



Učinkovitost fogponskega pridelovanja v primerjavi s tradicionalnim

Interdisciplinarno področje

Raziskovalna naloga

Avtor: Rene Kolednik

Mentor: Aljaž Nahberger

Franc Vrbančič

Aljaž Šešo

Šola: Elektro in računalniška šola Ptuj

Ptuj, marec 2023

Povzetek

Raziskovalna naloga z razvojem fogponskega rastlinjaka predstavlja inovacijo pri gojenju rastlin. Fogponika je metoda gojenja, kjer hranila in vodo rastline sprejmejo preko fine meglice. Skozi sistematično analizo smo raziskali, ali je fogponsko pridelovanje učinkovitejše od tradicionalne metode, kjer rastline rastejo iz zemlje.

Z eksperimentalnim pristopom smo izdelali prototip fogponskega rastlinjaka ter v njem posadili sadike solate in semena mikrozelenja. Istočasno smo v korito, napolnjeno z zemljo, posadili drugo polovico sadik in semen. V obeh poskusih smo zagotavljali enake pogoje. Poskus smo izvajali 1 mesec, nakar smo rastline primerjali po teži, velikosti in številu listov.

Ugotovili smo, da so v raziskavi uporabljene rastline pri fogponskem načinu gojenja večje, 3-krat težje in imajo večje število listov. Zraven statističnih primerjav rastlin smo ugotovili, da smo pri fogponski metodi porabili manj vode ter da se nam dolgoročno bolj splača gojiti s fogponskim načinom kot pa v koritu.

Raziskavo bi bilo smiselno ponoviti v večjem (realnem) merilu in še z drugimi rastlinami, ki jih ljudje običajno gojimo v rastlinjaki. Če bi se izkazalo, da tudi tam solata in/ali druge rastline hitreje rastejo kot pri tradicionalnem gojenju, bi to pomenilo odpiranje novih vrat v razumevanju optimalnih pogojev za rast rastlin in vpliva novih tehnologij na kmetijstvo. Ker bi v istem času z manj sredstvi pridelali več, bi tovrstno kmetovanje pozitivno doprineslo k ideji trajnostnega razvoja človeštva.

Glavne besede: poljedelstvo, rastlinjak - fogponika, avtomatizacija v rastlinjaku

Summary

The research task with the development of the fogpon greenhouse represents an innovation in plant cultivation. Fogponics is a cultivation method where nutrients and water are received by plants through a fine mist. Through a systematic analysis, we investigated whether fogponic cultivation is more efficient than the traditional method where plants grow from the soil.

Using an experimental approach, we made a prototype of a fogpon greenhouse and planted lettuce seedlings and microgreen seeds in it. At the same time, we planted the other half of the seedlings and seeds in a trough filled with soil. We ensured the same conditions in both experiments. The experiment was carried out for 1 month, after which the plants were compared in terms of weight, size and number of leaves.

We found that the plants used in the research are larger, 3 times heavier and have a greater number of leaves in the fogponic cultivation method. In addition to the statistical comparisons of the plants, we found that we used less water with the fogponic method and that in the long term it is more profitable for us to grow with the fogponic method than in a trough.

It would make sense to repeat the research on a larger (realistic) scale and with other plants that people usually grow in greenhouses. If it turns out that even there lettuce and/or other plants grow faster than in traditional cultivation, this would mean opening new doors in understanding the optimal conditions for plant growth and the impact of new technologies on agriculture. Because more would be produced with less resources at the same time, this type of farming would contribute positively to the idea of sustainable human development.

Keywords: agriculture, greenhouse - fogponics, automation in the greenhouse

Kazalo vsebine

1	Uvod.....	1
2	Teoretični del	2
2.1	Namen raziskovanja.....	2
2.2	Fogponika	2
2.3	Preučevanje že pridobljenega znanja iz fogponike	3
2.4	Cilji raziskovanja	4
2.5	Raziskovalno vprašanje.....	5
2.6	Metode raziskovanja	5
3	Potek raziskave	6
3.1	Predraziskava	6
3.2	Strojna oprema	12
3.2.1	Uporaba piezo elementa v fogponskem rastlinjaku	14
3.2.2	Ventilator	14
3.2.3	Nadziranje parametrov v fogponskem rastlinjaku	15
3.3	Programski del	18
3.3.1	Avtomatizacija v fogponskem rastlinjaku.....	18
3.3.2	Mikrokrmilnik v modernem rastlinjaku	18
3.3.3	Arduino Cloud	19
3.3.4	Algoritem	20
4	Rezultati raziskovanja.....	22
4.1	Vizualni izgled.....	23
4.2	Končna teža posamezne rastline	26
4.3	Prirastek listov pri solati	27
4.4	Poraba naravnih virov za rast pridelka.....	28
4.5	Pomanjkljivost raziskave	29
4.6	Najverjetnejša bodočnost kmetovanja	29
	Vertikalni fogponski rastlinjak.....	30
5	Zaključek.....	32
6	Viri in literatura.....	33

