

# Pametna sonda za tlo

Projektna dokumentacija

Tema: Pomoć u proizvodnji hrane i pića

Ime tima: Izolirka

Članovi tima: Petar Crnjak, Dominik Juričan, Tomislav Sladoljev, Maja Benković



*Slika 1 Sonda tla*

# SADRŽAJ

## 1. SADRŽAJ

## 2. UVOD

## 3. OPIS RJEŠENJA

### 3.1. Opis korištenih komponenti

3.1.1. Sonda vlage tla

3.1.2. NTC3950 termistor

3.1.3. DHT11 senzor vlage i temperature

3.1.4. BME280 senzor tlaka i temperature

3.1.5. GL5506 fotootpornik

3.1.6. Napajanje

### 3.2. Električna shema uređaja

### 3.3. Mehanički dizajn

### 3.4. Testiranje

3.4.1. Testiranje senzora

3.4.2. Testiranje dometa

3.4.3. Testiranje baterije i solarnog punjača

## 4. OPIS RADA RJEŠENJA

### 4.1 Spremanje i prikaz grafova

## 5. TROŠKOVNIK

## 6. ZAKLJUČAK

## 7. LITERATURA

## 2. UVOD

Tim "Izolirka" sastoji se od četiri buduća inženjera mehatronike, koje pogoni želja za izazovima te želja za širenjem znanja. Upravo zbog toga, odabrali smo temu „pomoć u proizvodnji hrane i pića“, jer smatramo kako naša znanja mogu uvelike doprinijeti ovoj industriji i unaprijediti ju.

Odlučili smo temi pristupiti tako da ne rješavamo određene već postojeće probleme, nego da spriječimo da do problema uopće i dođe, vodeći se logikom „Znati da bi se predvidjelo, predvidjeti da bi se spriječilo“. Tako smo, uz nešto „brainstorming-a“ zapravo došli do ideje za izradom pametnih sonde za tlo. Sonde koje bi detaljnom analizom tla u realnom vremenu farmeru davale podatke o tome u kakvome je stanju tlo.

Na globalnoj razini, 70% pitke vode odlazi na zalijevanje usijeva<sup>1</sup> te pravilnim doziranjem vode možemo to promijeniti i ne trošiti vodu prekomjerno i bez veze. Ovdje u igru dolaze naše sonde, koje mjerenjem vlažnosti i temperature tla daju izravne podatke o tome koliko je vode tlu, odnosno određenoj biljnoj kulturi potrebno. Sonda slanjem prikupljenih podataka s terena, pomaže pri uočavanju problema za uzgajanu vrstu, ima potencijal indirektno poboljšati zdravlje tla, poboljšati prinos usjeva te na kraju krajeva, povećati profitabilnost.

### 3. OPIS RJEŠENJA

Ideja iza pametne sonde za tlo jest da sonda mjeri korisne parametre tla, konkretno vlagu i temperaturu te također, mjeri i parametre iz okoline kao što su vlaga, temperatura, jačina svjetlosti i tlak zraka. Izmjerene podatke, sonda šalje preko LoRa protokola na receiver (računalo) koje grafički prikazuje izmjerene podatke te ih analizira. Sama sonda ima solarni panel i Li-Ion bateriju te bi trebala raditi na principu samoodržavanja.

Kao što je već spomenuto, komunikacija između sonde i računala odvijala bi se pomoću LoRa (engl. Long Range) tehnologije. Ova bežična tehnologija služi za komunikaciju na udaljenostima većim i od 10 km uz relativno malu potrošnju energije, te je kao takva jedna od najraširenijih LPWAN (engl. Low Power Wide Area Network) tehnologija u svijetu. LoRa tehnologija prvenstveno je namijenjena sustavima koju zahtijevaju mogućnost slanja i primanja malih količina podataka na velikim udaljenostima no budući da je tehnologija i dalje poprilično nova, i dalje se otkrivaju granice i mogućnosti primjene.

Devet od deset svjetskih farmi, od sveukupno njih 570 milijuna je u posjedstvu obiteljskih farmara. Veličine takvih farmi uvelike variraju. Većina njih, 84% su zapravo farme manje od 2 hektra s mogućnošću širenja<sup>2</sup>. Upravo takve farme bila bi naša primarna publika, budući da su sonde zamišljene da budu modularne te da ih se može dodavati i umrežavati, simultano s širenjem farmi.

Naravno, osim već uhodanih farmara voljeli bismo naš proizvod približiti i hobistima i pojedincima koji imaju male vrtove ili male plantaže te žele analitički pristupiti uzgoju te možda na kraju krajeva, svoj hobi pretvoriti u primaran izvor zarade.

Istraživanjem tržišta utvrdili smo da postoji puno sustava, odnosno uređaja koji mjere i ispituju kakvoću tla i zraka, no mali broj uređaja ima funkcionalnosti kao naš. Konkurentni proizvodi su cijenom puno nepristupačniji. Korištenjem „Off the shelf“ komponenti, bez da gubimo na kvaliteti, naše sonde bi bile jeftinije od onih koje su trenutno na tržištu i samim time primamljivije budućim korisnicima.

U sklopu LUMEN Engineering natjecanja plan nam je izraditi jednu funkcionalnu sondu, čija je glavna funkcija prikupljanje podataka s terena te slanje tih istih podataka

na računalo, gdje će se podatci vizualizirati u realnom vremenu. Kasnije, dodavanjem više sonde te njihovim međusobnim povezivanjem, imali bismo mogućnost izrade tzv. „heat mapa“ koje bi omogućavale detaljnu vizualizaciju terena, posebno za svaki od kriterija, odnosno posebno za svaki parametar. U tom slučaju, sonde bi međusobno jedna drugoj služile kao svojevrsan HotSpot, kako bi se pokrile što veće udaljenosti.

Krajnji cilj je zapravo napraviti potpuno automatiziran sustav, gdje bi računalo na temelju podataka koje zaprimi od sonde, moglo proračunati koliko je recimo, vode potrebno tlu te se spojiti na sustav navodnjavanja i upravljati njime kako bi navodnjavanje bilo što optimalnije te kako bi se izbjeglo nepotrebno rasipanje resursima.

## **3.1. Opis korištenih komponenti**

Glavni dio pametne sonde je razvojni modul Wemos TTGO LORA32. Modul je baziran na ESP32 mikroupravljaču te je dizajniran specifično za IOT i LORAWAN aplikacije. Modul također dolazi sa lora 868Mhz antenom. Sam modul ima mnogo već ugrađenih korisnih funkcija: OLED display, regulatori napona, USB port, priključak za antenu, velik broj pinova koji podržavaju ADC i mnoge druge. Modul također ima mogućnost odlaska u deep sleep koji je jako koristan za čuvanje baterija te ima ugrađeni RTC modul. U nastavku će biti ugrubo opisani korišteni senzori.

### **3.1.1. Sonda vlage tla**

Sonda vlage (slika 2) kao izlaz daje analogni signal. Sama sonda dolazi sa pretvaračem LM393 koji sadrži komparator napona te može davati binarni signal o prisutnosti određene količine vlage.

Problematika s kojom se susrećemo kod ovog senzora jest njegov vijek trajanja, veličina područja na koje je osjetljiv te ga je potrebno kalibrirati za određeno tlo u koje se ugrađuje. Naravno većina ovih problema rješiva je ugradnjom kvalitetnijih senzora.

