

Ugradbeni sustav za mjerenje vremena i tjelesnih veličina - Maketa pametnog sata

Premužić, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:399290>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Stručni studij

**AUTOMATIZIRANO UPRAVLJANJE DOZIRANJEM
TEKUĆEG HRANJIVA U HIDROPONSKOM UZGOJU
BILJA**

Završni rad

Karlo Premužić

Mentor: izv. prof. dr. sc. Tomislav Keser

Osijek, 2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za ocjenu završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju**

Ime i prezime pristupnika:	Karlo Premužić
Studij, smjer:	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. pristupnika, god.	A 4625,
JMBAG:	0165084765
Mentor:	prof. dr. sc. Tomislav Keser
Sumentor:	prof. dr. sc. Damir Blažević
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	izv. prof. dr. sc. Alfonzo Baumgartner
Član Povjerenstva 1:	prof. dr. sc. Tomislav Keser
Član Povjerenstva 2:	doc. dr. sc. Tomislav Galba
Naslov završnog rada:	Automatizirano upravljanje doziranjem tekućeg hranjiva u hidroponskom uzgoju bilja
Znanstvena grana završnog rada:	Procesno računarstvo (zn. polje računarstvo)
Zadatak završnog rada:	Projektirati i izraditi sustav upravljanja doziranjem tekućeg hranjiva/gnojiva u hidroponskom uzgoju bilja. Sustav temeljiti na mikroupravljačkom sustavu ESP32 te omogućiti kontrolu protoka hranjivog medija (vode i optopljenog hranjiva) i upravljanje doziranjem tekućeg gnojiva/hranjiva ovisno potrebama bilja prema njihovoj vrsti i stadiju razvoja. Omogućiti upravljanje sustavom umjetnog osvjetljenja za potrebe fotosinteze uzgojnog bilja prema dobu dana. Nadalje, potrebno je mjeriti klimatske parametre okoline hidroponskog sustava i to: mjeriti temperaturu, vlagu i tlak
Datum ocjene pismenog dijela završnog rada od strane mentora:	23.09.2024.
Ocjena pismenog dijela završnog rada od strane mentora:	Dovoljan (2)
Datum obrane završnog rada:	3.3.2025.
Ocjena usmenog dijela završnog rada (obrane):	Vrlo dobar (4)
Ukupna ocjena završnog rada:	Dobar (3)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio stručni prijediplomski studij:	03.03.2025.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 03.03.2025.

Ime i prezime Pristupnika:	Karlo Premužić
Studij:	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	A 4625,
Turnitin podudaranje [%]:	12

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Automatizirano upravljanje doziranjem tekućeg hranjiva u hidroponskom uzgoju bilja**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Tomislav Keser

i sumentora prof. dr. sc. Damir Blažević

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak i struktura završnog rada.....	2
2. SUSTAV ZA AUTOMATIZIRANO UPRAVLJANJE DOZIRANJEM TEKUĆEG HRANJIVA U HIDROPONSKOM UZGOJU.....	3
2.1. Teorijski osvrt na sustav za automatizirano upravljanje doziranjem tekućeg hranjiva u hidroponskom uzgoju.....	3
2.2. Prijedlog sklopovskog rješenja.....	4
2.3. Prijedlog programskog rješenja.....	5
3. REALIZACIJA SUSTAVA AUTOMATIZIRANOG UPRAVLJANJA DOZIRANJEM TEKUĆEG GNOJIVA U HIDROPONSKOM UZGOJU	7
3.1. Korišteni alati i programska okruženja	7
3.2. Realizacija konstrukcijskog i sklopovskog rješenja	13
3.2.1. Koraci pri izradi automatiziranog upravljanja za doziranje tekućeg gnojiva	14
3.3. Realizacija programskog rješenja.....	25
4. TESTIRANJE I REZULTATI	28
4.1. Metodologija testiranja	28
4.2. Rezultati testiranja	29
4.2.1. Provjera stabilnosti i vodonepropusnosti	29
4.2.2. Provjera funkcionalnosti mobilnog sučelja preko platforme Blynk.....	33
4.2.3. Provjera preciznosti rada peristaltične pumpe	34
4.2.4. Provjera preciznosti rada senzora TSL2591, BME280, pH senzora i YF-S401 senzora	43
5. ZAKLJUČAK	51
LITERATURA.....	52
PRILOG.....	56

1. UVOD

Pojavom i razvojem moderne tehnologije 20. stoljeća mnoge su se stvari razvijale pa tako i poljoprivreda. Na razvoj poljoprivrede nije utjecala samo tehnologija već i znanost u cjelini, posebice kemija s kojom su se saznali potrebni nutrijenti za rast biljaka. A od tih nutrijenata napravljena su posebna gnojiva u tekućem obliku. [1]Upravo te inovacije su pogodovale napredovanje uzgajanju biljaka u vodi, to jest bez tla, obogaćeno raznim hranjivim elementima. Takav način uzgoja se zove hidroponski uzgoj biljaka i on omogućava brži, bolji i kontroliraniji rast biljaka. [2] Prvi put u povijesti su ga koristili u babilonskim visećim vrtovima oko 600. godine prije Krista, gdje su se biljke uzgajale na vodi. Kasnije su ovu metodu Azteci (vutropedia) koji su gradili plutajuće splavove pokrivena tlom na kojem su rasle biljke, a hranile su se iz jezera. U nešto novijem dobu, John Woodward doprinosi svojim radom *An Essay toward a Natural History of the Earth and Terrestrial Bodies* znanstveniji pristup hidroponskom uzgoju kod uzgajanja mente koristeći razne oblike vode [5]. Tek u 20. stoljeću [3] William Frederick Gericke „otac hidroponije“ otkriva funkcionalan način uzgajanja rajčice koristeći samo vodu i nutrijente. Rezultati njegovih eksperimenata su potaknuli daljnja istraživanja znanstvenika na Sveučilištu u Kaliforniji, koji su otkrili velike prednosti uzgajanja biljaka bez tla. A to su: uzgajanje velikog broja plodova, veće i zdravije biljke, kraće vrijeme sazrijevanja, biljke mogu biti bliže jedna drugoj i tako dalje. Cijeli takav sustav je bio ogroman i teško su se mogli napraviti laboratorijski uvjeti jer se zahtijeva puno vremena na mjerenje i upravljanje uređajima u proizvodnji. Danas je moguće napraviti puno lakše i kontroliranije uvjete za rast uz pomoć tehnologije. Od trenutka kad je stvoren pojam hidroponija pa do danas je prošlo nešto manje od sto godina. Tijekom tog razdoblja napravljena su razna tehnološka otkrića, a među njima su razni uređaji za mjerenje i doziranje. A tim uređajima se može upravljati mikrokontrolerima kao što je ESP32. Moguće je upravljati i raznim drugim pločicama poput razvojnih pločica Arduino, *Raspberry Pi*, PIC, AVR i drugih. ESP32 je izabran zato što je pogodniji za ovaj projekt koji je manje veličine i ima bežične mogućnosti Wi-Fi i Bluetooth, a ima dvojezgreni procesor. Uz bežične mogućnosti ima veći broj ulaza/izlaza u odnosu na Arduino, što ga čini pogodnijim za spajanjem većeg broja uređaja. Zato je izabran ESP32 jer zadovoljava svim potrebnim karakteristikama da se napravi učinkovit, održiv i visoko produktivan uzgoj bilja. U tom

kontekstu, automatizirano upravljanje doziranjem tekućeg hranjiva u hidroponskom uzgoju biljaka predstavlja inovativan pristup koji može pružiti brojne prednosti.

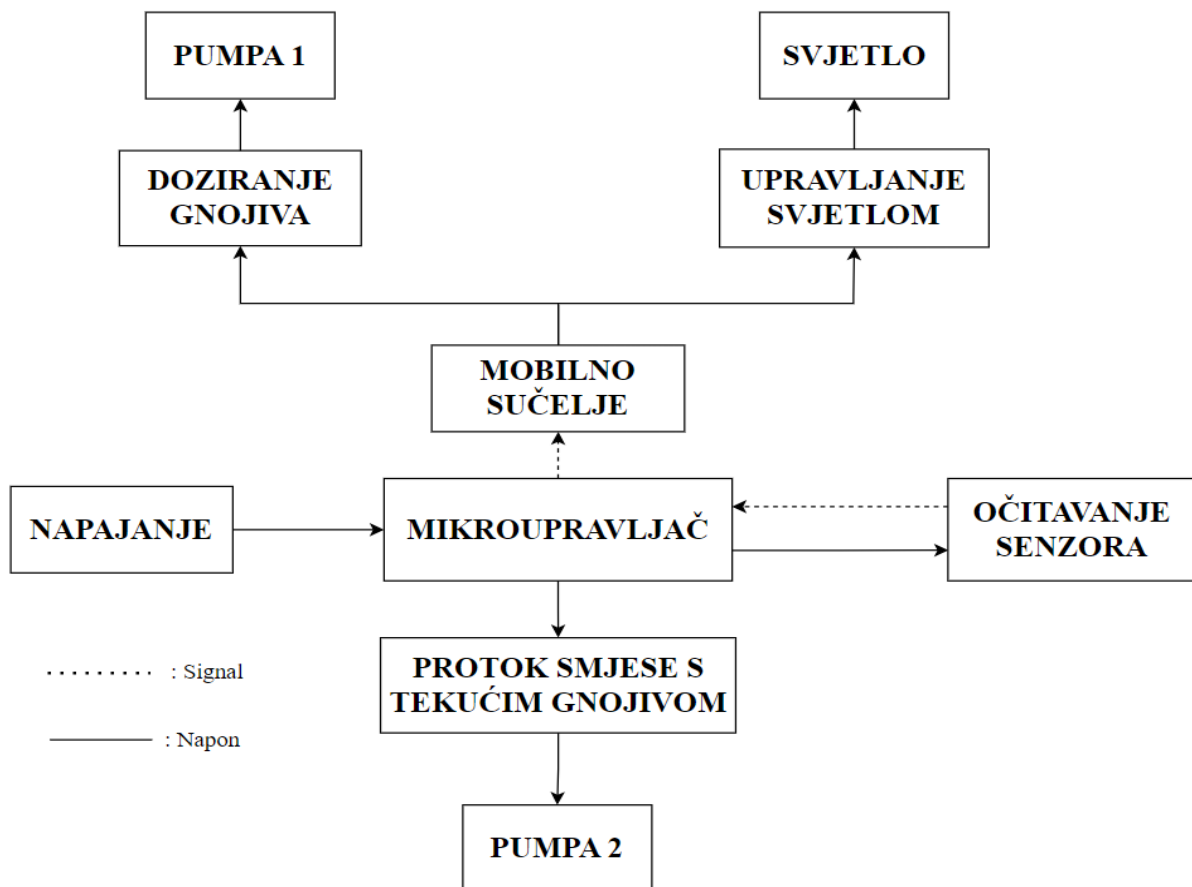
1.1. Zadatak i struktura završnog rada

Zadatak ovoga rada će biti usmjeren prema rješavanju problema automatiziranog doziranja hranjiva u hidroponskim sustavima. Cilj je dobiti precizno i pravovremeno doziranje tekućeg gnojiva u hidroponskim sustavima. Odabrano je automatizirano doziranje jer će se uspješno riješiti problem ručnog doziranja i ugradnja istog u hidroponski sustav (prednosti detaljno objašnjene u poglavlju 2.1.). Rad se sastoji od deset poglavlja. Prvo poglavlje je uvodno i nastoji se upoznati sa samom temom rada. U drugom poglavlju se nalaze prijedlozi rješenja. U trećem poglavlju će se prikazati postupci testiranja, realizacija sklopovskog i programskog rješenja te korišteni alati i programsko okruženje. U četvrtom poglavlju su objašnjeni postupci testiranja i rezultati. Peto poglavlje sadrži osvrt na rad u kojem se nalaze najvažnije činjenice i prijedlozi za moguća poboljšanja. Na samom kraju rada se nalazi popis korištene literature za izradu i popis slika.

2. SUSTAV ZA AUTOMATIZIRANO UPRAVLJANJE DOZIRANJEM TEKUĆEG HRANJIVA U HIDROPONSKOM UZGOJU

2.1. Teorijski osvrt na sustav za automatizirano upravljanje doziranjem tekućeg hranjiva u hidroponskom uzgoju

Sustav za automatizirano upravljanje doziranja tekućeg hranjiva se temelji na fizikalnim mjerenjima raznih senzora koji bi vlastite mjerne podatke slali na mobilno sučelje i preko njega bi se omogućilo upravljanje radom jednog dijela komponenti kako bi se mogla omogućiti najveća moguća preciznost, dok bi mikroupravljač upravljao s ostalim komponentama gdje je precizno upravljanje od manje važnosti. Kako bi se na hidroponski sustav mogao ugraditi sustav automatiziranog upravljanja doziranja tekućeg gnojiva, bit će potrebno kalibrirati uređaje koji mjere svojstva vode i pumpe koje će svojim radom tekuće gnojivo pumpati iz jednog spremnika u drugi i također će pumpati smjesu vode i tekućeg gnojiva kroz cijeli sustav. Ako željene vrijednosti svojstava vode nisu u željenim intervalima, u tom slučaju će se omogućiti da se aktivira pumpa za pretakanje tekućeg gnojiva preko mobilnog sučelja po želji korisnika, koja će gnojivo pretakati u spremnik s vodom sve dok željeni interval vrijednosti nije postignut. Na sličan način će se moći i upravljati sa svjetlom u sustavu, gledat će se količina osvjetljenja i po želji korisnika će se omogućiti uključivanje ili isključivanje svjetla. Sustav za automatizirano upravljanje u obzir će uzimati atmosferski pritisak, temperaturu okoline, vlažnost zraka, razinu osvjetljenja, rad osvjetljenja te pH vrijednost vode i na temelju tih vrijednosti će korisnik vršiti upravljanja. Pri rješavanju problema potrebna je sinteza hardverskih i programskih rješenja.



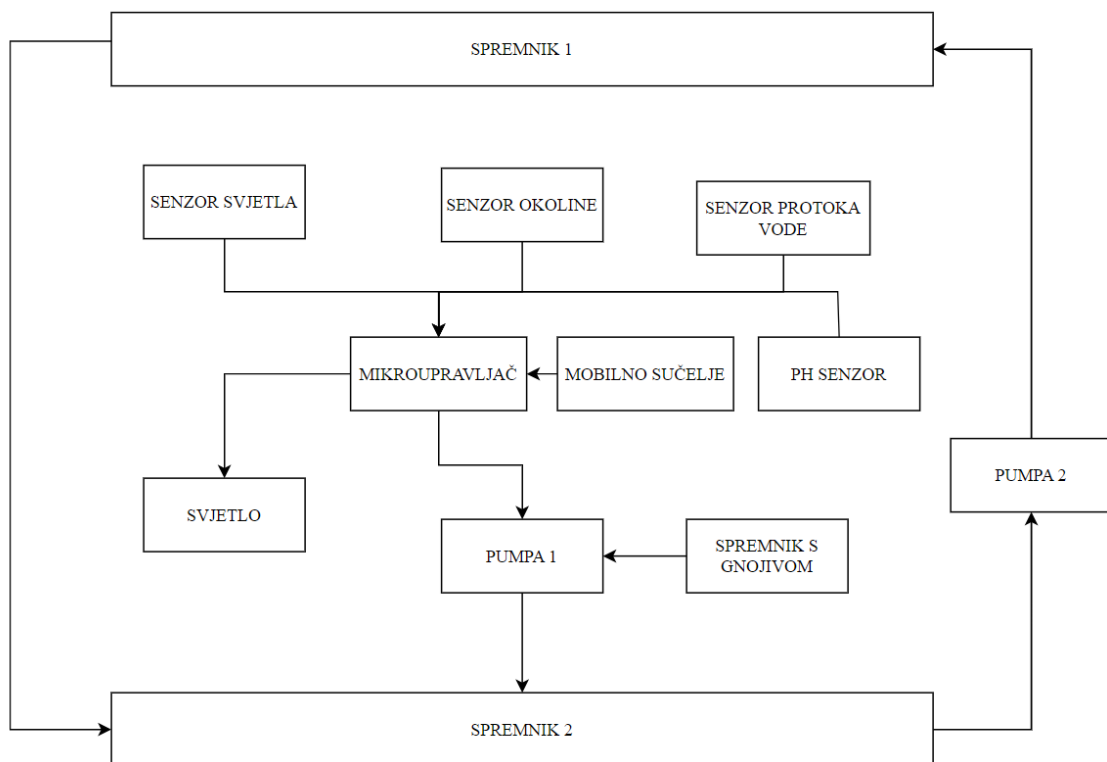
Slika 2.1. Blokovski prikaz kontrolnog sustava

Slika 2.1. prikazuje osvrt na sustav za automatsko upravljanje doziranjem tekućeg gnojiva. Prikazuje korake rada sustava od programa do upravljanja mobilnim sučeljem.

2.2. Prijedlog sklopovskog rješenja

U ovom poglavlju je prikazan funkcionalni blok dijagram sklopova koji prikazuje zamišljeni sustav i odnose između komponenti. Središnji dio rješenja bio bi mikroupravljač s dvije pumpe. Uloge jedne pumpe bi bila pretakanje gnojiva iz vlastitog spremnika u spremnik s vodom gdje bi se te dvije tekućine izmiješale. A uloga druge pumpe bi bila pretakanje

smjese vode i gnojiva iz donjeg spremnika u gornji spremnik iz kojeg bi se smjesa vraćala u donji spremnik gravitacijskim putem. Senzori bi bili povezani na mikroupravljač koji će slati njihova mjerenja na mobilno sučelje koje će biti vidljivo korisniku i preko tog sučelja će se vršiti upravljanje nad sustavom. Svjetlo koje bi se koristilo za potreban rast biljke će se također povezati na upravljanje preko mobilnog sučelja da korisnik može odabrati kad će svjetlo raditi. Blokovo rješenje se vidi na slici 2.2.