Kazalo slik

Slika 1: Fogponski sistem.	3
Slika 2: Shema fogponskega rastlinjaka.	6
Slika 3: 3D-model ideje o fogponskem rastlinjaku.	7
Slika 4: Vezje piezo generatorja.	7
Slika 5: Uničen piezo generator.	8
Slika 6: Novejši piezo generator.	8
Slika 7: Fogponski rastlinjak, namenjen gojenju mikrozelenja.	9
Slika 8: Mikrozelenje, ki smo ga gojili v koritu.	10
Slika 9: Serija gnojil Flora	11
Slika 10: Solata Gentila.	11
Slika 11: Okvir fogponskega rastlinjaka.	12
Slika 12: Krmilnik fogponskega rastlinjaka.	13
Slika 13: Slika krmilnika in rastlinjaka skupaj.	13
Slika 14: Piezo element.	14
Slika 15: Ventilator.	15
Slika 16: Uničen ventilator.	15
Slika 17: PH test.	16
Slika 18: Senzor za merjenje vlage in temperature.	17
Slika 19: 4-relejni modul z mikrokrmilnikom 8266.	19
Slika 20: Grafični vmesnik na telefonu.	20
Slika 21: Blokovni diagram algoritma.	21
Slika 22: Neuspešni poskusi implementacije fogponike.	22
Slika 23: Korenine mikrozelenja brokolija pri fogponskem obdelovanju.	23
Slika 24: Prikaz korenin in stebela pri fogponski pridelavi mikrozelenja brokolija.	23
Slika 25: Mikrozelenje v koritu.	24
Slika 26: Primerjava pridelka fogponske metode s tradicionalno metodo, naris.	25
Slika 27: Primerjava pridelka fogponske metode s tradicionalno metodo, tloris.	25
Slika 28: Graf teže določene rastline.	26
Slika 29: Graf teže mikrozelenja pri določeni metodi gojenja.	26
Slika 30: Graf števila listov določene rastline.	27
Slika 31: Graf dolžine mikrozelenja pri uporabi določene metode gojenja.	27
Slika 32: Prikaz merjenja mikrozelenja.	28
Slika 33: Vertikalno kmetovanje.	30
Slika 35: Uporabljene PVC cevi.	34
Slika 36: 3D model ploščka za piezo generator.	35
Slika 37: Notranjost fogponskega rastlinjaka.	36
Slika 38: Postavitev komponent.	37
Slika 39: Inštalacija kablov v krmilnik.	37
Slika 40: Končni krmilnik.	38
Slika 41: Urejeni kabli v krmilniku.	38

1 Uvod

V zgodovinskem razvoju človeštva je vzrok, katerega posledica je vplivala na prehod človeštva iz nomadskega življenja v sodobno civilizacijo s stalnimi bivalnimi prostori, ravno odkritje poljedelstva. Od prvih ročno izvedenih kmetijskih opravil smo hitro napredovali k razvoju orodij, kot so lopata, grablje in motika, ter nato odkrili plug, ki ga je vlekel vprežni živinorejski jarem. S tehnološkim napredkom, naraščanjem prebivalstva in potrebo po večji proizvodnji hrane so vstopile inovacije, kot so stroji za obdelavo zemlje, gensko spremenjeni organizmi in uporaba kemičnih škropiv.

Kljub mnogim pridobitvam sodobnega kmetijstva so se s hitrim napredkom tehnologije in rastočimi potrebami prebivalstva pojavili številni izzivi. Intenzivna uporaba kemičnih pesticidov in gnojil je povzročila onesnaževanje vode, tal in zraka s posledično neugodnimi vplivi na okolje in zdravje ljudi. Poleg tega so povečevanje kmetijskih praks, izguba biotske raznovrstnosti, dezertifikacija tal ter vpliv na podnebne spremembe postali ključni problemi sodobnega kmetijstva.

V ozadju globalnega segrevanja se kmetijski sektor zdaj izpostavlja kot eden največjih povzročiteljev emisij toplogrednih plinov. Hkrati pa so tudi tehnološki pristopi, kot so gensko spremenjeni organizmi, povzročili pomisleke o vplivu na okolje in zdravje ljudi.

Soočeni s temi izzivi prehajamo k iskanju alternativnih poti v kmetijskem sektorju. Kljub nenehnemu razvoju opreme in tehnologije se zdi, da to ni dovolj za reševanje problemov, in opazimo, da tako imenovane rešitve še poslabšujejo nastalo situacijo. Primer tega je uporaba električnih strojev, katerih baterij ne moremo reciklirati ali jih ponovno uporabiti, prav tako pa ne zdržijo dolgih delovnih dni. Pomislimo tudi na drone za škropljenje, ki predstavljajo revolucijo v sodobnem poljedelstvu, ampak kaj ko s tem neposredno podpiramo uporabo pesticidov na hrani, ki jo nato zaužijejo najstarejši in najmlajši. Tako smo prišli do dognanja, da se problem ne nahaja v razvoju tehnologije in opreme, temveč le-ta tiči v sami metodi gojenja rastlin, zato se osredotočamo na spremembo same metode kmetovanja in uvajanje inovativnih pristopov gojenja pridelka.

V nadaljevanju bomo zato najprej teoretično opredelili posebne metode gojenja. Med njimi bomo iskali metodo, ki podaja rešitev na probleme sodobnega kmetijstva. To pomeni, da bi njena uporaba popolnoma izkoreninila uporabo pesticidov, ampak še vedno omogočala pridelavo čim večjih količin pridelka, zmanjšala porabo vode ter omejila obdelovalni prostor za pridelovanje. Cilj raziskave je najti in teoretično ter praktično podpreti metodo, ki ne le zadovoljuje potrebe ljudi po hrani, temveč tudi varuje okolje ter omogoča trajnostni razvoj kmetovanja.