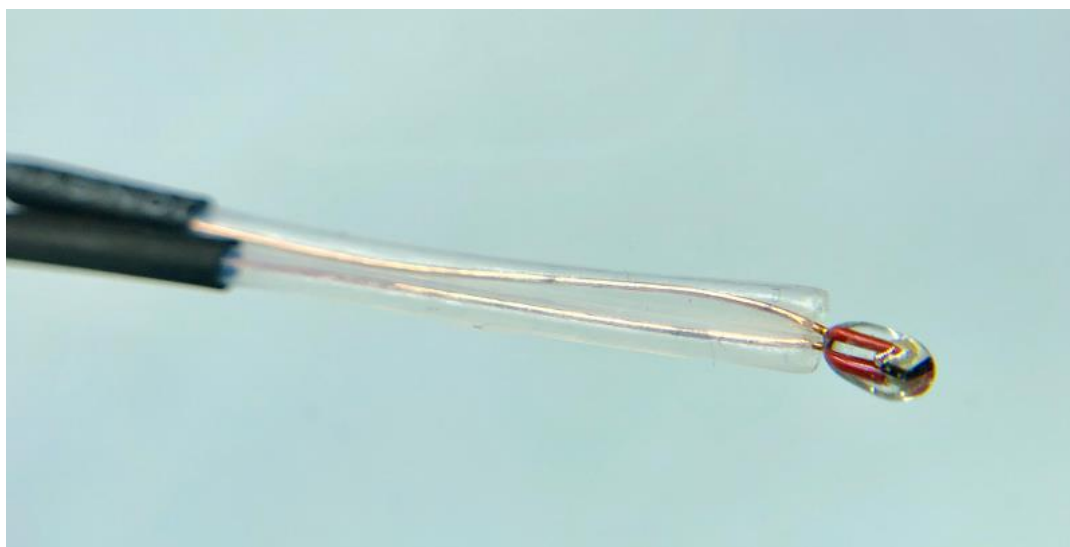


*Slika 2 Sonda vlage tla*

### 3.1.2. NTC3950 termistor

Za mjerenje temperature tla koristi se NTC3950 termistor (slika 3). NTC termistori imaju negativni koeficijent temperaturene promjene otpora, to jest kako se temperatura povećava tako se smanjuje električni otpor. Ovisnost je kompenzirana softverski, a senzor je sam po sebi pouzdan i brz.

-Temperaturni raspon mjerenja:  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$



*Slika 3 NTC3950 termistor*

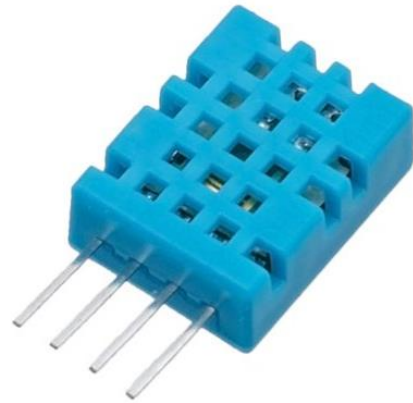
### 3.1.3. DHT11 senzor vlage i temperature



Ovaj senzor ima integrirani 8 bitni mikroupravljač te šalje temperature i vlagu preko serijske komunikacije sa svog DATA pina. Senzor se na ispitivanjima pokazao dosta izdržljiv. Neoštećen je nakon direktnog izlaganja kiši te čak i nakon polijevanja vodom. Očitavanja senzora kasne do 3 sekunde no to ne predstavlja problem s obzirom da se vanjska temperatura ne mijenja brzo.

Što se vlage tiče ona varira od 10% -100% , gdje očitavanja između 90% i 100% sugeriraju da vani pada kiša.

- Temperaturni raspon mjerenja: 0 °C do +50 °C
- Vлага 20 – 90% relativne vlažnosti



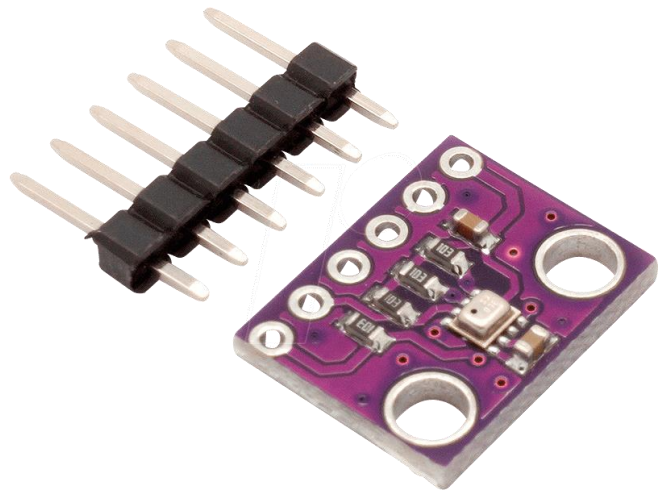
Slika 4 DHT11 senzor vlage i temperature

### 3.1.4. BME280 senzor tlaka i temperature

Senzor BME280 (slika 5) mjeri vrijednosti vlage, temperature te tlaka. S njime se komunicira putem I2C komunikacijskog protokola.

- Temperaturni raspon mjerenja:
  - 40 °C do +85 °C
- Vлага 0 – 100 % relativne vlažnosti

Pošto imamo vrijednosti temperature i vlage od DHT11 senzora i od BME280 koristiti će se srednja vrijednost tih vrijednosti. Također postoji mogućnost rada bez jednog modula u slučaju greške tako smo korištenjem 2 modula povećali redundantnost.



Slika 5 BME280 senzor tlaka i temperature

### 3.1.5. GL5506 fotootpornik

Ovaj će fotootpornik u konfiguraciji naponskog dijelila davati na izlazu analogni signal ovisan o jačini svjetla kojim je obasjan.

Podatak o količini svjetla koji daje na izlazu ovaj senzor, korisniku će biti prikazan u obliku postotka.

Primarni razlog prikupljanja podataka o svjetlosti je statističke prirode. Za mnoge je sorte krucijalna količina sunčanih sati i dana, dok je za neke povoljnije zasjenjeno zemljište. Prikupljeni podatci mogu biti od velike koristi za daljnje planiranje sadnje.



*Slika 6 GL5506 fotootpornik*

### **3.1.6. Napajanje**

Korišteni solarni panel na direktnom suncu daje 6V izlaznog napona te je snage 1W.

