacij.

Če bi potrebovali krmilnik, ki zmore izvajati še kompleksnejše kalkulacije in algoritme, pa bi lahko uporabili računalnik na eni plošči<sup>6</sup>. Najpogosteje se uporablja računalnik Raspberry Pi, za projekte vezane na umetno inteligenco pa Nvidia Jetson Nano.

---

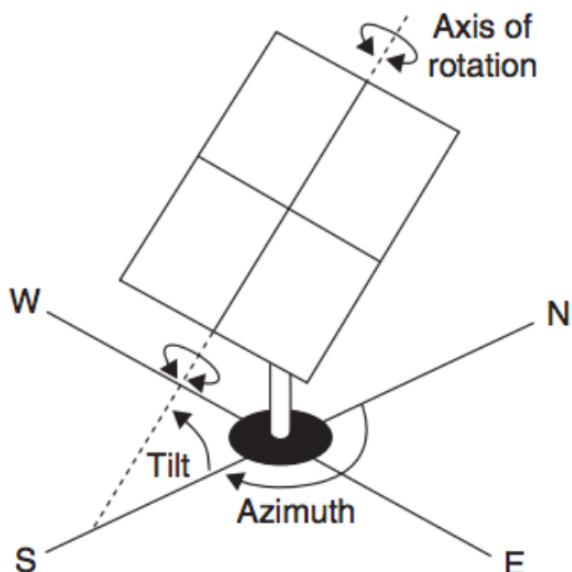
<sup>6</sup> Računalnik na eni plošči - ang. single board computer, računalnik, ki je v celoti zgrajen na enem tiskanem vezju (Wikipedia, 2021)

## 3.4 Način sledenja soncu

Sončna plošča lahko sledi soncu na dva načina. Oba imata svoje prednosti in slabosti.

### 3.4.1 Sledenje po eni osi

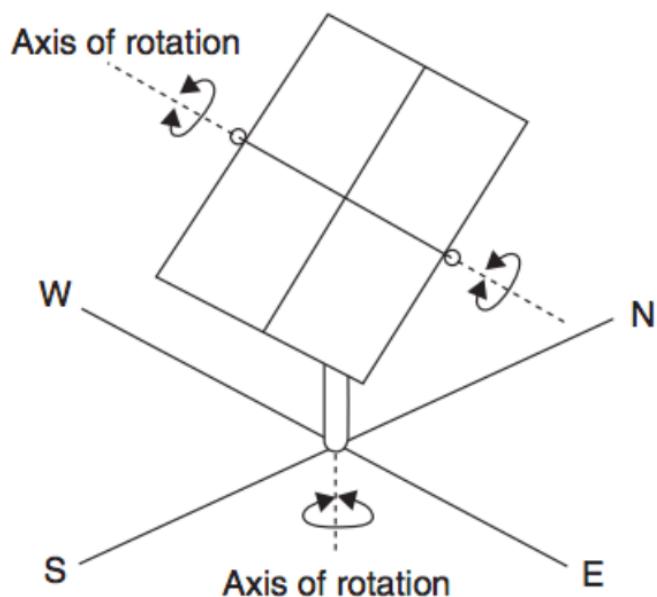
Pri tem načinu sledenja ima sončna plošča samo eno os gibanja. To omogoča sončnim ploščam, da sledijo soncu, ko vzhaja, potuje po nebu in zahaja. Sončne plošče, ki soncu sledijo po eni osi, stanejo manj kot sončne plošče, ki soncu sledijo po dveh oseh. Ponujajo večjo zanesljivost in daljšo življenjsko dobo, saj imajo manj gibljivih delov. (Marsh, 2018)



Slika 1: Skica sledenja soncu po eni osi

### 3.4.2 Sledenje po dveh oseh

Drugi način sledenja je, da imajo sončni paneli dve osi gibanja. Ko se letni časi spreminja in se sončna pot preko neba spreminja, sončne plošče, ki soncu sledijo po dveh oseh, bolje optimizirajo količino zajete sončne energije. To je hkrati njihova glavna prednost pred sončnimi ploščami, ki soncu sledijo po eni osi. Po drugi strani pa imajo višjo stopnjo mehanske zahtevnosti oziroma kompleksnosti (imajo več gibljivih delov), kar posledično pomeni dražje vzdrževanje ter večjo količino potrebnih vzdrževalnih del. (Marsh, 2018)



Slika 2: Skica sledenja soncu po dveh oseh

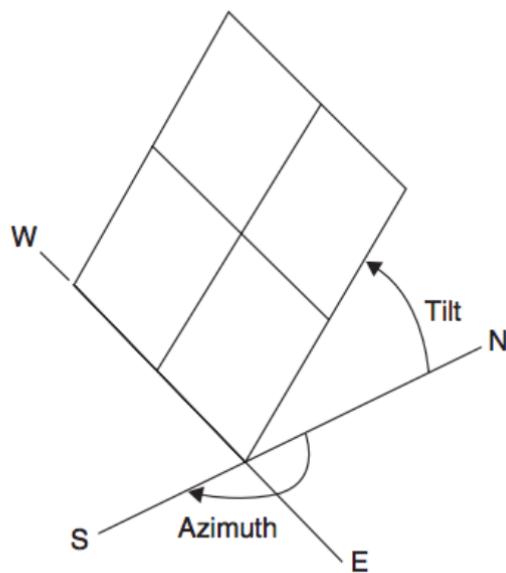
### 3.5 Optimizacija

Da čim bolj zmanjšamo količino energije, ki jo naša sončna plošča porabi za sledenje, ne glede na to, po koliko oseh sončna plošča sledi soncu, moramo čim bolj zmanjšati maso vseh elementov, ki jih premika motor.

Prav tako je pomembno, da zaradi trenja med premikajočimi deli sledilnika soncu ne pride do nepotrebnih izgub energije. To dosežemo z uporabo primernih ležajev, ter s pravilnim vzdrževanjem.

Sončna plošča mora biti postavljena tako, da gleda čim bolj pravokotno na sonce skozi celo leto. Pri mirujoči sončni plošči to dosežemo tako, da jo nagnemo za kot enak zemljepisni širini, na kateri je plošča postavljen. Posledično na enakonočje padajo sončni žarki pravokotno na ploščo.

Tudi sledilnik sonca mora biti nagnjen kot mirujoča sončna plošča, saj tako za sledenje porabi najmanj energije. Sledilnik sonca na dveh oseh pa se skozi leto ob sledenju nagiba še za  $23,5^\circ$  severno in južno. Tako da ves čas padajo sončni žarki pravokotno nanj.



Slika 3: Skica nagnjene sončne plošče

## **3.6 Motorji**

Za premikanje sončne plošče potrebujemo motorje. Motorji so električne naprave, ki omogočajo rotacije mehanskih delov. Poznamo več vrst motorjev. Za našo nalogu so najprimernejši servo motorji, koračni motorji in DC motorji.

### **3.6.1 DC motorji**

DC motor je električna naprava, ki pretvarja električno energijo v mehansko. V osnovi je sestavljen iz dveh delov, mirujočega telesa motorja, imenovanega stator<sup>7</sup> in notranjega dela, ki se vrti, imenovanega rotor. (Wikipedia, 2021)

Magnetno polje, ki ga povzroči rotor, se poskuša poravnati s stacionarnim statorskim poljem, zaradi česar se rotor vrti na svoji osi, vendar se zaradi zamud pri komutaciji ne more poravnati. Hitrost vrtenja motorja je odvisna od moči magnetnega polja rotorjev. Večja kot je napetost, močnejše je magnetno polje, hitreje se rotor vrti. (Wikipedia, 2021) Sami po sebi niso zelo močni, zato pogosto uporabljamo zobniška razmerja da jim povečamo moč.

DC motorji se pogosto uporabljajo v igračah, orodjih, pogonih električnih vozil, ... (Pandey, 2019)

### **3.6.2 Servo motorji**

Servo motor je podskupina DC motorjev. Namenjen je vrtenju mehanskih delov pri veliki hitrosti in natančnosti. Sestavljen je iz motorja, ki je povezan s senzorjem ki nam sporoča položaj motorja, zato vedno vemo v kateri poziciji se motor nahaja.

Servo motorji se predvsem uporabljajo v robotiki, farmaciji, ter proizvodnji na tekočem traku.(CLR, 2021)

### **3.6.3 Koračni motorji**

Koračni motor je električna naprava, ki pretvarja električno energijo v mehansko. Poln obrat razdeli na enako velike korake, po katerih se premika z izredno veliko natančnostjo. (Farnell, 2021)

Prednost koračnih motorjev je tudi ta, da lahko koračni motor enake velikosti kot nek servo motor, generira veliko večji navor ter to, da motorja ne moremo poškodovati s preobremenitvijo (Realpars, 2021)

Koračni motorji se uporabljajo v optičnih bralnikih, računalniških tiskalnikih, objektivih kamer, CNC strojih in 3D tiskalnikih. (Farnell, 2021)

---

<sup>7</sup> stator - osnovni del pogonskega ali delovnega stroja, ki se med delovanjem ne vrti (SSKJ, 2021)

### **3.7 Prilagojenost na zunanje okolje**

Sledilnik soncu mora zdržati zunanje pogoje in biti prilagojena na različne vremenske razmere. Pri načrtovanju kakršnegakoli projekta, ki bo deloval zunaj, moramo upoštevati naslednje dejavnike:

- sončna svetloba - materiali morajo biti sposobni preživeti daljša časovna obdobja pri izpostavljenosti UV svetlobi,
- vlažnost zraka - elektronika mora biti zaščitena pred dežjem in vlažnim zrakom, pomembno je, da za konstrukcijo uporabljamo nerjaveče kovine,
- veter - če bo sledilnik soncu postavljen v pokrajini, kjer piha močan veter, moramo okrepliti konstrukcijo, da lahko sledilnik vzdrži moč vetra,
- strela - v bližini sončnih plošč mora biti postavljen strelovod, ki strelo preusmeri, da ne poškoduje elektronike,
- toča - konstrukcija in sončne plošče morajo biti narejene iz dovolj odpornih materialov, da jih toča in ostale oblike trdih padavin ne poškodujejo,
- sneg - pomembno je, da je sončna plošča nagnjena pod kotom vsaj 10 stopinj (SPECIALTY HOME PRODUCTS, 2020), da sneg, ki pada na njih zdrsni iz sončne plošče.