2 Teoretični del

V tem poglavju razložimo pojem fogponika in namen raziskave. Zapišemo tudi raziskovalno vprašanje.

2.1 Namen raziskovanja

Namen raziskovanja fogponske metode je vpeljati trajnostne, okolju prijazne prakse v moderno poljedelstvo in s tem omogočiti bolj učinkovito, trajnostno in inovativno pridelavo rastlin ter tako izriniti kmetijske prakse, ki uničujejo naš planet. Z uporabo napredne metode gojenja in tehnologij, kot so umetna inteligenca, avtomatizacija in napredni nadzorni sistem, moderni rastlinjak postavlja nove standarde v kmetijski industriji.

2.2 Fogponika

Po spoznanju, da problem kmetijstva ne tiči v pomanjkanju tehnološko dodelane opreme, temveč v pomanjkanju strategije in okolju prijazne metode gojenja pridelka, smo skozi teoretično raziskavo iskanja rešitve naleteli na fogponiko, še skoraj neraziskano področje kmetovanja, prvič predstavljeno s strani NASE. Fogponika temelji na načelih hidroponike ter je po določenih vidikih podobna aeroponiki, saj obe metodi delujeta brez uporabe naravnega substrata. Rastline so tako suspendirane v zraku, kjer jim vodo ter potrebna hranila dovajamo preko fine meglice, ki jo proizvedemo z uporabo ultrazvočnega piezo generatorja, ki se s pomočjo ultrazvočnih frekvenc upogiba ter spremeni vodo in hranila iz tekoče oblike v fino meglico (glej sliko 1). Ta metoda tako teoretično opredeljuje nove možnosti trajnostne in učinkovite pridelave pridelkov s pomočjo sledečih prednosti.

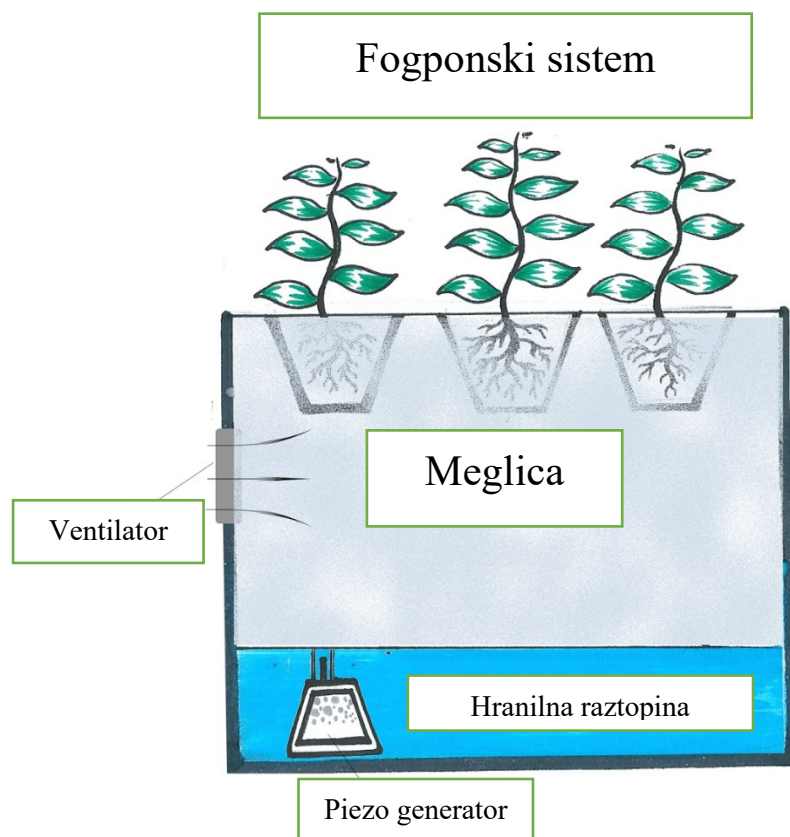
Z zagotavljanjem stalne in enakomerno porazdeljene oskrbe s hranili in vlago naj bi fogponika ustvarjala idealno rastno okolje, ki omogoča močan razvoj korenin in učinkovito absorpcijo hranil, ki jo dosežemo s pomočjo fine meglice. Piezo generator vodo v tekočem stanju s pomočjo ultrasoničnih frekvenc spremeni v fino meglico, ta je velikosti med 5 in 25 nm in je enako velika kot pore korenin, skozi katere se le-ta absorbira. To naj bi vodilo do pospešene stopnje rasti in intenzivnejšega razvojnega cikla pridelka, posledica tega pa naj bi bila povečana količina pridelka in hitrejši cikli žetve.

Slabost tradicionalnega kmetijstva je zagotovo velika poraba prostora. Trenutno za potrebe poljedelstva porabljamo polovico vseh bivalnih površin, ta številka pa naj bi se do leta 2050 povečala za kar 50 %. Ne smemo pa pozabiti, da bo takrat potreba po bivališču še večja, saj bo na Zemlji živelo kar 9 milijard ljudi.^[1] Vse to je posledica potrebe po naravnem substratu, ki se pojavi pri tradicionalnem kmetijstvu. Pri fogponiki pa rastline ne potrebujejo naravnega substrata za razvoj, saj so s pomočjo raznih metod suspendirane v zraku.