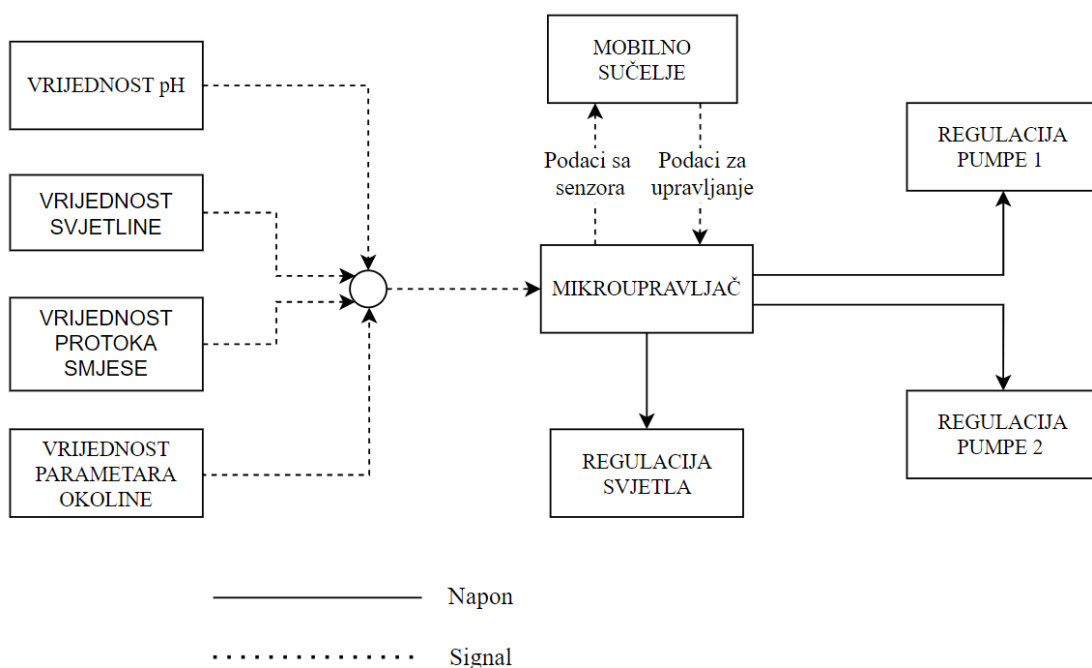


Slika 2.2. Blokovski prikaz prijedloga sklopovskog rješenja

2.3. Prijedlog programskog rješenja

Programsko rješenje automatiziranog sustava doziranja tekućeg gnojiva je pojednostavljeno i izvodit će se na način da senzori šalju podatke o vrijednostima za fizikalnu veličinu koju mjere na mikroupravljač, a on će proslijediti te podatke na mobilno sučelje.

Korisnik će pratiti te podatke na mobilnom sučelju i reagirati ovisno o potrebi. Zatim će se podaci slati s mobilnog sučelja na mikroupravljač i on će uključiti ili isključiti zadanu komponentu ovisno o tome što je korisnik odabrao. Pumpu 1 predstavlja pumpa koja će pretakati gnojivo iz jednog spremnika u drugi, a pumpu 2 predstavlja pumpa koja će omogućiti protok smjese s tekućim gnojivom kroz cijeli sustav. Na slici 2.3. se može vidjeti programski prijedlog rješenja.

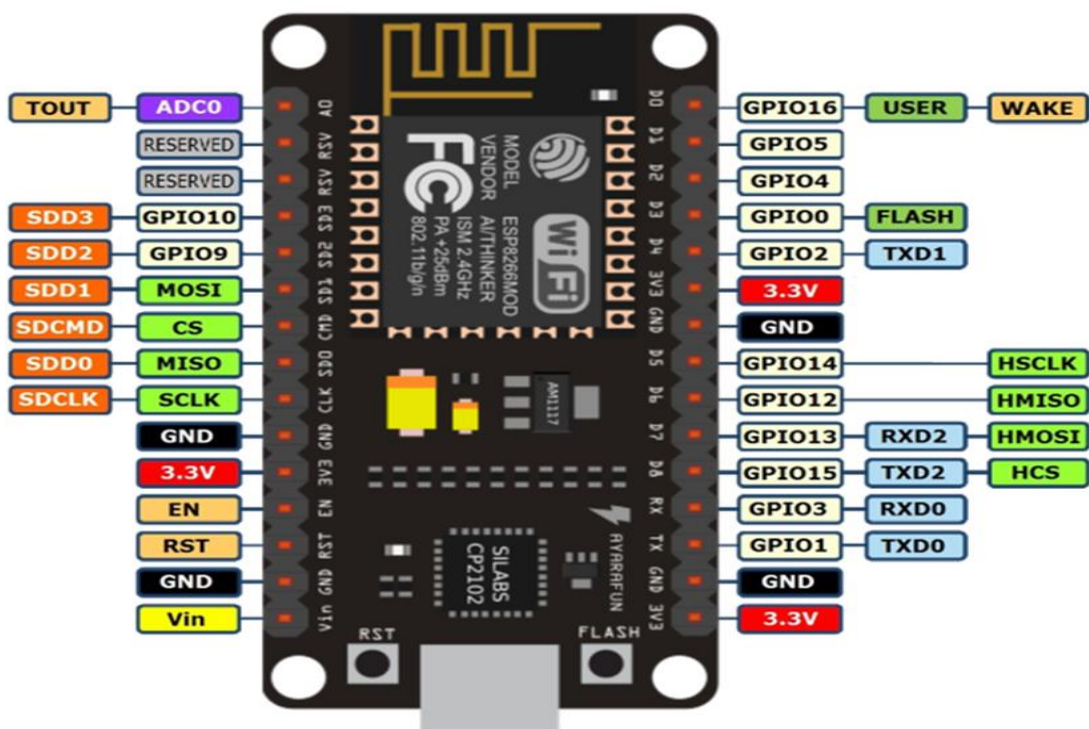


Slika 2.3. Blokovski funkcionalni blok dijagram tijekom programskog rješenja

3. REALIZACIJA SUSTAVA AUTOMATIZIRANOG UPRAVLJANJA DOZIRANJEM TEKUĆEG GNOJIVA U HIDROPONSKOM UZGOJU

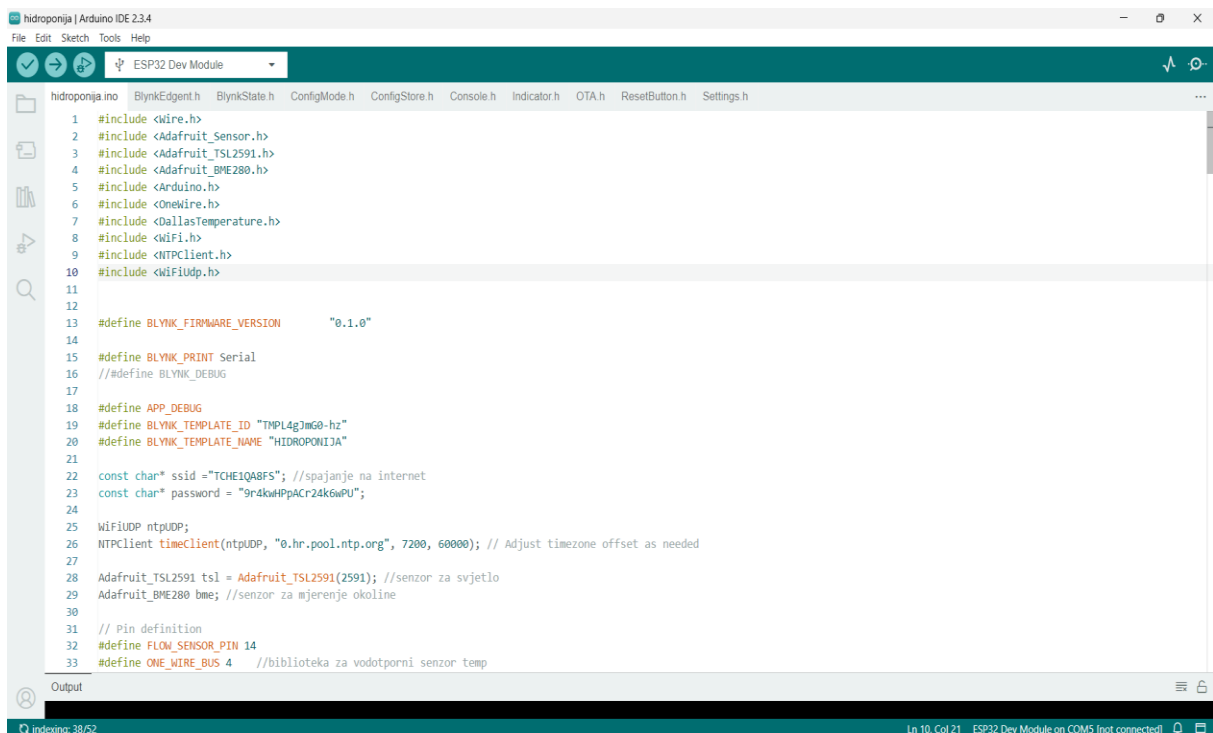
3.1. Korišteni alati i programska okruženja

Prilikom izrade rješenja za automatizirano upravljanje koristila se SBC-NodeMCU-ESP32 razvojna pločica poznata po niskoj cijeni, niskoj potrošnji energije i povezivanjem na Wi-Fi preko kojeg je omogućeno udaljeno upravljanje putem aplikacije. Koristila se jedna ESP 32 pločica koja upravlja s peristaltičnim pumpama te prima i obrađuje podatke s ostalih senzora. Zbog opasnosti od nastajanja kratkog spoja zbog prisutnosti vode cijelu instalaciju je potrebno staviti u izolirano kućište i ugraditi na što više mjesto kako bi se izbjegao kratki spoj.



Slika 3.1. SBC-NodeMCU-ESP32 Mikroupravljač [8]

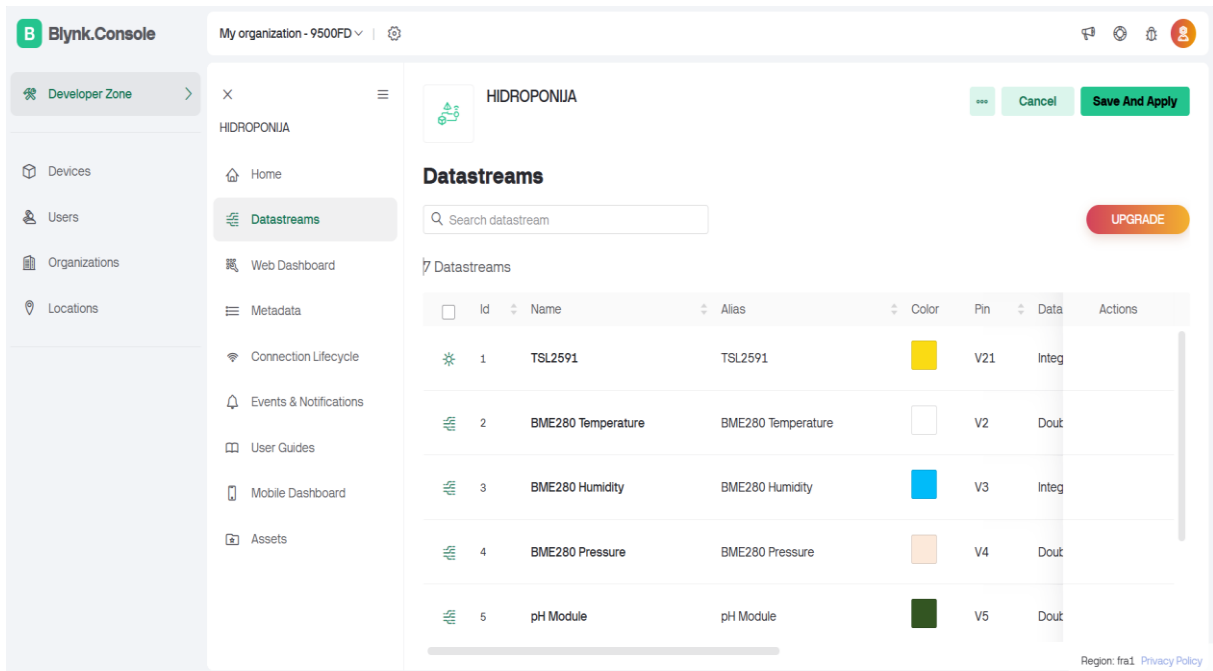
Za izradu programskog rješenja korišten je Arduino IDE (eng. *Integrated development environment*). Arduino IDE je besplatno razvojno okruženje koje ima mogućnost programiranja mikroupravljača. Podržava različite platforme i pločice među koje se ubraja i ESP32, mikroupravljač se dodaje uz pomoć čarobnjaka(eng. *board manager*) i instalira se u okruženje. Uz Arduino IDE razvojno okruženje je korištena i platforma Blynk koja omogućava povezivanje i upravljanje raznim uređajima putem interneta. Osmišljena je kako bi olakšala razvoj IoT (*Internet of Things*) projekata bez potrebe za složenim kodiranjem ili infrastrukturom. Glavna karakteristika je što pruža mogućnost upravljanja uređaja putem mobilnog sučelja.



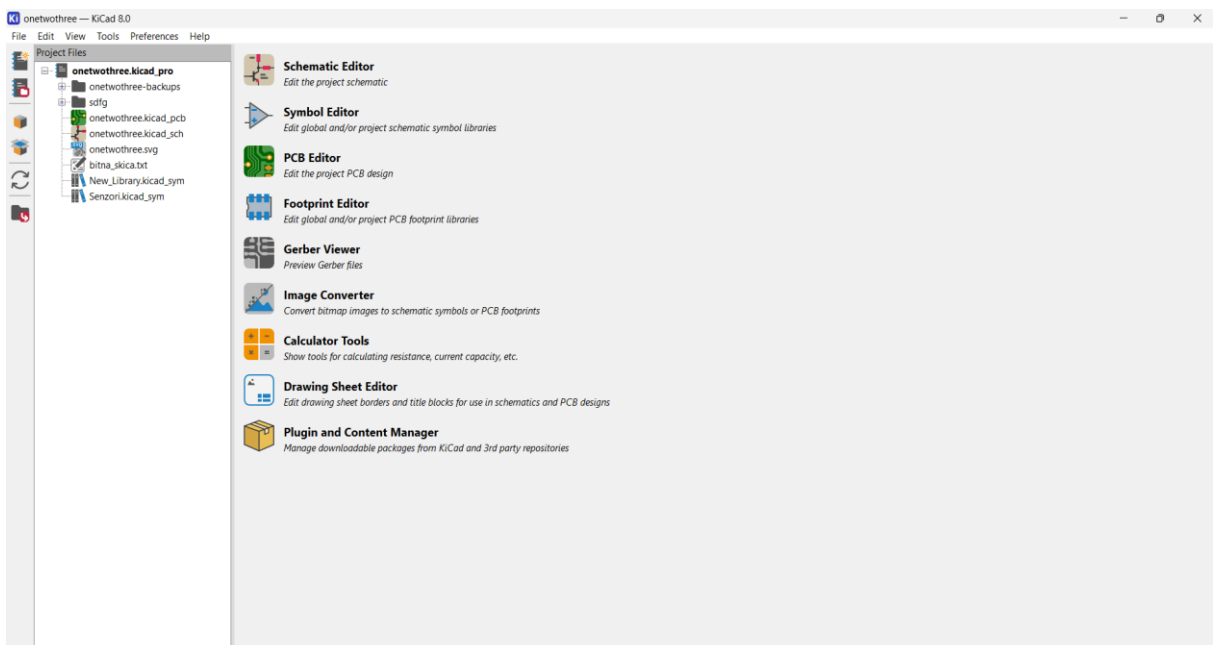
```
1 #include <Wire.h>
2 #include <Adafruit_Sensor.h>
3 #include <Adafruit_TSL2591.h>
4 #include <Adafruit_BME280.h>
5 #include <Arduino.h>
6 #include <OneWire.h>
7 #include <DallasTemperature.h>
8 #include <WiFi.h>
9 #include <NTPClient.h>
10 #include <WiFiUDP.h>
11
12
13 #define BLYNK_FIRMWARE_VERSION    "0.1.0"
14
15 #define BLYNK_PRINT Serial
16 // #define BLYNK_DEBUG
17
18 #define APP_DEBUG
19 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4gJmG0-hz"
20 #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "HIDROPONIJA"
21
22 const char* ssid = "TCHE1Q8F5"; //spajanje na internet
23 const char* password = "9r4kwHPpAcR24k6wPU";
24
25 WiFiUDP ntpUDP;
26 NTPClient timeClient(ntpUDP, "0.hr.pool.ntp.org", 7200, 60000); // Adjust timezone offset as needed
27
28 Adafruit_TSL2591 tsl = Adafruit_TSL2591(2591); //senzor za svjetlo
29 Adafruit_BME280 bme; //senzor za mjerenje okoline
30
31 // Pin definition
32 #define FLOW_SENSOR_PIN 14
33 #define ONE_WIRE_BUS 4 //biblioteka za vodotporni senzor temp
```

Slika 3.2. Prikaz Arduino IDE programa

Električna shema je napravljena u programu KiCad koji se koristi za izradu elektroničkog sklopa. KiCad dolazi s raznim bibliotekama simbola i spojeva te je jednostavan za korištenje za početnike.

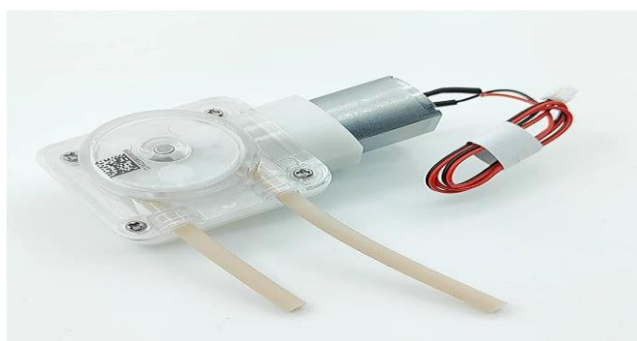


Slika 3.3. Prikaz platforme Blynk



Slika 3.4. Prikaz KiCad programa

Mini peristaltic pump je peristaltična pumpa koja se koristi za pretakanje vode iz jednog spremnika u drugi bez opasnosti na kontaminaciju. Može se upravljati s voltažom u intervalu od 3 do 5 volta, što ovu pumpu čini pristupačnom velikom broju uređaja. Motor ove pumpe funkcionira s malom snagom pa je brzina pretakanja mala, ali dovoljna za određenu svrhu. Sveukupno se koristi jedna peristaltična pumpa za doziranje tekućeg gnojiva.