## **3.8 Hranjenje energije**

Pridobljeno električno energijo bo treba shranjevati. Za shranjevanje električne energije uporabljamo baterije. Električna baterija je naprava, sestavljena iz ene ali več elektrokemičnih celic, ki lahko spremeni kemično energijo v električno in obratno. Vsaka celica vsebuje pozitivni terminal - katodo in negativni terminal - anodo. Baterija vsebuje tudi snov, ki se imenuje elektrolit in se je med elektrodami. V elektrolitu je shranjena energija v obliki ionov. (Wikipedia, 2021)

Najbolj uporabljeni bateriji so kislinske baterije na osnovi svinca, NiMH baterija in ionske baterije na osnovi litija.

### **3.8.1 Kislinska baterija na osnovi svinca**

Svinčenokislinsko baterijsko celico sestavljajo pozitivne in negativne elektrode, separatorji (ločilne mreže) in elektrolit. Elektrode so potopljene v elektrolit, sestavljen iz razredčene žveplove kisline ( $H_2SO_4$ ). (Sohail, 2021)

V novih različicah svinčene plošče nadomestijo penasta ogljikova vlakna, prekrita s tankim svinčenim filmom, tekoči elektrolit pa se lahko gelira s silikagelom. Z uporabo manjše količine svinca in porazdelitvijo po velikem območju, je bila baterija ne samo bolj kompaktna in lahka, temveč tudi veliko bolj učinkovita - poleg tega, da je bolj učinkovita, se polni veliko hitreje kot tradicionalne baterije. (Wikipedia, 2021)

Kislinska baterija na osnovi svinca se najpogosteje uporablja v bencinskih in dizelskih avtomobilih za vžig motorja.

### **3.8.2 Nikelj metal hidrid baterija**

NiMH baterija je zelo podobna kadmijski bateriji na osnovi niklja, ki uporablja nikljev oksid hidroksid ( $NiO(OH)$ ) in kadmij za svoji elektrodi. Razlika je v tem, da NiMH baterija namesto kadmija uporablja zlitino, ki absorbira vodik. NiMH baterije lahko imajo do trikrat večjo kapaciteto energije pri enaki velikosti, kot kadmijska baterija na osnovi niklja. (Wikipedia, 2021) Imajo tudi veliko prednost pred ostalimi baterijami, saj ima en galvanski člen baterije napetost 1.2V. Če paralelno med sabo povežemo štiri galvanske člene, dobimo napetost 4.8V, ki je zelo blizu standardi napetosti večine mikrokontrolerjev. To pomeni, da ne rabimo uporabiti transformatorja<sup>8</sup>.

NiMH baterije se pogosto uporabljajo v svetilkah, igračah, digitalnih fotoaparatih in podobnih napravah

---

<sup>8</sup> transformator - električna naprava iz železnega jedra in navitja za spremiščanje izmenične napetosti (SSKJ, 2021)

### **3.8.3 Ionska baterija na osnovi litija**

Litij-ionski (Li-Ion) je trenutno prevladujoč baterijski sistem. Zaradi velike zmogljivosti aktivnih materialov in napetosti ene celice 3,6 V ima Li-Ion baterija največjo gostoto energije glede na vse ostale vrste baterij, ki delujejo pri sobni temperaturi. (Wikipedia, 2021) Li-Ion baterija uporablja katodo iz kovinskih oksidov in anodo iz grafita. (Panasonic, 2021)

To vrsto baterije najdemo v električnih vozilih in v vesoljski industriji.

### **3.8.4 Lipo baterije**

Litij polimerna baterija je baterija, ki namesto tekočega elektrolita uporablja polimerni elektrolit. Zagotavlja visoko energijo, predvsem pa je uporabljena v napravah, kjer je teža pomemben faktor, saj je precej majhna in lahka. Pogosto se uporablja v dronih, RC modelih ... (Schneider, 2021)

## 4. IZDELAVA

V tem poglavju se bomo osredotočili na izdelavo sončnega sledilnika. Predstavljena bo strojna in programska oprema, ki smo jo uporabili za izdelavo sončnega sledilnika, ter popravki, ki smo jih naredili, da je sledilnik lahko sledil soncu.



Slika 4: Sledilnik soncu

## 4.1 Strojna oprema

Odločili smo se za sončni sledilnik, ki bo sledil soncu po dveh oseh, da čim bolj izkoristimo razpoložljivo sončno energijo.

S pomočjo motorjev se sončna plošča premika po dveh oseh:

- os sever-jug - celica se bo v polovici leta morala obrniti 47 stopinj severno oziroma južno.
- os vzhod-zahod - celica se bo morala vsak dan obrniti za približno 180 stopinj.

Ogrodje je bilo zasnovano v programu Fusion 360<sup>9</sup>. Sestavljeno je iz treh delov.

- držalo z gredjo
- nosilo
- baza

Držalo z gredjo omogoča, da se plošča nagiba v smeri sever-jug. Nanj je pritrjena sončna plošča s štirimi infrardečimi fototranzistorji. Ti so pritrjeni vsak v svojo smer (sever, jug, vzhod, zahod). Na notranji strani je prednje postavljena blokada, ki preprečuje, da na njih sveti sončna svetloba. Tako vedno vemo, iz katere strani sveti sonce najmočneje.

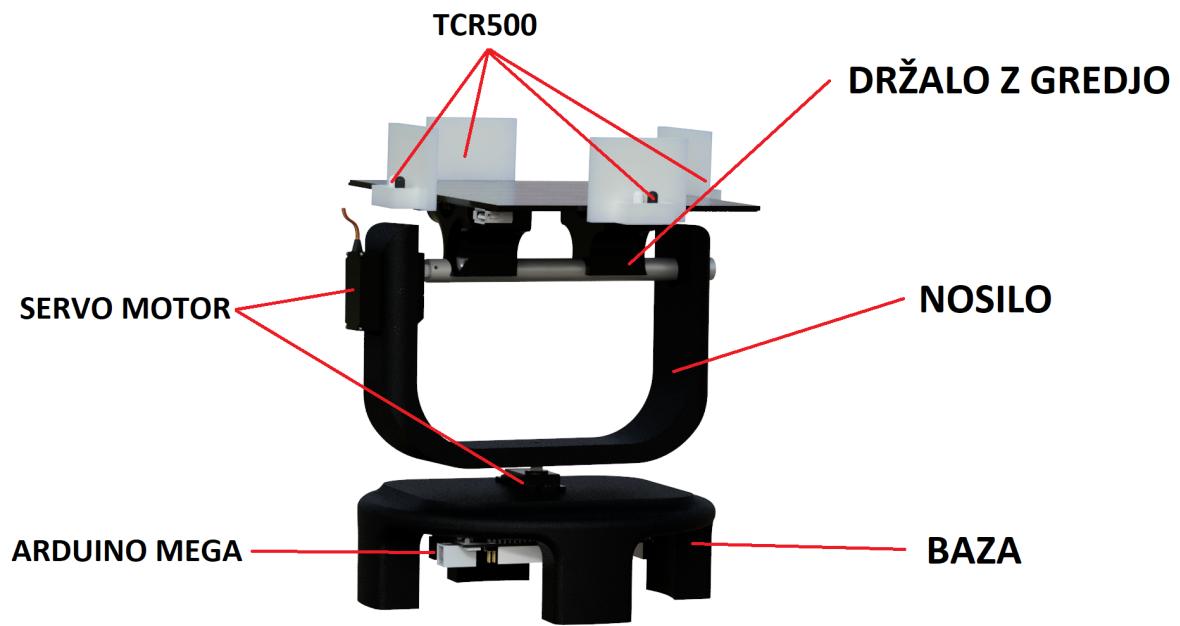
Nosilo povezuje držalo in bazo celice. Nanj je pritrjen servo motor, ki omogoča vrtenje gredi in posledično sončne plošče v smeri vzhod-zahod. Pritisnjeno je na servo motor, ki je vgrajen v bazo

Baza ima na sredini vgrajen servo motor, ki obrača nosilo. Ima štiri noge, ki jo držijo pokonci. Na spodnji del baze je nameščen mikrokrmilnik.

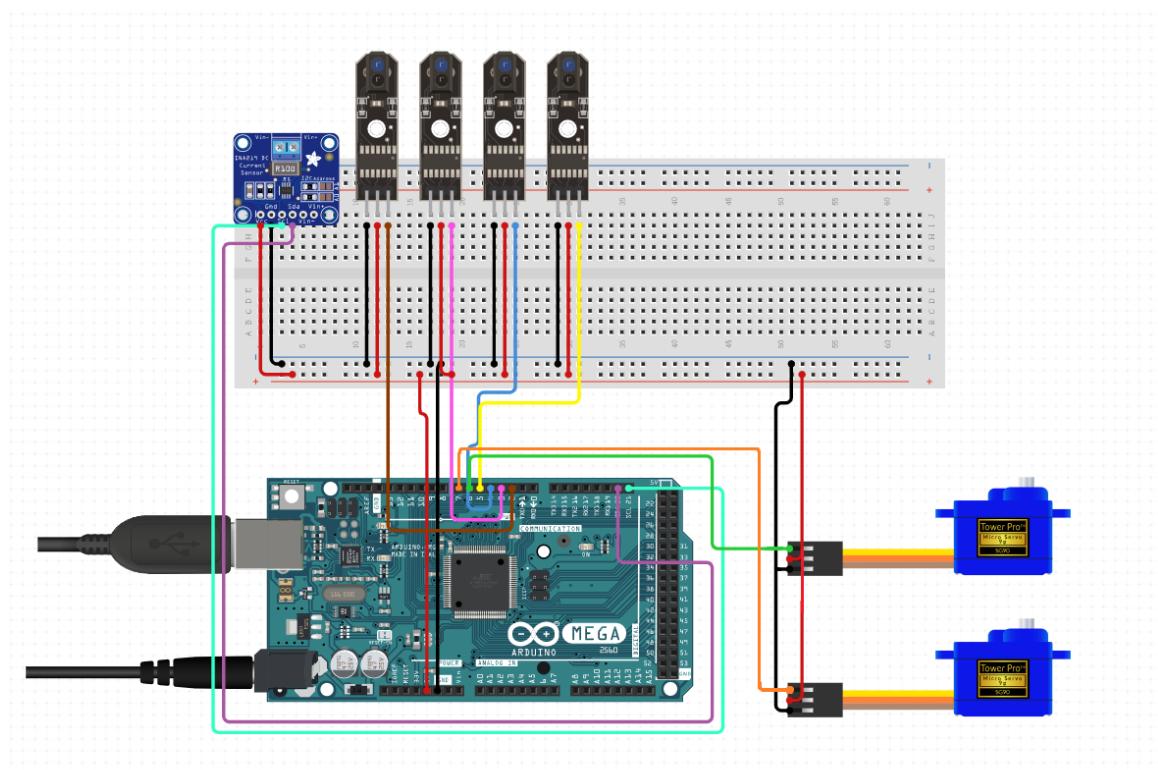
Vse dele smo natisnili s 3D tiskalnikom Creality Ender 3. Vsa elektronika sledilca soncu je povezana kot kaže slika 6.