Poleg tega uporaba fogponike zmanjšuje tveganje za širjenje patogenov med našimi rastlinami, saj se le ti prenašajo s prstjo, tako pa se zmanjša potreba po kemičnih pesticidih in herbicidih ter spodbuja okolju prijaznejši pristop h gojenju pridelkov.

V povprečju kmetije po vsem svetu porabijo 70 % vse vode, ki se letno porabi. Od teh 70 %, ki jih uporabljajo kmetje, se 40 % izgubi v okolju zaradi slabih namakalnih sistemov, izhlapevanja in splošnega slabega upravljanja z vodo.^[2] Fogponika zmanjšuje porabo vode zaradi proizvodnje meglice. Ker so korenine pri fogponiki v zaprtem sistemu, imajo optimalne pogoje za absorbiranje vode. Voda, ki pa se ni porabila, se sproti vrne v tekoče stanje in jo lahko ponovno uporabimo.

Skratka, fogponika predstavlja pionirski napredek na področju trajnostnega kmetijstva, saj ponuja celosten in učinkovit pristop h gojenju pridelkov, ki daje prednost trajnostni porabi virov in ekološkemu ravnesju. Medtem ko se svet še naprej spopada z imperativom trajnostnega razvoja in prehranske varnosti, je fogponika svetilnik inovacij, ki bi ob primerni implementaciji predstavljal pot do bolj odporne, učinkovite in trajnostne kmetijske prihodnosti.



Slika 1: Fogponski sistem.

(vir: https://2.bp.blogspot.com/-yodSgIEg_EQ/Usgi5RCd5zI/AAAAAAAAAIA/pMIxUHH0sk/s1600/FOGponic+system.png)

2.3 Preučevanje že pridobljenega znanja iz fogponike

Po teoriji sodeč je fogponika najprimernejša metoda, ki bi lahko spremenila poljedelstvo, eden izmed večjih problemov fogponike pa je ta, da je to skoraj neraziskano področje, ki je luč sveta uzrlo nedolgo nazaj. Posledica tega je, da nimamo veliko materiala, iz katerega lahko črpamo podatke o njej. To deluje kot dvorezen meč - raziskovanje metode bo tako izjemno težko, ampak ob pravilni utemeljitvi in implementaciji fogponike si lahko priborimo status, ki nas bo predstavljal kot prve, ki so pravilno implementirali fogponiko v pametni rastlinjak ter ta proces dokumentirali.

Po globokem raziskovanju po raznih knjižnicah, arhivih in spletu smo našli zgolj dva raziskovalna članka na temo implementacije fogponike. Prvi članek z naslovom "Energy Efficient Smart Indoor Fogponics Farming System," napisan s strani M. Rakib Uddin in M. F. Suliaman, predstavlja in raziskuje inovativen sistem za pametno gojenje rastlin z uporabo fogponike. Posebnost pri njunem sistemu je, da sta ga zasnovala posebej za energetske učinkovito gojenje rastlin v zaprtih prostorih.

V članku avtorja predstavita osnovni načrt sistema, ki omogoča nadzorovano gojenje rastlin s pomočjo fogponike. Sistem vključuje uporabo različnih senzorjev za spremljanje ključnih parametrov, kot so temperatura, vlažnost, pH-vrednost in intenzivnost svetlobe. Rezultati eksperimentov, ki so tako opisani v članku, ponujajo vpogled v razvoj rastlin v tem inovativnem sistemu, poleg tega pa so predstavljene ugotovitve in analize pridobljenih rezultatov. Po končanih raziskavah sta ugotovila, da se procesa gojenja nista lotila pravilno, saj so se rastline po njunih domnevah hitro utopile.

Celoten prototip sistema, ki vključuje električne in strojne komponente, je bil podvržen testiranju in analizi v okviru raziskav. S tem sistemom avtorja ponujata pogled na učinkovitost in izvedljivost pametnih notranjih sistemov za gojenje rastlin z uporabo fogponike, kažeta pravo pot v razvijanju fogponike ter kako se izogniti morebitnim napakam pri implementaciji.

Naslov drugega raziskovalnega članka je "A study on development of crops by fogponic system using coco coir". Avtorji Venkatesh S., Victor Ebenezer R. D., Vignesh A. C., Vishnu A. in Sree Lekha S. z oddelka za gradbeništvo na inženirskem kolegiju SRM Valliammai v Tamilnaduju predstavljajo študijo o gojenju rastlin s pomočjo fogponike, kjer za substrat uporabijo kokosova vlakna.

Članek se ukvarja z izzivi zmanjševanja kmetijskih zemljišč in omejenostjo vode za namakanje, še posebej v urbanih območjih. Raziskovalci so v svoji študiji ugotovili, da fogponski sistem v kombinaciji s kokosovimi vlakni omogoča uspešno pridelavo rastlin v kontroliranem okolju. Sistem, ki temelji na fogponiki, kjer kot substrat uporablja kokosova vlakna, se izkaže za učinkovit pri obvladovanju izzivov, kot so omejena kmetijska zemljišča in pomanjkanje vodnih virov za namakanje, še posebej v urbanem okolju. V svojih ugotovitvah so tako poudarili, da fogponika omogoča organsko pridelavo brez pesticidov, saj sistem zagotavlja okolje brez insektov. Z uporabo posebnih LED rastlinskih luči in skrbno izbrane hranilne raztopine so tako dosegli visokokakovostni pridelek, pri čemer je poraba vode zmanjšana za 90 % v primerjavi s tradicionalnim kmetovanjem. Raziskovalci so tudi potrdili, da fogponski sistem omogoča pridelavo rastlin neodvisno od zunanje temperature, kar predstavlja pomembno prednost za trajnostno kmetovanje.