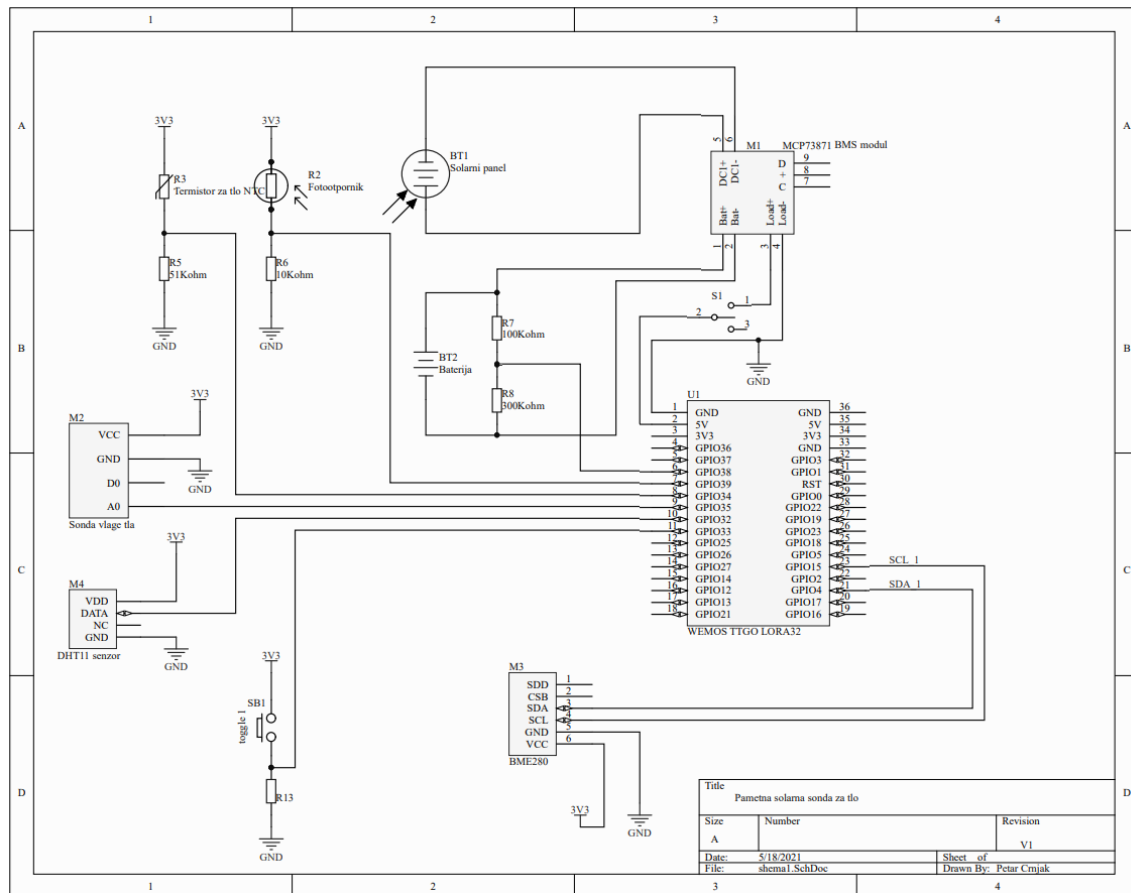
Korištene Li-ion baterije su klasične 18650 baterije.

MCP73871 je modul za balansirano punjenje i korištenje li-ion baterija. Modul je namijenjen za solarne aplikacije tako da je savršen za našu primjenu.

Uređaj također ima 3 tipkala koja nisu korištena.



## 3.2. Električna shema uređaja

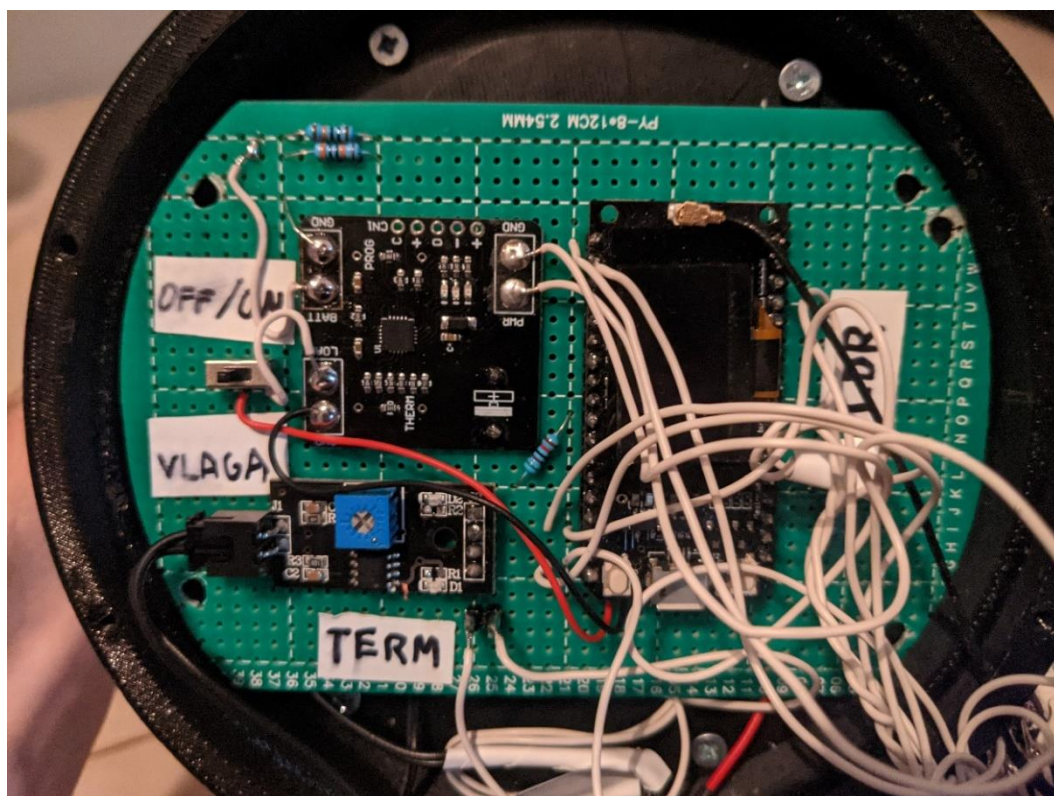


Slika 7 Električna shema uređaja

Termistor koji ulazi u tlo i fotootpornik spojeni su sa drugim otpornicima te se ponašaju kao naponska dijelila. Spojeni su na analogne ulaze mikroupravljača. Sonda vlage tla se spaja na analogni pin mikroupravljača. DHT11 se može spojiti na bilo koji pin. BME280 se spaja na I2C sabirnicu.

Baterija je spojena na otporničko dijelilo te tako nadzire svoj napon.