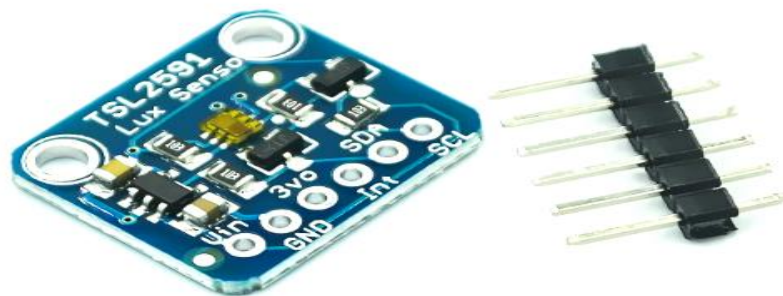
Slika 3.5. Prikaz mini peristaltične pumpe (engl. DC 3V 3.7V 5V *Small Mini Peristaltic Water Pump*) [9]

Senzor za očitavanje pH vrijednosti se koristi za očitavanje pH vrijednosti ukupne smjese vode i gnojiva kako bi se biljci omogućio optimalan rast. Ovaj senzor nije u mogućnosti da bude cijelo vrijeme u vodi zbog mogućnosti nepreciznog očitavanja u budućnosti pa je potrebno povremeno staviti senzor u smjese zbog očitavanja i potom je potrebno smjestiti u kalijev klorid. Razina potrebne pH vrijednosti ovisi o vrsti biljke.



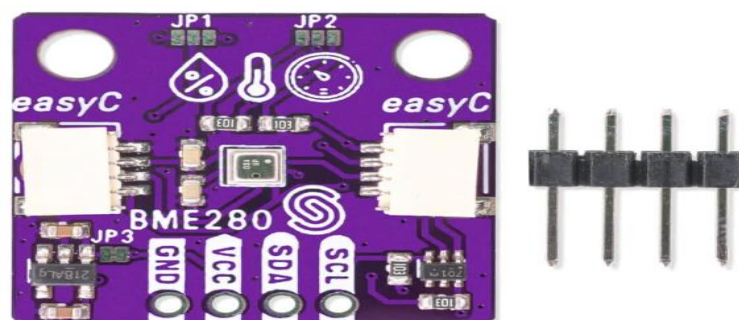
Slika 3.6. Senzor za očitavanje pH vrijednosti [10]

TSL2591 je visokoprecizni senzor osvjetljenosti koji mjeri količinu svjetla u različitim rasponima. Koristi dva fotodetektora koja mu omogućuju mjerenje vidljivog spektra svjetlosti i infracrvenog spektra. Dodatna mogućnost ovog senzora je što ima veliki raspon osvjetljenosti za korištenje u različitim svjetlosnim uvjetima. Koristi se za očitavanje razine osvjetljenja u mjernoj jedinici [lux].



Slika 3.7. TSL2591 senzor za očitavanje razine osvjetljenja [11]

BME280 je senzor koji se koristi za mjerenje klimatskih parametara okoline, kao što su temperatura, vlaga i atmosferski pritisak. Odlikuje ga velika preciznost pri mjerenju parametara, niska potrošnja energije, male dimenzije, a podržava I2C i SPI protokole koji mu omogućavaju fleksibilnu integraciju s mikroupravljačima.



Slika 3.8. BME280 senzor za očitavanje klimatskih parametara [12]

Mini pumpa za vodu radi u rasponu 3V – 6V i brzina protoka je 120 litara po satu.



Slika 3.9. Mini pumpa za vodu (engl. *Mini water pump*)[13]

LED traka RGB je niskonaponska fleksibilna vrpca male potrošnje energije i ima mogućnost promjene boje. LED traka se koristila kao svjetlo za rast biljke.



Slika 3.10. LED traka RGB [14]

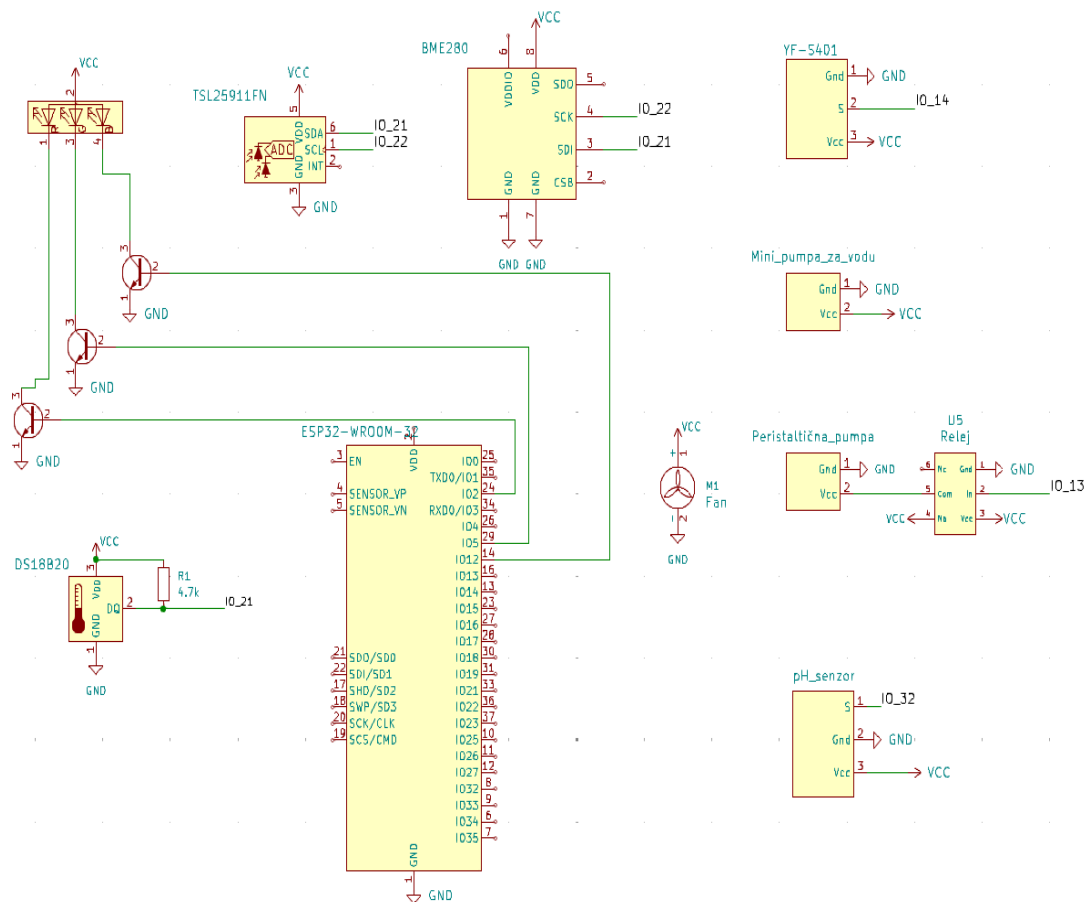
YF-S401 je senzor koji mjeri protok vode. Služi za kontrolu protoka vode u sustavu.



Slika 3.11. YF-S401 Senzor protoka vode (engl. *Water flow sensor*)[15]

3.2. Realizacija konstrukcijskog i sklopovskog rješenja

Sustav za automatizirano doziranje tekućeg gnojiva se sastoji od raznih komponenti od kojih je glavni mikroupravljač ESP32–WROOM. Preko njega se upravlja sa svim ostalim komponentama koje omogućuju realizaciju sustava. Sva potrebna logika je programirana unutar Arduino IDE razvojnog okruženja. Zbog jednostavnosti i kompaktnosti se koristi jedan mikroupravljač koji je spojen na dvije eksperimentalne pločice i zadužen je za upravljanje većine komponenata, dok se preko Blynk platforme upravlja peristaltičnom pumpom i RGB LED trakom. Kako bi se omogućila prenosivost sustava, napajanje se odvija preko prenosivog punjača visokog kapaciteta. Mikroupravljač očitava vrijednosti sa senzora TSL 2591, BME280, pH senzora i senzora YF-S401 koji neprestano rade te iste te vrijednosti šalje na mobilno sučelje Blynk IoT. Za uspješno upravljanje peristaltičnom pumpom koristi se relej koji omogućuju paljenje i gašenje pumpe.

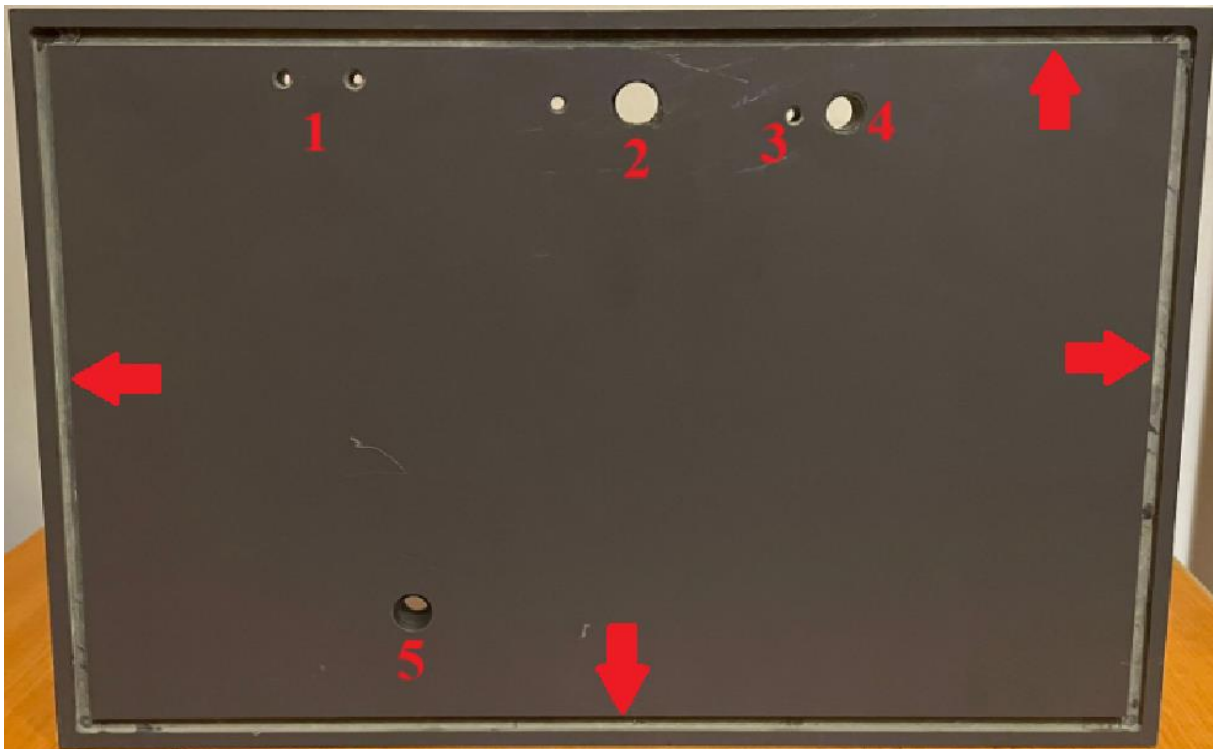


Slika 3.12. Električna shema napravljena u programu KiCad

Prije spajanja komponenti na mikroupravljač je potrebno pažljivo planiranje električne sheme kako je prikazano na slici 3.12. i osmišljavanje rješenja s kojim bi se spriječio doticaj s vodom kako bi se izbjegli kratki spojevi. Električna shema je glavna smjernica koja se prati prilikom spajanja komponenti i lemljenja.

3.2.1. Koraci pri izradi automatiziranog upravljanja za doziranje tekućeg gnojiva

Prvi korak je dizajniranje konstrukcije na kojoj će mikroupravljač biti odvojen od vode, a imat će mogućnost upravljanja sa svim korištenim komponentama. Dizajn je vrlo jednostavan gdje se donji dio odvaja od gornjeg, čime se omogućava lakše čišćenje te zamjena vode i gnojiva, a na vrhu se nalazi poklopac koji omogućava lakši pristup biljkama. Na poleđini konstrukcije nalaze se sve komponente koje nisu vodootporne.



Slika 3.13. Donji dio gornje kutije sa označenim otvorima za komponente te utorom za bolju stabilnost

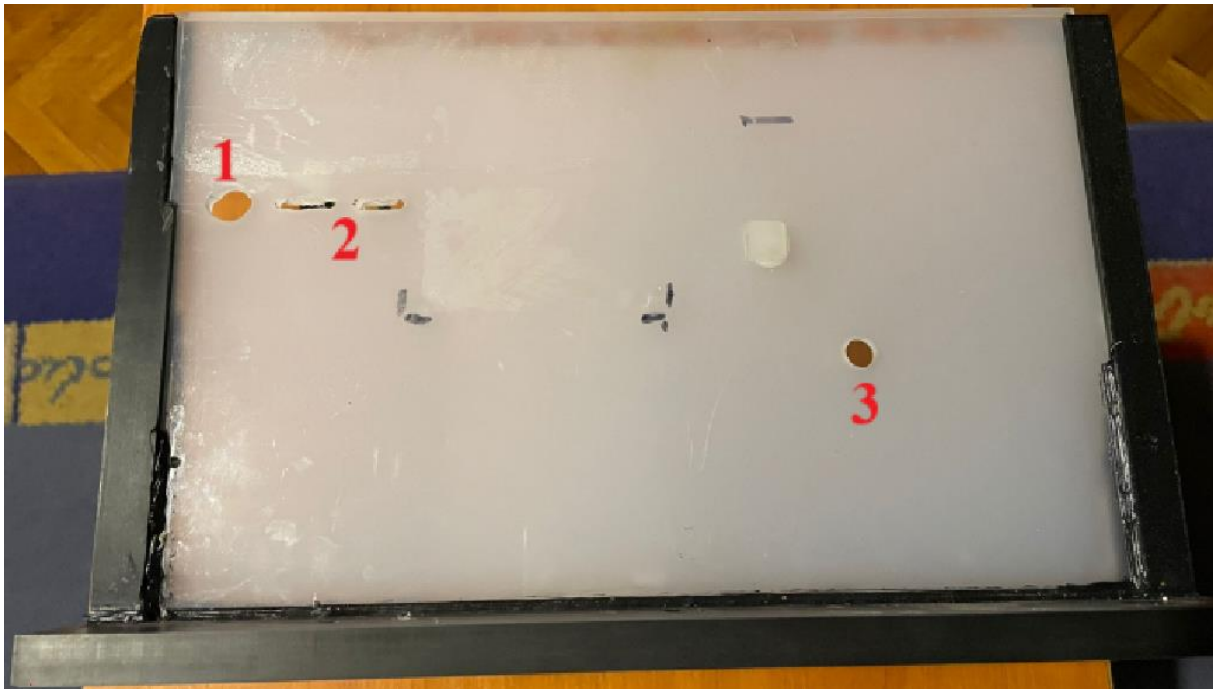
Slika 3.13. prikazuje ključni korak u kojem su probušene rupe za komponente i napravljen utor blizu ruba koji omogućava umetanje donjeg dijela kutije. Ovaj dizajn doprinosi maksimalnoj stabilnosti konstrukcije, a istovremeno omogućava jednostavno odvajanje dijelova. Crvene strelice označavaju lokaciju utora, dok brojevi upućuju na otvore za različite komponente:

- **1:** Otvori za cijevi peristaltične pumpe

- 2: Otvor za pH modul
- 3: Prostor za kablove mini pumpe za vodu
- 4: Cijev kroz koju smjesa prolazi iz donje kutije prema senzoru za protok
- 5: Mjesto gdje se smjesa vraća iz gornje kutije u donju

Nakon što su napravljene utori na donjoj strani, sastavlja se gornji dio kutije i prave se rupe za senzore i kablove. Na slici 3.14 brojevima su označeni utori kroz koje prolaze komponente:

- 1: Mjesto kroz koje prolaze kablovi RGB LED trake,
- 2: Utori za pinove senzora, gdje se kablovi spajaju na pinove,
- 3: Prostor za cijev koja provodi smjesu od senzora za protok do gornje kutije



Slika 3.14. Poledina gornje kutije s naznačenim otvorima

Nakon izgradnje gornje kutije, izrađena je i donja kutija. Na slici 3.15. prikazana je donja kutija koja se sastoji od dva odjeljka: manjeg odjeljka za tekuće gnojivo i većeg odjeljka u kojem će se nalaziti voda pomiješana s gnojivom.



Slika 3.15. Donja kutija s dva odjeljka

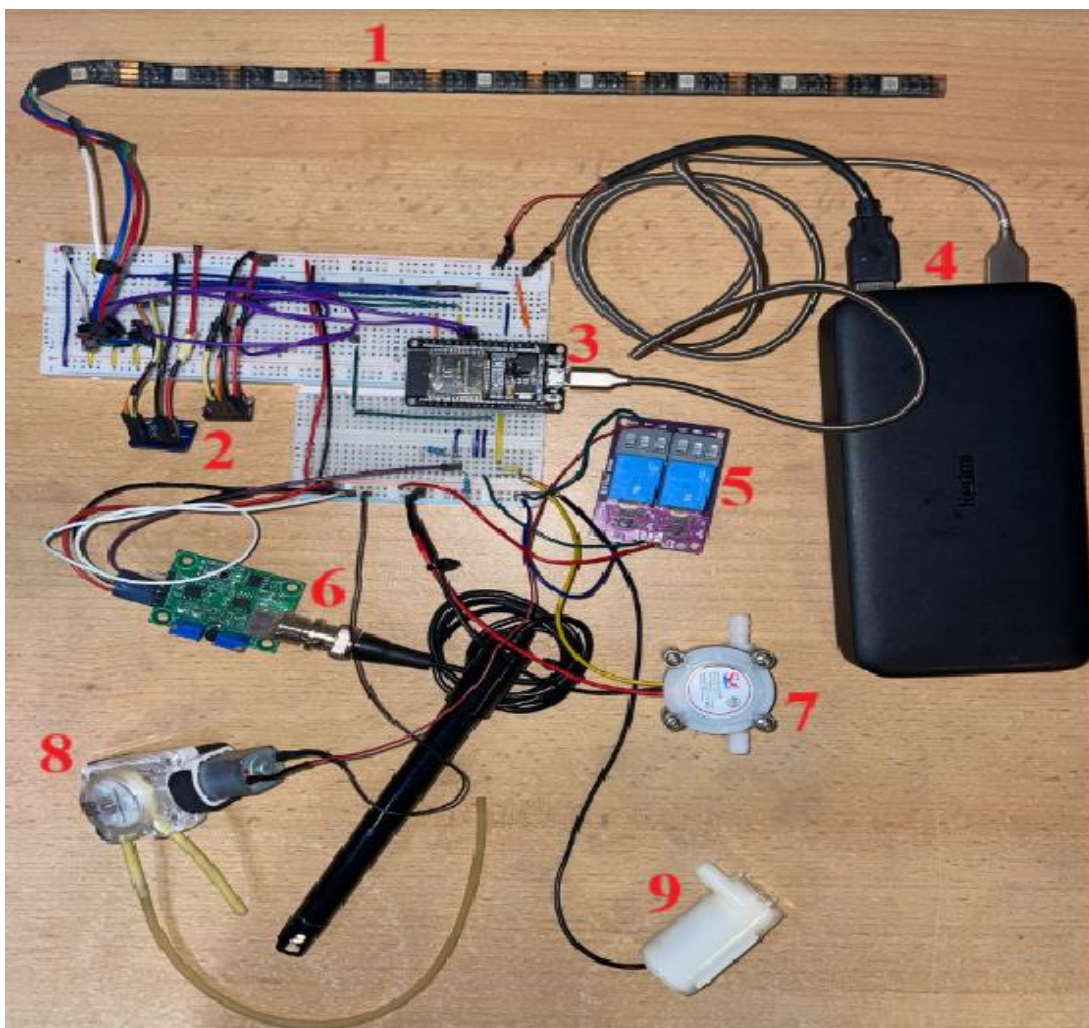
Konstrukcija napravljena od donje i gornje kutije ostaje nepromijenjena i sve je napravljeno za premještanje s jednog mjesta na drugo.