Ugotovitve študije kažejo na potencial fogponskega sistema pri oblikovanju prihodnjih kmetijskih praks, ki se spopadajo z izzivi sodobnega urbanega okolja. Čeprav je bila raziskava na koncu uspešna, se sami naslanjamo na dejstvo, da so v sistemu kot substrat uporabili kokosova vlakna, medtem ko mi strmimo k sistemu brez naravnega substrata.

Iz teh člankov smo pridobili ključna spoznanja o uporabi senzorjev in nadzoru parametrov, kot so temperatura, vlažnost, pH-vrednost ter različnih načinov optimizacije gojenja rastlin. Ti vpogledi bodo igrali ključno vlogo pri naših nadaljnjih raziskavah, kjer bomo uporabili pridobljeno znanje, ki ga bomo nadgradili in prilagodili specifičnemu cilju naše raziskovalne naloge. S temi podlagami bomo gradili našo pot k uspešni implementaciji fogponskega sistema brez naravnega substrata s poudarkom na trajnostnem in pametnem kmetovanju.

Sedaj ko smo odkrili skrite zanke ter se poistovetili s fogponskim sistemom, nas čaka še uporaba znanja v praksi, zato bomo izdelali fogponski rastlinjak. Da bi izdelavo ter vse komponente, izdelane v fogponskem rastlinjaku, kar se da natančno razložili, smo jih razdelili v dve podskupini. Programski del, kjer bomo opisali predvsem vse inovativne funkcije, senzorje in programska načela našega fogponskega rastlinjaka. Sledil mu bo strojni del, kjer se bomo posvetili predvsem fizičnim komponentam, ki tvorijo naš fogponski rastlinjak, tukaj bomo predstavili predvsem ogrodje, materiale in tehnična stališča izdelave modernega rastlinjaka. Za na konec pa bomo vso pridobljeno znanje uvrstili v opis izdelave fogponskega rastlinjaka, kjer bomo opisali našo celotno zgodbo izdelave fogponskega rastlinjaka od ideje do načrta in prototipa.

2.4 Cilji raziskovanja

Ciljev, ki jih želimo doseči s pomočjo modernega rastlinjaka, ne bi smeli šteti kot cilj, ampak bi jih morali jemati kot verigo, saj bi z vsakim doseženim ciljem odkrili nova vprašanja, možnosti dodelav, popravkov in nove teorije ter ideje, ki bi jih bilo vredno raziskati. Tako moderni rastlinjak odpira možnosti neskončnim možnostim in uveljavlja novo tehniko pridelovanja rastlin. Cilj naše raziskave je izumiti prvi delujoč fogponski rastlinjak. Z njim bi dosegli visoko izboljšano kakovost pridelka in trajnostno rabo virov, predstavili inovativnost njegovih naprednih metod uporabe avtomatizacije in umetne inteligence.

Doseganje ciljev, ki smo si jih zadali, prispeva k ustvarjanju bolj trajnostnega in odgovornega kmetijstva, ki združuje napredno tehnologijo z naravnimi procesi rasti rastlin. S tem pa si prizadevamo zagotoviti stabilno in kakovostno oskrbo s svežo hrano ter zmanjšati vplive na okolje, kar ima pozitiven učinek na nas in prihodnje generacije.

2.5 Raziskovalno vprašanje

Vedno večje zanimanje za razvoj modernizacije kmetijstva nas spodbuja k raziskovanju in iskanju inovativnih rešitev za probleme modernega sveta. V tem kontekstu se postavljajo pomembna raziskovalna vprašanja, ki nam omogočajo boljše razumevanje in izboljšanje različnih vidikov pridelovanja pridelkov. Naš cilj je pridobiti nove in uporabne odgovore na vprašanja, ki si jih noben ni upal vprašati, tako bomo prvi, ki so se podali na to pot v upanju, da bomo prispevali k napredku in našli formulo za optimalno gojenje rastlin in omogočili trajnostno uporabo virov ter tako pomagali doseči ideje v sklopu trajnostnega razvoja.

Zastavili smo si naslednje vprašanje:

“Ali je fogponsko pridelovanje učinkovitejše kot tradicionalna vzgoja rastlin?”

Odgovori na to raziskovalno vprašanje bi nam razkrili, ali je fogponika res boljša kot tradicionalne metode gojenja rastlin. Meritve smo izvedli v fogponskem rastlinjaku in na obdelovalni površini (zemlja v koritu) posadili rastlino iste vrste. V procesu rasti smo rastlino v modernem rastlinjaku gojili s pomočjo fogponike ter vseh prednosti, ki jih fogponski rastlinjak ponuja. Rastlino, ki jo gojimo s tradicionalno metodo gojenja, pa smo zalivali enkrat na dan. Trudili smo se, da smo obema metodama omogočali enake pogoje za rast.

Trende bomo razbrali s pomočjo raznih kriterijev. Rastline bodo imele omejen čas rasti, po izteku časa bomo med rastlinami prikazali razliko v videzu in kvaliteti. Vizualno bomo preverjali kvaliteto obeh rastlin ter na podlagi videza korenin in stebela primerjali rastline.