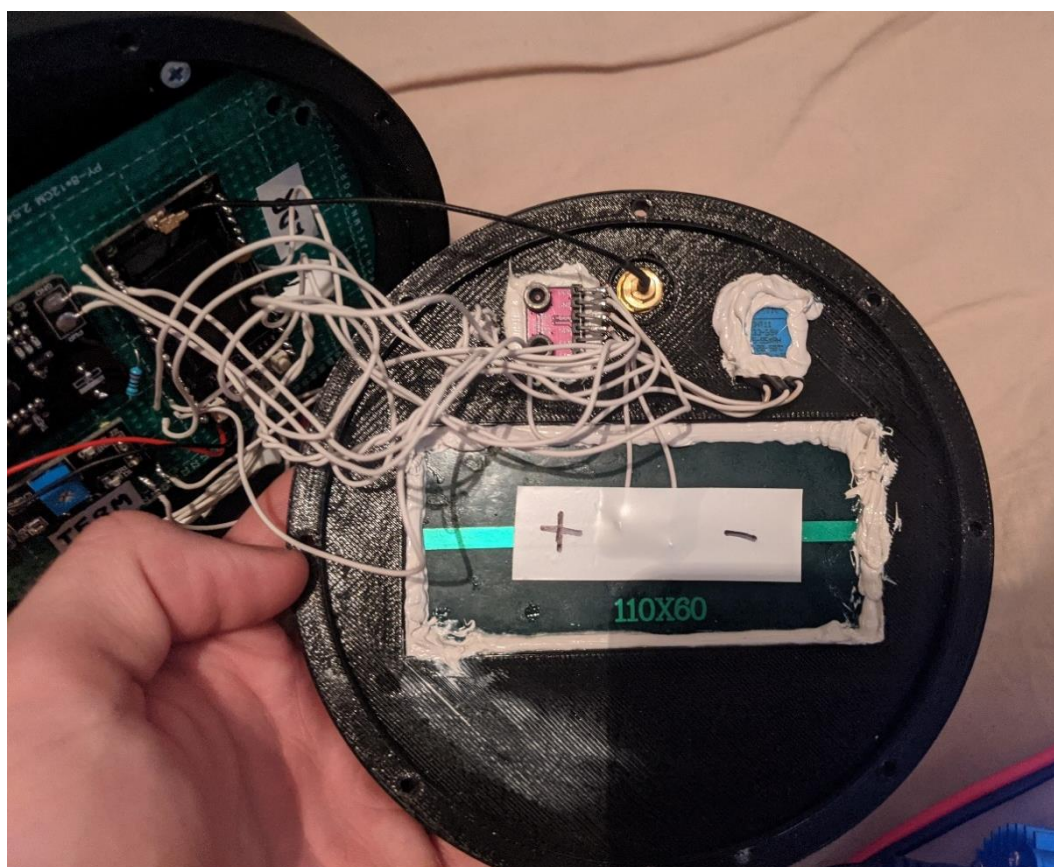
Slika



8

Glavna pločica

Slika



9

Poklopac



Slika 8 prikazuje glavnu pločicu. Na nju je spojen glavni mikroupravljač, nekoliko senzora, punjač za baterije te otpornici za senzore. Na pločici su također spojeni prekidač za paljenje i gašenje te baterija.

Na slici 9 prikazan je poklopac sonde na koji se također spaja veliki broj dijelova. Na poklopac su spojeni solarni panel, senzor vanjske vlage i temperature, tlaka i svjetlosti.

Svi dijelovi na poklopcu su zabrtvljeni tako da je poklopac vodonepropustan.



*Slika10 Sonda u tlu*

Senzor temperature tla smješten je u aluminijskoj cijevi koja se zabija u tlo. Na cijev se također stavljaju senzori vlage pomoću 3D printanih nosača.



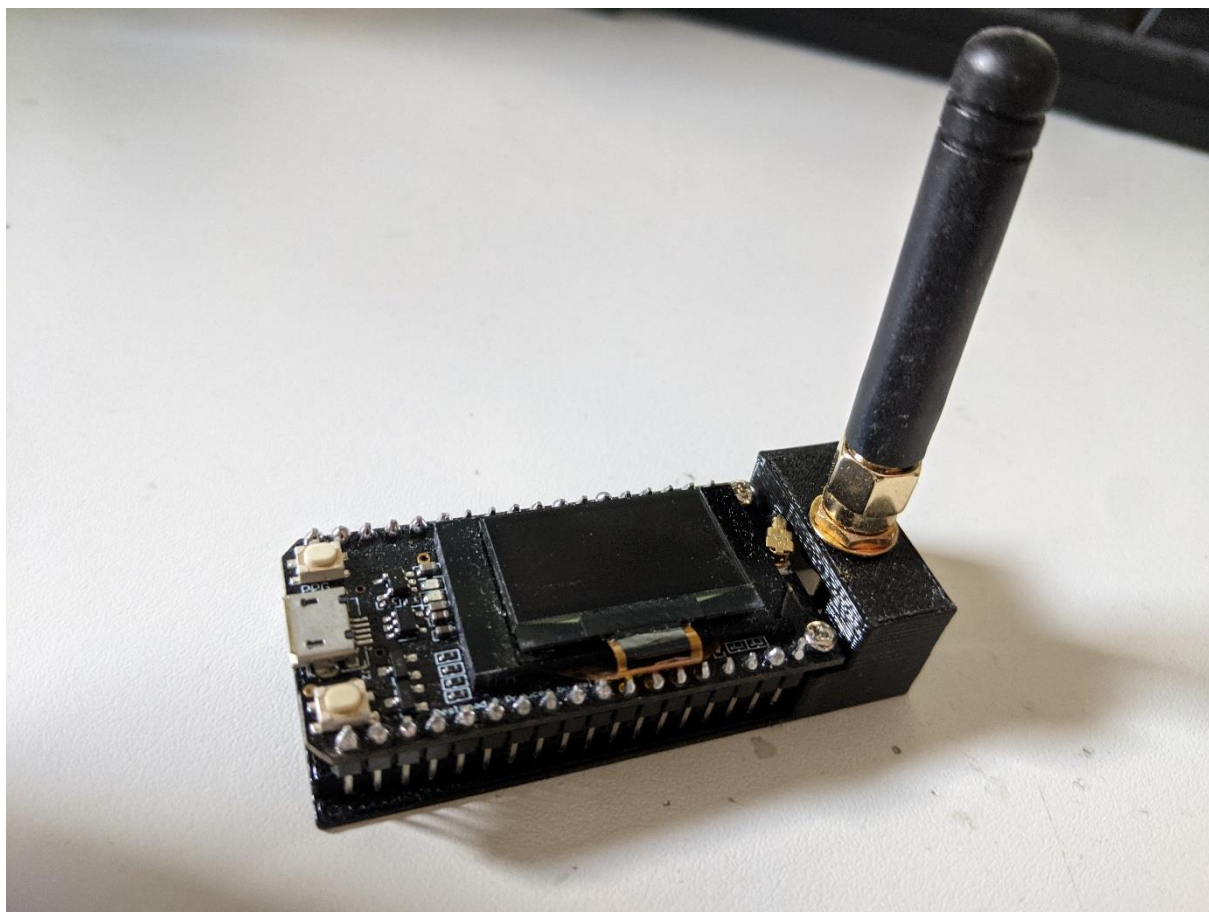
### 3.3. Mehanički dizajn

Šiljak sonde iskorišten je od „solarne lampe“ koje se koriste kao vrtni ukrasi. Elektronika je smještena u 3D printano kućište, na samome vrhu solarne lampe. Kućište je izrađeno od PETG materijala koji je bolji od često korištenih materijala poput PLA, budući da bolje podnosi promjene vremena, utjecaje sunca te je temperaturno neosjetljiviji. Slika 11. prikazuje okvirni prikaz toga kako bi sonda izgledala.



*Slika 11 konceptualni dizajn sonde*

Receiver (slika 12) je isti mikroupravljač korišten za sondu koji je samo stavljen u 3D printano kućište.