Nakon završetka konstrukcije započinje sastavljanje svih komponenti na eksperimentalne pločice. Zbog velikog broja komponenti i žica, sve je sastavljeno na dvije eksperimentalne pločice. Mikroupravljač je smješten na obje, a po potrebi signali od pinova koji su bili potrebni šalju se žicama koje spajaju horizontalne komunikacijske kanale obje eksperimentalne pločice. S žicama okruglog presjeka nekih komponenti je bilo bitno pažljivo rukovati jer su tanke i lako dođe do loma žice. Da bi se spriječio lom žice, na kraj koji se ubada u eksperimentalnu pločicu je stavljeno malo lema za veću čvrstoću. Kako bi se postiglo upravljanje peristaltične pumpe bilo je potrebno uvesti relej. Slika 3.16. prikazuje proces spajanja svih komponenti. Komponente prikazane na slici 3.16 označene su brojevima radi lakše identifikacije:

- 1: RGB LED traka,
- 2: Senzori TSL2591 i BME280,
- 3: Mikroupravljač ESP32,

- 4: Vanjski sustav napajanja,
- 5: Relej,
- 6: pH modul,
- 7: Senzor za protok,
- 8: Peristaltična pumpa,
- 9: Mini pumpa za vodu.

Sve komponente rade kada se sustav testira prije montiranja na konstrukciju.



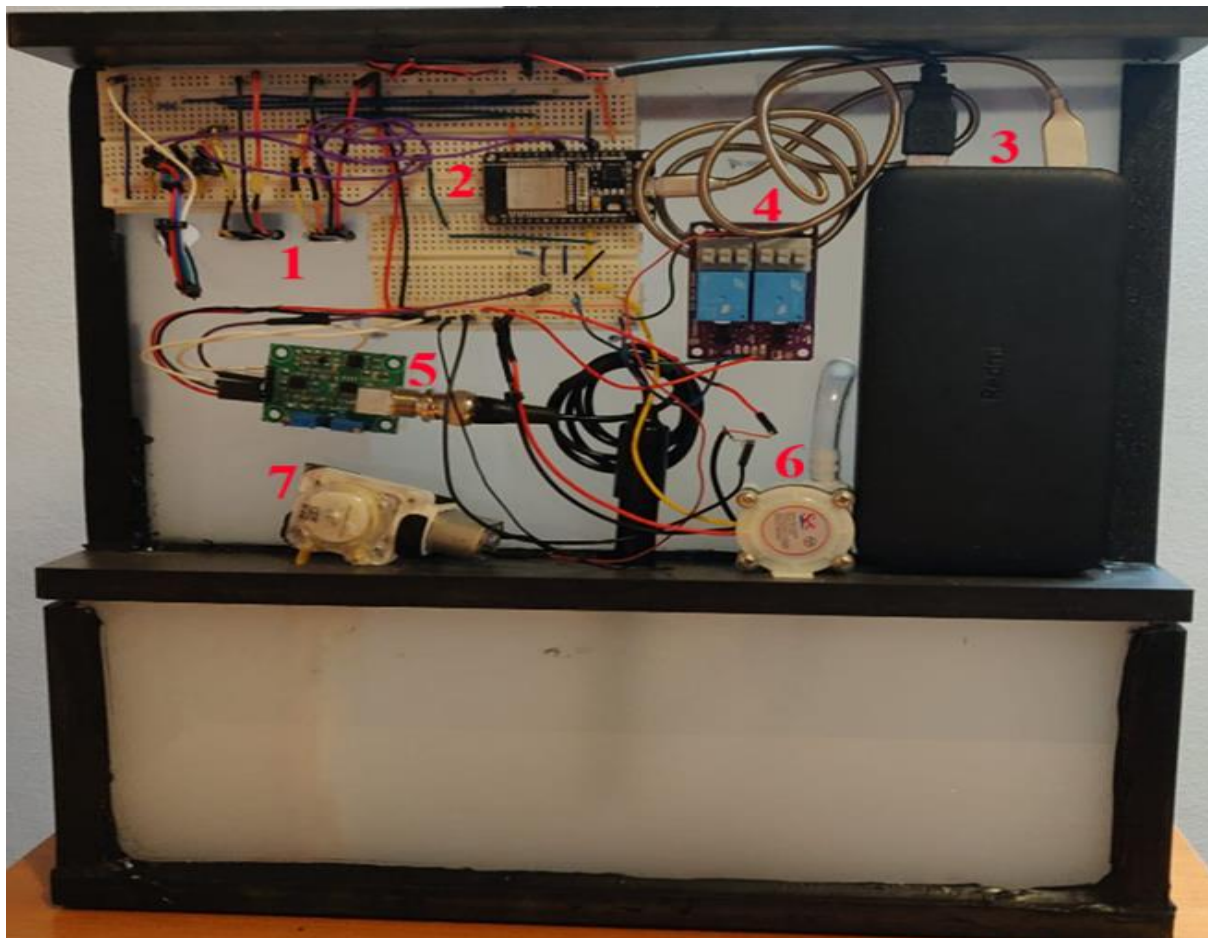
Slika 3.16. Proces spajanja svih komponenti

Kad su se sve komponente spojile na eksperimentalnim pločicama, potrebno ih je zalijepiti na poleđinu gornje kutije s dvostrano ljepljivom trakom. Traka omogućava iznimnu snagu lijepljenja i malu fleksibilnost. Za bolju preglednost svih komponenti, žice su spajane plastičnim vezicama.



Slika 3.17. Prva iteracija svih komponenti i cijele konstrukcije

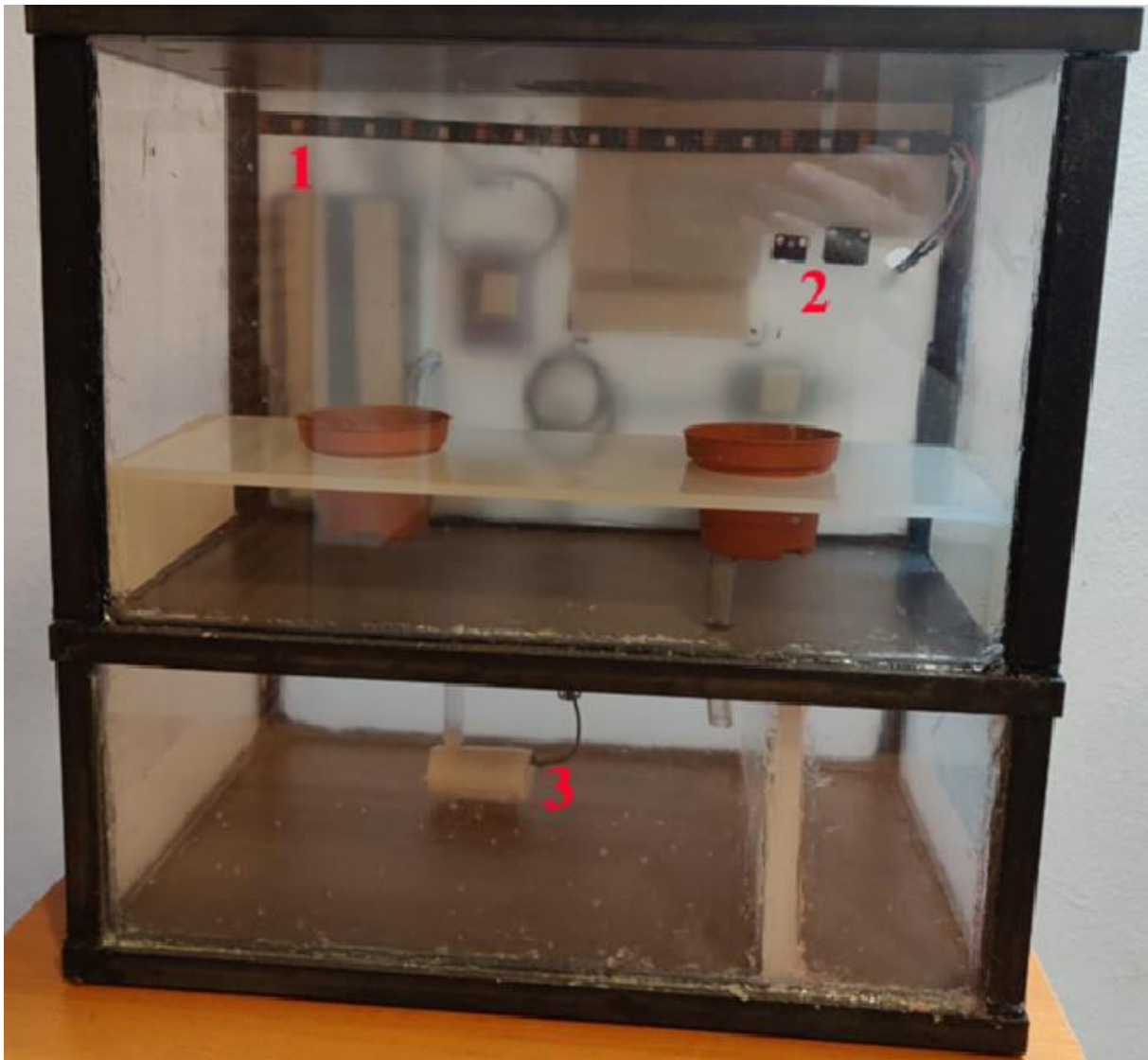
Nakon daljnjeg testiranja komponenti bilo je potrebno promijeniti funkcije upravljanja na komponentama pa je došlo do malih izmjena spajanja na eksperimentalnim pločicama. Drugačiji pinovi za upravljanje su definirani u kodu, a ostatak konstrukcije je ostao nepromijenjen. Konačno rješenje se može vidjeti na slikama 3.18. i 3.19.



Slika 3.18. Zadnja strana konstrukcije sa svim komponentama

Konačni raspored komponenti na slici 3.18. je ostao isti kao i na prvoj iteraciji sustava:

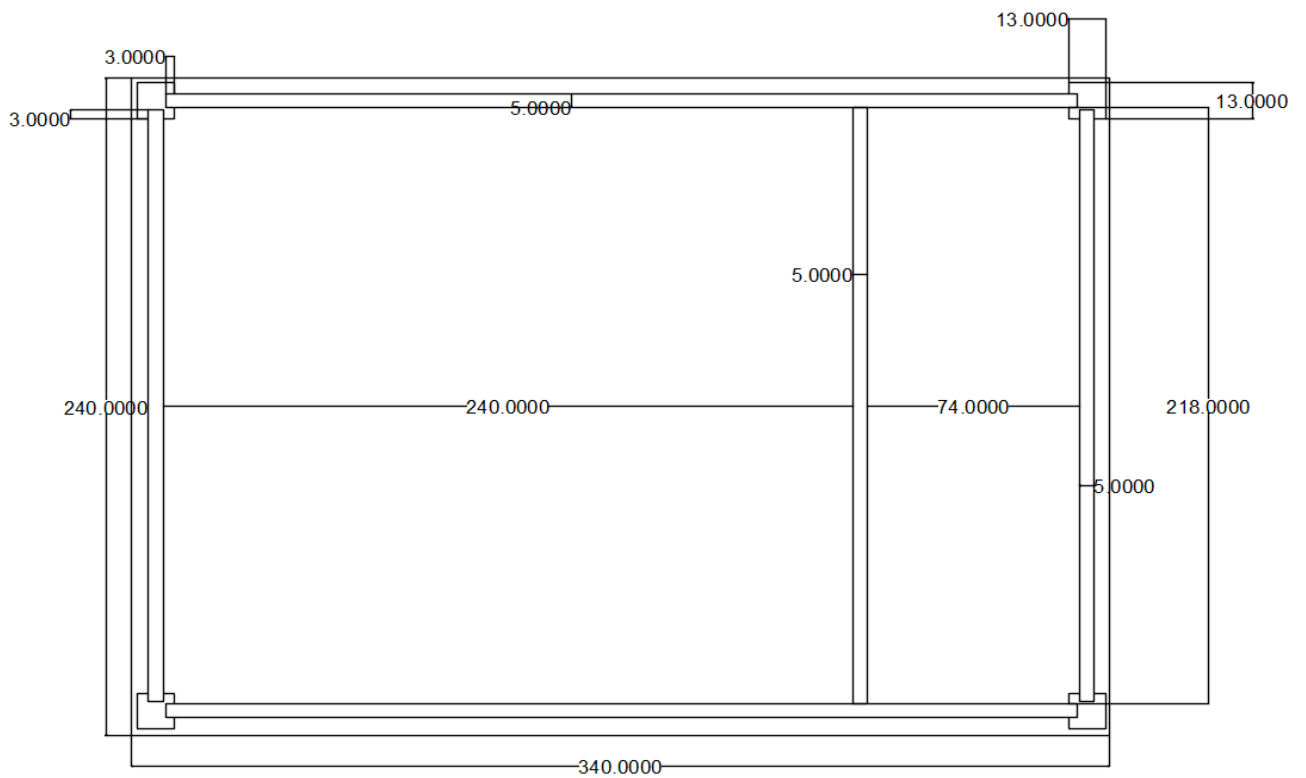
- 1: senzori TSL2591 i BME-280,
- 2: Mikroupravljač ESP-32,
- 3: Vanjski sustav napajanja,
- 4: Relej,
- 5: pH modul,
- 6: senzor za protok YF-S401,
- 7: peristaltična pumpa



Slika 3.19. Prikaz vodonepropusne konstrukcije s prednje strane sa spojenim komponentama.

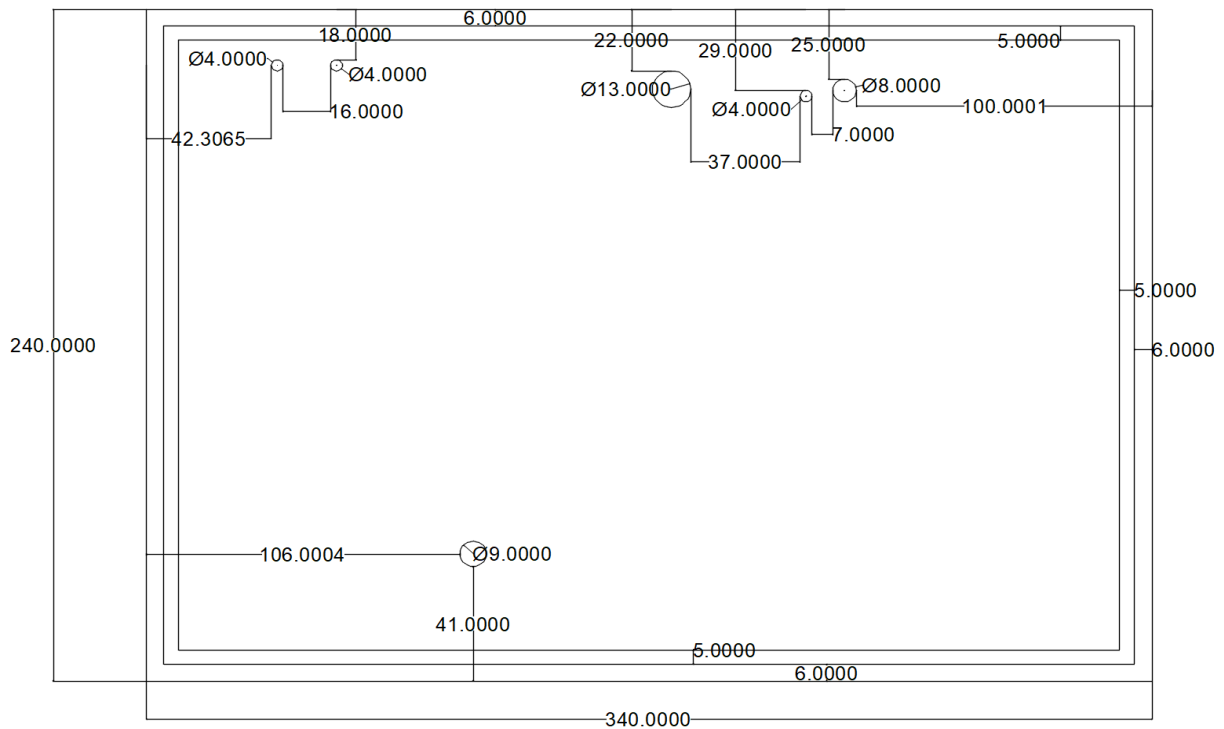
Slika 3.19. prikazuje konačni izgled prednje strane konstrukcije i komponenti. Označene komponente su:

- 1: RGB LED traka,
- 2: Senzori TSL2591 i BME-280,
- 3: Mini pumpa za vodu



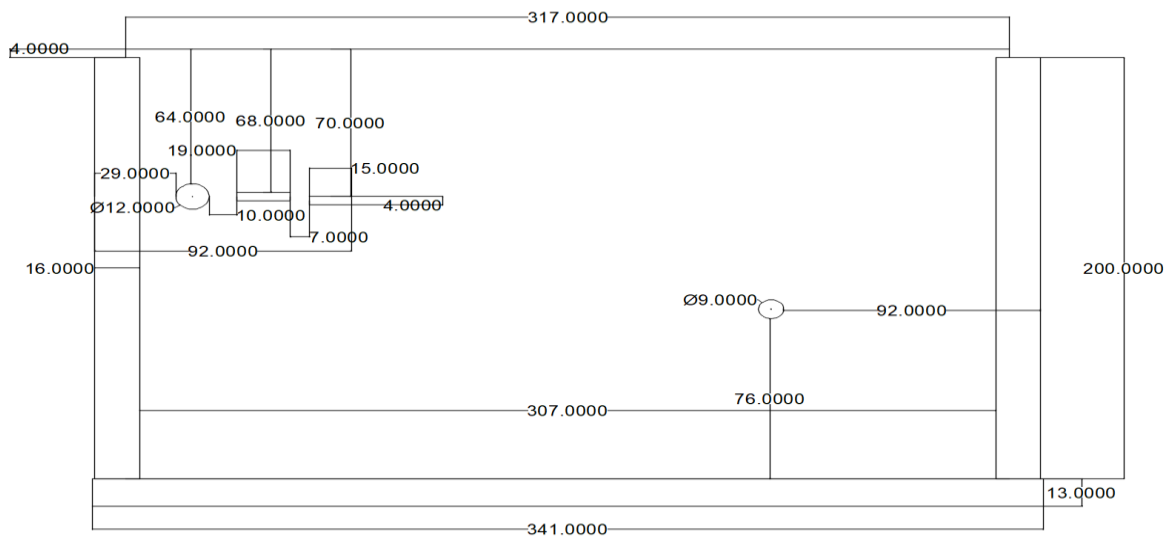
Slika 3.20. Gornji tlocrt donje kutije

Na slici 3.20. se vidi gornji tlocrt donje kutije sa označenim dimenzijama. Manji odjeljak s desna je mjesto gdje će biti gnojivo, a veći odjeljak lijevo na slici je namijenjen za smjesu vode i tekućeg gnojiva. Zidovi odjeljaka koji su napravljeni od pleksiglasa su postavljeni na ploču koja ima malo veću površinu od dimenzija zidova. Sve dimenzije su označene u milimetrima.