Drugi trend pa se bo nanašal na težo posamezne rastline, ki jo gojimo. Vsako rastlino bomo po izteku časovnega obdobja tehtali ter tako določili trend glede na težo pridelka. Težji, kot je pridelek, bolje je.

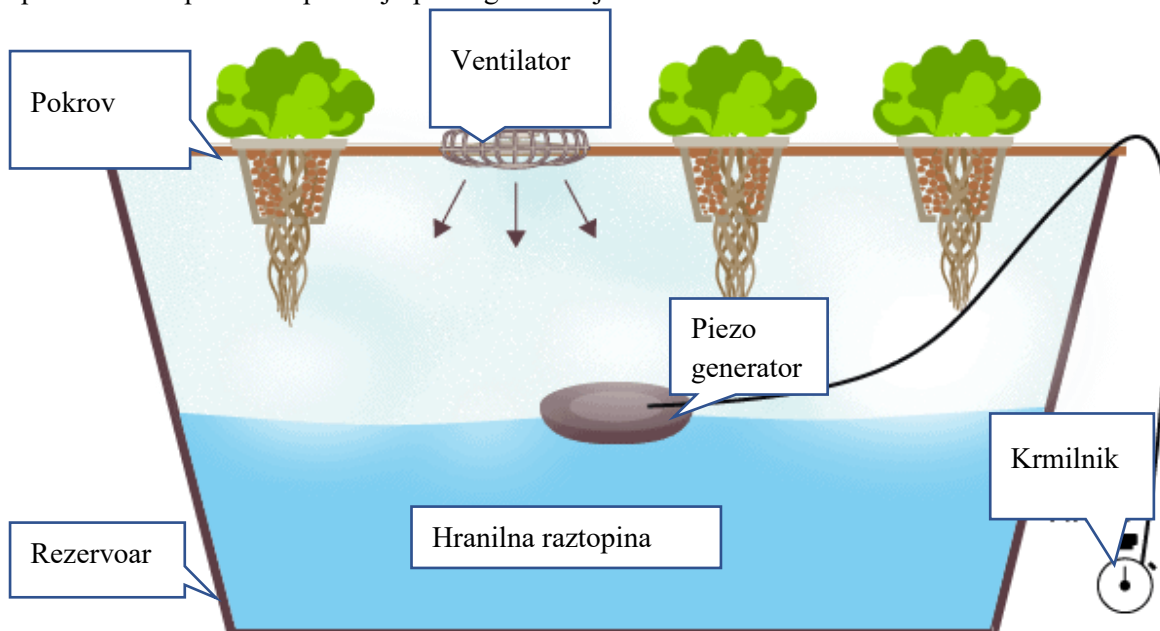
Kot tretji trend bomo solatam prešteli količino priraslih listov in tako določili, katera jih je vzgojila več v določenem časovnem obdobju. Prav tako bomo primerjali vse ostale dejavnike, kot sta poraba vode in cenovna dobrobit pridelave s pomočjo določene metode.

2.6 Metode raziskovanja

Uporabljali smo predvsem empirično metodo raziskovanja, saj smo za pridobitev podatkov izdelali dve rastni okolji, vanje posadili testne rastline in jih po izteku časovnega obdobja primerjali. Prav tako smo uporabili metodo raziskovanja literature, saj smo na tak način sploh prišli do odkritja fogponike, in jo uporabili, ko smo zbirali podatke o že narejenih fogponskih sistemih, da bi lahko na podlagi njihovih napak in ugotovitev sami naredili lasten fogponski rastlinjak.

3 Potek raziskave

Namesto da bi rastline gojili s tradicionalno metodo gojenja rastlin, kjer jih moramo posaditi v zemljo, jih redno zalivati in negovati, želimo rastline vzgojiti s fogponiko (glej sliko 2). Korenine rastlin se sedaj nahajajo v meglici ter iz nje prejemajo potrebne minerale in vodo. Vodo iz tekočega stanja spremenimo v plinasto s pomočjo piezo generatorja.



Slika 2: Shema fogponskega rastlinjaka.

(Vir: <https://www.trees.com/wp-content/uploads/files/inline-images/Fogponics.png>)

3.1 Predraziskava

Pregled teorije in izdelava konceptualnega prototipa

Raziskovanje smo začeli z obširnim branjem literature. Ker fogponika spada med najnovejše metode pridelovanja, nismo našli veliko informacij, večino smo se naučili skozi razne preizkuse, ki smo jih izvedli sami. Pregledali smo prej omenjeni raziskovalni nalogi in si zadali cilje in raziskovalna vprašanja.

Po predelani literaturi smo se osredotočili na izdelavo fogponskega rastlinjaka. Najprej smo želeli izdelati fogponski rastlinjak pravokotne oblike, izdelan bi bil iz aluminija. Narisali smo prve 3D prototipe s pomočjo programa Blender (glej sliko 3). Osnovna konstrukcija se je vila okoli zaprtega sistema. Vse bi se torej odvijalo znotraj enega prostora, nakar smo hitro ugotovili, da bo to sprva zelo težko izvesti, po drugi strani pa bi bilo zelo drago. Prav tako smo skozi razne raziskave ugotovili, da končni izdelek ne bi deloval, saj bi rastline zaradi prekomerne megle izgubile možnost izvajanja fotosinteze in bi posledično ovenele.