*Slika 12 Receiver*

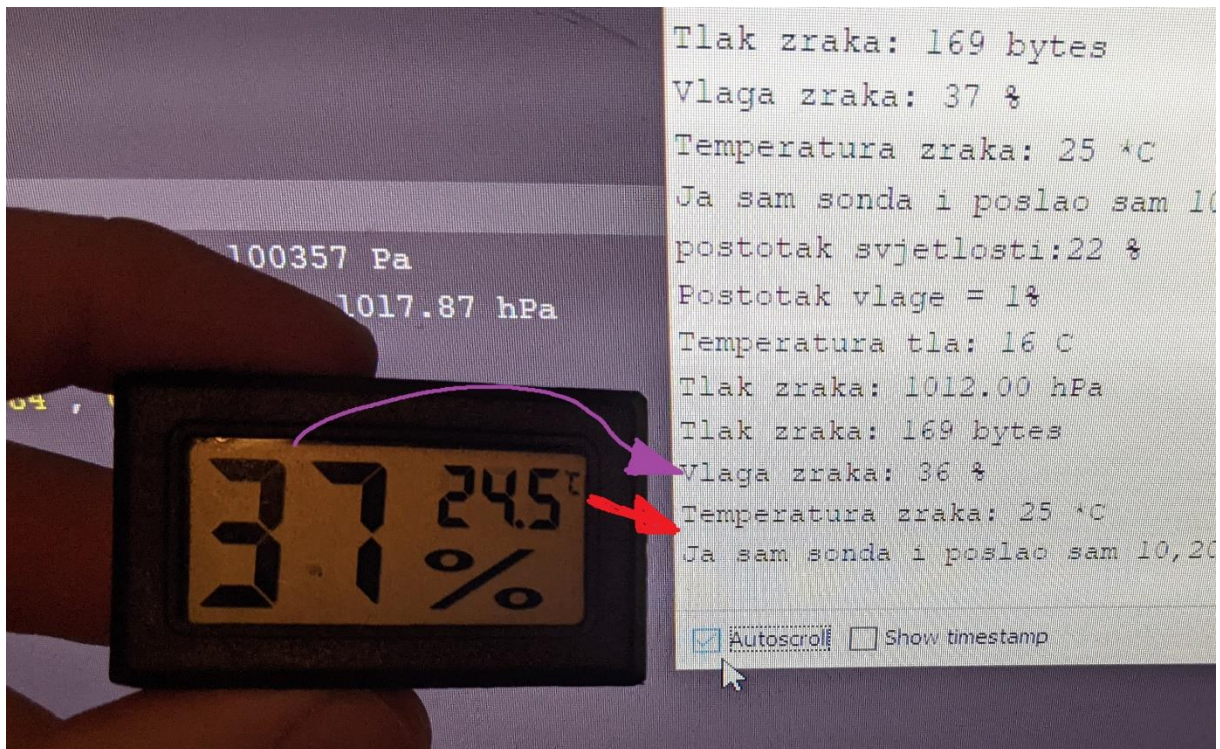


## 3.4. Testiranje

### 3.4.1. Testiranje senzora

Senzori su testirani na sljedeći način:

Vlaga zraka i temperatura zraka testirani su i uspoređeni sa drugim kućnim uređajima koji mjere te vrijednosti.



Slika 13 Usporedba vrijednosti

Sa slike vidimo da su vrijednosti koje daje sonda (bijeli terminal) i vrijednosti sa kućnog displaya iste.

Temperatura tla testirana je na NTC termistoru koji je prije toga kalibriran na već poznate temperaure (100 deg za kipuću vodu, 4 deg u frižideru, temperatura ljudskog tijela).

Tlak zraka očitava se državnog hidrometrološkog zavoda.

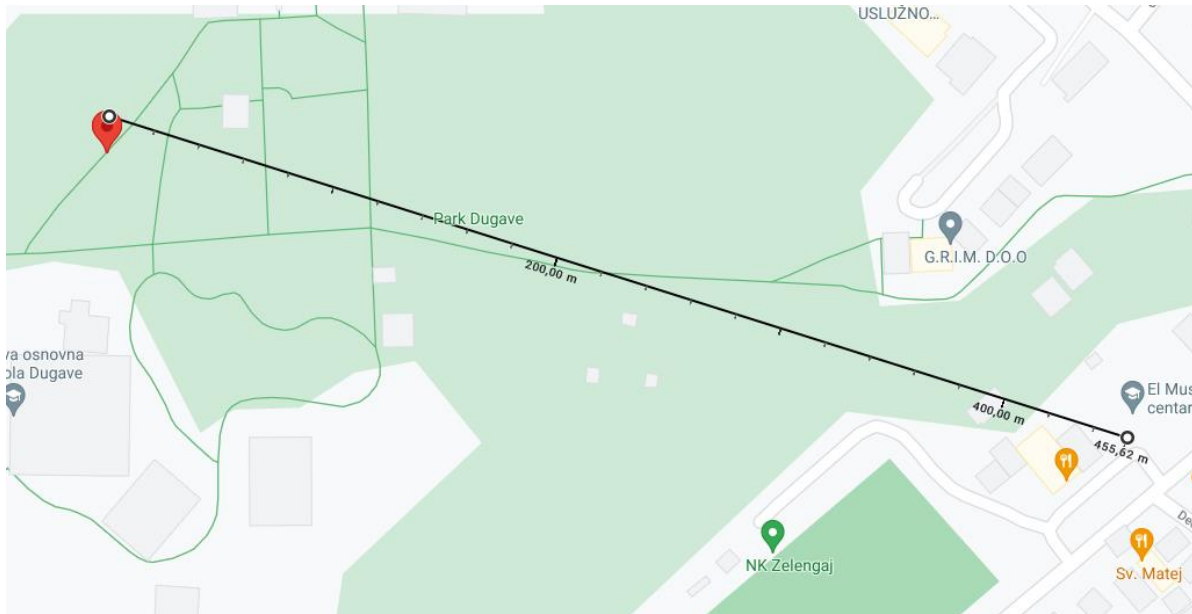
Vlaga tla testirana je postepenim dodavanjem vode u zemlju i mjerenjem.

Jačina svjetlosti testirana je stavljanjem senzora na svjetlije i tamnije prostorije.



### 3.4.2. Testiranje dometa

Domet je testiran tako da je jedan član tima pratio dolazni stream podatak od sonde dok se drugi član udaljavao. Kada je stream podataka postao nestabilan ili ga uopće nije bilo, to je detektirano kao maksimalni domet sonde. Ovaj domet je domet za ne u potpunosti ravnu površinu (polje) već za prostor sa preprekama (ograde, drveće).



Slika 14 Testirani maksimalni domet

Sa slike se vidi da je domet za takav teren 500m. Korišteni parametri za Loru su:

- Dozvoljena EU frekvencija: 868 MHz
- Output power: 17dBm

### 3.4.3. Testiranje baterije i solarnog punjača

Korištena baterija je kapaciteta 2900Mah. Sa trenutnim kodom i intervalom slanja od 4h sonda može raditi 14h. Taj broj bi se mogao značajno povećati da sonda odlazi u sleep nakon slanja te se budi za x sati. Taj dio koda nažalost nismo stigli implementirati.

Solari panel i punjač testirani su na relativno oblačnom vremenu kada je baterija bila na 3.6V ( To znači da se mora puniti u constant current modu). Punjač je takvu bateriju napunio na 3.7V za 6 sati što je oko 5% kapaciteta baterije.

Da bi sonda radila bolje i bila u potpunosti autonomna bilo bi poželjno dodati još jednu bateriju u paralelu te stavljati sondu u sleep mode.

## 4. OPIS RADA RJEŠENJA

Prije prvog paljenja uređaja moramo se pobrinuti da su baterije napunjene.

Sonda kada se upali počinje slati podatke svakih 2 sekunde. Podaci se šalju sljedećim redoslijedom:

1. Adresa primatelja
2. temperatura vanjska
3. temperatura tla
4. vlaga vanjska
5. vlaga tla
6. tlak vanjski
7. jačina svijetla
8. napunjenost baterije

Svi su podaci veličine byte. To je napravljeno iz više razloga:

1. Većina vrijednosti se prikazuje kao postotak 0-100 i rezolucija nije toliko bitna.
2. Temperature su uvijek u razumnim veličinama tipa 10 deg 32 deg..
3. Vrijednosti koje se jako malo mijenjaju npr: Atmosferski tlak

Receiver kada primi podatke prvo provjeri dali je adresa sonde dobra. Ako je šalje podatke na serial port. Ti se podaci onda čitaju, spremaju i plotaju.

