

ŠOLSKI CENTER CELJE



Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

Raziskovalna naloga

IZDELAVA PAMETNEGA HIDROPONSKEGA SISTEMA

Področje: elektrotehnika, elektronika in robotika

Avtorji:

Matic PETELINŠEK, M-1.i

Hann NAPRET, M-1.i

Aljaž STEBLE, M-1.i

Mentorja:

Luka HLADIN, dipl. inž. str (VS)

Žan ROTOVNIK, dipl. inž. meh (UN)

Celje, februar 2026

IZJAVA

Mentor Luka Hladin v skladu z 21. členom Pravilnika o organizaciji mladinske raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, izjavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom IZDELAVA PAMETNEGA HIDROPONSKEGA SISTEMA, katere avtorji so: Hann Napret, Matic Petelinšek in Aljaž Steble.

- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo pri pripravi raziskovalne naloge upoštevali etična načela in smernice v skladu z veljavnimi pravnimi akti raziskovalnega področja,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje 7. 4. 2026



Podpis avtorja-jev:

Hann Napret, Matic Petelinšek, Aljaž Steble

Podpis mentorja – jev:

Luka Hladin

Podpis odgovorne osebe:

POJASNILO

V skladu z 21. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja (-ice), avtorja (-rjev) in odgovorne osebe šole vključiti v končno verzijo raziskovalne naloge, dovoljenje za objavo avtorja (-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.

PAMETNI HIDROPONSKI SISTEM

Ključne besede: hidroponika, pametni sistem, avtomatizacija, senzorji, krmiljenje, telemetrija

POVZETEK

V sodobnem času se vse bolj soočamo z izzivi trajnostne pridelave hrane in učinkovite rabe naravnih virov. Hidroponika omogoča gojenje rastlin brez zemlje z natančnim nadzorom hranilne raztopine. V tej raziskovalni nalogi je predstavljena zasnova nizkonapetostnega (12 V DC) pametnega hidroponskega sistema, namenjenega neprekinjenemu delovanju in avtomatskemu nadzoru ključnih parametrov. Sistem temelji na mikrokrmilniku Arduino UNO R3, ki izvaja merjenje senzorjev, obdelavo podatkov in krmiljenje izhodnih členov prek 4-kanalnega rele modula.

Nadzor gladine vode je izveden z ultrazvočnim senzorjem HC-SR04 in elektromagnetnim ventilom: ventil se aktivira, ko je gladina prenizka (razdalja do vode ≥ 27 cm), in se izklopi po doseženem maksimumu (≤ 10 cm), pri čemer histereza preprečuje pogosto preklapljanje. Kemijske in fizikalne parametre raztopine/medija (temperatura, vlaga, EC, pH in NPK) sistem pridobiva s kombiniranim senzorjem Halisense 7-in-1 z izhodom RS485 (Modbus RTU). pH vrednosti so podane s faktorjem $\times 100$ (npr. 510 pomeni pH 5,10). Doziranje gnojila in pH korektorja je izvedeno impulzno z dvema peristaltičnima črpalkama, po vsakem doziranju pa sledi čas mešanja z 12-V potopno črpalko, kar izboljša stabilizacijo meritev in zmanjšuje prenastavitve. Dodatno sistem spremlja temperaturo in vlažnost zraka (DHT22), vlago medija (kapacitivni senzor) ter svetlobne razmere (fotocelica) za prilagoditev delovanja potopne črpalke v režimu dan/noč.

Posebna pozornost je namenjena varnosti in zanesljivosti: galvanska ločitev preko relejev, skupna masa napajanj, omejitve časa polnjenja/doziranja ter postopki kalibracije (gladina, vlaga medija, merilne skale RS485 senzorja). Predlagan je tudi eksperimentalni načrt za vrednotenje stabilnosti pH/EC, odzivnih časov polnjenja in zanesljivosti delovanja sistema.

SMART HYDROPONIC SYSTEM

Keywords: hydroponics, smart system, automation, sensors, control, telemetry

ABSTRACT

In modern times, we increasingly face challenges related to sustainable food production and efficient use of natural resources. Hydroponics enables plant cultivation without soil while allowing precise control of the nutrient solution. This research project presents the design of a low-voltage (12 V DC) smart hydroponic system intended for continuous operation and automatic control of key parameters. The system is based on an Arduino UNO R3 microcontroller, which performs sensor measurements, data processing, and actuator control via a 4-channel relay module.

Water level control is implemented using an HC-SR04 ultrasonic sensor and an electromagnetic valve: the valve activates when the water level is low (distance to the water surface ≥ 27 cm) and turns off after reaching the upper threshold (≤ 10 cm), while hysteresis prevents frequent switching. Chemical and physical parameters of the solution/growing medium (temperature, moisture, EC, pH, and NPK) are acquired using a Halisense 7-in-1 sensor with RS485 (Modbus RTU) output. The pH value is provided with a x100 scaling factor (e.g., 510 corresponds to pH 5.10). Nutrient dosing and pH correction are performed in pulses using two peristaltic pumps; after each dosing event, a 12-V submersible pump is used for mixing, improving measurement stabilization and reducing overshoot. In addition, the system monitors air temperature and humidity (DHT22), growing medium moisture (capacitive sensor), and light conditions (photoresistor) to adapt submersible pump operation in a day.

Special attention is given to safety and reliability: galvanic isolation through relays, a common ground reference across power domains, time limits for filling and dosing, and calibration procedures (water level thresholds, moisture calibration, and RS485 sensor scaling). An experimental plan is also proposed to evaluate pH/EC stability, filling response times, and overall system reliability.

KAZALO

KAZALO VSEBINE

PAMETNI HIDROPONSKI SISTEM	3
POVZETEK	3
SMART HYDROPONIC SYSTEM	4
ABSTRACT	4
KAZALO.....	5
kazalo vsebine.....	5
kazalo slik.....	7
1 UVOD.....	8
1.1 Namen naloge	8
1.2 Struktura raziskovalnega dela.....	8
2 Hipoteze in sistemske veličine	9
2.1 Hipoteze.....	9
2.2 Vhodne, izhodne in motilne veličine.....	9
3 Teoretična izhodišča hidroponike.....	10
3.1 pH, EC in NPK	10
Tabela 1: Smernice EC glede na fazo rasti.....	10
3.2 Raztopljeni kisik in temperatura.....	10
3.3 Alge in preprečevanje.....	10
3.4 Primerjava medijev.....	11
Tabela 2: Primerjalna tabela medijev	11
4 Materiali in metode.....	12
4.1 Arhitektura krmiljenja	12
4.2 Razširjeni opisi komponent	12
4.2.12 NodeMCU ESP8266	12
4.2.2 pH sonda in merilni modul	13

4.2.3 NPK senzor (meritev hranil).....	13
4.2.4 Senzor DHT22 (temperatura in relativna vlaga)	14
4.2.5 Fotocelica / LDR	15
4.2.6 Ultrazvočni senzor nivoja.....	16
4.2.7 Relejni modul	16
4.2.8 Potopna črpalka 12 V / 10 W.....	17
4.2.9 Elektromagnetni ventil 12 V, 1/2" (NC).....	18
4.2.10 Peristaltične črpalke.....	18
4.2.11 Mehanski deli, cevi, filtri, 3D tisk.....	19
.....	19
4.2.12 NodeMCU ESP8266	20
4.3 Napajanje in električna varnost	20
4.3.1 Fritzing shema vezave prototipa.....	21
4.4 Komunikacija in povezava sistema	22
4.4.1 Dodelitev priključkov po Fritzing shemi.....	22
4.5 Krmilni algoritmi.....	23
4.6 Programska struktura.....	23
4.7 Kalibracija senzorjev	24
4.8 Mehanska izvedba	24
5 Opis delovanja sistema	25
5.1 Vzdrževanje nivoja.....	25
5.2 Regulacija pH	25
5.3 Regulacija koncentracije hranil	25
5.4 Cirkulacija/zalivanje in osvetlitev	25
6 Postopek izdelave prototipa.....	26
6.1 Mehanska izdelava	26
6.2 Električna sestava in vezava.....	26