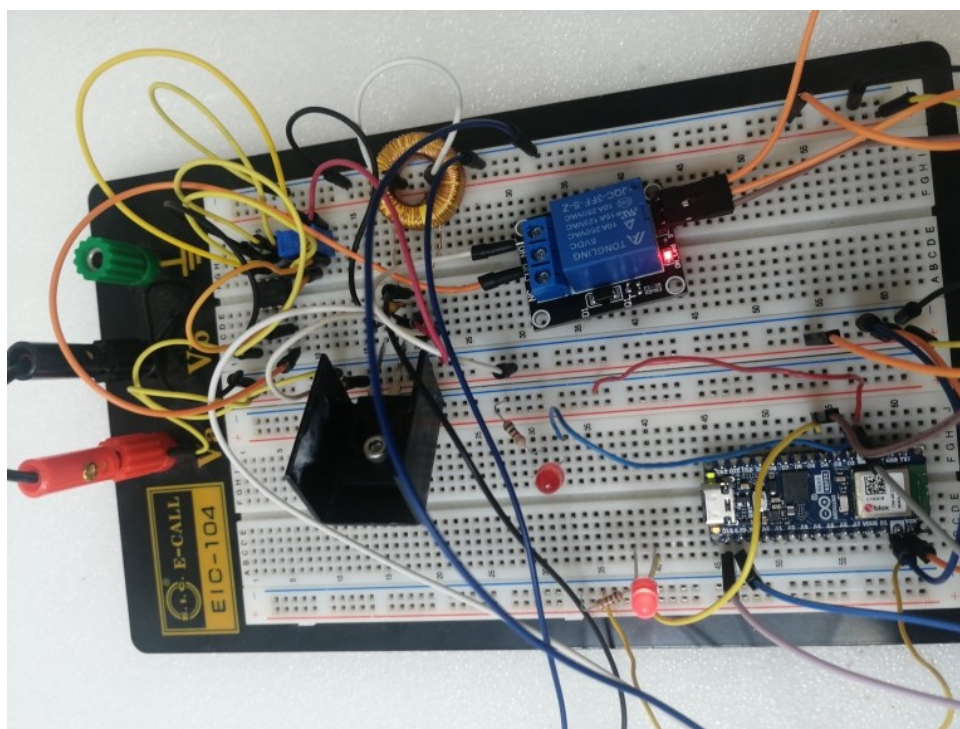


Slika 3: 3D-model ideje o fogponskem rastlinjaku.

Tako smo se naučili veliko novega. Ugotovili smo, da v naš rastlinjak ne smemo implementirati celotno zaprtega sistema, ampak ga moramo omejiti zgolj na korenine. Kot lahko vidimo v zgornji sliki, so korenine neposredno izpostavljene soncu. To bi povzročalo, da bi rastlina vso svojo rast preusmerila v korenine, tega pa seveda nečemo, zato smo v nadgradnji rastlinjaka koreninam preprečili dostop do sončne svetlobe.

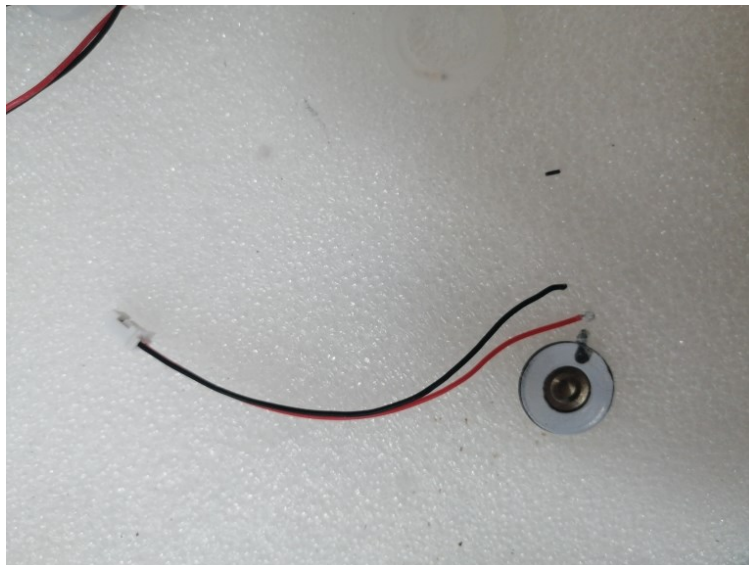
Izdelava lastnega piezo generatorja

Prav tako smo sami izdelali vezje za piezo generator. Za izdelavo smo uporabili potenciometer, NE555 čip, 3 tantalove kondenzatorje, dva 100 mikrofardna in en 10 mikrofarden, tranzistor IRFZ44N in 470 mikro henrijsko dušilko (glej sliko 4).



Slika 4: Vezje piezo generatorja.

Piezo generator je sprva deloval izjemno, ampak imel je dve šibki točki. Piezo generator ni bil vodotesen, to pomeni, da so skozi čas popustili spoji kablov, s katerimi je bil povezan, ti pa se na noben način niso mogli popraviti. Tako smo v treh dneh uničili piezo generator (glej sliko 5).



Slika 5: Uničen piezo generator.

Drugi problem pa se nanaša na meglico, ki jo je proizvajal naš piezo generator. Novejši, ki ga sedaj uporabljamo, proizvede približno 400 mililitrov meglice v 1 uri, naš pa je proizvajal zgolj 50 mililitrov na uro, to pa bi bilo premalo za večjo proizvodnjo pridelka. Zato smo v nadaljevanju uporabili novejši piezo generator (glej sliko 6).