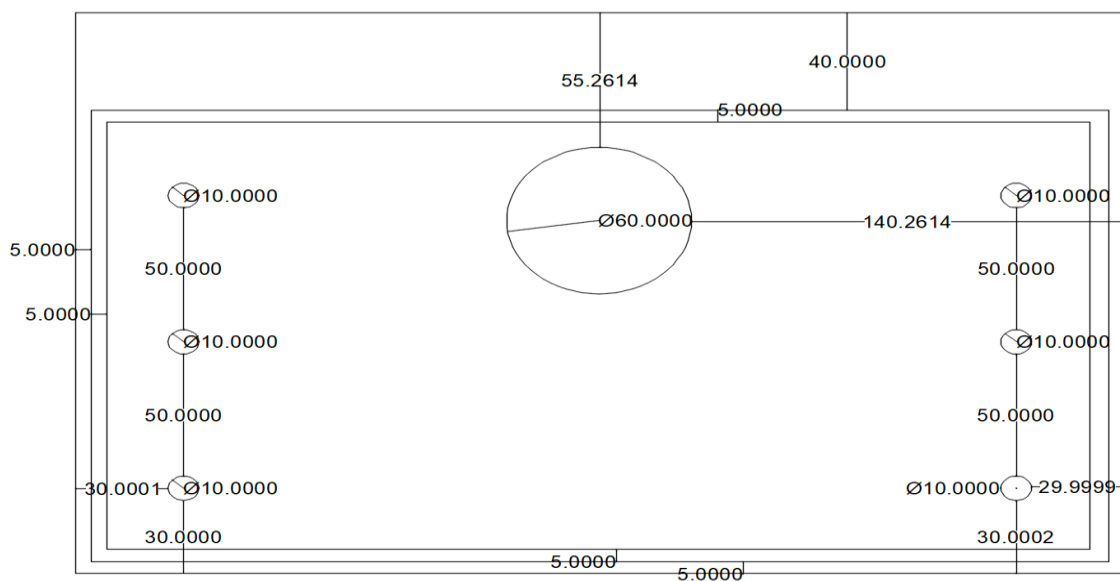
Slika 3.21. Donji tlocrt gornje kutije

Slika 3.21. prikazuje utor gornje kutije koji se postavlja na donju kutiju i to omogućava veliku stabilnost sustava i sprječava mogućnost klizanja između kutija. Pri dnu tlocrta je označena rupa gdje će smjesa vode i tekućeg gnojiva prelaziti iz gornje kutije u donju. U gornjem dijelu tlocrta su naznačene rupe za komponente koje se nalaze na gornjoj kutiji, ali dijelovi komponenti prolaze kroz te rupe u donju kutiju. Sve dimenzije su označene u milimetrima.



Slika 3.22. Stražnji nacrt gornje kutije

Slika 3.22. prikazuje stražnju stranu gornje kutije na koju su postavljene sve komponente. Rupa na stražnjem nacrtu u donjem desnu dijelu predstavlja mjesto gdje će prolaziti cijev od senzor za protok do unutarnjeg dijela gornje kutije. Sve dimenzije su označene u milimetrima.



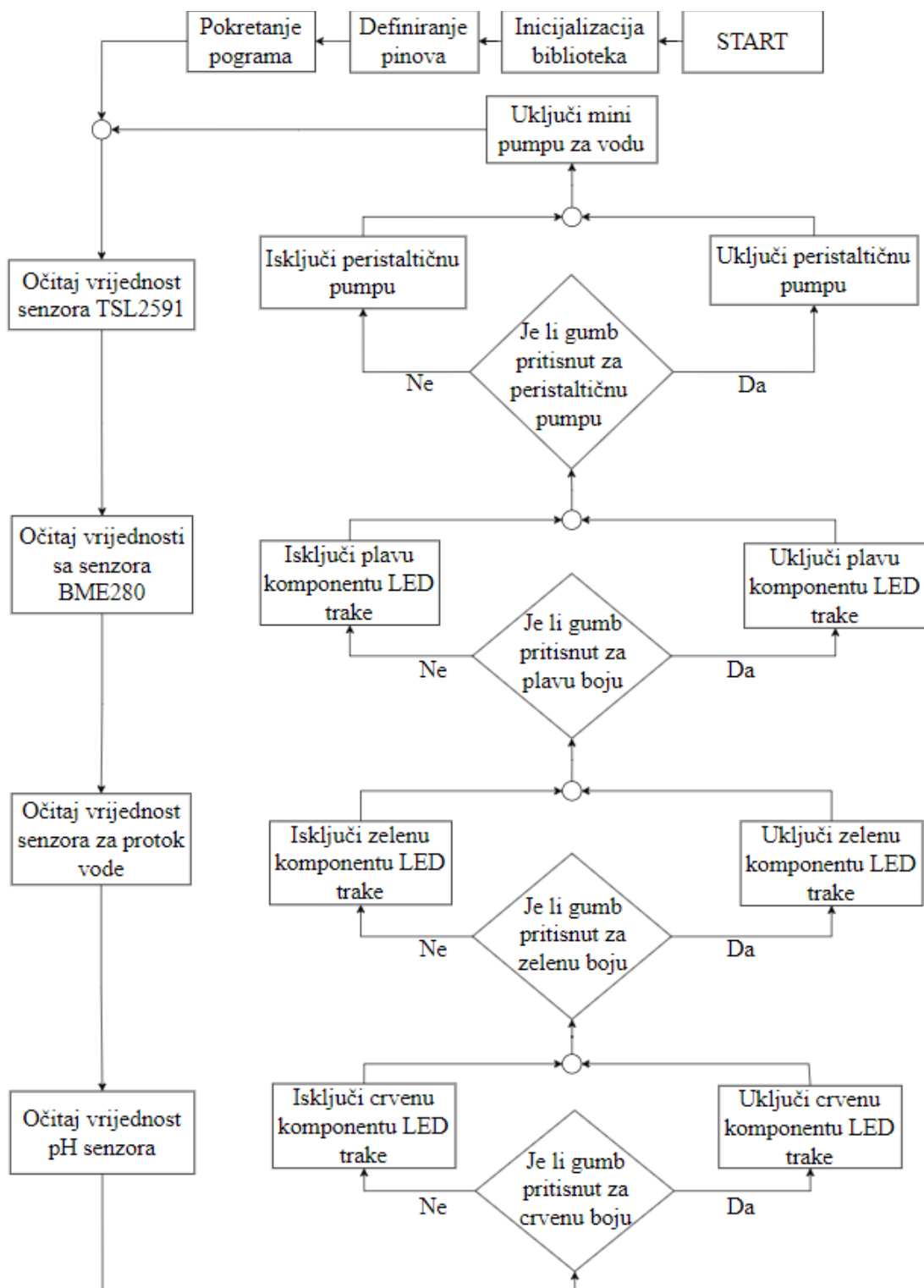
Slika 3.23. Donji tlocrt poklopca

Slika 3.23. prikazuje utor u koji će sjesti zidovi od pleksiglasa i spriječiti klizanje između poklopca i gornje kutije. Sve rupe su probušene kako bi zrak mogao ulaziti u kutiju do biljke. Poklopac savršeno sjeda na zidove od pleksiglasa, a produženi dio koji ima dimenzije od 40 mm pokriva komponente sustava za automatsko doziranje tekućeg gnojiva. Sve dimenzije su označene u milimetrima.

3.3. Realizacija programskog rješenja

Za realizaciju rješenja automatskog doziranja gnojiva se koristi programski alat Arduino IDE za programiranje ESP32 mikroupravljača i platforma Blynk koja omogućava upravljanje putem mobilnog sučelja. Koristi se jedan ESP32 mikroupravljač koji sadrži većinu logike koja je potrebna za upravljanje sustava, a preko platforme Blynk se upravlja peristaltičnom pumpom i odabirom boje na LED traci. Kao prvi korak je potrebno pravilno spojiti ESP32 u Arduino IDE programskom alatu, a zatim pregledavanje i učitavanje potrebnih biblioteka. Na slici 3.20. se može vidjeti da se program pokreće nakon inicijalizacije biblioteka i definiranja pinova. Prvo se pokreću senzori u seriji TSL2591 koji očitava razinu osvjetljenja, senzor BME280 koji izvršava mjerenja nad temperaturom, vlagom i tlakom te poslije njih se pokreće senzor za protok vode YF-S401 i senzor za mjerenje pH vrijednosti. Nakon uključivanja senzora se provjerava stanje gumba na mobilnoj aplikaciji Blynk IoT, jesu li pritisnuti ili ne. Gumbi funkcioniraju na način da se očitava njihova vrijednost i ta vrijednost se prenosi direktno na pin na koji komponenta povezana preko digitalnog pina koji upravlja naponom, to jest šalje visoki ili niski napon. Jedino ograničenje za upotrebu digitalnih pinova je to što se mogu koristiti pinovi samo od 0 do 13. Zatim se na isti način provjerava stanje gumba za peristaltičnu pumpu, ako je gumb pritisnut ona se pali, u suprotnom se ugasi. A same vrijednosti sa senzora se šalju putem virtualnog pina, oni su povezani s fizičkim pinovima i virtualnim kanalima se odvija prijenos podataka između Blynk aplikacije i mikroupravljača. Upotreba virtualnih pinova puno šira i mogu se koristiti pinovi od 0 do 255. Razlika između virtualnih i digitalnih pinova je što virtualni pinovi zahtijevaju programiranje. Na kraju programa se uključuje rad mini pumpe za vodu

koja konstantno cirkulira vodu kroz hidroponski sustav. Jedina primjedba je kada se mikroupravljač spaja s osobnim računalom radi potrebe prebacivanja programa, potrebno je to napraviti preko kabla koji ima omogućen prijenos podataka. U suprotnom mikroupravljač će imati napajanje, ali prijenos podataka se neće izvršiti. Cijeli programski kod je prikazan u prilogu P1. "Kod za upravljanje".



Slika 3.20. Blok dijagram tijeka algoritma

4. TESTIRANJE I REZULTATI

4.1. Metodologija testiranja

Prilikom dizajniranja automatskog sustava za doziranje tekućeg hranjiva potrebno je imati na umu okružje rada gdje bi se takav sustav primjenjivao. Ovaj sustav zahtjeva pažljivo ugrađivanje jer se radi o elektronici koja je osjetljiva na dodir s vodom pa je sve potrebno dodatno izolirati. Ukoliko se to ne uspije ispuniti, doći će do kratkog spoja i komponente se neće moći koristiti. Nakon što se ispravno spojio *hardware* i sve komponente uspješno konfigurirale, sustav je potrebno testirati zajedno sa svim njegovim dijelovima kako bi se uvjerali da sve funkcionira na način za koji je namijenjen.

Metodologija testiranja projekta automatiziranog upravljanja doziranja provoditi će se na primjeru kućnog hidroponskog sustava gdje je bitna jednostavnost korištenja i na primjeru komercijalnog staklenika gdje je bitnija funkcionalnost i preciznost rada. Kategorije koje će se testirati su:

- Provjera stabilnosti i vodonepropusnosti
- Provjera funkcionalnosti mobilnog sučelja preko platforme Blynk
- Provjera preciznosti rada peristaltične pumpe
- Provjera preciznosti rada senzora TSL2591, BME280, pH senzora i YF-S401 senzora

Provjera vodonepropusnosti je proces koji se lako izvršava na način da se u hidroponskom sustavu pusti voda i pregledavaju se svaki spojevi materijala od kojeg je građen sustav. Stabilnost će se provjeravati jer ovo rješenje za automatsko doziranje tekućeg gnojiva je osmišljen za hidroponski sustav koji je prenosiv, ali se može primijeniti na fiksiran sustav.

Provjera funkcionalnosti mobilnog sučelja preko platforme Blynk je proces preko kojeg se utvrđuje lakoća korištenja, povezivost s mikroupravljačem i zadana funkcionalnost.

Provjera preciznosti rada peristaltične pumpe je dugotrajni proces koji zahtjeva da se usisna grana pumpe uroni u vodu, a drugi kraj se stavi iznad mjerne posude kako bi očitavanje rezultata moglo biti maksimalno precizno.

Provjera preciznosti rada senzora se izvršava na način da se senzori spoje i program se pokrene pa se očitavaju rezultati preko konzole te se bilježi srednja vrijednost. Kao kontrola se koriste vanjski instrumenti poput vanjskog termometra i specijalne aplikacije na pametnom uređaju.

Za svaku fizikalnu veličinu će se napraviti minimalno 20 mjerenja i između dva mjerenja se koristi vremenski interval od 10 sekundi.

4.2. Rezultati testiranja

4.2.1. Provjera stabilnosti i vodonepropusnosti

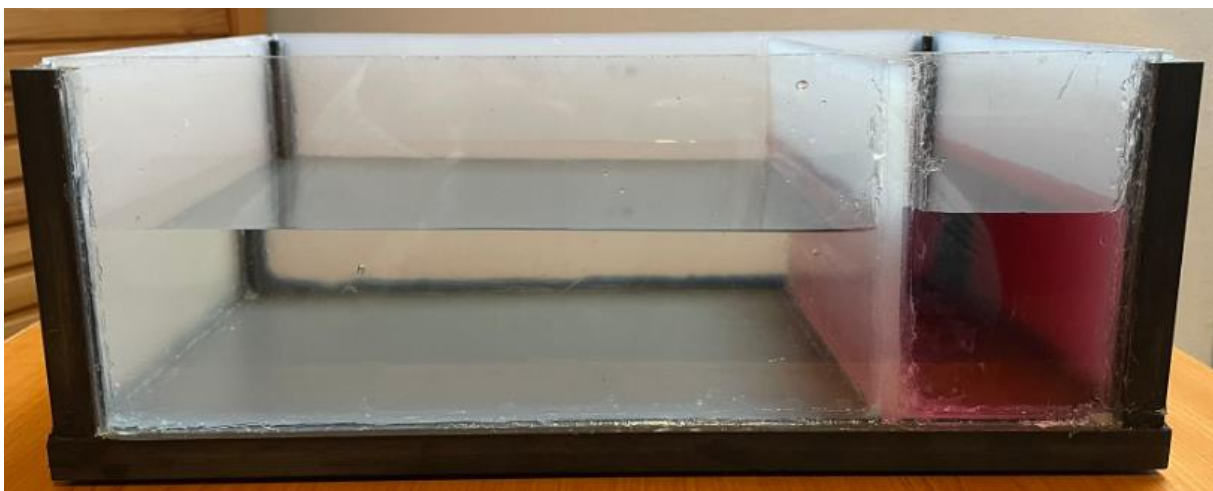
Puštanjem vode u hidroponski sustav se istovremeno utvrđuje rad pumpi i vodonepropusnost cijele konstrukcije, a daljnjim premještanjem se utvrđuje stabilnost sustava. Jedina primjedba je što mini pumpa za vodu mora konstantno raditi kako bi se izbjegao ulazak vode u pogonski dio pumpe.

Kako bi se poboljšala stabilnost konstrukcije dodani su podlošci od filca i napravljeni su utori na donjoj strani gornje kutije i na samom poklopcu. Podlošci od filca su se pokazali vrlo korisnima jer sprječavaju klizanje na raznim površinama i mogu se vidjeti na slici 4.1, a utor koji sprječava razdvajanje i klizanje između kutija su prikazani na slikama 3.13. u poglavlju 3.2.



Slika 4.1. Ulošci od filca na donjoj strani donje kutije

Dodatkom vode u svaki odjeljak se utvrđuje vodonepropusnost između pojedinog odjeljka i cijelog donjeg dijela konstrukcije. Prvi test je pokazivao curenje vode pri kutovima i na prijelazu između odjeljaka. Tekuće gnojivo je prikazano obojanom vodom, a čista voda prikazuje mjesto gdje bi se spajala voda i tekuće gnojivo. Vodonepropusnost se postigla tako što se dodao silikon u svaki kutak s unutarnje i s vanjske strane donjeg dijela konstrukcije, što je prikazano slikom 4.2.



Slika 4.2. Test vodonepropusnosti donjeg dijela konstrukcije.