---

<sup>9</sup> Fusion 360 - Fusion 360 je programska platforma podjetja Autodesk. Namenjena je za 3D modeliranje, CAD, CAM, CAE in PCB načrtovanje. (Autodesk, 2021)



Slika 5: Prikaz delov sledilca sonca



Slika 6: Prikaz elektronike

#### **4.1.1 Polikristalne sončne celice**

Za zajemanje sončne energije smo uporabili sončni panel iz polikristalnih sončnih celic, ki zajema le vidno sončno svetlobo. Ta vrsta sončne celice ni najučinkovitejša, vendar to za nas ni pomembno, saj učinkovitost nima velikega vpliva na rezultat pri primerjavi sončnega sledilnika in mirujoče sončne plošče. Naša sončna plošča je sestavljena iz 24 sončnih celic, ki skupaj ob idealnih pogojih proizvajajo napetost 5V pri 0.2A, torej 1 Watt energije.



Slika 7: Polikristalne sončne celice

#### 4.1.2 IR fototranzistor

Za zaznavanje položaja sonca smo se odločili za uporabo infrardečega fototranzistorja TCRT5000 brez filtra za sončno svetlogo. Ta vrsta fototranzistorja ne zaznava vidne svetlobe, kar preprečuje, da bi sončno celico motila umetna osvetlitev in bi se ponoči aktivirala. Zato lahko deluje tudi na ponoči osvetljenih površinah. Ker infrardeči fotoupornik TCRT5000, ki smo ga uporabili zaznava samo prisotnost svetlobe, ne pa njene količine, smo ga kasneje odstranili in nadomestili z načinom sledenja, pri katerem je pot že vnaprej preračuna.

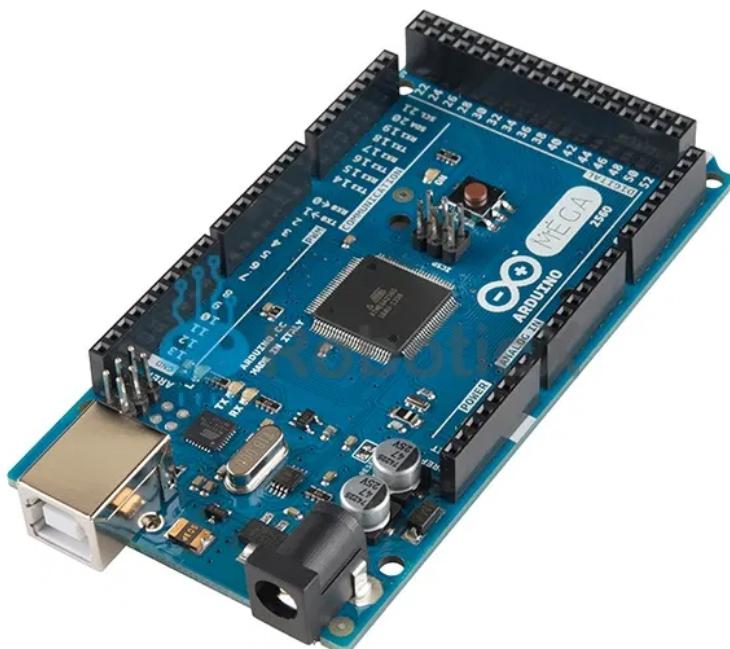


Slika 8: Fototranzistor TCRT5000

### 4.1.3 Arduino

Za nadziranje senzorjev smo se odločili, da bomo uporabili mikrokrmilnik Arduino Mega z procesorjem ATmega2560. Ima 54 digitalnih vhodno/izhodnih pinov (od tega 15 kot PWM pinov), 16 analognih vhodov, 4 UART (serijska vrata strojne opreme), 16 MHz kristalni oscilator, USB povezavo, vtičnico, glavo ICSP, in gumb za ponastavitev. (Arduino, 2021)

Za sledenje soncu je Arduino Mega dovolj zmogljiv, zato ne potrebujemo zmogljivejših krmilnikov, kot sta Teensy in Raspberry Pi. Prav tako je enostaven za uporabo in uporablja malo energije (pri napetosti 5V uporablja 73.19 mA, to lahko znižamo vse od 11.85mA, če zmanjšamo napetost na 3.3V in damo Arduino v način nizke porabe. (DIYIOT, 2021)



Slika 9: Mikrokrmilnik Arduino Mega

#### 4.1.4 Servo motor

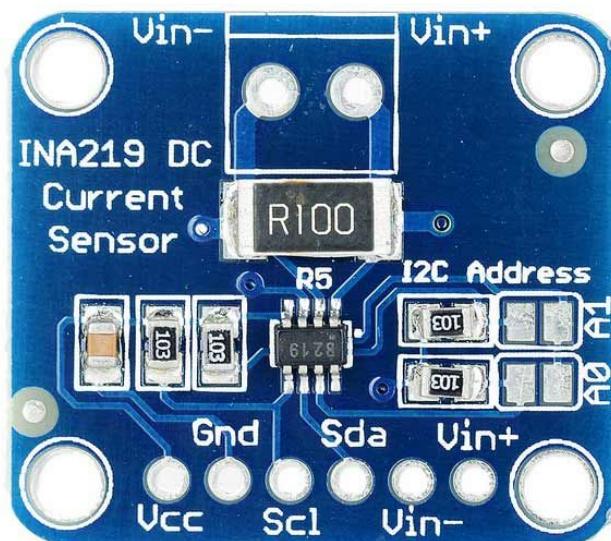
Za premikanje sončne plošče smo se odločili, da bomo uporabili servo motor S3001, ki se uporablja za krmiljenje letal. Ta servo motor se lahko premika s hitrostjo  $60^\circ/0,28\text{s}$  pri napetosti 4,8 V in ima navor 2,4 Nm. Prednost servo motorjev je, da uporabljajo manj električne energije, kot koračni motorji. Prav tako za razliko od DC motorjev, vedno vemo v kateri poziciji so, saj imajo vgrajen potenciometer. (Futaba, 2021)



Slika 10: Fototranzistor TCRT5000

#### 4.1.5 Senzor za merjenje toka in napetosti

Za merjenje toka in napetosti smo uporabili razširitveno ploščo<sup>10</sup> senzorja INA219, ki jo je naredilo podjetje Adafruit. Čip INA219 lahko meri tok do 3.2 A z natančnostjo  $\pm 0.8$  mA in napetost do + 26VDC, čeprav se napaja samo s 3 ali 5V. Ker bere tudi visoko-stransko napetost<sup>11</sup> je INA219 odličen za merjenje napetosti in toka sončnega panela. (Adafruit, 2021)



Slika 11: Čip INA219

<sup>10</sup> razširitvena plošča - ang. breakout board, električna komponenta, ki vzame v kompletu kabel in vsak vodnik "razbije" do terminala na katerega zlahka priključimo žico za distribucijo na drugo napravo (cncroutersource, 2021)

<sup>11</sup> visoko-stranska napetost - ang. high side voltage, napetost med katodo in porabnikom

#### 4.1.6 Napajanje

Mikrokrmlnik in senzorji se napajajo preko USB kabla povezanega na računalnik, preko katerega z računalnikom mikrokrmlnik tudi komunicira. Servo motor potrebuje za delovanje 4.8 V NiMH baterijo. Prednost NiMH baterije je, da ima napetost 4.8V, ki je enaka napetosti potrebnih za delovanje servo motorja, zato ne potrebujemo transformatorja.

Napajanje mikrokrmlnika je ločeno od napajanja servo motorja. To nam omogoča, da lahko merimo moč servo motorja, prav tako, pa v primeru, da servo motor potrebuje večji električni tok, kot ga mikrokrmlnik lahko dovede, mikrokrmlnika ne uničimo.



Slika 12: NiMH baterija

## 4.2 Program

Program je napisan v jeziku C++ v programu Arduino IDE. Kompiliran je za mikrokrmlnik Arduino Mega s procesorjem ATmega2560.

### 4.2.1 Logika

Celica je na začetku postavljena v nevtralno stanje. Na določen interval mikrokrmlnik prebere podatke senzorjev. Mikrokrmlnik primerja podatke nasprotnih dveh senzorjev. Glede na prebrane podatke se servo motorji premaknejo tako, da se vrednosti nasprotnih senzorjev čim bolj približata. Pri tem teži na čim večjo vrednost. Torej, če levi senzor zazna večjo vrednost kot desni potem se obrača celica proti levemu, dokler nimata enakih vrednosti, znotraj nekega okvira.

Program vključuje tudi funkciji, ki bereta napetost in tok sončne celice. Mikrokrmlnik je preko kabla povezan z računalnikom, da lahko te podatke shranimo na računalnik.

## 4.2.2 IR fototranzistor

Podatke senzorja oz. infrardečega fototranzistorja beremo z analogimi pini mikrokrmlnika. Senzor glede na moč svetlobe odda napetost med 0V in 5V. Mikrokrmlnik s pomočjo funkcije "analogRead()" to napetost prebere in jo prikaže kot vrednost med 0 in 1023. Če je napetost 5V je vrednost 1023.