6.3 Programiranje in testiranje	26
7 Stroški in okvirni proračun	27
Tabela 3: Okvirni proračun.....	27
8 Razprava	28
8.1 ZAPLETI IN REŠITVE	28
9 Zaključek	30
Viri in literatura	32
Priloge.....	33
Priloga A: Predlagana razporeditev priključkov (primer)	33
Tabela A1: priporočena razporeditev priključkov (primer).	33
Priloga B: UART ukazi in varnost	33
Tabela B1: Primeri ročnih ukazov	34
.....	35

KAZALO SLIK

1. slika NodeMCU ESP8266.....	13
2. slika NPK+EC+PH+TH sensor	14
3.slika DHT22 senzor	15
4. slika Fotocelica/LDR.....	15
5. slika Ultrazvočni sensor.....	16
6. slika Relejni modul.....	17
7. slika Potopna črpalka 12V/10W	17
8. slika Elektromagnetni ventil 12V	18
9. slika Peristatična črpalka	19
10. slika: Hidroponski stolp.....	19
11. slika Napajalnik 220V-12V	21
12. slika Fritzing vezava prototipa	22

1 UVOD

Hidroponika je tehnika gojenja rastlin brez zemlje, kjer so hranila dostavljena v vodni raztopini. Za stabilno rast je potrebno vzdrževati ustrezno kislost (pH) in koncentracijo hranil v raztopini. V praksi se koncentracija pogosto ocenjuje z električno prevodnostjo (EC), v tej zasnovi pa je predvidena tudi neposrednejša ocena s senzorjem NPK. Pri manjših sistemih lahko parametri hitro nihajo zaradi izhlapevanja, porabe hranil in dolivanja vode, zato je ročno vzdrževanje zamudno in nagnjeno k napakam. Cilj raziskovalne naloge je načrtovati in izdelati cenovno dostopen sistem, ki avtomatsko meri ključne parameter in krmili aktuatorje.

1.1 NAMEN NALOGE

Osnovni namen naloge je preučiti obstoječe pametne hidroponske sisteme in zasnovati izboljšano, cenovno dostopno rešitev z mehatroničnim pristopom. Sistem je zasnovan kot kombinacija mehanskih, električnih in programskih komponent, zato je ključna pravilna integracija ter varna ločitev elektronike od vode in vlage.

1.2 STRUKTURA RAZISKOVALNEGA DELA

V prvem delu naloge predstavimo teoretična izhodišča našega projekta ter pregledamo obstoječe rešitve na področju hidroponskih sistemov. Nato opišemo zasnovo sistema, pri čemer določimo njegove vhodne, izhodne in motilne veličine. V nadaljevanju podrobneje predstavimo posamezne komponente, ki smo jih uporabili pri izdelavi prototipa, ter utemeljimo njihovo izbiro glede na namen in zahteve sistema. Posebej opišemo tudi vezavo elementov, način napajanja, varnostne vidike ter komunikacijo med krmilnimi enotami. Sledi predstavitev krmilnih algoritmov, postopka izdelave sistema in kalibracije senzorjev. V zaključnem delu naloge predstavimo eksperimentalni načrt, ocenimo stroške izdelave ter podamo sklep, v katerem ovrednotimo postavljene hipoteze in ugotovitve raziskave.

2 HIPOTEZE IN SISTEMSKE VELIČINE

2.1 HIPOTEZE

V tem poglavju so obravnavane hipoteze:

- H1: Pametni hidroponski sistem bo omogočal stabilne pogoje rasti in boljše pogoje v primerjavi s klasičnim gojenjem v zemlji.
- H2: Skupni stroški izdelave prototipa (vključno z materialom za 3D tisk) ne bodo presegli 400 €.
- H3: Avtomatiziran nadzor bo omogočal neprekinjeno delovanje sistema vsaj 24 ur brez ročnega posega.
- H4: Natančen nadzor oziroma pravočasna korekcija svetlobe (indikator), hranil (NPK) in pH pozitivno vpliva na stabilnost pogojev rasti ter hitrost rasti rastlin.

2.2 VHODNE, IZHODNE IN MOTILNE VELIČINE

Vhodne veličine: pH, NPK (koncentracija hranil), temperatura in relativna vlažnost zraka (DHT22), svetlobni nivo (fotocelica/LDR), vlaga substrata/medija (soil moisture), nivo vode (ultrazvok). Izhodne veličine: peristaltične črpalke (NPK, pH), potopna črpalka, elektromagnetni ventil ter obveščanje oskrbnika. Motilne veličine: izpadi električne energije, spremembe zunanje temperature in vlage, spremembe osvetlitve, izhlapevanje, prisotnost hranil in organskih nečistoč (zamašitve filtrov) ter odstopanja merilnih sond.

3 TEORETIČNA IZHODIŠČA HIDROPONIKE

3.1 PH, EC IN NPK

pH vpliva na dostopnost hranil in praviloma mora ostati v območju približno 5.5 do 6.5. Električna prevodnost (EC) predstavlja praktičen indikator skupne koncentracije raztopljenih ionskih soli v hranilni raztopini in je v hidroponiki pogosto osnovni parameter za regulacijo. V našem prototipu uporabljamo tudi senzor NPK, ki omogoča neposrednejšo (vendar praviloma manj natančno) oceno makrohranil. Zaradi šuma in odvisnosti od pogojev (temperatura, mešanje, usedline) se NPK uporablja predvsem za spremljanje in grobo korekcijo, medtem ko je EC primeren za natančnejšo regulacijo, če je na voljo.

TABELA 1: SMERNICE EC GLEDE NA FAZO RASTI

Faza	Priporočena EC (mS/cm)
Sadike / razmnoževanje	0.8–1.2
Vegetativna rast	1.2–2.0
Cvetenje / plodovi	1.6–2.4

3.2 RAZTOPLJENI KISIK IN TEMPERATURA

Korenine potrebujejo raztopljeni kisik za dihanje. Pri višjih temperaturah vode se topnost kisika zmanjša, zato je priporočljivo vzdrževati temperaturo raztopine približno 18–22 °C. Zračenje rezervoarja (zračna črpalka) ter ustrezna recirkulacija zmanjšata tveganje za gnitje korenin in bolezni.

3.3 ALGE IN PREPREČEVANJE

Alge nastajajo tam, kjer sta prisotni svetloba in hranila (rezervoar, cevi, medij). Majhne količine niso nujno kritične, vendar lahko povzročijo zamašitve, porabo kisika in povečajo tveganje za patogene. Najpomembnejši ukrep je zatemnitev rezervoarja in cevi; dodatno pomagajo filtracija, dober pretok ter redno čiščenje in menjava raztopine.