Gornji dio konstrukcije se testirao na isti sličan. Voda je dodana do razine na kojoj će biti cijelo vrijeme prilikom rada sustava. Prvi rezultati su pokazali curenje vode u svakom kutku, osim na poleđini gdje se nalaze komponente. Vodonepropusnost je isto postignuta dodavanjem silikona u svakom kutku gornjeg dijela konstrukcije što se vidi na slici 4.3.



Slika 4.3. Test vodonepropusnosti gornjeg dijela konstrukcije

Nakon što je pojedini dio konstrukcije potrebno testirati vodonepropusnost cijele konstrukcije. U ovom testu se dodaje voda u pojedine odjeljke u donji dio konstrukcije, a radom mini

pumpe za vodu ona prelazi iz donjeg dijela u gornji dio. A peristaltična pumpa prebacuje obojano vodu u odjeljak s vodom. Funkcionalnost pumpi i vodonepropusnosti cijele konstrukcije je prikazana slikom 4.4.



Slika 4.4. Test rada pumpi i vodonepropusnosti

Ovim testovima se utvrdila vodonepropusnost sustava i stabilnost pa je cijela konstrukcija zajedno sa sustavom za automatsko doziranje gnojiva primjenjiva u kućnim sustavima. A radom komponenti prilikom premještanja se utvrdila stabilnost i funkcionalnost sustava što sustav čini primjenjivim u komercijalnim svrhama gdje se sustav može lako prebaciti iz jednog hidroponskog sustava u drugi.

4.2.2. Provjera funkcionalnosti mobilnog sučelja preko platforme Blynk

Testiranjem mobilnog sučelja je provjera funkcionalnosti u raznim situacijama. Provjerava se funkcionalnost i primjena u komercijalnim i kućnim hidroponskim sustavima. Test se odvija na način da se eksperimentalne pločice spoje na vanjski sustav napajanja, a s drugim kablom se spoji vanjski sustav napajanja i mikroupravljač. Kada se mikroupravljač poveže na WiFi, status na mobilnom sučelju se mijenja iz *Offline* u *Online*. Nakon što se mikroupravljač povezo na WiFi, pritišću se gumbi posebno imenovani za svaku komponentu. Pritiskom gumba se utvrdila ispravna povezanost između mobilnog sučelja Blynk i sustava za automatsko doziranje gnojiva. Jednostavnim pritiskom gumba je i utvrđena jednostavnost korištenja i funkcionalnost sustava korištenjem pametnog uređaja. Ovim načinom je omogućeno daljinsko promatranje i upravljanje sustava za automatsko doziranje tekućeg gnojiva. Mobilno sučelje za upravljanje sustavom je prikazano na slici 4.5.



Slika 4.5. Mobilno sučelje platforme Blynk

4.2.3. Provjera preciznosti rada peristaltične pumpe

Preciznost rada peristaltične pumpe je potrebno testirati s različitim vremenskim periodima. Potrebno je odrediti koliko mililitara prođe kroz cijev peristaltične pumpe u zadanom vremenskom periodu. Za precizno mjerenje je korištena mjerna posuda kapaciteta 25 mililitara. Vremenski period se ne mijenja sve dok se ne obavi 20 testova, a vremenski interval između testova je 30 sekundi.

Tab. 4.1. Testiranje preciznosti rada peristaltične pumpe u vremenskim periodima od 30 do 60 sekundi

Broj mjerenja	Volumen vode u posudi [ml]	Koliko je peristaltična pumpa aktivna [s]	Volumen vode u posudi [ml]	Koliko je peristaltična pumpa aktivna [s]	Volumen vode u posudi [ml]	Koliko je peristaltična pumpa aktivna [s]
1	2.1	30	2.9	45	4	60
2	1.9	30	2.9	45	3.9	60
3	1.9	30	3.1	45	3.9	60
4	1.9	30	2.9	45	3.9	60
5	2	30	3	45	3.9	60
6	1.9	30	3	45	4	60
7	2.1	30	3.1	45	3.9	60
8	2	30	3	45	4.2	60
9	2	30	2.9	45	4	60
10	1.9	30	2.9	45	4.1	60
11	2.1	30	3	45	4.2	60
12	1.9	30	3	45	4.1	60
13	1.9	30	2.9	45	4	60
14	2.1	30	3.1	45	3.9	60
15	2	30	2.9	45	3.9	60
16	2	30	3	45	4	60
17	1.9	30	3	45	4.1	60
18	2	30	3.1	45	3.9	60
19	2	30	2.9	45	4	60
20	2	30	2.9	45	4.2	60

Tab. 4.2. Testiranje preciznosti rada peristaltične pumpe u vremenskim periodima od 75 do 120 sekundi

Broj mjerenja	Volume n vode u posudi [ml]	Koliko je peristaltičn a pumpa aktivna [s]	Volume n vode u posudi [ml]	Koliko je peristaltičn a pumpa aktivna [s]	Volume n vode u posudi [ml]	Koliko je peristaltičn a pumpa aktivna [s]	Volume n vode u posudi [ml]	Koliko je peristaltičn a pumpa aktivna [s]
1	5.1	75	6.1	90	7.2	105	7.8	120
2	5.1	75	6.2	90	6.9	105	7.9	120
3	5.2	75	5.9	90	6.9	105	8.4	120
4	4.9	75	6	90	7.1	105	8.1	120
5	4.8	75	6	90	7	105	8.3	120
6	5.1	75	6.1	90	7	105	7.7	120
7	5.2	75	6.1	90	6.9	105	8.5	120
8	5	75	6	90	7.1	105	8.4	120
9	4.9	75	6	90	7	105	8.2	120
10	5.1	75	6.1	90	7	105	7.9	120
11	4.9	75	6.2	90	6.9	105	7.8	120
12	5.1	75	5.9	90	7.1	105	7.9	120
13	5	75	5.9	90	7	105	8.4	120
14	4.9	75	6	90	7.2	105	8.1	120
15	5	75	6.1	90	6.9	105	8.3	120
16	5.1	75	6.2	90	7	105	7.7	120
17	4.9	75	5.9	90	6.8	105	8.5	120
18	5.1	75	5.9	90	7.1	105	8.4	120
19	5	75	6	90	6.9	105	8.2	120
20	5	75	5.9	90	7.2	105	7.9	120

Rezultati mjerenja su prikazani dvjema tablicama koje prikazuju broj mjerenja, očitavanje i vremenski period u kojem se odvijalo mjerenje. Tablica 4.1. prikazuje vremenske periode od 30 do 60 sekundi, a tablica 4.2. vremenske periode od 75 do 120 sekundi. Iz dobivenih rezultata možemo izračunati koliki je prosječan volumen vode u posudi za svaki vremenski period kako bi se omogućilo korisniku precizno korištenje pumpe. Za bolje usporedive rezultate računa se srednja vrijednost koja daje bolji uvid u rezultate.

$$s_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \quad (4-1)$$

gdje su:

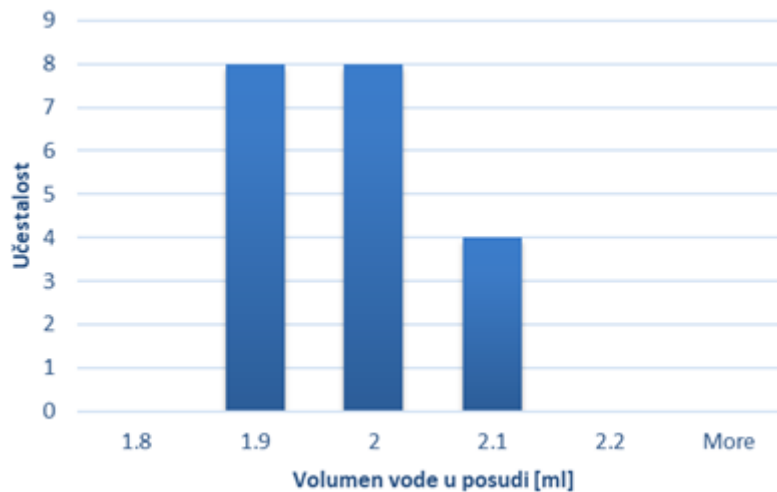
s_{sr} – srednja vrijednost volumena u posudi [ml];

n – broj mjerenja;

s_i – zbroj n mjerenja [m]



Slika 4.6. Grafički prikaz izmjerenog volumena u posudi nakon 30 sekundi

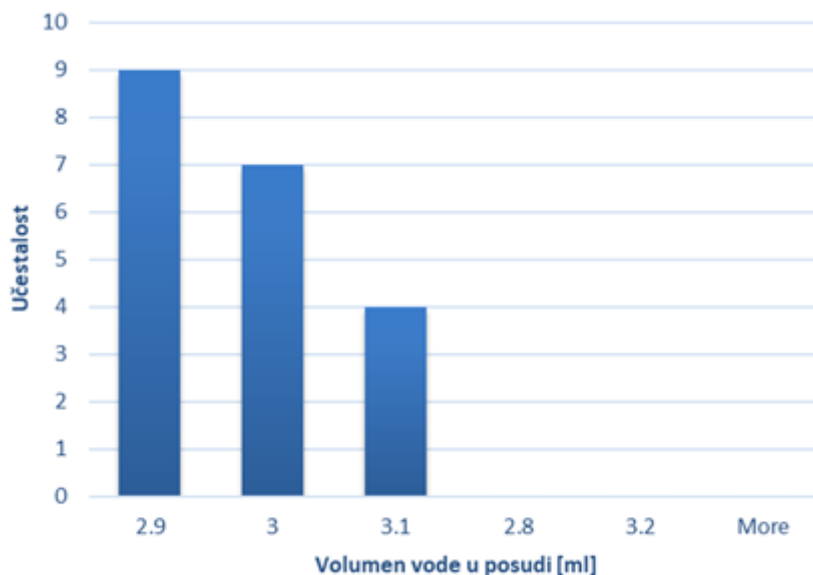


Slika 4.7. Histogram izmjerenih vrijednosti za vremenski period od 30 sekundi

Raspon izmjerenih veličina se može očitati s grafa sa slike 4.6. i histograma sa slike 4.7., a prosječnu vrijednost dobijemo uzimanjem prikladnih vrijednosti iz tablice 4.1. Prosječni volumen u posudi nakon 30 sekundi rada peristaltične pumpe je $s_{sr} = 1.98 \text{ ml}$.



Slika 4.8. Grafički prikaz izmjerenog volumena u posudi nakon 45 sekundi

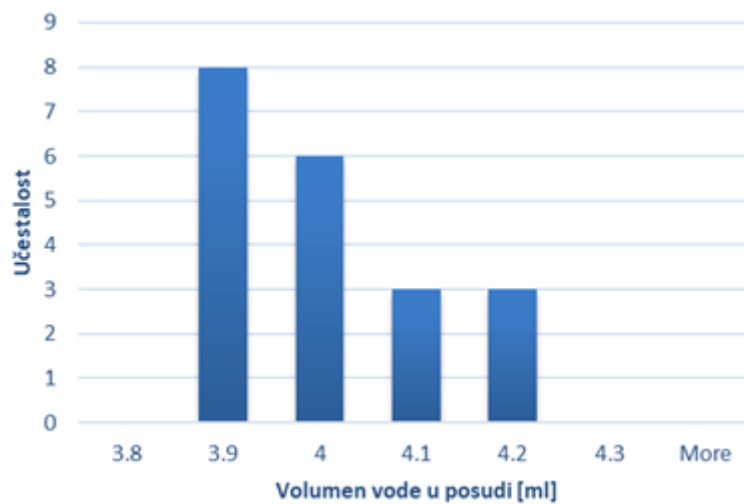


Slika 4.9. Histogram izmjerenih vrijednosti za vremenski period od 45 sekundi

Raspon izmjerenih veličina se može očitati s grafa sa slike 4.8. i histograma sa slike 4.9., a prosječnu vrijednost dobijemo uzimanjem prikladnih vrijednosti iz tablice 4.1. Prosječni volumen u posudi nakon 45 sekundi rada peristaltične pumpe je $s_{sr} = 2.98 \text{ ml}$.

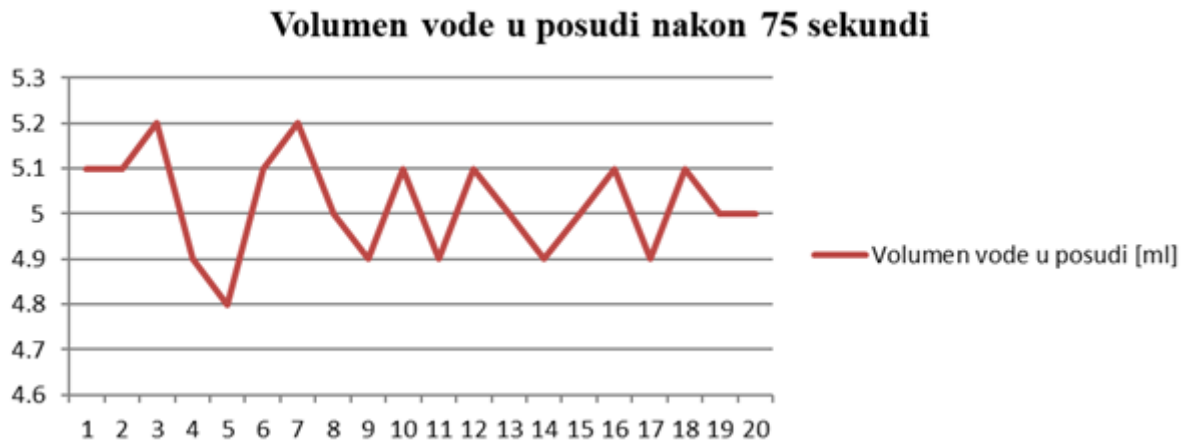


Slika 4.10. Grafički prikaz izmjerenog volumena u posudi nakon 60 sekundi

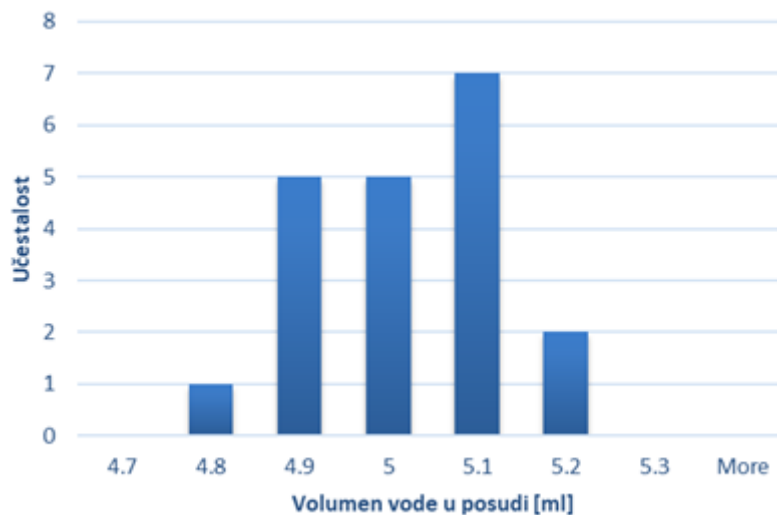


Slika 4.11. Histogram izmjerenih vrijednosti za vremenski period od 60 sekundi

Raspon izmjerenih veličina se može očitati s grafa sa slike 4.10. i histograma sa slike 4.11., a prosječnu vrijednost dobijemo uzimanjem prikladnih vrijednosti iz tablice 4.1. Prosječni volumen u posudi nakon 60 sekundi rada peristaltične pumpe je $s_{sr} = 4.01 \text{ ml}$.



Slika 4.12. Grafički prikaz izmjerenog volumena u posudi nakon 75 sekundi

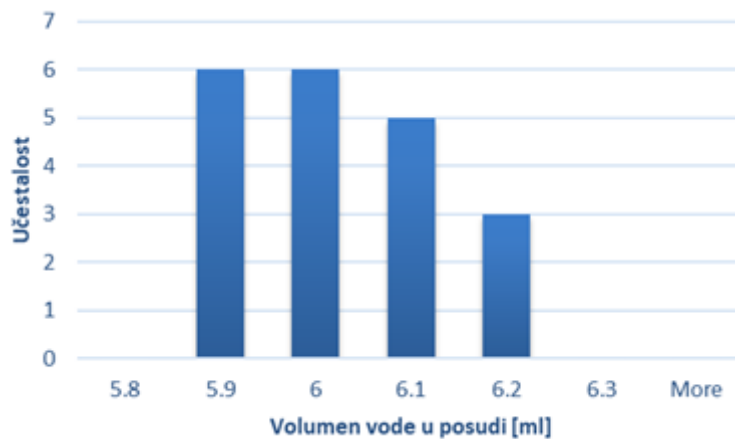


Slika 4.13. Histogram izmjerenih vrijednosti za vremenski period od 75 sekundi

Raspon izmjerenih veličina se može očitati s grafa sa slike 4.12. i histograma sa slike 4.13., a prosječnu vrijednost dobijemo uzimanjem prikladnih vrijednosti iz tablice 4.2. Prosječni volumen u posudi nakon 75 sekundi rada peristaltične pumpe je $s_{sr} = 5.02 \text{ ml}$.



Slika 4.14. Grafički prikaz izmjerenog volumena u posudi nakon 90 sekundi

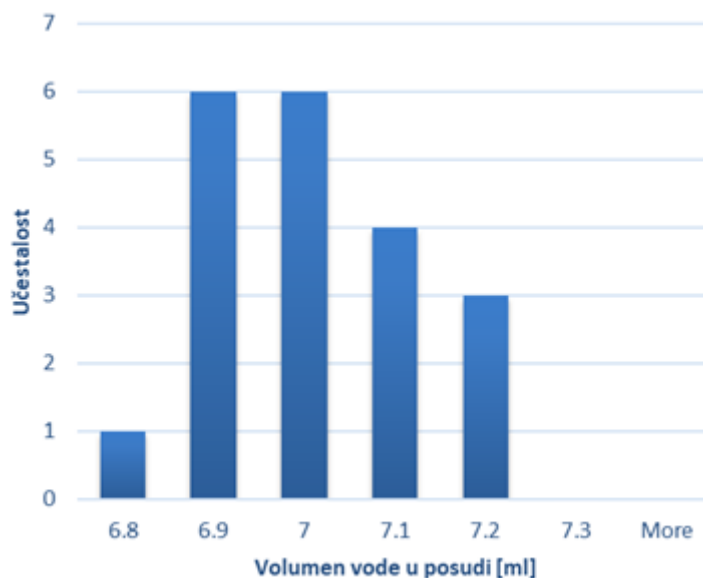


Slika 4.15. Histogram izmjerenih vrijednosti za vremenski period od 90 sekundi

Raspon izmjerenih veličina se može očitati s grafa sa slike 4.14. i histograma sa slike 4.15., a prosječnu vrijednost dobijemo uzimanjem prikladnih vrijednosti iz tablice 4.2. Prosječni volumen u posudi nakon 90 sekundi rada peristaltične pumpe je $s_{sr} = 6.03 \text{ ml}$.