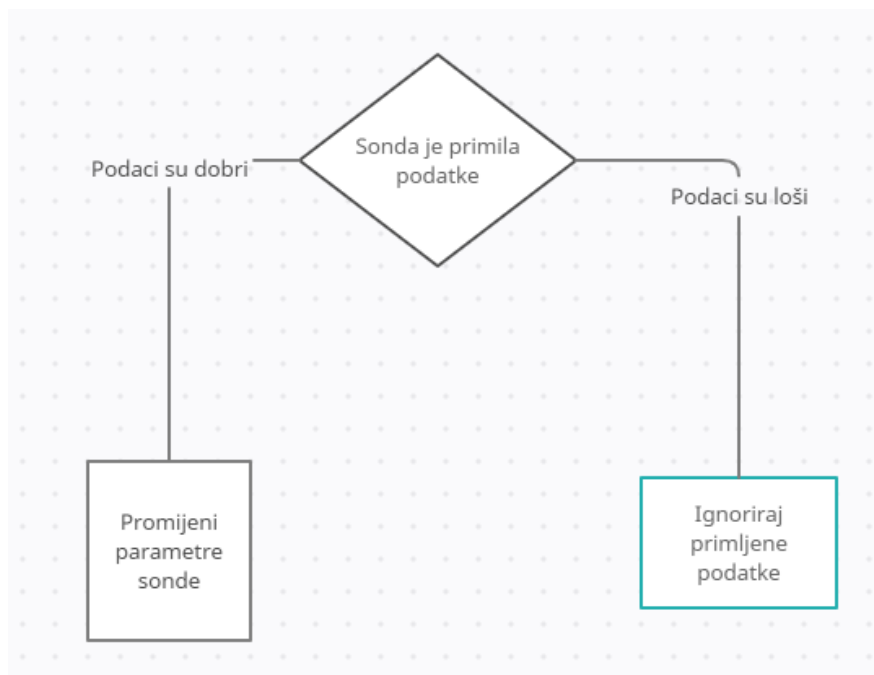
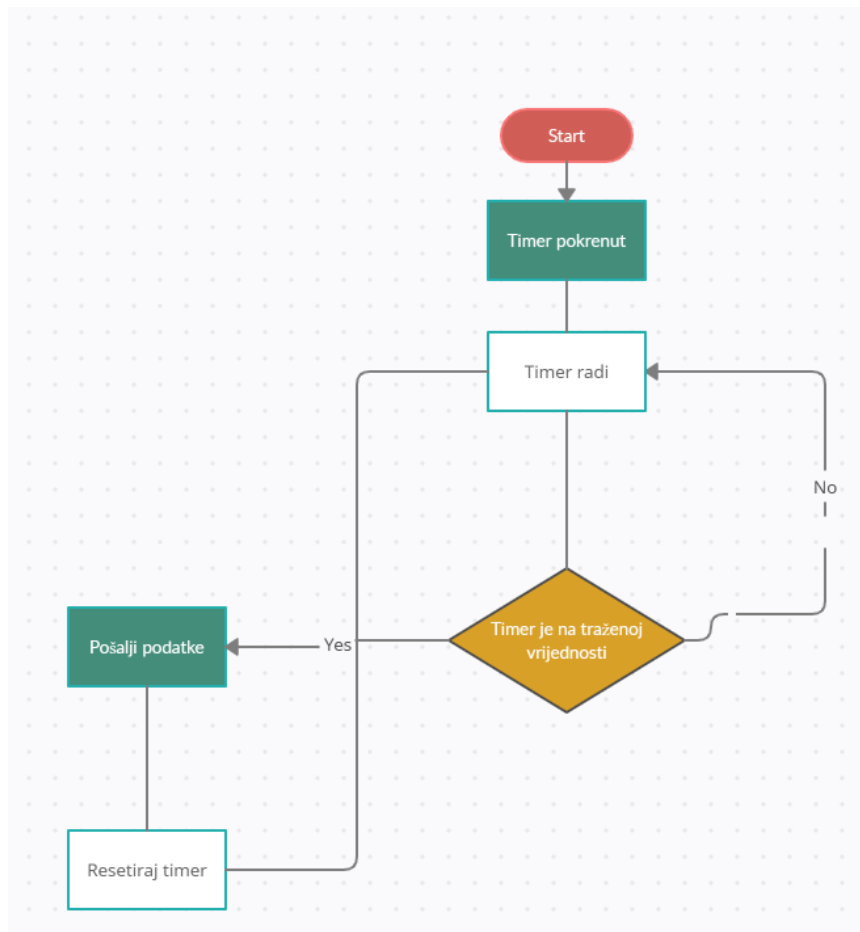
Također možemo pisati na serial port receivera da promijenimo parametre sonde. Možemo poslati sljedeće podatke sondi:

1. Mode rada – nije implementirano
2. Force send – kada sonda primi ovo odmah pošalje podatke.
3. Send interval – Mijenja interval slanja podataka u minutama. Znači za interval od 2 bi bile 2 min.

Adresa se mora slati u decimalnom obliku. Ako je adresa sonde 0xAA onda se šalje 170.

Primjer dobrog podatka: 170,1,1,3.

Gdje podatci predstavljaju: 170 je adresa sonde, 1 je mode rada, 1 govori da pošalje podatke odmah, 3 govori da se podatak šalje svake 3 minute.



## 4.1. Spremanje i prikaz grafova

Spremanje grafova postignuto je na dva načina. Prvi način je ispisivanje grafova u realnom vremenu, a drugi je ispisivanje grafova u Excel tablici koja prikazuje srednje vrijednosti u određenom mjesecu i godini.

Grafovi u realnom vremenu ispisuju se Python sučeljem na način da se podaci spremaju u „.csv“ datoteku te se kao takvi iščitavaju u novu Python skriptu koja služi za prikaz grafova spremljenih vrijednosti.

Paralelno se kreiraju „.txt“ datoteke razdvojene po mjesecima i godinama te datoteke sa srednjim vrijednostima za čitavu godinu. Iz tih datoteka podaci se učitavaju u Excel tablicu te se tamo prikazuju grafovi.

Python skripta „Spremanje vrijednosti“ služi za očitavanje vrijednosti senzora te spremanje očitanih podataka senzora u Excel tablicu. Biblioteke skripte koje se koriste su sljedeće:

Pyserial – biblioteka koja omogućava prijenos podataka senzora preko serial porta funkcijom „serial.Serial()“.