## 4.2.3 Servo motorji

Mikrokrmlnik nadzira servo motorja s pinom PWM s pomočjo knjižnice "Servo". V njej je funkcija "Servo.write()", ki omogoči, da zavrtimo motor na izbrano pozicijo od 0 do 180 stopinj.

## 4.2.4 Merjenje toka in napetosti

Mikrokrmlnik komunicira s senzorjem za merjenje toka in napetosti (INA219) preko serijskega protokola I<sup>2</sup>C<sup>12</sup> s pomočjo knjižnice "Adafruit\_INA219".

S senzorjem beremo tok in napetost, ki jo oddaja električni vir porabniku. V našem primeru je porabnik LED-dioda, ki lahko porablja več energije, kot jo celica proizvede (tako zagotovimo da vedno merimo največji možni izhod sončne plošče). Vir energije pa je sončna plošča. Iz teh dveh podatkov izračunamo moč, ki jo porabnik potrebuje in jo čez čas beležimo.

## 4.2.5 Komuniciranje z računalnikom

Mikrokrmlnik z računalnikom komunicira preko serijskega protokola UART<sup>13</sup>. Podatki so prikazani na serijskem vmesniku in se beležijo v datoteko .txt. To nam omogoči, da vse podatke vidimo in shranimo na računalniku.

---

<sup>12</sup> I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit) - protokol, ki omogoča, da več senzorjev komunicira z enim ali več mikrokrmlniki preko samo dveh signalnih žic (SDA in SCL).(Iyer R., 2016)

<sup>13</sup> UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)- protokol, ki omogoča komunikacijo med dvema napravama preko dveh signalnih žic (RX - sprejema podatke in TX - oddaja podatke).(Iyer R., 2016)

### **4.3 Popravki sledilca soncu**

Ko smo opravili prvi test, smo ugotovili, da infrardeči fototranzistor, ki ga imamo, ne deluje, tako kot smo želeli - zaznava samo prisotnost svetlobe, ne pa njene količine. Če ne poznamo moči svetlobe, s senzorji ne moremo slediti soncu. Zato smo senzorje iz sledilnika soncu odstanili.

Nadomestili smo jih z metodo sledenja, pri kateri vnaprej preračunamo pot sonca. Programu smo podali vse potrebne podatke, da je lahko celica na dani dan sledila soncu.

# 5. TESTIRANJE IN REZULTATI

V tem poglavju bomo predstavili praktični del svoje naloge. Prikazani in razloženi bodo podatki, ki smo jih zabeležili.

## 5.1 Testiranje

Vse naše meritve so bile opravljene zunaj v sončnih dnevih, saj smo tako zagotovili enake pogoje za obe sončni plošči.

Sledilnik sonca smo postavili na trdno podlago, nagnjeno pod kotom približno 46 stopinj (to je približna zemljepisna širina Slovenije). Da smo pridobili potrebne podatke za primerjavo proizvedene energije med obema sončnima ploščama, smo opravili več meritev. Da smo izmerili, koliko energije proizvede mirujoča sončna plošča, smo samo izklopili motorje sledilca soncu in ga postavili v nevtralno pozicijo (sončna plošča je nagnjena pod kotom 47 stopinj glede na podlago in je bila usmerjena južno).

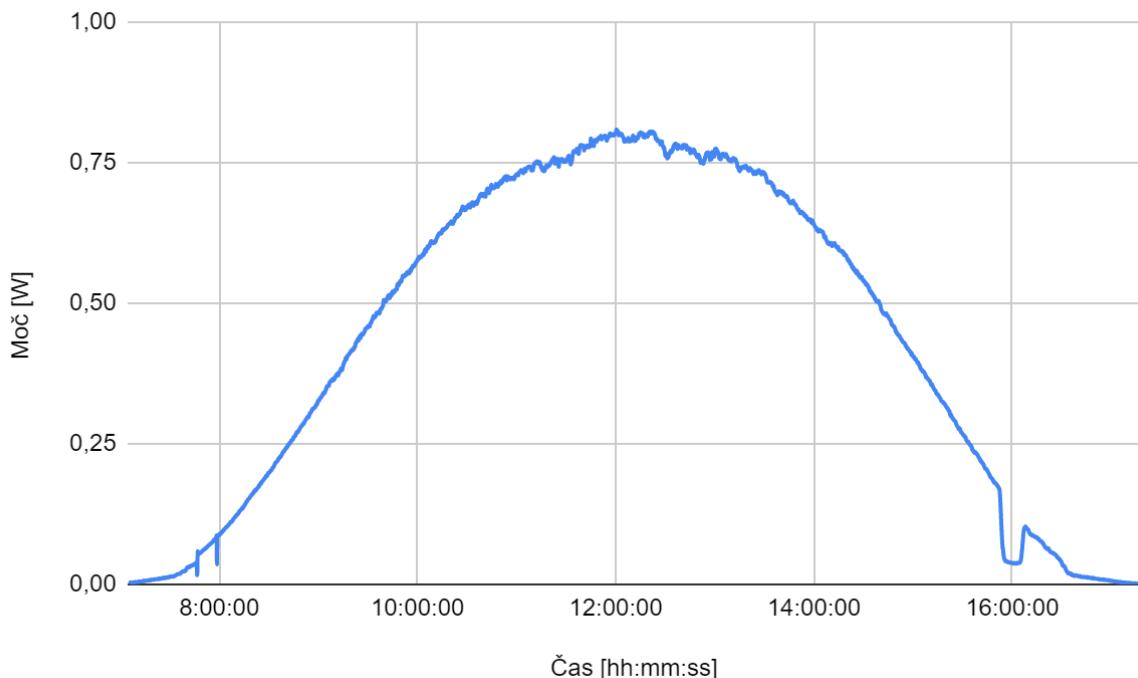
Potrebno je bilo opraviti celodnevno merjenje proizvedene energije sončnega sledilnika in proizvedene energije mirujoče sončne celice. Proizvedeno energijo smo merili tako, da smo celico priklopili na senzor za zaznavanje električne moči in električne napetosti, ter podatke shranjevali. Te podatke smo nato vnesli v program Google Sheets. Z danimi podatki smo nato narisali graf za lažjo primerjavo.

Ker pa naš sledilnik sonca potrebuje električno energijo za svoje delovanje, za razliko od mirujoče sončne celice, ki je ne, smo izmerili še, koliko energije porabljajo vse komponente.

## 5.2 Rezultati

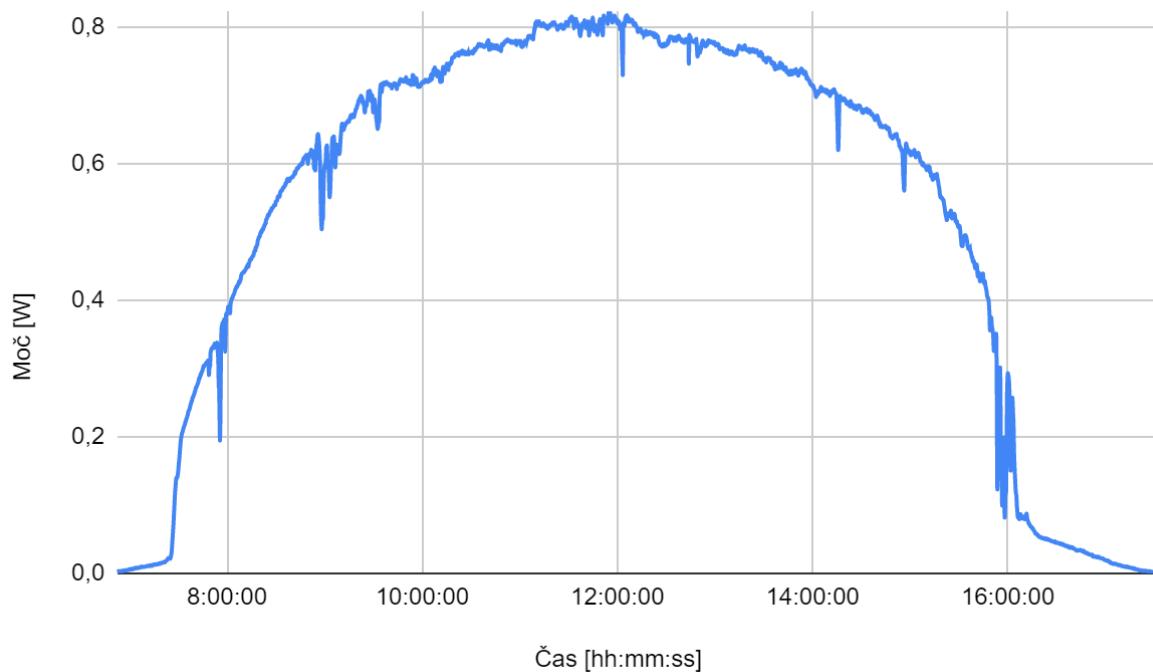
### 5.2.1 Pridobljena sončna energija

Graf 1: Moč sončne plošče v odvisnosti od časa



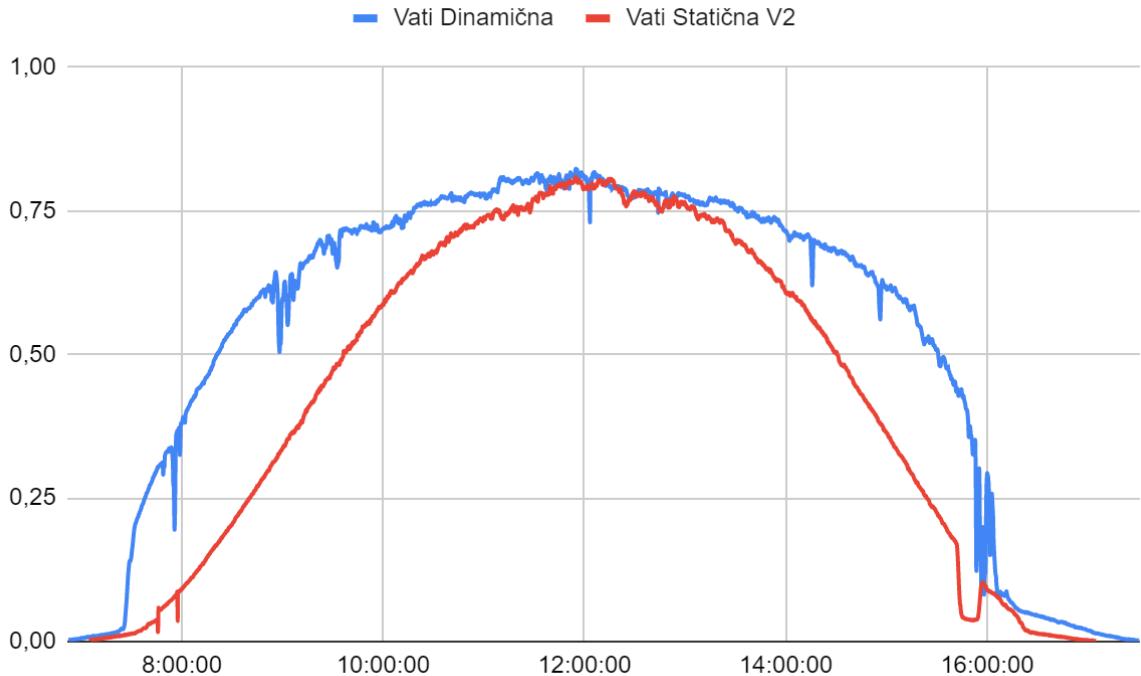
Graf prikazuje moč mirujoče sončne celice v vatih v odvisnosti od časa. Ploščina pod krivuljo, predstavlja energijo, ki jo proizvede mirujoča sončna celica v enem dnevu delovanja.