3.4 PRIMERJAVA MEDIJEV

TABELA 2: PRIMERJALNA TABELA MEDIJEV

Medij	Prednosti	Slabosti
LECA (glinene kroglice)	Dobra aeracija; večkratna uporaba; lahke	Manj zadržujejo vodo; potrebno izpiranje pred uporabo
Kokosova vlakna (coco coir)	Dobra zadržnost vode; naravno; cenovno	Lahko vpliva na pH; potreben nadzor EC in izpiranje
Rockwool (kamena volna)	Odličen start sadik; stabilna vlaga	Manj okolju prijazen; potreben nadzor pH

4 MATERIALI IN METODE

4.1 ARHITEKTURA KRMILJENJA

Arhitektura sistema temelji na krmilniku Arduino UNO, ki je osrednji del našega hidroponskega sistema. Njegova naloga je, da bere podatke s senzorjev, izvaja program in upravlja releje ter druge izhodne elemente. Na osnovi izmerjenih vrednosti sistem nadzoruje delovanje posameznih komponent in omogoča samodejno delovanje hidroponike. Takšna zasnova je preprosta, pregledna in primerna za izdelavo prototipa, saj so vse glavne naloge združene v eni napravi. Prednost takšne izvedbe je tudi v tem, da je sistem lažje sestaviti, preizkusiti in po potrebi popraviti ali nadgraditi.

4.2 RAZŠIRJENI OPISI KOMPONENT

4.2.12 NODEMCU ESP8266

NodeMCU je razvojna plošča, ki temelji na mikrokontrolerju ESP8266. Gre za zelo priljubljeno platformo za projekte interneta stvari (IoT), saj ima vgrajen WiFi modul, ki omogoča neposredno povezavo z brezžičnim omrežjem. To pomeni, da lahko naprava pošilja podatke na internet ali sprejema ukaze iz mobilne aplikacije brez dodatne strojne opreme.

Plošča vsebuje več digitalnih vhodov in izhodov, en analogni vhod, ter podporo za različne komunikacijske protokole, kot so UART, SPI in I2C. Zaradi teh lastnosti lahko na NodeMCU priključimo različne senzorje in aktuatorje, kot so releji, črpalke ali ventili.

NodeMCU se programira v okolju Arduino IDE, kar omogoča enostavno pisanje programov in uporabo številnih knjižnic za senzorje. V našem projektu NodeMCU deluje kot glavni krmilnik sistema, ki bere podatke iz senzorjev in na podlagi teh podatkov krmili delovanje črpalk in ventilov. Poleg tega skrbi za komunikacijo z mobilno aplikacijo Blynk preko WiFi povezave.



1. slika NodeMCU ESP8266

(Vir: osebni vir)

4.2.2 PH SONDA IN MERILNI MODUL

pH sonda meri kislost hranilne raztopine, ki vpliva na dostopnost makro- in mikrohranil. Tipične pH sonde ustvarijo majhen analogni signal, zato se uporabi merilni modul z ojačanjem in filtriranjem. Odvisno od izbranega modula je izhod lahko analogen ali digitalen (UART/digitalni izhod); v prikazani vezavi je signal pH merilnega modula priključen na digitalni pin D8. Zaradi odstopanja sonde je obvezna redna kalibracija (vsaj dvotočkovna: pH 4.00 in pH 7.00). Koeficienti kalibracije se lahko shranijo v EEPROM, kar omogoča kalibracijo brez spremembe programske kode.

4.2.3 NPK SENZOR (MERITEV HRANIL)

NPK senzor je namenjen oceni koncentracije makrohranil (dušik N, fosfor P in kalij K) v hranilni raztopini ali v vlažnem mediju. Ker so komercialno dostopni moduli različnih izvedb (analogni izhod, UART/RS485, digitalni protokoli), je način priklopa odvisen od izbranega modela; v prikazani vezavi je signal senzorja priključen na digitalni pin D9. Tipična omejitev NPK senzorjev je večja občutljivost na motnje, temperaturo in usedline,

zato se v prototipu uporablja predvsem za spremljanje trendov in za alarmiranje (prenizka/previsoka vrednost), impulzno doziranje hranil A/B pa poteka z vmesnimi časi mešanja in ponovnim merjenjem.



2. slika NPK+EC+PH+TH sensor

(Vir: https://ae-pic-a1.aliexpress-media.com/kf/Sdf671db95ee54e1c8533d1be350e4a8bP.jpg?has_lang=1&ver=2_220x220q75.jpg_.avif)

4.2.4 SENZOR DHT22 (TEMPERATURA IN RELATIVNA VLAGA)

DHT22 (AM2302) je digitalni senzor, ki meri temperaturo zraka in relativno vlažnost. V hidroponičnem okolju sta oba parametra pomembna, ker vplivata na izhlapevanje, porabo vode in pojav plesni. Senzor uporablja enovodni digitalni protokol in je v prikazani vezavi povezan na digitalni pin D2 (DATA); za zanesljiv prenos se uporablja pull-up upor (tipično 4.7–10 k Ω). Senzor praviloma ne zahteva kompleksne kalibracije, priporočljivo pa je primerjanje z referenčnim termometrom/higrometrom in nastavitvev toleranc v programski logiki.



3.slika DHT22 senzor

(Vir: https://opendomotech.com/wp-content/uploads/2018/04/04_46_large.jpg)

4.2.5 FOTOCELICA / LDR

LDR (light dependent resistor) je preprost analogni senzor svetlobe, uporaben za določitev stanja svetlo/temno. LDR je vezan v napetostni delilnik, analogno napetost pa bere Arduino. Ker absolutna osvetlitev ni nujna, se prag svetlo/temno določi eksperimentalno v dejanskem okolju postavitve.



4. slika Fotocelica/LDR

(Vir:

<https://www.bing.com/th/id/OIP.ost7vfdqCKbxQZojgDiluQHaha?w=188&h=188&c=8&rs=1&qit=90&o=6&dpr=1.3&pid=3.1&rm=2>)

4.2.6 ULTRAZVOČNI SENZOR NIVOJA

Ultrazvočni senzor meri razdaljo do gladine v rezervoarju in s tem posredno nivo vode. Senzor pošlje zvočni impulz in meri čas do odboja. Zaradi pene, kondenzacije ali valovanja so možne motnje, zato je priporočeno povprečenje več meritev in mehanska zaščita senzorja. Nivo se krmili s histerezo (MIN_LEVEL in MAX_LEVEL), kar prepreči pogosto preklapljanje ventila.



5. slika Ultrazvočni senzor

(Vir:

https://www.bing.com/th/id/OIP.FO8XDckZa8vf1Y_71iePaAHaHa?w=188&h=188&c=8&rs=1&q=90&o=6&dpr=1.3&pid=3.1&rm=2)

4.2.7 RELEJNI MODUL

Relejni modul omogoča varno krmiljenje 12 V bremen v vlažnem okolju. Optospojniki zagotavljajo galvansko ločitev med krmilno elektroniko (5 V) in aktuatorji. JD-VCC omogoča ločeno napajanje tuljav relejev, kar zmanjša vpliv preklopnih tokov na občutljive analogne meritve pH/NPK. Priporočena je konfiguracija »fail-safe«, kjer so releji v privzetem stanju izključeni (OFF).



6. slika Relejni modul

(Vir:

<https://www.bing.com/th/id/OIP.MUxZCglm22R4RJhaFkUPGAHaFq?w=188&h=144&c=8&rs=1&qlt=90&o=6&dpr=1.3&pid=3.1&rm=2>)

4.2.8 POTOPNA ČRPALKA 12 V / 10 W

Potopna črpalka služi za recirkulacijo ali zalivanje. Zagotavlja pretok hranilne raztopine skozi sistem in pomaga pri mešanju po doziranju. Ker deluje v vodi, je nujna uporaba filtrov in redno čiščenje rotorja, da se preprečijo zamažitve in upad pretoka.