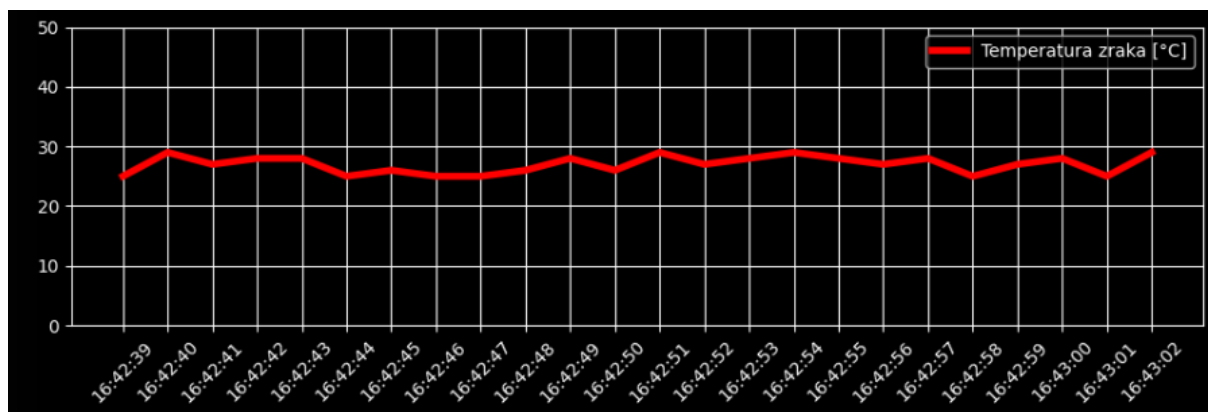
DateTime – biblioteka koja omogućava prijenos podataka u realnom vremenu te služi za ispis datuma i vremena.

CSV – biblioteka koja služi za spremanje podataka u Excel tablicu iz koje uzimamo podatke za drugu Python skriptu koja je zadužena za crtanje grafova.

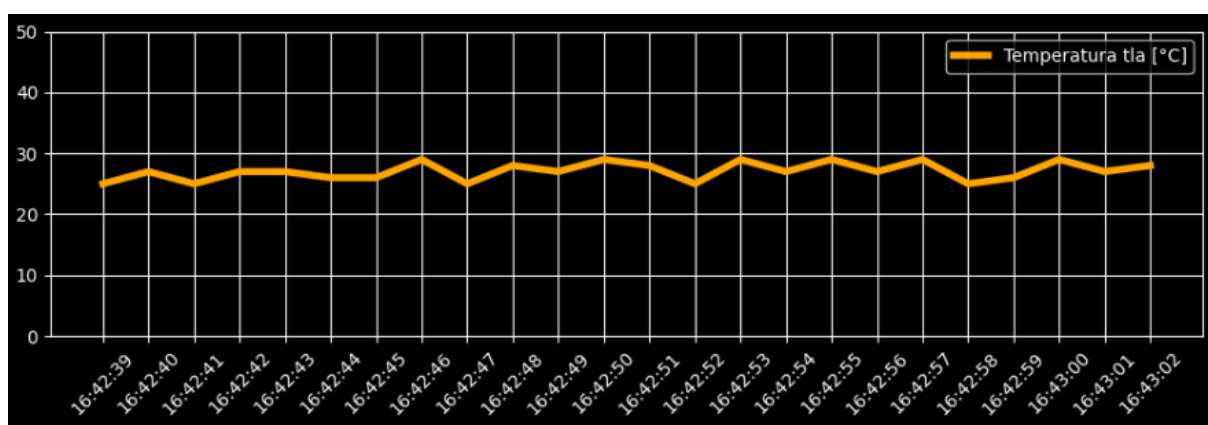
Python skripta „Crtanje grafova“ crta i prikazuje vrijednosti u realnom vremenu uzimajući podatke iz Excel tablice. Biblioteke koja ta skripta koristi te njihova funkcija su sljedeće:

Pandas – se koristi za učitavanje vrijednosti Excel tablice u listu čiji se podaci koriste za crtanje grafova.

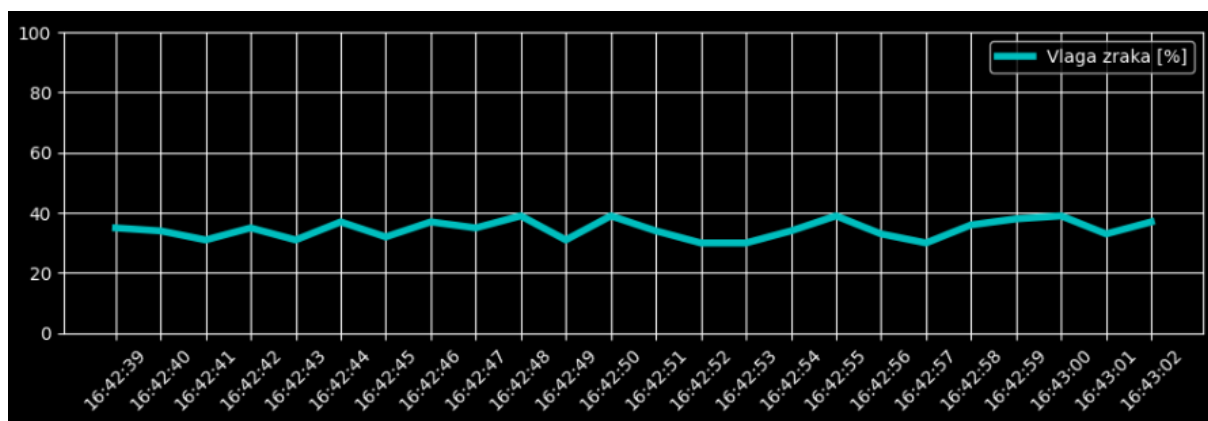
Matplotlib – biblioteka za crtanje grafova, njihov prikaz, stil te njihovo uređivanje. Također se koristi ekstenzija biblioteke. „matplotlib.animation“ koja omogućava animaciju crtanja grafa.



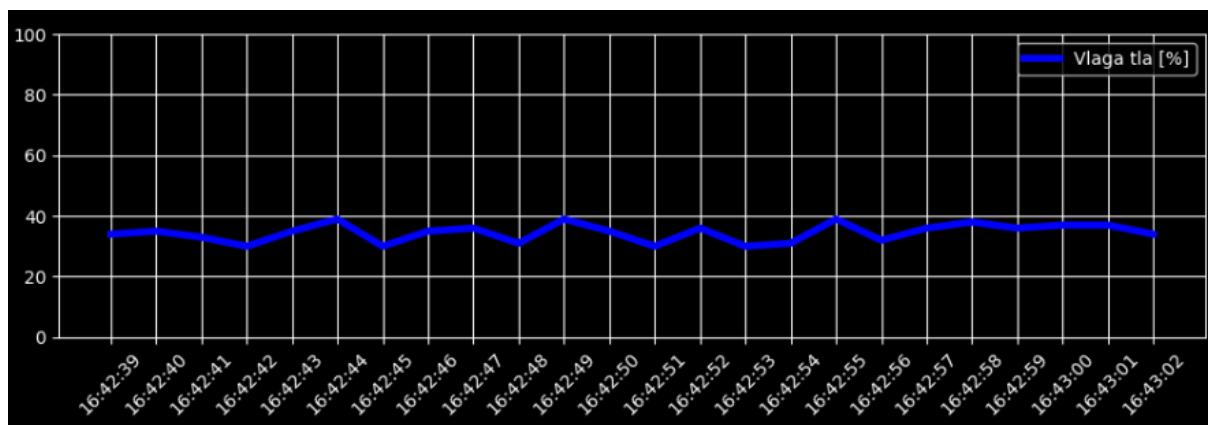
Slika 15 Graf temperature zraka [°C]