Graf 2: Moč sledilnika sonca v odvisnosti od časa



Graf prikazuje moč sledilnika soncu v vatih v odvisnosti od časa. Ploščina lika pod krivuljo, predstavlja energijo, ki jo proizvede sledilnik sonca v enem dnevu.

Graf 3: Primerjava moči sončnih celic v odvisnosti od časa

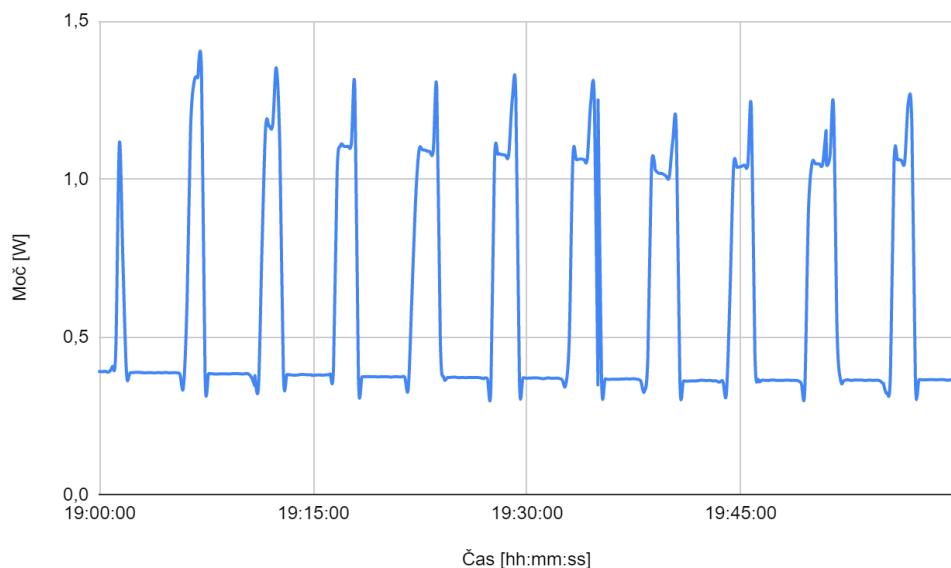


Graf prikazuje podatke o moči mirujoče sončne celice in moči sončnega sledilnika v odvisnosti od časa. Ploščina med krivuljama je razlika v proizvedeni moči.

Pri obeh grafih je okoli 16.00 zabeležen padec proizvedene energije. V okolju, kjer je bila celica postavljena, je na tem mestu steber, ki se mu pri merjenju nismo mogli izogniti. Ta je blokiral nekaj sončne energije in zato zmanjšal donos. Ker sta celici postavljeni na istem mestu, to ne bi smelo vplivati na razliko v pridobljeni energiji.

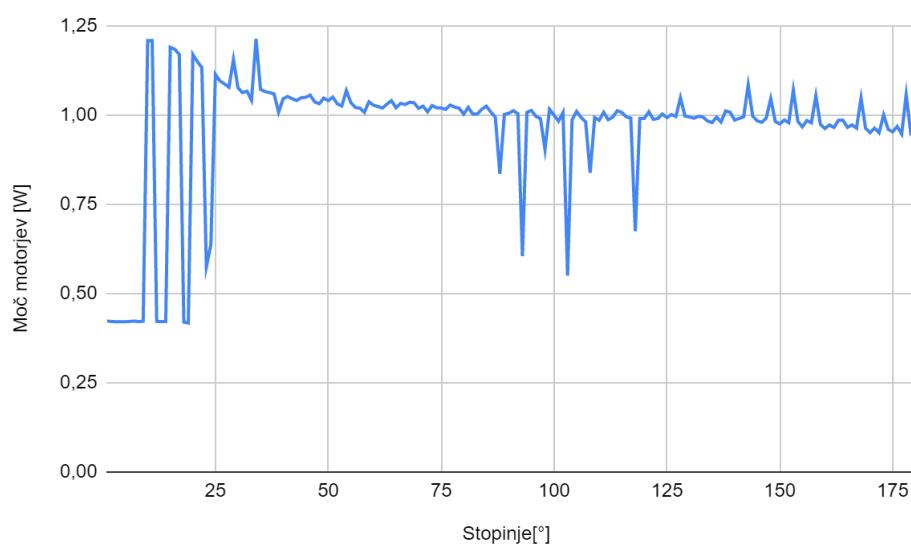
## 5.2.2 Energija, ki jo sledilnik sonca porabi za delovanje

Graf 4: Poraba servo motorjev v vatih v času ene ure



Graf prikazuje porabo servo motorjev v vatih v času ene ure. Motor premakne celico za eno stopinjo približno vsakih pet minut. To lahko opazimo kot dvig moči na grafu.

Graf 5: Poraba servo motorjev pri obratu za 180 stopinj



Graf prikazuje porabo servo motorja v vatih skozi rotacijo 180 stopinj. Za rotacijo je servo motor potreboval 0,72s. Graf postopoma pada, saj mora na začetku servo motor porabiti več energije, da sončno celico dvigne v nevtralno pozicijo. Nato, pa mu sila gravitacije "pomaga", ko celico spušča na drugi strani navzdol.

Energijo, ki jo porablja mikrokrmlnik, smo izmerili z multimetrom in dobili rezultat, da v aktivnem stanju pri napetosti 5V porablja tok 40mA, v stanju spanja pa 20mA. Da lahko beležimo podatke, mora biti mikrokrmlnik vedno v aktivnem stanju.

Iz zgoraj prikazanih grafov in podatkov lahko razberemo sledeče:

- čas delovanja mirujoče sončne plošče: 10 h 12 min 12 s,
- povprečna moč mirujoče sončne plošče: 0.435 W,
- proizvedena energija mirujoče sončne plošče: 4,44 Wh,
  
- čas delovanje sledilnika soncu: 10 h 38 min 39 s,
- povprečna moč sledilnika soncu: 0.533 W,
- proizvedena energija sledilnika soncu v enem dnevu: 5,67 Wh,
  
- moč, potrebna za delovanje servomotorja: 0.59 W ,
- moč, potrebna za delovanje mikrokrmlnika: 0.1 W,
- skupna moč potrebna za delovanje: 0.69 W,
- energija, ki jo porabi sledilnik soncu v enem dnevu: 7.34 Wh.

Če ne upoštevamo porabe, ugotovimo, da je sledilnik soncu proizvede 27.83 % več energije kot mirujoča sončna celica.

Ko pa upoštevamo porabo, ugotovimo, da je sledilnik soncu porabil za delovanje več energije, kot jo je proizvedel. Z uporabo sledilnika soncu izgubimo 29.5 % energije.

## 5.3 Razprava, interpretacija rezultatov

Sledilci soncu po dveh oseh naj bi glede na dosedanje raziskave proizvedli med 30 in 45 % več energije, kot mirujoče sončne plošče. (Marsh, 2018) Naši rezultati se s temi podatki ne skladajo, saj smo ugotovili, da za delovanje sledilnika soncu porabimo več energije, kot jo proizvedemo. Razlog, zakaj se naše ugotovitve tako zelo razlikujejo od drugih, je v porabi servo motorjev.

Servo motorji, ki smo jih uporabili nimajo zobniškega razmerja, ki bi lahko sončno ploščo držal pokonci, tudi ko so motorji izklopljeni. Zato morajo biti servo motorji neprestano vklopljeni in tako porabijo veliko energije. To lahko vidimo pri grafu 3 (Poraba servo motorjev v vatih v času ene ure), kjer motor, tudi ko celice ne premika porablja 0,5W energije. Če bi uporabili servo motorje z močnejšim zobniškim razmerjem<sup>14</sup>, ki bi lahko celico držali pokonci, brez da bi bili vklopljeni, bi z energijo zelo prihranili. Servo motorji bi morali delovati samo takrat, ko bi se celica premaknila na novo pozicijo. Za  $180^{\circ}$  obrat, bi servo motor porabil samo 0.0002 Wh energije. Tako bi naš sledilnik soncu proizvedel 27.82 % več energije kot mirujoča sončna plošča.

Ta rezultat še vedno odstopa od izsledkov drugih. Razlog zato je, ker za sledenje nismo uporabili senzorjev. Soncu smo sledili samo po osi vzhod-zahod, saj s preračunavanjem brez uporabe senzorjev ne moremo ugotoviti, pod kakšnim kotom moramo nagniti celico za optimalno sledenje. Zato je kot, pod katerim je celica nagnjena glede na tla, samo približek. To pomeni, da bi se morali naši rezultati skladati s proizvedeno energijo sončnega sledilnika, ki soncu sledi po eni osi (torej je med 25 % in 30 %). Naša ugotovitev se s tem rezultatom sklada.