7. slika Potopna črpalka 12V/10W

(Vir:

https://www.bing.com/th/id/OIP.D5NL_vldlyFllrZsIGpNnAAAAA?w=188&h=186&c=8&rs=1&qlt=90&o=6&dpr=1.3&pid=3.1&rm=2)

4.2.9 ELEKTROMAGNETNI VENTIL 12 V, 1/2" (NC)

Elektromagnetni ventil (normally closed) se uporablja za dolivanje vode v rezervoar. NC izvedba je varna, saj se ventil ob izpadu napajanja zapre. Ventil je krmiljen prek releja in deluje v kombinaciji z merjenjem nivoja ter histerezo, s čimer se zagotovi stabilen nivo raztopine.



8. slika Elektromagnetni ventil 12V

(Vir:

<https://www.bing.com/th/id/OIP.p2VL64swOoxmQjFBzcyLtAHaHa?w=188&h=188&c=8&rs=1&q=90&oe=6&dpr=1.3&pid=3.1&rm=2>)

4.2.10 PERISTALTIČNE ČRPALKE

Peristaltične črpalke se uporabljajo za doziranje gnojil A in B ter pH korektorja. Prednost peristaltike je, da tekočina teče po cevi in ne pride v stik z mehaniko črpalke. Doziranje je zasnovano impulzno (kratki vklopi), med katerimi je obvezen čas mešanja, da se preprečijo prenavstitve pH/NPK.



9. slika Peristatična črpalka

(Vir:

<https://www.bing.com/th/id/OIP.hOt40ICFbalv1iniqQymwHaHa?w=188&h=188&c=8&rs=1&qit=90&o=6&dpr=1.3&pid=3.1&rm=2>)

4.2.11 MEHANSKI DELI, CEVI, FILTRI, 3D TISK

Na začetku smo načrtovali, da bomo večino konstrukcijskih delov izdelali s 3D tiskom, vendar smo kasneje v bližnji trgovini našli KCM cevi, ki so ustrezale potrebam našega sistema, zato smo se odločili za njihovo uporabo. S 3D tiskom smo nato izdelali le stojalo za cevi, ki se namesti na pokrov vedra. Prav tako smo v bližnji trgovini kupili tudi zaščitno ohišje IP45 za električne komponente. Pri tiskanih delih smo uporabili material PETG, saj je primeren za uporabo v vlažnem okolju. Za varno in zanesljivo delovanje sistema pa so pomembni tudi mrežasti filtri, kabelske uvednice in dobro tesnjenje ohišja.



10. slika: Hidroponski stolp

(Vir: osebni vir)

4.2.12 NODEMCU ESP8266

NodeMCU je razvojna plošča, ki temelji na mikrokontrolerju ESP8266. Gre za zelo priljubljeno platformo za projekte interneta stvari (IoT), saj ima vgrajen WiFi modul, ki omogoča neposredno povezavo z brezžičnim omrežjem. To pomeni, da lahko naprava pošilja podatke na internet ali sprejema ukaze iz mobilne aplikacije brez dodatne strojne opreme.

Plošča vsebuje več digitalnih vhodov in izhodov, en analogni vhod, ter podporo za različne komunikacijske protokole, kot so UART, SPI in I2C. Zaradi teh lastnosti lahko na NodeMCU priključimo različne senzorje in aktuatorje, kot so releji, črpalke ali ventili.

NodeMCU se programira v okolju Arduino IDE, kar omogoča enostavno pisanje programov in uporabo številnih knjižnic za senzorje. V našem projektu NodeMCU deluje kot glavni krmilnik sistema, ki bere podatke iz senzorjev in na podlagi teh podatkov krmili delovanje črpalk in ventilov. Poleg tega skrbi za komunikacijo z mobilno aplikacijo Blynk preko WiFi povezave.

4.3 NAPAJANJE IN ELEKTRIČNA VARNOST

Naprava deluje večinoma na 12 V DC, saj je taka napetost varnejša in primerna za uporabo črpalk, ventilov in drugih delov sistema. Napetost 230 V iz omrežja se s pretvornikom pretvori v 12 V DC, kar smo v nalogi že opisali pri napajanju sistema. Arduino se napaja preko posebnega priključka, ki je bil priložen v kompletu, medtem ko je zračna črpalka priključena neposredno na 230 V vtičnico in uporablja svoj adapter. Relejni modul omogoča upravljanje posameznih delov sistema. Za zanesljivo delovanje so pomembni zaščita pred napačno priključitvijo, ustrezno debeli vodniki in ločitev napajalnega dela od senzorjev. Elektronski deli so nameščeni v ohišje zaščite IP45, ki jih varuje pred vlago in drugimi zunanji vplivi.



11. slika Napajalnik 220V-12V

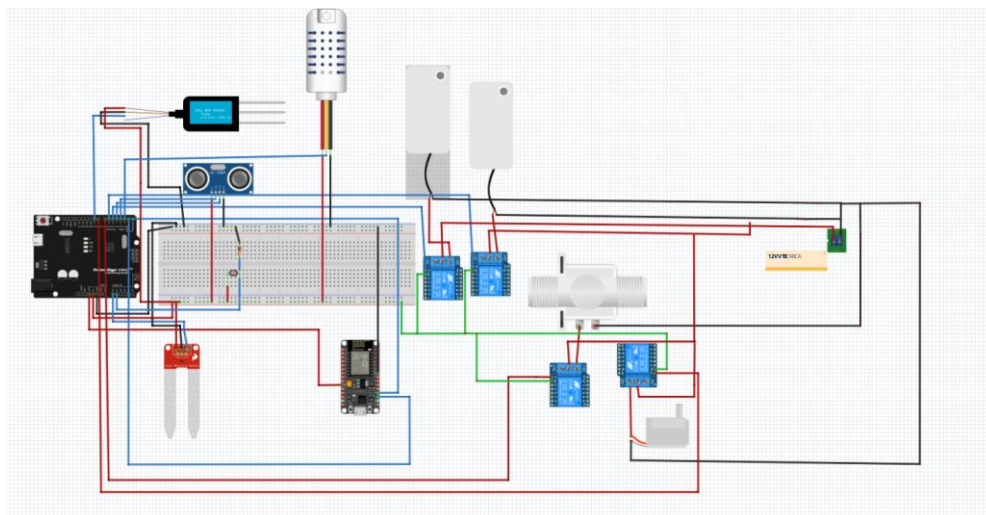
(Vir:

<https://tse2.mm.bing.net/th/id/OIP.fmWWoqEcXJmS2u2mBviOQHaf3?pid=ImgDet&w=187&h=147&c=7&dpr=1.3&o=7&rm=3>)

4.3.1 FRITZING SHEMA VEZAVE PROTOTIPA

Slika 3 prikazuje vezavo našega prototipa, ki smo jo izdelali v programu Fritzing. Shema je razdeljena na senzorski del, kamor spadajo pH senzor, NPK senzor, senzor temperature, osvetlitve in vlage, krmilni del z Arduino UNO ter izhodni del, v katerem so releji, črpalke in ventil. V začetni fazi smo vezavo izdelali tudi z vključenim modulom ESP8266, vendar smo se kasneje zaradi zahtevnejše izvedbe odločili, da ga v končno različico sistema ne vključimo. Pri izdelavi sistema smo ločili napajanje senzorjev od napajanja ostalih porabnikov, saj smo s tem zmanjšali motnje in izboljšali stabilnost meritev.