Slika 4.16. Grafički prikaz izmjerenog volumena u posudi nakon 105 sekundi

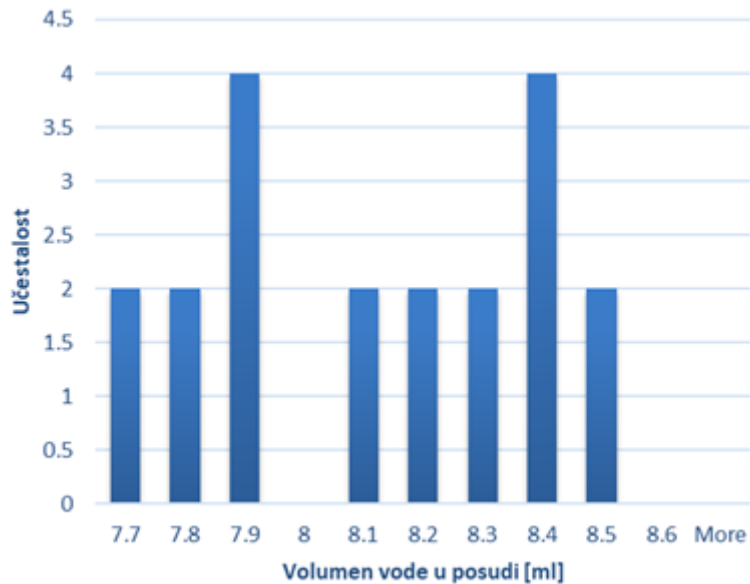


Slika 4.17. Histogram izmjerenih vrijednosti za vremenski period od 105 sekundi

Raspon izmjerenih veličina se može očitati s grafa sa slike 4.16. i histograma sa slike 4.17., a prosječnu vrijednost dobijemo uzimanjem prikladnih vrijednosti iz tablice 4.2. Prosječni volumen u posudi nakon 105 sekundi rada peristaltične pumpe je $s_{sr} = 7.01 \text{ ml}$.



Slika 4.18. Grafički prikaz izmjerenog volumena u posudi nakon 105 sekundi

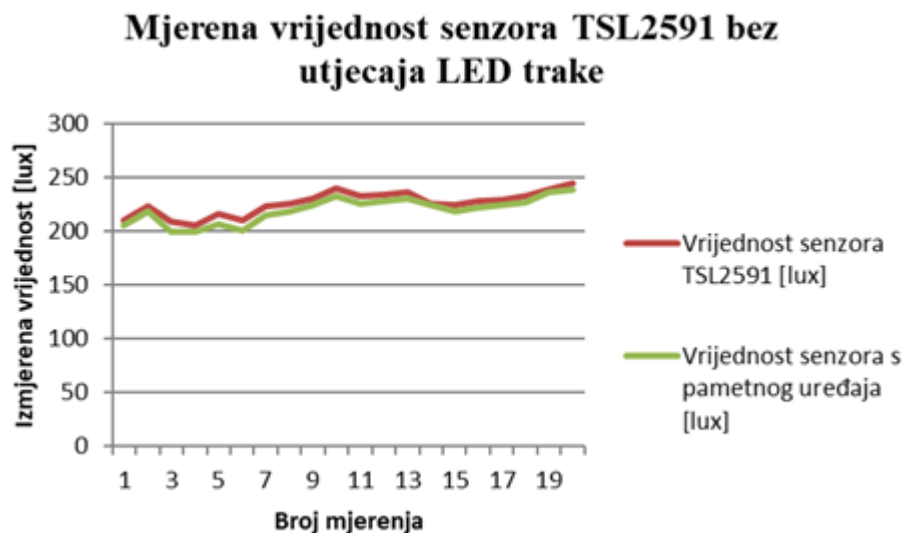


Slika 4.19. Histogram izmjerenih vrijednosti za vremenski period od 120 sekundi

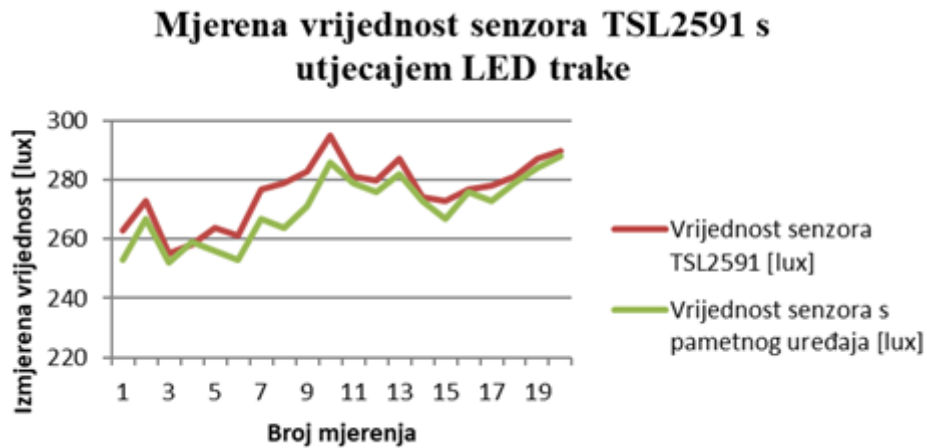
Raspon izmjerenih veličina se može očitati s grafa sa slike 4.16. i histograma sa slike 4.17., a prosječnu vrijednost dobijemo uzimanjem prikladnih vrijednosti iz tablice 4.2. Prosječni volumen u posudi nakon 120 sekundi rada peristaltične pumpe je $s_{sr} = 8.12 \text{ ml}$.

4.2.4. Provjera preciznosti rada senzora TSL2591, BME280, pH senzora i YF-S401 senzora

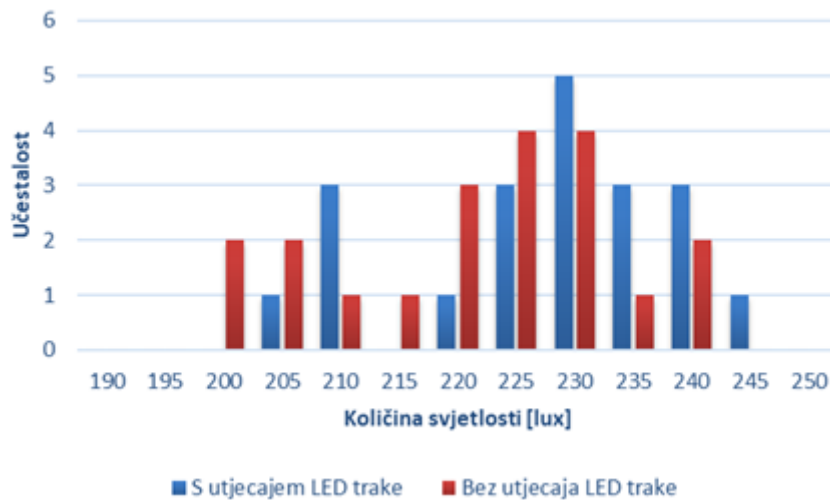
Provjere se izvršavaju na način da se tijekom jednog dana očita 20 vrijednosti s vremenskim intervalom od pola sata između svakog mjerenja preko mobilnog sučelja te se rezultati zabilježe u tablicu. Dobiveni rezultati se uspoređuju s mjerenjima termometra i lux senzora na pametnom uređaju. Dodatno, senzor TSL2591 se provjerava bez utjecaja LED trake i s utjecajem LED trake kako bi dobili efektivnost dodatnog svjetlosnog izvora.



Slika 4.20. Grafički prikaz očitanih vrijednosti sa senzora TSL2591 bez utjecaja LED trake

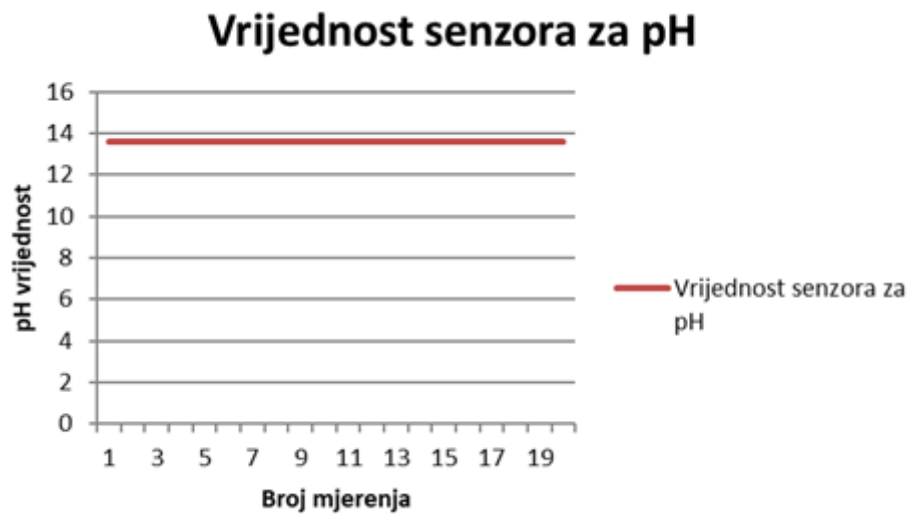


Slika 4.21. Grafički prikaz očitanih vrijednosti sa senzora TSL2591 s utjecaje LED trake

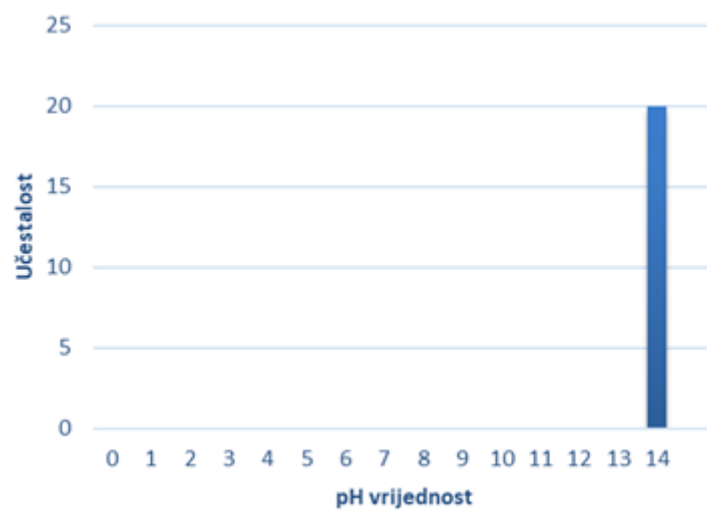


Slika 4.22. Histogram utjecaja LED trake na količinu svjetlosti

Rezultati testiranja TSL2591 senzora prikazuju da se količina svjetlosti u sustavu poveća za 45 – 55 luxa kada se upali LED traka u odnosu na to kada ona nije upaljena, to se može primijetiti na slikama 4.20. i 4.21. A histogram na slici 4.22. prikazuje skup statističkih podataka dobivenih mjerenjima i njihovu učestalost.



Slika 4.23. Grafički prikaz očitanih vrijednosti sa senzora za pH vrijednost



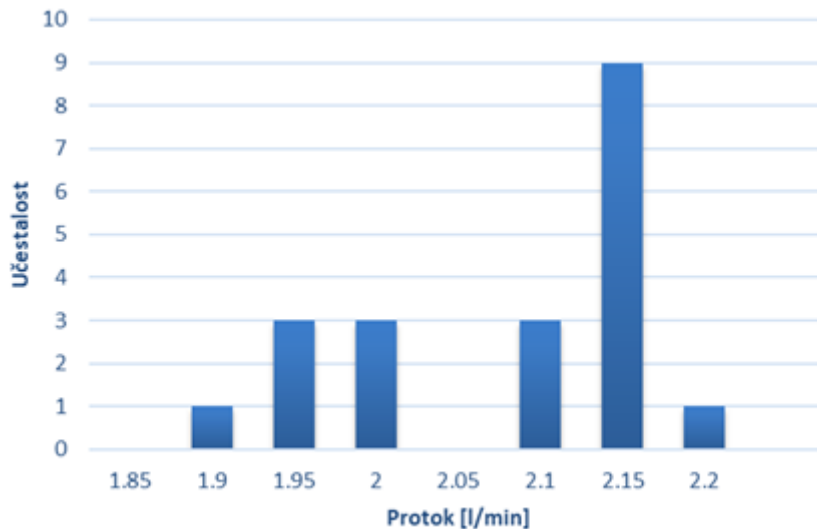
Slika 4.24. Histogram pH modula

Na slici 4.23. je prikazana konstantna vrijednost koja upućuje da je uređaj neispravan. Rezultat testiranja pH senzora govori da je potrebno uložiti u digitalni pH senzor koji je dugotrajniji, precizniji i lakši za održavanje.

Vrijednost senzora za protok YF-S401 [l/min]

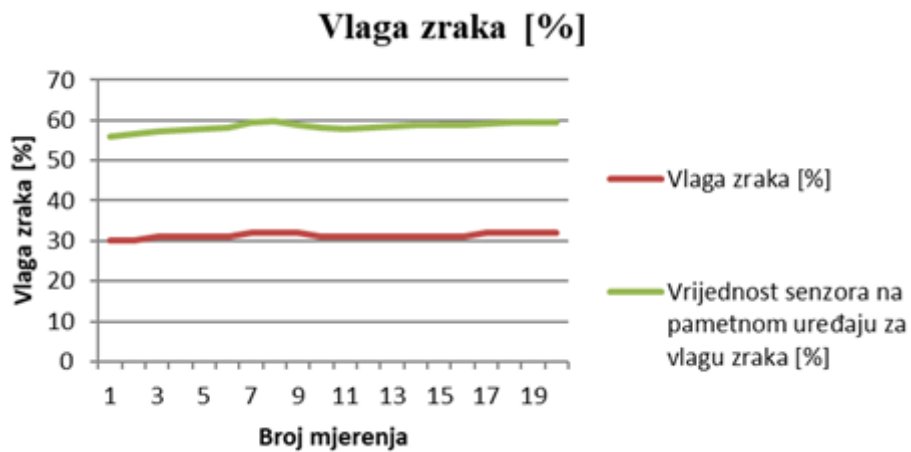


Slika 4.25. Grafički prikaz očitanih vrijednosti sa senzora YF-S401 za protok

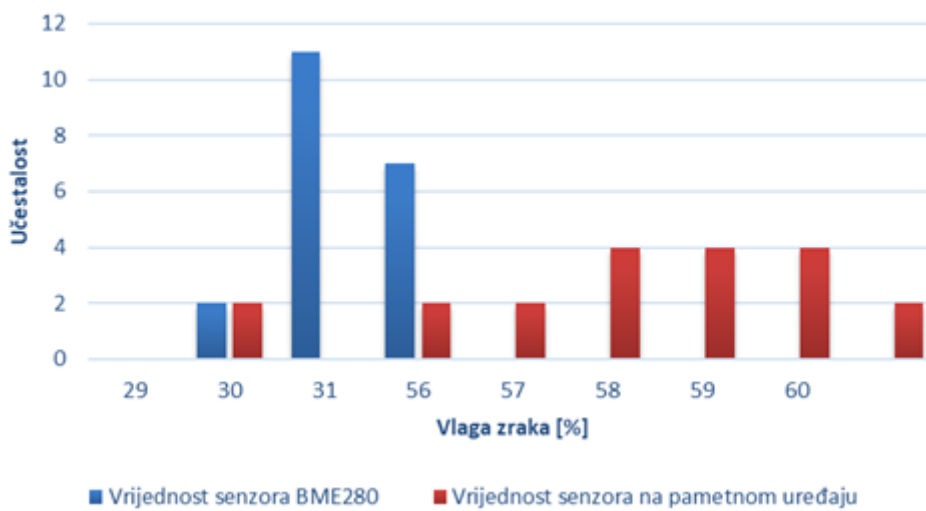


Slika 4.26. Histogram očitanih vrijednosti senzora YF-S401

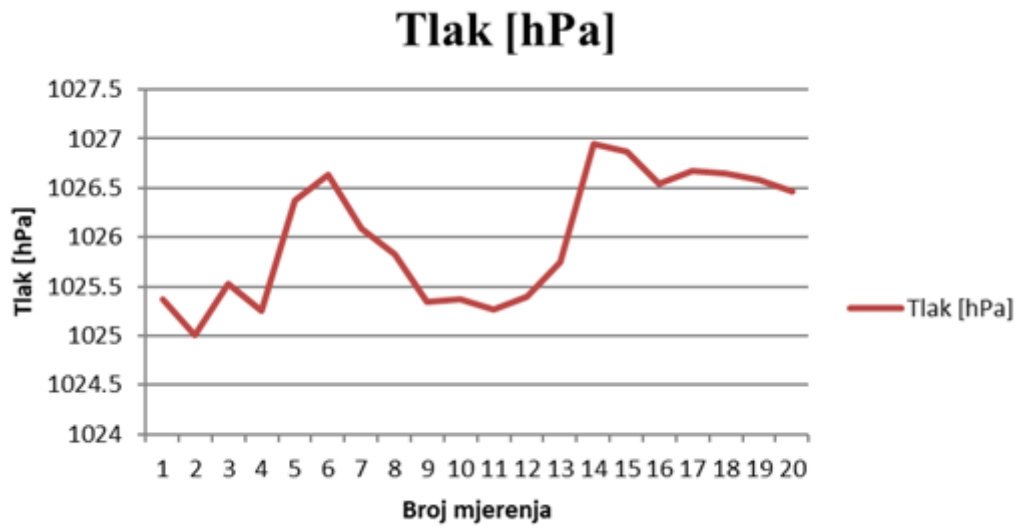
Grafički prikaz sa slike 4.25. vidljivo prikazuje da je postignuta projektirana vrijednost protoka u sustavu. Sa histograma na slici 4.26. se može primijetiti da je najčešća očitana vrijednost sa senzora 2.15 l/min, iako je ta vrijednost viša, ona je u prihvatljivom intervalu $\langle 1.85 - 2.2 \rangle$ [l/min].