Na začetku raziskovalne naloge smo postavili hipotezo, da sončna plošča, ki je vedno obrnjena proti soncu sonce proizvede več električne energije kot mirujoča sončna plošča. Našo hipotezo smo z raziskovalno nalogo potrdili, saj je sledilnik sonca res proizvedel več energije kot mirujoča sončna plošča.

---

<sup>14</sup> Primer mehanizma, s katerim bi to dosegli je v prilogah 9.3 Primer boljšega mehanizem za sledenje

## 6. SKLEP

Podatki, ki smo jih uspeli zbrati v sklopu svoje raziskave nakazujejo k temu, da sledilnik sonca zbere približno 42 % več sončne energije. Če upoštevamo porabo proizvedejo približno 30 % več sončne energije kot mirajoče sončne plošče pri enaki velikosti in enakem modelu sončne celice. To potrjuje naše raziskovanje in teoretično računanje, z dodatnim testiranjem pa bi lahko to potrdili tudi praktično.

Skozi praktično delo smo ugotovili, da naš sončni sledilnik porabi več energije, kot je proizvede. Zato se za nas postavitev ni izplačala. Razlog za to je premajhna površina sončne celice in neučinkovita uporaba motorjev. Predvidevamo, da če povečamo površino sončne celice ali pa izboljšamo mehanizem za obračanje, se bo postavitev sledilnika sonca energijsko gledano splačala.

V prihodnosti bomo ta predvidevanja poskušali potrditi in najti najbolj energetsko učinkovit način sledenja soncu.

## 7. DRUŽBENA ODGOVORNOST

Globalno segrevanje je v zadnjih letih postaja vedno bolj aktualna tematika, saj ima vedno večji vpliv na naše življenje. Povzroča ga mnogo dejavnikov, eden izmed njih, pa je zagotovo pridobivanje energije s fosilnimi gorivi<sup>15</sup>. Z uporabo sledilnikov sonca, ki so bolj učinkoviti od mirujočih sončnih plošč, bi zmanjšali potrebo po fosilnih gorivih, kar bi zagotovo zelo pripomoglo k reševanju globalnega segrevanja.

Ker so sledilniki sonca bolj učinkoviti, kot mirujoče sončne plošče, jih lahko uporabimo manj, da pridobimo enako količino električne energije, kot bi jo pridobili s mirujočimi sončnimi ploščami. To pomeni, da bistveno manj obremenujemo okolje z odpadnimi sončnimi celicami. Trenutno odpadne sončne celice ne predstavljajo velikega problema, saj je bilo večina sončnih elektrarn zgrajenih po letu 2005 in do sedaj še niso potrebovale zamenjave sončnih plošč. Vsaka sončna celica ima namreč življenjsko dobo okoli 25 - 30 let, ko ji ta življenjska doba poteče postane zelo nevaren odpadek, ki ga je treba reciklirati, če ne želimo onesnaževati okolja. Z uporabo sledilnikov sonca, bi količino odpadnih sončnih celic zmanjšali za 40 %.

Naše raziskovanje pri katerem smo se držali vseh etičnih načel, je majhen, a pomemben korak k zeleni prihodnosti človeštva, brez onesnaževanja okolja.

---

<sup>15</sup> Fosilna goriva - goriva, ki vsebujejo ogljikovodike. Med takšna goriva spadajo premog, nafta ter zemeljski plin (Wikipedia, 2021)

# **8. VIRI**

## **8.1 Literatura**

Kladnik, R. in Kodba, S. Energija, toplota, nihanje in valovanje: Učbenik za fiziko, gimnazije in srednje šole. Ljubljana: Narodna univerzitetna knjižnica, 2016.

## **8.2 Spletni viri**

„A Guide to Understanding LiPo Batteries“. b. d. Roger's Hobby Center. Pridobljeno 29. marec 2021. <https://rogershobbycenter.com/lipoguide>.

„Acid Battery - an overview“. b. d. ScienceDirect. Pridobljeno 29. marec 2021. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/acid-battery>.

„Adafruit INA219 Current Sensor Breakout“. b. d. Adafruit Learning System. Pridobljeno 29. marec 2021. <https://learn.adafruit.com/adafruit-ina219-current-sensor-breakout/wiring>.

adafruit/Adafruit\_INA219. (2012) 2021. C++. Adafruit Industries. [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_INA219](https://github.com/adafruit/Adafruit_INA219).

„adafruit-ina219-current-sensor-breakout.pdf“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021. <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-ina219-current-sensor-breakout.pdf>.

„amorfni polprevodniki.pdf“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021. <http://www-f1.ijs.si/~zihrl/amorfni polprevodniki.pdf>.

„Amorphous Silicon Solar Cell - an overview“. b. d. ScienceDirect. Pridobljeno 29. marec 2021. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/amorphous-silicon-solar-cell>.

„amorphous solar panel: Amorphous solar panels: With tech advancements, these can someday be integrated onto clothing items“. b. d. The Economic Times. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/productline/power-generation/amorphous-solar-panels-with-tech-advancements-these-can-someday-be-integrated-onto-clothing-items/articleshow/69157734.cms>.

„Arduino Mega 2560 Rev3“. b. d. Arduino Official Store. Pridobljeno 29. marec 2021. <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>.

„Are Solar Trackers Worth It?“ 2018. Solar News (blog). 19. januar 2018. <https://news.energysage.com/solar-trackers-everything-need-know/>.

cdaviddav. b. d. „Arduino Mega Tutorial“. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://diyi0t.com/arduino-mega-tutorial/>.

„DC Motors and Stepper Motors Used as Actuators“. 2013. Basic Electronics Tutorials (blog). 17. avgust 2013. [https://www.electronics-tutorials.ws/io/io\\_7.html](https://www.electronics-tutorials.ws/io/io_7.html).

Electrical4U. b. d. „Solar Cell: Working Principle & Construction“. Electrical4U. Pridobljeno 29. marec 2021. <https://www.electrical4u.com/solar-cell/>.

„Fotoupornik“. 2021. V Wikipedija, prosta enciklopedija.  
<https://sl.wikipedia.org/w/index.php?title=Fotoupornik&oldid=5444698>.

Gregor, Plohl. 2007. „Amorfni polprevodniki“. Univerza v Ljubljani.  
<http://www-f1.ijs.si/~zihrl/amorfnipolprevodniki.pdf>.

„How exactly does a battery work (specifically Pb/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/PbO<sub>2</sub> lead acid battery)?“ b. d. Chemistry Stack Exchange. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://chemistry.stackexchange.com/questions/66549/how-exactly-does-a-battery-work-specifically-pb-h2so4-h2so4-pbo2-lead-acid-batt>.

„How much and what kind of radiation passes through a cloud?“ b. d. Earth Science Stack Exchange. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://earthscience.stackexchange.com/questions/8346/how-much-and-what-kind-of-radiation-passes-through-a-cloud>.

„How to calculate output energy of PV solar systems?“ b. d. Photovoltaic-software.com (blog). Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems>.

„I2C“. b. d. learn.sparkfun.com. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/all>.

„INA219 - Zerø-Drift, Bi-Directional CURRENT/POWER MONITOR with I2C™ Interface“. 2011. Texas Instruments. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ina219.pdf>.

„ina219.pdf“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ina219.pdf>.

Iyer, Rahul. 2016. „Arduino Serial Tutorial - Arduino Communication Protocols“. Device Plus (blog). 29. november 2016.  
<https://www.deviceplus.com/arduino/arduino-communication-protocols-tutorial/>.

lady ada. 2019. „Adafruit INA219 Current Sensor Breakout“. adafruit learning system.  
<https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-ina219-current-sensor-breakout.pdf>.

„LDR Light Sensor Tutorial“. 2016. Hacker Space Tech (blog). 20. november 2016.  
<https://www.hackerspacetech.com/ldr-light-sensor-tutorial/>.

„Lithium Based Battery Technologies“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://www.eurobat.org/batteries-contribution/battery-technologies/lithium-based>.

„Lithium vs NiMH Battery Packs“. b. d. epec (blog). Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://www.epeetc.com/batteries/lithium-vs-nimh-battery-packs.html>.

„Lithium-ion Batteries“. b. d. Panasonic. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://industrial.panasonic.com/ww/products/batteries/secondary-batteries/lithium-ion>.

„Motor Control Brushed DC (BDC)“. b. d. Farnell. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://si.farnell.com/motor-control-brushed-dc-bdc-technology>.

„Motor Control Servo Motors“. b. d. Farnell. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://si.farnell.com/motor-control-servo-motors-technology>.

„Motor Control Stepper Motor Drivers“. b. d. Farnell. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://si.farnell.com/motor-control-stepper-motor-drivers-technology>.

„Optical Properties of Glass: How Light and Glass Interact“. b. d. Kopp Glass. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://www.koppglass.com/blog/optical-properties-glass-how-light-and-glass-interact>.

„Outdor electronic projects“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://www.yoctopuce.com/EN/article/outdor-electronic-projects>.

Products, Specialty Home. 2020. „Basics for Roof Designs in Snowy Climates“. Specialty Home Products (blog). 6. januar 2020.  
<https://specialtyhomeproducts.com/best-roof-designs-for-snowy-climates/>.

„Roger’s Hobby Center“. b. d. Roger’s Hobby Center. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://rogershobbycenter.com/about>.

„S3001“. b. d. FutabaUSA. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://futabausa.com/product/s3001/>.

„Serial Communication“. b. d. learn.sparkfun.com. Pridobljeno 29. marec 2021.  
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>.

„Single-Board Computer“. 2021. V Wikipedia.  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Single-board\\_computer&oldid=998954665](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Single-board_computer&oldid=998954665).

„Solar Power Game-Changer: ‚Near Perfect‘ Absorption of Sunlight, From All Angles“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021. <https://news.rpi.edu/luwakkey/2507>.

„Solar Radiation & Photosynthetically Active Radiation“. b. d. Environmental Measurement Systems. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/>.

„Sončna celica“. 2019. V Wikipedija, prosta enciklopedija.

[https://sl.wikipedia.org/w/index.php?title=Son%C4%8Dna\\_celica&oldid=5211466](https://sl.wikipedia.org/w/index.php?title=Son%C4%8Dna_celica&oldid=5211466).

„Sun Position and Sun Phases Calculator“. b. d. SunCalc. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://www.suncalc.org>.