Pri izvedbi smo pazili tudi na druge pomembne podrobnosti. Pri ventilu in motorjih črpalk smo upoštevali možnost motenj pri delovanju, senzor DHT22 pa smo pravilno povezali z uporom na podatkovni liniji. Povezave do merilnih modulov, kot sta pH in NPK senzor, smo izvedli čim krajše in jih ločili od 12 V vodnikov, relejev in motorjev, da bi bile meritve čim bolj natančne. V programu smo upoštevali tudi, da se meritve po doziranju ne izvajajo takoj, ampak z manjšim časovnim zamikom, s čimer smo izboljšali zanesljivost delovanja sistema.



12. slika Fritzing vezava prototipa

(Vir: osebni vir)

4.4 KOMUNIKACIJA IN POVEZAVA SISTEMA

V začetni zasnovi prototipa smo predvideli tudi povezavo med Arduino UNO in modulom ESP8266 prek UART komunikacije. Arduino bi pošiljal podatke o meritvah, kot so pH, NPK, temperatura, vlaga, osvetlitev in stanje nivoja vode, modul ESP8266 pa bi omogočal pošiljanje nastavitev in ročnih ukazov. Kasneje smo se odločili, da ESP8266 v končno izvedbo sistema ne vključimo, zato temelji delovanje prototipa na krmilniku Arduino UNO.

Pri izdelavi prototipa smo posebno pozornost namenili tudi pravilni povezavi napajanja. Vsi napajalni priključki na uporabljenih modulih so povezani na ustrezne vode, s čimer smo izboljšali stabilnost delovanja sistema in zanesljivost meritev.

4.4.1 DODELITEV PRIKLJUČKOV PO FRITZING SHEMI

Na sliki vezave, izdelani v programu Fritzing, je prikazana razporeditev priključkov na Arduino UNO. Digitalni pini D7, D6 in D5 so namenjeni krmiljenju treh relejev, ki upravljajo peristaltične črpalke za gnojilo A, gnojilo B in pH korektor. Ultrazvočni senzor je priključen na pina D3 in D4, senzor DHT22 pa na pin D2. Merilna modula za pH in NPK sta priključena na D8 in D9. Analogna vhoda A0 in A1 uporabljamo za merjenje vlage medija in osvetlitve.

4.5 KRMILNI ALGORITMI

Nadzor je zasnovan deterministično, z histerezo in impulznim doziranjem. Impulzno doziranje je nujno, ker se raztopina po dodatku koncentrata ali kisline potrebuje čas za mešanje; proporcionalno doziranje brez povratnega časa bi povzročilo prenavitve.

Nadzor nivoja vode (histereza):

- Če je nivo $< \text{MIN_LEVEL}$, se ventil vključi. Ko nivo doseže MAX_LEVEL , se ventil izključi.

Impulzno doziranje pH (primer):

- Če je $\text{pH} > \text{PH_MAX}$: črpalka pH korektorja deluje 2 s, nato sledi 60 s mešanja in ponovna meritev.

Impulzno doziranje hranil (NPK):

- Če je $\text{NPK} < \text{NPK_MIN}$: kratek impulz črpalke A in B (po razmerju gnojil), nato čas mešanja in ponovna meritev. Če je $\text{NPK} > \text{NPK_MAX}$: sistem izvede alarm in priporoči delno zamenjavo raztopine ali dolivanje vode (odvisno od zasnove).

Zalivanje/recirkulacija:

- Potopna črpalka deluje po časovnem intervalu; opcijsko se doda pogoj osvetlitve (LDR) ali senzor vlage medija.

4.6 PROGRAMSKA STRUKTURA

Programska koda je razdeljena na inicializacijo, periodično merjenje in krmilne funkcije. Podatkovna struktura `SensorData` poenostavi izmenjavo podatkov med moduli in serijski izpis. Zaradi preglednosti je priporočljiva delitev v več datotek ali vsaj ločene funkcijske sklope.

4.7 KALIBRACIJA SENZORJEV

Kalibracija je obvezna za primerljivost meritev. Koeficienti kalibracije se shranijo (npr. v EEPROM), kar omogoča ponovno kalibracijo brez spremembe kode. Za potrebe naše naloge smo uporabili naslednje nastavitve.

- pH: dvotočkovna kalibracija z raztopinama pH 4.65 in pH 7.00;
- NPK: umeritev pragov (NPK_MIN/NPK_MAX) glede na referenčno mešanico hranil in meritev v stabilnih pogojih; v praksi se pogosto uporablja relativna kalibracija (primerjava trendov).
- LDR: prag osvetlitve se določi eksperimentalno v realnih pogojih;
- ultrazvočni senzor: umeritev razdalja–nivo glede na znano višino rezervoarja;
- DHT22: primerjava odčitkov z referenčnim termometrom/higrometrom in upoštevanje toleranc v programski logiki.

4.8 MEHANSKA IZVEDBA

Elektronika je nameščena v vodotesno ohišje (vsaj IP45), vodniki pa so izvedeni prek kabelskih uvodnic. Rezervoarji za hranila A in B (se nismo odločili za tisk) ter nosilci komponent se lahko 3D natisnejo, tesnila pa iz TPU. Uporaba mrežastih filtrov zmanjšuje tveganje zamašitev črpalk in ventilov. Pri načrtovanju razporeditve je priporočljivo ločiti senzorni blok od napajalnega bloka, kar zmanjša šum meritev.

5 OPIS DELOVANJA SISTEMA

Sistem deluje neprekinjeno (24/7) in v periodičnih intervalih izvaja meritve ter krmiljenje. Osnovni cikel je: merjenje → odločanje → akcija → mešanje → ponovna meritev → posredovanje telemetrije.

5.1 VZDRŽEVANJE NIVOJA

Ultrazvočni senzor meri razdaljo do gladine. Če nivo pade pod MIN_LEVEL, Arduino vključi elektromagnetni ventil in doliva vodo. Ko nivo doseže MAX_LEVEL, ventil izključi. Histereza preprečuje pogosto preklapljanje in zmanjšuje obrabo ventila.

5.2 REGULACIJA PH

Arduino periodično preveri pH. Če je pH zunaj nastavljenega intervala, sproži impulzno doziranje pH korektorja prek peristaltične črpalke. Po vsakem impulzu je obvezen čas mešanja (približno 60 s), ko lahko hkrati teče recirkulacija. Nato se pH ponovno izmeri. Če meritev ni veljavna (npr. prekinjena sonda ali izven fizikalnih meja), se doziranje blokira in sproži alarm.

5.3 REGULACIJA KONCENTRACIJE HRANIL

Koncentracija hranil se spremlja z NPK senzorjem. Če je izmerjena vrednost pod NPK_MIN, sistem impulzno dozira gnojilo A in gnojilo B (po predpisanem razmerju proizvajalca), nato sledi čas mešanja in ponovna meritev. Če je NPK previsok (nad NPK_MAX), sistem sproži alarm in priporoči dolivanje vode oziroma delno menjavo raztopine. Ker so NPK meritve pogosto občutljive na motnje, se v programski logiki uporablja filtriranje (drseče povprečje) in omejitev maksimalne frekvence doziranja.

5.4 CIRKULACIJA/ZALIVANJE IN OSVETLITEV

Potopna črpalka skrbi za kroženje raztopine in enakomerno oskrbo rastlin. Delovanje je časovno (npr. kratki vklopi večkrat na uro), opsijsko pa se upošteva svetlobni pogoj (LDR) ali senzor vlage medija.

6 POSTOPEK IZDELAVE PROTOTIPA

V nadaljevanju je opisan predlagan postopek izdelave in sestave prototipa, razdeljen na mehanski, električni in programski del.