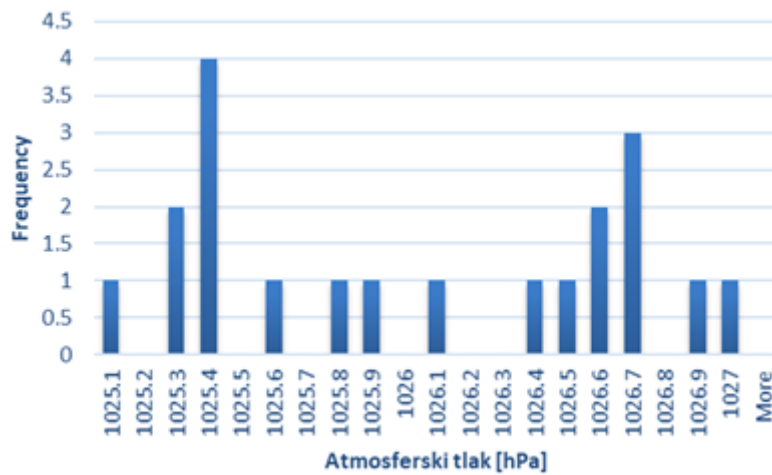
Slika 4.27. Grafički prikaz očitanih vrijednosti sa senzora BME-280 za vlagu zraka



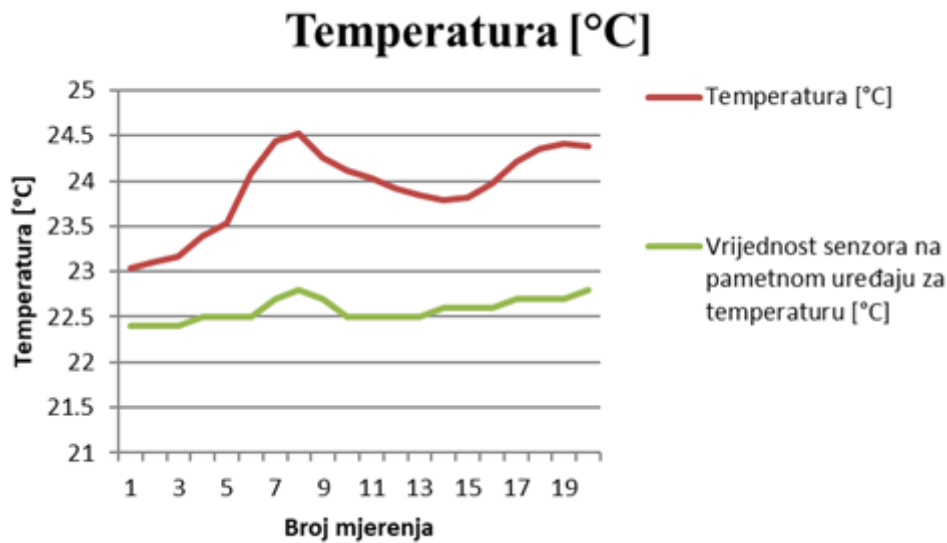
Slika 4.28. Histogram očitanih vrijednosti senzora BME-280 i pametnog uređaja



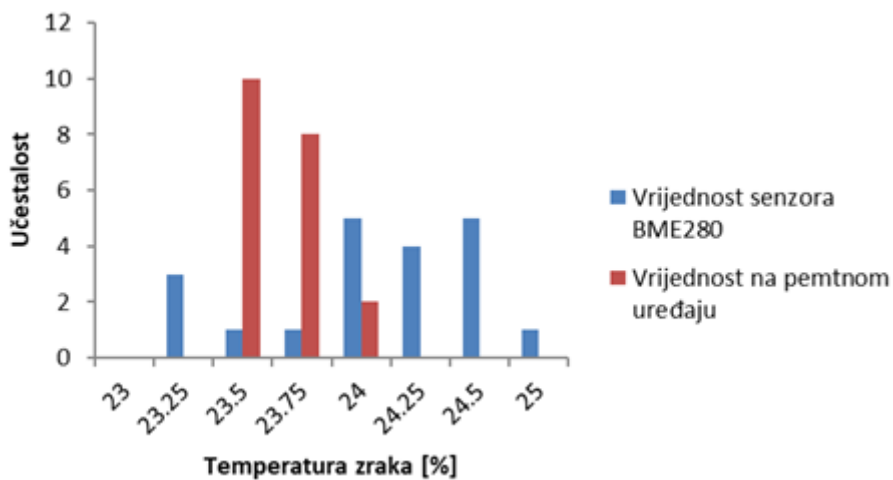
Slika 4.29. Grafički prikaz očitanih vrijednosti sa senzora BME-280 za atmosferski tlak



Slika 4.30. Histogram očitanih vrijednosti senzora BME-280



Slika 4.31. Grafički prikaz očitanih vrijednosti sa senzora BME-280 za temperaturu u sustavu



Slika 4.32. Histogram očitanih vrijednosti senzora BME-280 i pametnog uređaja

Rezultati mjerenja prikazuju da je senzor BME280 vrlo osjetljiv i dovoljno pouzdan za primjenu u hidroponskom sustavu. Vrijednosti vlage zraka očitane od BME-280 su znatno niže od vrijednosti senzora na pametnom uređaju, slika 4.27. i 4.28. Ovo može ukazivati na

problem s kalibracijom pametnog uređaja ili različitim referentnim točkama senzora. Daje pouzdane rezultate za atmosferski tlak s visokom osjetljivošću koja je prikazana slikama 4.29. i 4.30. Očitane vrijednosti za temperaturu zraka su zadovoljavajuće i zaključuje se dovoljna preciznost senzora i kalibracija. Na slikama 4.31. i 4.32. prikazane su očitane vrijednosti senzora koje se uspoređuju s onima na pametnom uređaju.

5. ZAKLJUČAK

Cilj je napraviti automatski sustav koji bi dozirao tekuće gnojivo u hidroponski sustav i pritom da je omogućeno udaljeno upravljanje putem aplikacije. Prije početka rada potrebno je uložiti vrijeme za proučavanje i pažljivo planiranje pri rješavanju postojećeg problema. U fazi planiranja i istraživanja predznanje s fakulteta je ubrzalo proces najviše kod usklađivanja i odabira komponenti. Greške prilikom izrade sustava za automatsko doziranje su rezultat manjka informacija i neznanja komponenti.

Poteškoća prilikom realizacije je bila usklađivanje rada pumpi s mikroupravljačem zbog male voltaže na kojoj djeluju pumpe. Najveći problem je bio ograničeni budžet te je bilo potrebno improvizirati. Kupnja najjeftinijih komponenti se pokazala funkcionalnom, ali za učinkoviti rad je potrebno nabaviti bolje pumpe koje rade na 5 volti i potrebni su senzori koje je moguće ostaviti cijelo vrijeme u vodi radi istinite automatizacije. Pri radu na sustavu dolazilo je do grešaka s cjelokupnom konstrukcijom, a neke komponente je bilo potrebno zamijeniti zbog lošeg rada.

Nakon provedenog testiranja sustav se prikazao modularan i funkcionalan što je prikazano rezultatima testiranja. Dugotrajne rezultate je najbolje provjeriti na način da se biljka stavi unutar hidroponskog sustava. Znanja i vještine koje su stečene na radu su praktična i služe za budućnost.

LITERATURA

- [1] - [Hidroponski uzgoj - Sve što trebate znati - vutropedija.com](#), pristup: 20.5.2024.
- [2] - [Hidroponski uzgoj biljaka - Vrtlarica.hr](#) pristup: 24.5.2024.
- [3] - [History of Hydroponics: When Was Hydroponics Invented? \(epicgardening.com\)](#) pristup: 25.5.2024.
- [4] - [John Woodward \(naturalist\) - Wikipedia](#) pristup: 27.5.2024.
- [5] - [A Brief Overview of the History Of Hydroponics | Garden Culture Magazine](#) pristup: 30.5.2024.
- [6] - [Gericke and Hydroponics \(carbon.org\)](#) pristup: 2.6.2024.
- [7] - [Kako funkcioniraju peristaltičke pumpe? ►►Objašnjenje načela rada | verderliquids - Verder Liquids](#) pristup: 5.5.2024.
- [8] - [Kupi Joy-it SBC-NodeMCU-ESP32 razvojna tiskana pločica Node MCU ESP32 Modul \(conrad.hr\)](#) pristup: 2.1. 2024.
- [9] - https://a.aliexpress.com/_EQdjlVl pristup: 2.1.2024.
- [10] - https://a.aliexpress.com/_EvsJ0nx pristup: 2.1.2024.
- [11] - [TSL2591 IIC I2C Light Sensor Breakout Module High Dynamic Range Digital Board TSL25911FN 3.3V 5V Diy Electronic - AliExpress 502](#) pristup: 4.1.2024.
- [12] - [Enviromental sensor BME280 breakout](#) pristup: 3.1.2024.

[13] - [Mini water pump](#) pristup: 3.1.2024.

[14] - [LED traka RGB+3000K, 60x5050 LED/m, samoljepiva, IP20, 1 metar - chipoteka.hr](#) pristup: 8.1.2024.

[15] - [Water Flow Sensor 0.3-6L/Min Switch Meter Flowmeter Counter Sensor Water Control 1/4" 1.75MPa DIY Kit - AliExpress 1420](#) pristup: 3.1.2024.

SAŽETAK

Naslov: Automatizirano upravljanje doziranjem tekućeg hranjiva u hidroponskom uzgoju bilja

U ovome radu je prikazan svaki postupak koji je bio potreban za izradu sustava za automatsko doziranje uključujući planiranje i istraživanje. Opisan je postupak izrade i način funkcioniranja. Bilo je potrebno da se napravi vodootporna kutija u kojoj se nalazi hidroponski sustav sa sustavom za automatsko doziranje tekućeg gnojiva. Kada se izgradio prototip kutije, sve komponente su se spojile na mikroupravljač ESP32 preko kojeg se izvršava upravljanje cjelokupnog sustava. Mikroupravljač ima omogućeno upravljanje putem aplikacije Blynk preko ugrađenog Wi-Fi modula. Na kraju rada su prikazani rezultati kratkoročnog testiranja, pouzdanost, izgled sustava i objašnjene su poteškoće te su predložena poboljšanja.

Ključne riječi: ESP32, ESP 32, hidroponski sustav, automatski sustav za doziranje, doziranje, hidroponija, Blynk

SUMMARY

Title: An automated system for liquid fertilizer dosage in hydroponic plant growing

In this paper, procedure of automated system for liquid fertilizer dosage is shown, including planning and research stages. Entire procedure of construction and operation is shown and explained. First of all, it was necessary to build waterproof structure for hydroponic system, when this was done all components were connected to ESP32 microcontroller, which is used to control whole system. This particular microcontroller is Wi-Fi compatible and controlling over Blynk application was possible. At the end of the paper results of short term testing and reliability were shown. Final layout of the machine is shown, difficulties were explained and improvements were suggested.

Key words: ESP32, ESP 32, hydroponic system, automated dosage system, dosage, hydroponics, Blynk

PRILOG

P1. "Kod za upravljanje"

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_TSL2591.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <Arduino.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <WiFi.h>
#include <NTPClient.h>
#include <WiFiUdp.h>

#define BLYNK_FIRMWARE_VERSION      "0.1.0"
#define BLYNK_PRINT Serial
// #define BLYNK_DEBUG

#define APP_DEBUG
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4gJmG0-hz"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "HIDROPONIJA"

const char* ssid = "TCHE1QA8FS"; // da esp zna prepoznati internet
const char* password = "9r4kwHPpACr24k6wPU";

WiFiUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP, "0.hr.pool.ntp.org", 7200, 60000); // Adjust
timezone offset as needed

Adafruit_TSL2591 tsl = Adafruit_TSL2591(2591); // za svjetlo
Adafruit_BME280 bme; // veliki

// Pin definition
#define FLOW_SENSOR_PIN 14
#define ONE_WIRE_BUS 4 // biblioteka za vodotporni senzor temp
// Define RGB LED pins
#define RED_PIN 2
#define GREEN_PIN 5
#define BLUE_PIN 12
// Define relay pins
#define RELAY_PUMP2 13
#define PUMP_PIN 4
```

```

// Flow sensor variables
volatile byte pulseCount;
float flowRate;
unsigned int flowMilliLitres;
unsigned long totalMilliLitres;
unsigned long oldTime;

// Calibration factor for the YF-S401 sensor //kalibracija senzora protoka
const float calibrationFactor = 7.5;
void IRAM_ATTR pulseCounter() {
    pulseCount++;
}

// Calibration values for pH sensor
const int pHSensorPin = 32; // Pin where the sensor is connected
float pHValue = 0.0;
float voltage = 0.0;
float pH = 0.0;

// Create instances for OneWire and DallasTemperature
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// setting PWM properties
const int freq = 50000;
const int resolution = 10;
// Uncomment your board, or configure a custom board in Settings.h
//#define USE_ESP32_DEV_MODULE
//#define USE_ESP32C3_DEV_MODULE
//#define USE_ESP32S2_DEV_KIT
//#define USE_WROVER_BOARD
//#define USE_TTGO_T7
//#define USE_TTGO_T_OI

#include "BlynkEdgent.h"
BlynkTimer timer;

unsigned long relayOnTime = 60000; // 1 minute in milliseconds
unsigned long relayOffTime = 60000; // 1 minute in milliseconds
unsigned long previousMillis = 0;
bool relayState = LOW;

void function(){

```

```

unsigned long currentMillis = millis();
//Read Light sensor

uint16_t x = tsl.getLuminosity(TSL2591_VISIBLE);
Blynk.virtualWrite(V21,x);

// Read temperature, humidity, and pressure
float temperature = bme.readTemperature();
float humidity = bme.readHumidity();
float pressure = bme.readPressure() / 100.0F; // Convert to hPa

Blynk.virtualWrite(V2, temperature);
Blynk.virtualWrite(V3, humidity);
Blynk.virtualWrite(V4, pressure);

// Print the values to the Serial Monitor
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(temperature);
Serial.println(" °C");

Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(humidity);
Serial.println(" %");

Serial.print("Pressure: ");
Serial.print(pressure);
Serial.println(" hPa");

delay(3000);

//FLOW SENSOR
if ((millis() - oldTime) > 1000) { // Only process counters once per
second
detachInterrupt(FLOW_SENSOR_PIN);

// Calculate the flow rate in litres/minute
flowRate = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) /
calibrationFactor;
oldTime = millis();

// Convert flow rate to millilitres/second

```

```

flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;

// Add the millilitres passed in this second to the cumulative total
totalMilliLitres += flowMilliLitres;

// Print the flow rate and total volume
Serial.print("Flow rate: ");
Serial.print(flowRate);
Blynk.virtualWrite(V6, flowRate);
Serial.print(" L/min\t");

Serial.print("Output Liquid Quantity: "); //volumen vode0
Serial.print(totalMilliLitres);
Serial.print(" mL / ");
Serial.print(totalMilliLitres / 1000);
Serial.println(" L");

// Reset the pulse counter
pulseCount = 0;

// Reattach the interrupt
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(FLOW_SENSOR_PIN), pulseCounter,
FALLING);
}

//pH sensor values
pHValue = analogRead(pHSensorPin);
//Serial.print(pHValue);
voltage = pHValue * (3.3/4096); // Convert the analog reading to voltage
Serial.print("Voltage Value: ");
Serial.println(voltage);

pH = 4.12 * voltage; // Example conversion formula, adjust based on
calibration

Blynk.virtualWrite(V5, pH);
Serial.print("pH Value: ");
Serial.println(pH);

//Water Temp sensor
sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures

```



```

float tempC = sensors.getTempCByIndex(0); // Read temperature in Celsius
float tempF = tempC * 9.0 / 5.0 + 32.0; // Convert Celsius to Fahrenheit

// Print the temperature values to the Serial Monitor
Serial.print("Temperature 2: ");
Blynk.virtualWrite(V0, tempC);
Serial.print(tempC);
Serial.print(" °C / ");

timeClient.update();

// Get current time
Serial.print("Current time: ");
Serial.print(timeClient.getHours());
Serial.print(":");
Serial.print(timeClient.getMinutes());
Serial.println();
}

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  delay(100);

  if (tsl.begin()) {
    Serial.println("Found a TSL2591 sensor");
  } else {
    Serial.println("No sensor found ... check your wiring?");
    while (1); // nist bitno
  }
  tsl.setGain(TSL2591_GAIN_MED);
  tsl.setTiming(TSL2591_INTEGRATIONTIME_100MS); // koliko cesto daje
informaciju

//BME280 TEMPERAUTE, HUMIDITY sensor

  while (!Serial); // Wait for serial port to be available
//trazi senzor
// Initialize the BME280 sensor
if (!bme.begin(0x76)) { // Address 0x76 is the default for BME280
  Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor, check wiring!");
}

```

```

    while (1);
}

// Initialize the flow sensor pin
pinMode(FLOW_SENSOR_PIN, INPUT_PULLUP);
pulseCount = 0;
flowRate = 0.0;
flowMilliLitres = 0;
totalMilliLitres = 0;
oldTime = millis();
pinMode(BLUE_PIN, OUTPUT);
pinMode(RED_PIN, OUTPUT);
pinMode(GREEN_PIN, OUTPUT);
//pH sensor initialisation
pinMode(pHSensorPin, INPUT);

sensors.begin();

// configure LED PWM
ledcAttach(BLUE_PIN, freq, resolution);
ledcAttachChannel(BLUE_PIN, freq, resolution, 0);
ledcAttach(RED_PIN, freq, resolution);
ledcAttachChannel(RED_PIN, freq, resolution, 0);
ledcAttach(GREEN_PIN, freq, resolution);
ledcAttachChannel(GREEN_PIN, freq, resolution, 0);

Serial.print("Connecting to ");
Serial.println(ssid);
WiFi.begin(ssid, password);

// Initialize NTP client
timeClient.begin();
// Set timezone to Central European Time (CET/CEST)
//setenv("TZ", "CET-1CEST,M3.5.0/2,M10.5.0/3", 1);
//tzset();

// Initialize the pump pin as an output
pinMode(PUMP_PIN, OUTPUT);

// Turn on the pump
digitalWrite(PUMP_PIN, HIGH); // Assuming HIGH turns the pump on

```

```
BlynkEdgent.begin();  
  timer.setInterval(5000L, function);  
}  
  
void loop() {  
  BlynkEdgent.run();  
  timer.run();  
}
```