„TCRT5000 3PIN Line Tracking Module Tracker Sensor NSOR Infrared Reflective Sensor IR Photoelectric Switch Barrier for Arduino“. b. d. AliExpress. Pridobljeno 29. marec 2021.

[https://www.aliexpress.com/item/4000726228513.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=&aff\\_platfrom=&aff\\_trace\\_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://www.aliexpress.com/item/4000726228513.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platfrom=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=)

„TCRT5000, TCRT5000L - Reflective Optical Sensor with Transistor Output“. 2021. Vishay Semiconductors. <https://www.vishay.com/docs/83760/t crt5000.pdf>.

„t crt5000.pdf“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://www.vishay.com/docs/83760/t crt5000.pdf>.

Tharakeswari. b. d. „What Is a Servo Motor and When Is It Used?“ Pridobljeno 29. marec 2021. <https://clr.es/blog/en/what-is-servo-motor-and-when-is-it-used/>.

„The Feynman Lectures on Physics Vol. II Ch. 33: Reflection from Surfaces“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021. [https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II\\_33.html](https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_33.html).

Thursday, Published:, July 9, in 2020. b. d. „In What Part of the Electromagnetic Spectrum Does the Sun Emit Energy?“ Astronomy.Com (blog). Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://astronomy.com/magazine/ask-astro/2020/07/in-what-part-of-the-spectrum-does-the-sun-emit-energy>.

„Turnigy Receiver Pack 2300mAh 4.8V NiMH (Square)“. b. d. Hobbyking. Pridobljeno 29. marec 2021.

[https://hobbyking.com/en\\_us/turnigy-receiver-pack-2300mah-4-8v-nimh-square.html?queryID=&objectID=82337&indexName=hbk\\_live\\_magento\\_en\\_us\\_products](https://hobbyking.com/en_us/turnigy-receiver-pack-2300mah-4-8v-nimh-square.html?queryID=&objectID=82337&indexName=hbk_live_magento_en_us_products).

„Types of Solar Panels“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>.

„Types of Solar Panels: Which One Is the Best Choice?“ b. d. Solar Reviews. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-poly-crystalline-solar-panels>.

„Uporaba in polnjenje NiMh baterij.“ b. d. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://ebatt.si/si/blog/18-pravilna-uporaba-nimh-baterij>.

„What is a high-side/low-side driver in electronics?“ b. d. Quora. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://www.quora.com/What-is-a-high-side-low-side-driver-in-electronics>

„What Is a Microcontroller? The Defining Characteristics and Architecture of a Common Component“. b. d. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/what-is-a-microcontroller-introduction-component-characteristics-component/>.

„What Is a Photodiode? Working, Characteristics, Applications“. 2018. Electronics Hub (blog). 30. oktober 2018.

<https://www.electronicshub.org/photodiode-working-characteristics-applications/>.

„What is a Phototransistor“. b. d. Electronics Notes. Pridobljeno 29. marec 2021.

[https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/transistor/what-is-a-phototransistor-tutorial.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/transistor/what-is-a-phototransistor-tutorial.php).

„What Is a Phototransistor : Circuit Diagram & Its Working“. 2018. ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students. 29. november 2018.

<https://www.elprocus.com/phototransistor-basics-circuit-diagram-advantages-applications/>.

„What Is Lead Acid Battery? Construction, Working, Discharging & Recharging“. 2017.

Circuit Globe (blog). 9. januar 2017. <https://circuitglobe.com/lead-acid-battery.html>.

„What Kind of Light Does a Solar Cell Need?“ b. d. Sciencing. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://sciencing.com/kind-light-solar-cell-need-21539.html>.

„What Light Wave Do Solar Panels Use?“ b. d. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://www.solarpoweristhefuture.com/what-light-wave-do-solar-panels-use.shtml>.

„What's the difference between all these Light Sensors?“ b. d. Parallax Forums. Pridobljeno 29. marec 2021.

<https://forums.parallax.com/discussion/165105/whats-the-difference-between-all-these-light-sensors>.

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/Global\\_Map\\_of\\_Direct\\_Normal\\_Radiation\\_01.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/Global_Map_of_Direct_Normal_Radiation_01.png)

## 8.2 Slike

Slika 1: Skica sledenja soncu po eni osi [online]. 2018. [Citirano 28.3.2021; 11.31]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1216641/FULLTEXT01.pdf>

Slika 2: Skica sledenja soncu po dveh oseh [online]. 2018. [Citirano 28.3.2021; 11.36]. Dostopno na spletnem naslovu:  
<https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1216641/FULLTEXT01.pdf>

Slika 3: Skica nagnjene sončne plošče [online]. 2018. [Citirano 28.3.2021; 11.38]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1216641/FULLTEXT01.pdf>

Slika 4: Sledilnik soncu [avtorska slika]. 2021. Narejena v programu Fusion 360.

Slika 5: Prikaz delov sledilca sonca [avtorska slika]. 2021. Narejena v programu Fusion 360

Slika 6: Prikaz elektronike [avtorska slika]. 2021. Narejena s pomočjo spletnne strani Circuit.io: <https://www.circuito.io/>

Slika 7: Polikristalne sončne celice [online]. 2021 . [Citirano 28.3.2021; 11.46]. Dostopno na spletnem naslovu:

[https://lh5.googleusercontent.com/X7WSi\\_Oq839VpvIOhwF7bkruGOH0zOJftLAyKPoUmiY1Fks25Os5swL7F14M1f7AkAKIvFNU6eRpS52hscHU5cTrP4mfaoM82Nu7dNAdnSU46xU=w1280](https://lh5.googleusercontent.com/X7WSi_Oq839VpvIOhwF7bkruGOH0zOJftLAyKPoUmiY1Fks25Os5swL7F14M1f7AkAKIvFNU6eRpS52hscHU5cTrP4mfaoM82Nu7dNAdnSU46xU=w1280)

Slika 8: Fototranzistor TCRT5000 [online]. 2021. [Citirano 28.3.2021; 11.44]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://robu.in/product/tcrc5000-ir-reflex-tracking-sensor-module/>

Slika 9: Mikrokrmilnik Arduino Mega [online]. 2021. [Citirano 28.3.2021; 11.47]. Dostopno na spletnem naslovu:

<https://i2.wp.com/roboticx.ps/wp-content/uploads/2015/10/11061-01b.jpg?fit=600%2C600&ssl=1>

Slika 10: Fototranzistor TCRT5000 [online]. 2021. [Citirano 28.3.2021; 11.56]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://i.ebayimg.com/images/g/vjUAAOSw6phgRgxL/s-l640.jpg>

Slika 11: Čip INA219 [online]. 2021. [Citirano 28.3.2021; 12.06 ]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.pinterest.com/pin/531776668486209955/>

Slika 12: NiMH baterija [online]. 2021. [Citirano 28.3.2021; 12.16 ]. Dostopno na spletnem naslovu:

[https://hobbyking.com/en\\_us/turnigy-receiver-pack-2300mah-4-8v-nimh-square.html?queryID=&objectID=82337&indexName=hbk\\_live\\_magento\\_en\\_us\\_products&\\_\\_store=en\\_us](https://hobbyking.com/en_us/turnigy-receiver-pack-2300mah-4-8v-nimh-square.html?queryID=&objec tID=82337&indexName=hbk_live_magento_en_us_products&__store=en_us)

## **8.3 Grafi**

Graf 1: Moč sončne plošče v odvisnosti od časa [avtorski graf]. 2021. Narejeno v programu Google Preglednice.

Graf 2: Moč sledilnika sonca v odvisnosti od časa [avtorski graf]. 2021. Narejeno v programu Google Preglednice.

Graf 3: Primerjava moči sončnih celic v odvisnosti od časa [avtorski graf]. 2021. Narejeno v programu Google Preglednice.

Graf 4: Poraba servo motorjev v vatih v času ene ure [avtorski graf]. 2021. Narejeno v programu Google Preglednice.

Graf 5: Poraba servo motorjev pri obratu za 180 stopinj [avtorski graf]. 2021. Narejeno v programu Google Preglednice.

# **9. PRILOGE**

## **9.1 Podatki**

### **9.1.1 Podatki za izračun proizvedene energije**

S -  $24 \times 0,025 \text{ m} \times 0,0125 \text{ m}$  (faktor 24 je uporabljen, saj je naša celica razdeljena na 24 manjših delov, ki so enakomerno porazdeljeni po površini)

H - 3,4 kWh/m<sup>2</sup> na en dan. ()

K<sub>i</sub> za mirujočo sončno celico - 67,4 %

K<sub>i</sub> za sončni sledilnik - 96 %

k<sub>i</sub> - imamo majhen sistem, zato lahko k<sub>u</sub> zanemarimo

k<sub>u</sub> - 42,3 % (sončna celica pretvori 42,3 % sončne energije v električno energijo)

#### **Rezultati:**

1. Mirujoča sončna celica na dan enakonočja proizvede 7,27 Wh.
2. Sončni sledilnik na dan enakonočja proizvede 10,8 Wh.

### **9.1.2 Podatki za izračun porabe servo motorjev**

M - 0,235 Nm navor servo motorjev Podatek vzet iz poglavja komponente.

ω - 3,74 rad/s

φ<sub>1</sub> -  $2\pi$  radiana kot ki ga opravi servo motor 1 (servo motor, ki celico premika od vzhoda proti zahodu)

φ<sub>2</sub> -  $4,36 \times 10^{-3}$  radiana, kot, ki ga opravi servo motor 2 (servo motor, ki celico premika od severa proti jugu)

P<sub>1</sub> - moč servo motorjev

t<sub>1</sub> - 1,68 s, čas obratovanja servo motorja 1 v enem dnevu

t<sub>2</sub> -  $1,17 \times 10^{-3}$  s, čas obratovanja servo motorja 2 v enem dnevu

#### **Rezultati:**

1. Servo motor 1 v enem dnevu porabi  $4,1 \times 10^{-4}$  Wh
2. Servo motor 2 v enem dnevu porabi  $2,8 \times 10^{-8}$  Wh

### **9.1.3 Podatki za izračun porabe mikrokrmlnika**

$t_3$  - 1,70 s, ker je enako času obratovanja servo motorja  $1 + 0,1$  milisekunde krat 181.