6.1 MEHANSKA IZDELAVA

V sklopu mehanske izdelave smo na podlagi nakupljenih sestavnih delov preučili možnosti za njihovo sestavo. Sledilo je konstruiranje posameznih sestavnih delov v programskem okolju Solidworks ter tisk teh modelov na 3D-tiskalniku. Ko smo imeli vse komponente, smo pričeli s sestavo sistema. Najprej smo na plastični pokrov vedra namestili priorbnico, ki smo jo sami skonstruirali ter 3d natisnili. Vanjo pa smo vgradili stolp, ki je sestavljen iz KCM cevi. V Vedro, ki hrati služi kot osnova za naš hidroponski sistem smo z večstopenjskim svedrom izvrtali izvrtino za dotočni ventil vode.

6.2 ELEKTRIČNA SESTAVA IN VEZAVA

Najprej smo na podlagi elementov, ki smo jih imeli namen uporabiti naredili električno shemo v programskem okolju Fritzg, zanj smo se odločili, saj ima knjižnico z vsemi komponentami, ki jih bomo potrebovali hkrati pa je brezplačen. Glavno vodilo pri načrtovanju vezja je bila varnost, tako smo poskrbeli, da vse komponente, ki bi lahko prišle v stik z vodo delujejo na napetost, ki je manjša od 12V-DC. Tako smo v vezje najprej vgradili napajlnik ki zmanjša napetost, nanj pa smo povezali vse elemente ki potrebujejo napajanje (črpalke, ventile, releje in AC-DC pretvornik za napajanje Arduina). Na sam mikrokrmilnik pa smo povezali vse elemente ki nam dajejo signale oz izvršujejo ukaze krmilnika.

6.3 PROGRAMIRANJE IN TESTIRANJE

- implementacija osnovnega cikla meritev in telemetrije;
- implementacija histereze za nivo in krmiljenja elektromagnetnega ventila (fail-safe: default OFF);
- implementacija impulznega doziranja pH in hranil (NPK) z varnostnimi blokadami;
- dodajanje logike alarmov (neveljavne meritve, timeoti, limitiranje ročnih vklopov);
- testiranje posameznih modulov (senzorji, releji) in nato integracijsko testiranje;
- končna nastavitev period (meritve, mešanje, intervali črpalke) in preverjanje stabilnosti.

7 STROŠKI IN OKVIRNI PRORAČUN

Za lažjo izvedbo projekta smo pred pričetkom izdelave projekta pripravili okvirni proračun v katerega smo vključili vse komponente, ki jih je bilo potrebno nakupiti. Dodatno smo vključili tudi 1kg filametna saj smo ugotovili da bomo lahko s to količino natisnili vse sestavne dele.

TABELA 3: OKVIRNI PRORAČUN

Postavka	Količina	Ocena (EUR)
Krmilnik (Arduino UNO)	1	30
Kapacitivni vlažni senzor	1	6
NPK+PH+EC+TH senzor + modul	1	60
DHT22 (temp. + vlaga)	1	6
Ultrazvočni senzor	1	5
Rele modul (4x rele na ploščici)	1	15
Potopna črpalka 12 V	1	9
Peristaltične črpalke 12 V	2	15
Elektromagnetni ventil 12 V 3/4"	1	6
Napajalnik 230→12 V (60 W)	1	9
Kcm 110 cevi, vedro	1	40
Cevke, filtri, fittingi, tesnila, potrošni material	komplet	20
3D tisk (PETG ~1 kg)	1	20
Zračna črpalka, arduino napajalnik 220V	2	19
Skupaj (okvirno)		260

8 RAZPRAVA

Arhitektura z Arduino krmilnikom in ESP8266 komunikacijskim členom sledi industrijskim praksam, kar izboljša razločljivost in zanesljivost. Relejno krmiljenje je izbrano zaradi galvanske ločitve v vlažnem okolju in enostavne integracije z 12 V bremenom. Ključni izzivi so stabilnost meritev pH in NPK (šum, temperatura, staranje sond) ter ustrezno mešanje raztopine. Zato so predvideni filtriranje meritev, časovni zamiki po doziranju in redna kalibracija. EC lahko služi kot praktičen alternativni indikator skupne koncentracije, če se doda ustrezna sonda. Okvirni proračun prototipa je ocenjen na približno 600 EUR, predvsem zaradi stroškov 3D tiska in akumulatorske rezerve, zato je hipoteza H2 (≤ 400 EUR) realistična in preverljiva v eksperimentalnem delu.

8.1 ZAPLETI IN REŠITVE

Pri končni izvedbi raziskovalne naloge smo zaradi tehnične zahtevnosti in časovne omejenosti iz zasnove sistema odstranili WiFi modul ESP8266. Med razvojem smo ugotovili, da uporaba omenjenega modula v našem primeru bistveno poveča kompleksnost sistema, saj je vsaka sprememba nastavitev ali delovanja zahtevala ponovno prilagoditev programske kode ter ponovno nalaganje programa na modul. Ker bi to otežilo sprotno testiranje, odpravljanje napak in stabilno delovanje prototipa, smo se odločili za enostavnejšo in zanesljivejšo izvedbo brez brezžične komunikacije. Kljub temu zasnova sistema tudi v prihodnje omogoča ponovno vključitev komunikacijskega modula, če bodo na voljo ustrezni časovni in tehnični pogoji za nadaljnji razvoj.

Kot osnovni rezervoar hidroponskega sistema smo uporabili 20-litrsko vedro s pokrovom, kupljeno v lokalni trgovini. Izbrana rešitev se je izkazala kot primerna zaradi svoje dostopnosti, mehanske trdnosti in zadostne prostornine za delovanje manjšega prototipnega sistema. Namesto izdelave celotnega ohišja s 3D-tiskom smo uporabili KCM cevi dimenzij 110×50 mm z 45-stopinjskim kotom, saj so bolj ustrezale konstrukcijskim in funkcionalnim zahtevam sistema ter omogočale enostavnejšo in hitrejšo izdelavo prototipa.

Za pritrditev stolpa na pokrov rezervoarja smo v programu SolidWorks načrtovali namenski nosilec, prav tako pa smo zasnovali tudi element za enakomerno porazdelitev vode, ki omogoča usmerjeno iztekanje vode po notranji strani stolpa. Oba elementa smo izdelali s postopkom 3D-tiskanja iz materiala PETG. Ta material smo izbrali zaradi njegovih primernih mehanskih lastnosti, dobre odpornosti proti vlagi in temperaturnim spremembam ter ustreznosti za uporabo v hidroponskem okolju.

Pomembno je poudariti, da predstavljeni sistem pomeni funkcionalen prototip, ki pa še ni v celoti optimiziran. Zaradi omejenega časa ter neustreznih sezonskih pogojev nismo uspeli izvesti vseh predvidenih kalibracij senzorjev in dolgoročnih testiranj delovanja sistema. Projekt je namreč potekal v pozni jeseni in zimskem obdobju, ko so naravni pogoji za rast rastlin manj ugodni, kar je vplivalo na obseg in kakovost praktičnega preverjanja delovanja sistema. Posledično ostaja prostor za nadaljnje izboljšave, predvsem na področju natančnejše kalibracije senzorjev, optimizacije krmilnih parametrov, preverjanja stabilnosti meritev ter razširitve sistema z dodatnimi funkcionalnostmi.

V prihodnje bi bilo smiselno sistem nadgraditi z natančnejšo kalibracijo vseh merilnih elementov, daljšim obdobjem testiranja v različnih okoljskih pogojih ter morebitno ponovno vključitvijo brezžične komunikacije za oddaljen nadzor in upravljanje preko Blynk aplikacije. Na ta način bi lahko prototip nadgradili v še bolj zanesljiv, natančen in uporabniku prijazen pametni hidroponski sistem.