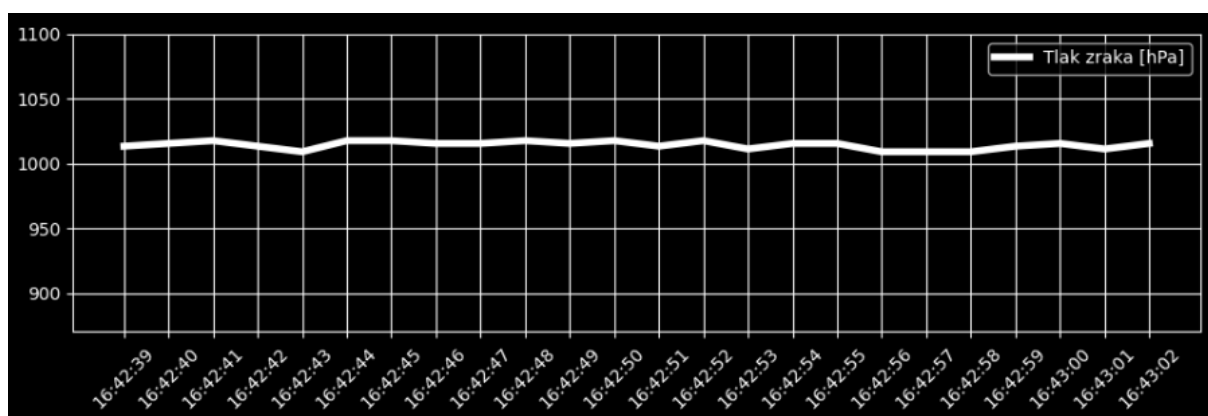
Slika 16 Graf temperature tla [°C]



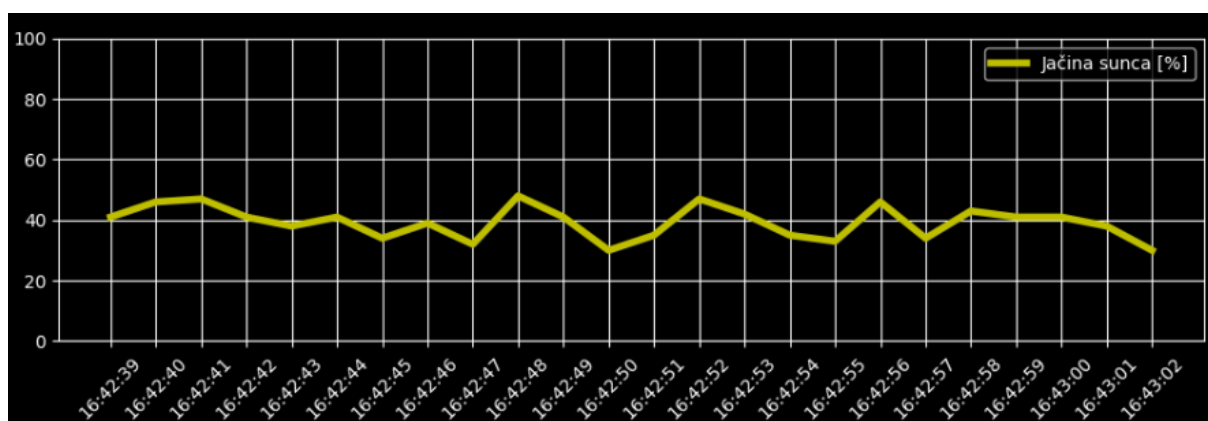
Slika 17 Graf vlage zraka [%]



Slika 18 Graf vlage tla [%]



Slika 19 Graf tlaka zraka [hPa]



Slika 20 Graf jačine svjetlosti



## 5. TROŠKOVNIK

Software korišten za izradu sheme uređaja je Altium Circuitmaker. (Free software)

Software korišten za izradu CAD modela uređaja je Solidworks. (Studentska licenca)

3D printanje radimo sami. (Član tima posjeduje 3D printer)

Fizičke komponente koje će biti potrebno nabaviti, nalaze se u Tablici 1.

REDNI BROJ	NAZIV KOMPONENTE	KOLIČINA	CIJENA PO KOMADU	UKUPNA CIJENA	IZVOR
1	WEMOS TTGO LORA32	2	175kn	350	<a href="https://www.diykits.eu/">Diykits.eu</a>
2	DHT11-Temperature and Humidity Sensor	1	25kn	25	<a href="https://www.e-radionica.com/">E-radionica</a>
3	Solarni panel 1W 6V	1	39kn	39	<a href="https://www.e-radionica.com/">E-radionica</a>
4	Fotootpornik GL506	4	2.5kn	10	<a href="https://www.e-radionica.com/">E-radionica</a>
5	PROTOBOARD	2	15kn	30	<a href="https://www.e-radionica.com/">E-radionica</a>
6	Li ion baterija	1	49kn	49	<a href="https://www.e-radionica.com/">E-radionica</a>
7	Držac za bateriju	1	5kn	5	<a href="https://www.e-radionica.com/">E-radionica</a>
8	MCP73871	2		60	<a href="https://www.aliexpress.com/">Aliexpress</a>
9	Paket 5mm led dioda	1	9kn	9	<a href="https://www.e-radionica.com/">E-radionica</a>
10	Membranska tipkovnica	2	9	18	<a href="https://www.e-radionica.com/">E-radionica</a>
11	Razni otpornici	vlastite komponente	vlastite komponente	vlastite komponente	vlastite komponente
12	BME280	vlastite komponente	vlastite komponente	vlastite komponente	<a href="https://www.ebay.com/">Ebay</a>
13	PETG filament	1	160kn	160	<a href="https://www.e-radionica.com/">Eradionica</a>
14	Sonda za tlo	1	30kn	30	<a href="https://www.e-radionica.com/">Eradionica</a>
15	NTC 3950 Thermistors	1	vlastite komponente	vlastite komponente	-
16	Žice za prototipiranje	1	15kn	15	<a href="https://www.e-radionica.com/">E-radionica</a>
17	Ljepilo i brtvilo	1	70kn	70	<a href="https://www.bauhaus.com/">Bauhaus</a>
18	Mala sklopka	1	vlastite komponente	vlastite komponente	-
19	Solarna lampa	1	10kn	10kn	<a href="https://www.bauhaus.com/">Bauhaus</a>
			<b>UKUPNO</b>	<b>870</b>	

Tablica 1. Prikaz korištenih komponenti s njihovim cijenama i web lokacijama istih

## 6. ZAKLJUČAK

Pametne sonde za tlo odgovor su na problem prekomjernog ili krivo raspoređenog trošenja resursa. Sonda indirektno pomaže poboljšati zdravlje i kvalitetu tla, ima potencijal pomagati u predviđanju i planiranju budućih sezona.

Sonda bi svoj vrhunac doživjela kao dio potpuno automatizirane farme gdje bi se pomoću podataka prikupljenih sa sonde moglo upravljati navodnjavanjem u realnom vremenu, pomoću podataka o količini sunčanih sati na pojedinim područjima raditi proračune gdje bi najbolje bilo saditi.

## 7. LITERATURA

<sup>1</sup> <https://blog.teralytic.com/soil-moisture-sensors/>

<sup>2</sup> <http://www.fao.org/news/story/en/item/260535/icode/>

<https://github.com/sandeepmistry/arduino-LoRa/blob/master/src/LoRa.cpp>

[https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)

<https://lora.readthedocs.io/en/latest/#rssi>