Ker pred vsakim premikom motorja potrebuje 0,1 milisekunde. (motor se obrne 181 krat 180 krat v eno smer in 1 krat nazaj v začetno pozicijo)

$t_4$  - 86398,3 s čas, ko je mikrokrmlnik v mirovanju

$I_1$  - 0,07319 A, tok, ki ga mikrokrmlnik potrebuje za delovanje. Podatek vzet iz poglavja komponente.

$U_1$  - 5 V, napetost v mikrokrmlniku ob delovanju. Podatek vzet iz poglavja komponente.

$P_3$  - moč mikrokrmlnika ob delovanju

$I_2$  - 0,01185 A, tok, v mikrokrmlniku ob mirovanju. Podatek vzet iz poglavja komponente

$U_2$  - 3,3 V, napetost v mikrokrmlniku ob mirovanju. Podatek vzet iz poglavja komponente

$P_4$  - moč mikrokrmlnika ob mirovanju

#### **Rezultati:**

1. Mikrokrmlnik ob normalnem delovanju (čas delovanja 1,70 s) v enem dnevu porabi  $1,73 \times 10^{-4}$  Wh
2. Mikrokrmlnik ob spanju v enem dnevu porabi 0,94 Wh

## 9.2 Program

### 9.2.1 Sledenje s pomočjo senzorjev

```
// Include the Servo library
#include <Servo.h>

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

Adafruit_INA219 ina219;

// Declare the Servo pin and direction integers
int servoPin1 = 3;
int servoPin2 = 2;
int x = 0;
int y = 20;
// Create a servo object
Servo Servo1, Servo2;
void setup() {
    // We need to attach the servo to the used pin number
    Servo1.attach(servoPin1);
    Servo2.attach(servoPin2);
    //set IR sensor pins as input
    pinMode(A1, INPUT);
    pinMode(A2, INPUT);
    pinMode(A3, INPUT);
    pinMode(A4, INPUT);

    //begin serial monitor
    Serial.begin(115200);
    while (!Serial) {
        // will pause Zero, Leonardo, etc until serial console opens
        delay(1);
    }
    uint32_t currentFrequency;

    Serial.println("Hello!");

    // Initialize the INA219.
    // By default the initialization will use the largest range (32V, 2A). However
    // you can call a setCalibration function to change this range (see comments).
    if (! ina219.begin()) {
```

```

Serial.println("Failed to find INA219 chip");
while (1) {
  delay(10);
}
// To use a slightly lower 32V, 1A range (higher precision on amps):
//ina219.setCalibration_32V_1A();
// Or to use a lower 16V, 400mA range (higher precision on volts and amps):
//ina219.setCalibration_16V_400mA();

Serial.println("Measuring voltage and current with INA219 ...");

}

void loop() {
  //declare sensors based on directions and read their corresponding pins
  int SensorS = analogRead(A4);
  int SensorJ = analogRead(A7);
  int SensorV = analogRead(A6);
  int SensorZ = analogRead(A5);

  Serial.println(analogRead(A4));

  float shuntvoltage = 0;
  float busvoltage = 0;
  float current_mA = 0;
  float loadvoltage = 0;
  float power_mW = 0;

  shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();
  busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
  current_mA = ina219.getCurrent_mA();
  power_mW = ina219.getPower_mW();
  loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage / 1000);

  //check if x is less than 90 degrees
  if ( x < 90) {
    //if it is use standard addition and subtraction for both axis
    if (SensorS > 700) { x++; }
    if (SensorJ > 700) { x--; }
    if (SensorV > 700) { y++; }
    if (SensorZ > 700) { y--; }
  }
  else {

```

```

//if it is not flip the y axis subtraction and addition
if (SensorS > 700) { x++; }
if (SensorJ > 700) { x--; }
if (SensorV > 700) { y--; }
if (SensorZ > 700) { y++; }

}

//check if any of the axis reached their limit
if (x > 160) { x = 160; }
else if (x < 10) { x = 10; }

if (y > 180) { y = 180; }
else if (y < 0) { y = 0; }

Serial.print(loadvoltage);
Serial.print(" ");
Serial.print(current_mA);
Serial.println("");

//assign them to the corresponding servos
Servo1.write(x);
Servo2.write(y);

//delay, because it doesn't have to check too often
delay(40);
}

```

## 9.2.2 Sledenje z vnaprej preračunano potjo

```
#include <Servo.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

int servoPin1 = 3;
float daytimeseconds = 37920;

Servo Servo1;
Adafruit_INA219 ina219;

//function that takes five values and picks the one closest to the average
float getBestVal(float Array[]){

    float sum = 0;
    float AVG = 0;
    float ANS = 0;
    int i = 0;

    //calculate average
    while(i < 5){
        sum = sum + Array[i];
        i++;
    }
    AVG = sum / float(i);

    i = 0;
    //compare values to average
    while(i < 5){
        if( abs(ANS - AVG) <= abs(Array[i] - AVG)){ANS = ANS;}
        else{ANS = Array[i];}
        i++;
    }
    return ANS;
}

void setup(void)
{
    //assign servo motors to pins
    Servo1.attach(servoPin1);

    Serial.begin(115200);
    while (!Serial) {
        // will pause Zero, Leonardo, etc until serial console opens
        delay(1); }
}
```

```

uint32_t currentFrequency;

// Initialize the INA219.
if (! ina219.begin()) {
    Serial.println("Failed to find INA219 chip");
    while (1) { delay(10); }
}

Serial.println("Measuring voltage and current with INA219 ...");
}

void loop(void)
{
    float busvoltage;
    float current_mA;
    float power_mW;

    float busV[5];
    float current[5];
    float power[5];

    int i = 0;
    int y = 0;
    int r = 90;

    float yMax = ((daytimeseconds * 1000) / 180) / 15000; //Calculates every time the servo has
    to move 1 degree and splits it into 15 second intervals
    float yLeftover = yMax - round(yMax);
    int rMax = 180; //max value a servo can rotate

    Servo1.write(r);

    while(r < rMax){
        while(y < round(yMax) + 1){

            //measure voltage, current and power
            while (i < 5){
                busV[i] = ina219.getBusVoltage_V();
                current[i] = ina219.getCurrent_mA();
                power[i] = ina219.getPower_mW();
                delay(20);
                i++;
            }

            //find the best value from all measurements with function getBestVal
            busvoltage = getBestVal(busV);
        }
    }
}

```

```

current_mA = getBestVal(current);
power_mW = getBestVal(power);

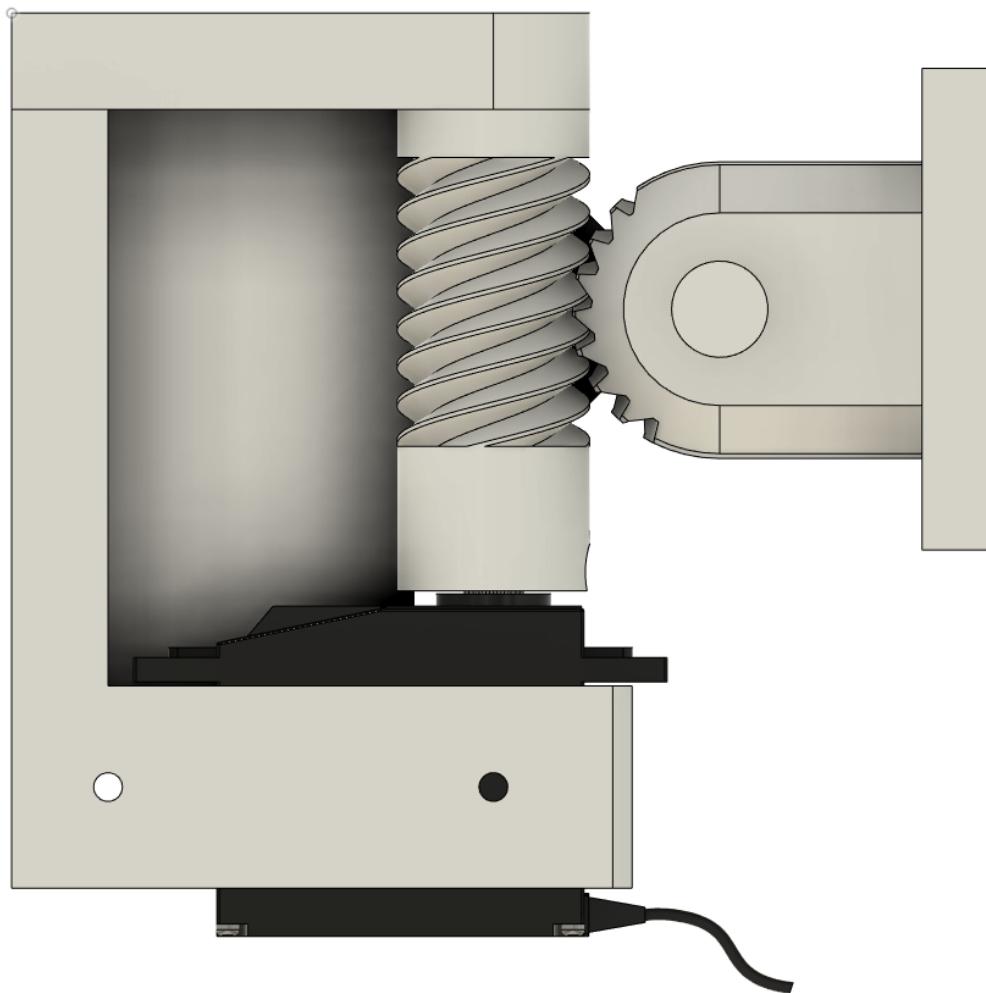
//output the values
Serial.print(busvoltage);
Serial.print(" ");
Serial.print(current_mA);
Serial.print("->");
Serial.print(power_mW);
Serial.println("");

//used to fill in the time it ignores when calculating y, so the moving is more accurate
if(y == round(yMax)){ delay(yLeftover * 1000);}
else{ delay(15000);
}
y++;
}

y = 0;
r++;
Servo1.write(r);
}
}

```

### 9.3 Primer boljšega mehanizem za sledenje



Prikazan mehanizem je narejen s pomočjo programa Fusion 360.