9 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi smo predstavili zasnovo in koncept delovanja pametnega hidroponskega sistema, ki omogoča avtomatsko spremljanje in uravnavanje ključnih parametrov za rast rastlin. Namen projekta je bil razviti sistem, ki bi z uporabo sodobnih elektronskih komponent, senzorjev in mikrokrmilnikov omogočal natančen nadzor nad hranilno raztopino ter s tem izboljšal stabilnost in učinkovitost hidroponskega gojenja.

Pri načrtovanju sistema smo se osredotočili predvsem na merjenje in nadzor najpomembnejših dejavnikov v hidroponskem okolju, kot so pH vrednost, koncentracija hranil (NPK), nivo hranilne raztopine ter osnovni okoljski pogoji. S pomočjo mikrokrmilnika Arduino in dodatnih modulov je mogoče te podatke neprekinjeno spremljati, ob morebitnih odstopanjih pa sistem samodejno aktivira ustrezne aktuatorje, kot so črpalke ali elektromagnetni ventili. Takšen pristop omogoča stabilnejše pogoje za rast rastlin, hkrati pa zmanjšuje potrebo po stalnem ročnem nadzoru sistema.

Pomembna prednost zasnovanega sistema je njegova modularnost. Posamezne komponente in funkcije je mogoče po potrebi enostavno nadgraditi ali prilagoditi. Sistem je tako zasnovan, da omogoča razširitev z dodatnimi senzorji ali povezavo z brezžično komunikacijo, kar omogoča spremljanje podatkov in osnovno upravljanje sistema tudi preko mobilne aplikacije. Takšna rešitev predstavlja korak proti sodobnim pametnim kmetijskim sistemom, ki združujejo avtomatizacijo, senzoriko in digitalno spremljanje procesov.

Posebna pozornost je bila namenjena tudi varnosti in zanesljivosti delovanja. Krmiljenje aktuatorjev poteka preko relejnih modulov, kar zagotavlja električno ločitev med nizkonapetostnim krmilnim delom in močnejšimi porabniki. Sistem je zasnovan za neprekinjeno delovanje (24/7), pri čemer stalno spremlja stanje ključnih parametrov in omogoča stabilno delovanje tudi v daljšem časovnem obdobju.

Predlagani eksperimentalni pristop omogoča tudi objektivno vrednotenje delovanja sistema. Z merjenjem stabilnosti parametrov, odzivnosti sistema in zanesljivosti senzorjev je mogoče ovrednotiti učinkovitost zasnove ter pridobiti podatke, ki so pomembni za nadaljnji razvoj podobnih rešitev. Na ta način projekt ne predstavlja le praktične izvedbe hidroponskega sistema, temveč tudi raziskovalno osnovo za nadaljnje izboljšave in optimizacijo avtomatiziranega gojenja rastlin.

Celoten projekt tako dokazuje, da je mogoče z razmeroma dostopnimi komponentami in ustrezno programsko zasnovo razviti funkcionalen pametni hidroponski sistem. Takšne rešitve imajo velik potencial za prihodnost trajnostne pridelave hrane, saj omogočajo učinkovitejšo rabo vode in hranil ter boljši nadzor nad rastnimi pogoji. Predstavljena zasnova zato predstavlja trdno osnovo za nadaljnje raziskovanje, nadgradnjo in praktično uporabo pametnih hidroponskih sistemov.

VIRI IN LITERATURA

1. Arduino UNO R3 - uradna dokumentacija strojne opreme. (citirano 13.2.2026). Dostopno na naslovu: [Arduino Docs | Arduino Documentation](#)
2. Microchip. (2016). ATmega328P dokumentacija. (citirano 13.2.2026). Dostopno na naslovu: www.microchip.com
3. Aosong Electronics. DHT22 (AM2302) Digital Temperature and Humidity Sensor – podatkovni list. (citirano 13.2.2026). Dostopno na naslovu: [DHT22.pdf](#)
4. Thriving Sustainably. DIY Vertical Hydroponic Garden. (citirano 13.2.2026). Dostopno na naslovu: [DIY Vertical Hydroponic Garden: Easy Step-by-Step Guide](#)
5. GrowOrganicGreens. NPK Fertilizers For Plants-A Complete Guide. (citirano 13.2.2026). Dostopno na naslovu: [NPK Fertilizers For Plants - A Complete Guide](#)

PRILOGE

PRILOGA A: PREDLAGANA RAZPOREDITEV PRIKLJUČKOV (PRIMER)

TABELA A1: PRIPOROČENA RAZPOREDITEV PRIKLJUČKOV (PRIMER).

Pin Arduino	Funkcija
A0	SIG – senzor vlage (soil moisture, analogni izhod)
A1	SIG – fotocelica/LDR (meritev osvetlitve, analogni izhod)
D2	DATA – DHT22 (temperatura + relativna vlažnost)
D3	TRIG – ultrazvočni senzor (HC-SR04)
D4	ECHO – ultrazvočni senzor (HC-SR04)
D5–D7	Releji (3 kanali) – peristaltične črpalke (A, B, pH korektor); vrstni red glede na ožičenje
D8	Signal iz pH merilnega modula (v prikazani vezavi, glede na izbran modul)
D9	Signal iz NPK merilnega modula (v prikazani vezavi, glede na izbran modul)
TX/RX	UART povezava do ESP8266 (opcija; z delilnikom napetosti na RX ESP)

PRILOGA B: UART UKAZI IN VARNOST

Ukazi (ESP → Arduino) so vrstični ukazi, vsak v novi vrstici. Arduino jih preveri (razčlenjevanje + validacija) in zavrne nevarne kombinacije (npr. doziranje ob nizkem nivoju vode ali ob napaki senzorja).

SET_PH_MIN=<float>

SET_PH_MAX=<float>

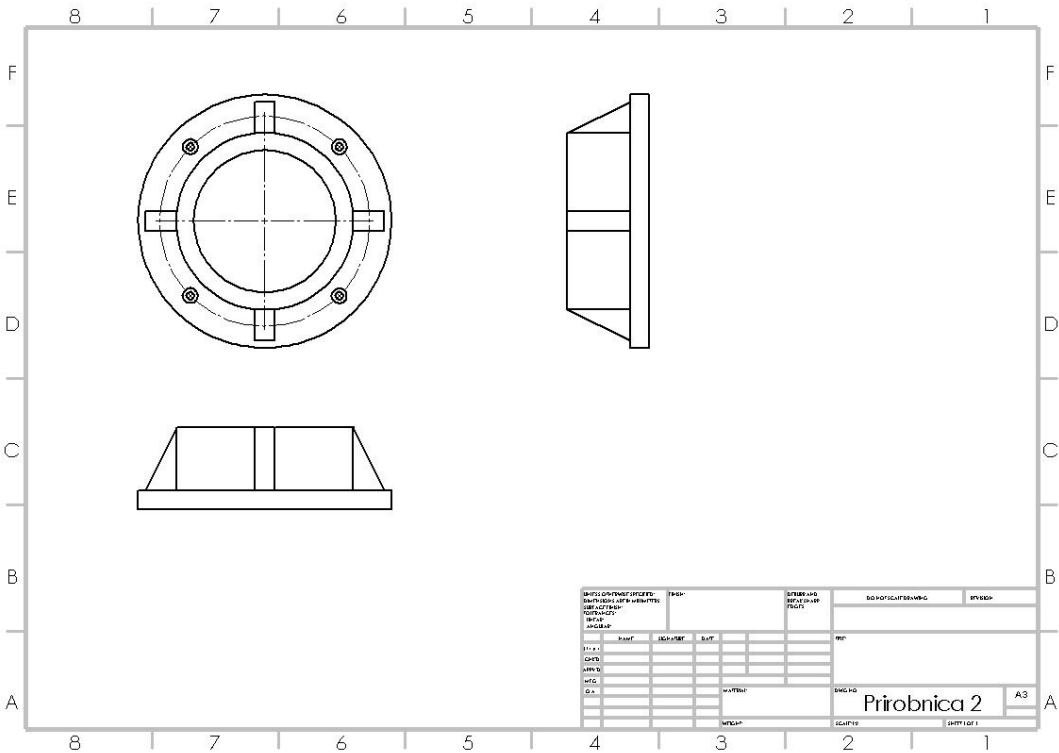
SET_NPK_MIN=<int>

SET_NPK_MAX=<int>

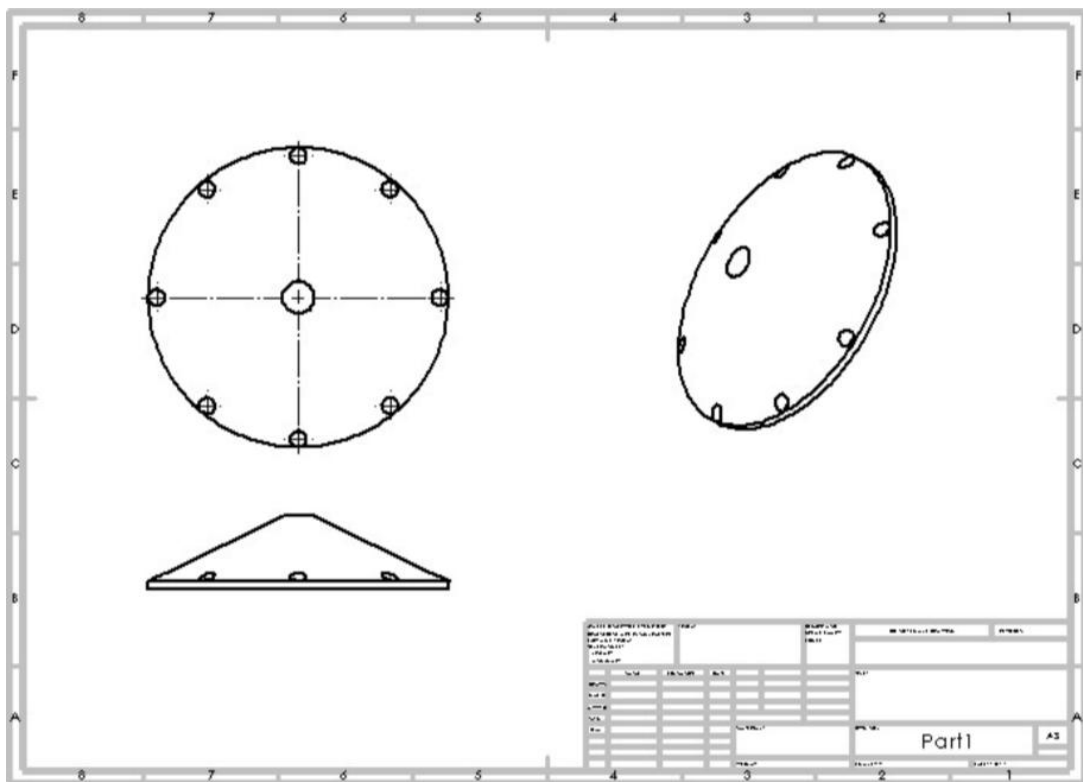
MANUAL_<ACTUATOR>=<ON|OFF>

TABELA B1: PRIMERI ROČNIH UKAZOV

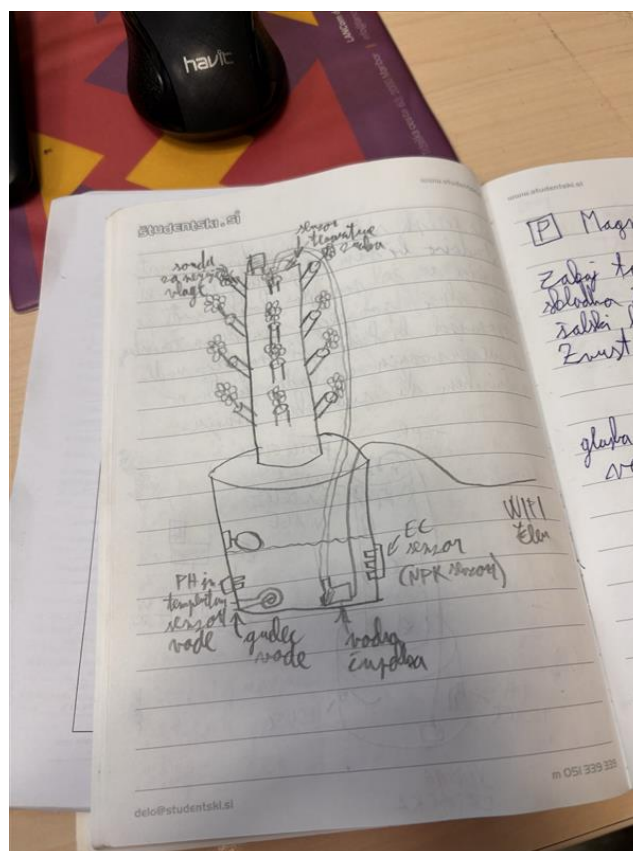
ACTUATOR	Pomen
PUMP_IRR	potopna črpalka (cirkulacija/zalivanje)
PUMP_A	doziranje gnojila A
PUMP_B	doziranje gnojila B
PUMP_PH	doziranje pH korektorja
VALVE	elektromagnetni ventil za dolivanje vode



priloga 1: prirobnica



priloga 2: Distribucijska plošča



priloga 3: Prva prototipna skica

```

14  const uint8_t PIN_TRIG = 3;
15  const uint8_t PIN_ECHO = 4;
16
17
18  const bool RELAY_ACTIVE_LOW = true;
19  const uint8_t RELAY_VALVE = 5;  // elektromagnetni ventil 12V
20  const uint8_t RELAY_PUMP = 6;  // potopna crpalka 12V (recirkulacija/mesanje)
21  const uint8_t RELAY_FERT = 12;  // peristaltika gnojilo 12V
22  const uint8_t RELAY_PH = 13;  // peristaltika pH korektor 12V
23
24  // Analog
25  const uint8_t PIN_CAP = A0;  // kapacitivni vlaga
26  const uint8_t PIN_LDR = A1;  // fotocelica
27
28
29
30  SoftwareSerial mbSer(10, 11);  // RX, TX
31  ModbusMaster node;
32
33
34  // NASTAVITVE GLADINE
35
36  const float WATER_MIN_CM = 27.0;  // vklopi ventil, ko je voda dalec (nizek nivo)
37  const float WATER_MAX_CM = 10.0;  // izklopi ventil, ko je voda blizu (poln rezervoar)
38  const unsigned long MAX_FILL_MS = 10UL * 60UL * 1000UL;  // failsafe: max 10 min polnjenja
39
40  // filtriranje HC-SR04 (da ventil ne cuka)
41  const uint8_t ULTRA_SAMPLES = 7;
42  const uint8_t ULTRA_MIN_VALID = 4;
43  const float ULTRA_TOL_CM = 3.0;

```

priloga 4: del Arduino programa