Slika 6: Novejši piezo generator.

Pridelovanje mikro zelenja

Da bi vse skupaj preizkusili, smo izdelali fogponski rastlinjak, namenjen zgolj pridelavi mikro zelenja (glej sliko 7). Izdelan je iz 15-litrške plastenke za olje, prerezane na polovico. Med polovicama smo dodali mrežo, na katero posujemo naša semena. V spodnji del plastenke dolijemo vodo ter vanjo

položimo piezo generator. Zgornjo in spodnjo polovico plastenke zapremo skupaj in tako naredimo komoro, v kateri lahko gojimo mikrozelenje.



Slika 7: Fogponski rastlinjak, namenjen gojenju mikrozelenja.

Za mikrozelenje smo se odločili zaradi hitre rasti, uporabili pa smo mikrozelenje vrste brokoli. Mikrozelenje potrebuje zgolj 10 dni, da doseže primerno rast za žetje. Da bi lahko primerjali razliko v rasti med fogponsko in tradicionalno metodo gojenja rastlin, smo zraven rastlinjaka postavili korito, ki smo ga napolnili z minerali bogato zemljo (glej sliko 8).



Slika 8: Mikro zelenje, ki smo ga gojili v koritu.

V obe okolji smo posadili 3 grame semen. Semena smo pustili rasti 7 dni. Pri tradicionalni metodi smo morali semena redno zalivati, medtem ko je proces dovajanja vode v fogponskem rastlinjaku deloval avtomatizirano. Dnevno smo zanjo porabili okrog 2 decilitra vode, med tem ko smo pri fogponskem rastlinjaku v vseh 7 dnevih porabili okrog 1 deciliter vode. Prav tako je treba poudariti, da smo morali mikro zelenje, ki je rastlo s pomočjo tradicionalne metode, prve 3 dni pokriti s plastično vrečko, da smo ustvarili koncept komore, ki je že sam od sebe deloval pri fogponski metodi.

Pomembno je omeniti hranila, ki smo jih uporabljali pri gojenju s fogponsko metodo. Uporaba hranil v fogponskem gojenju je pomembna, saj rastline nimajo nobenega naravnega substrata, iz katerega bi prejele potrebne minerale, zato jih dodamo sami. Dodali smo hranila iz serije Flora, in sicer FloraGrow, FloraBloom in FloraMicro, ki same po sebi ne dodajajo nobene prednosti, saj so zgolj običajni minerali, ki jih najdemo v zemlji (glej sliko 9). Serijo FloraGrow pa smo uporabili, ker jo ostali pridelovalci po navadi uporabljajo pri hidroponskem pridelovanju, to pa je nekako najbližje fogponskemu.



Slika 9: Serija gnojil Flora

Po sedmih dneh smo poželi naš pridelek ter najprej izmerili težo pridelka. Nato smo izmerili še dolžino korenine in dolžino stebela ter rezultate med seboj primerjali. Po izjemnih rezultatih smo se odločili, da si želimo postaviti večje cilje in tako pridelati še nekaj, kar dnevno zaužijemo.

Izdelava večjega fogponskega rastlinjaka

Raziskava s pomočjo večjega fogponskega rastlinjaka, katerega izdelavo podrobneje opišemo v nadaljevanju, je potekala po enakem principu kot raziskava z manjšim fogponskim rastlinjakom, le da smo namesto semen vanj posadili sadike solate vrste Gentila (glej sliko 10).



Slika 10: Solata Gentila.

Narediti smo morali veliko poskusov, da smo eliminirali vse probleme, med katere spadajo prenizek pH vode, prevelika temperatura v rastlinjaku, preveč vlage v rastlinjaku ter kalibriranje parametrov nasploh, da smo lahko rastlini omogočili optimalen prostor za rast in razvoj.

Omejili smo si čas gojenja na 1 mesec, med tem časom pa smo skrbno spremljali parametre pri obeh poskusih. Po koncu gojenja pa smo le te primerjali med seboj, da bi dobili odgovore na naša vprašanja. Vsi odgovori in ugotovitve se nahajajo v raziskovalnem delu poročila.

3.2 Strojna oprema

Fogponski rastlinjak razdelimo na rastlinjak, izdelan iz PVC cevi (glej sliko 11), in kontroler, s katerim upravljamo procese v njem (glej sliko 12).



Slika 11: Okvir fogponskega rastlinjaka.



Slika 12: Krmilnik fogponskega rastlinjaka.

Skupaj tvorita inovativno napravo, ki omogoča pridelavo rastlin z uporabo s hranili bogate meglice (glej sliko 13). Zasnova vključuje cevi, ventilator ter rezervoarje za vodo s piezo generatorji za pretvarjanje vode v tekočem stanju v meglico. Krmilnik, opremljen z ESP8266 modulom, varovalkami in releji, nadzoruje rastne procese, vključno z dovajanjem vode in regulacijo temperature, ter ustvarja učinkovit sistem za gojenje rastlin s pomočjo fogponike.



Slika 13: Slika krmilnika in rastlinjaka skupaj.

Podrobnejši opis izdelave fogponskega rastlinjaka si lahko ogledate v Prilogi A na koncu raziskovalne naloge.

3.2.1 Uporaba piezo elementa v fogponskem rastlinjaku

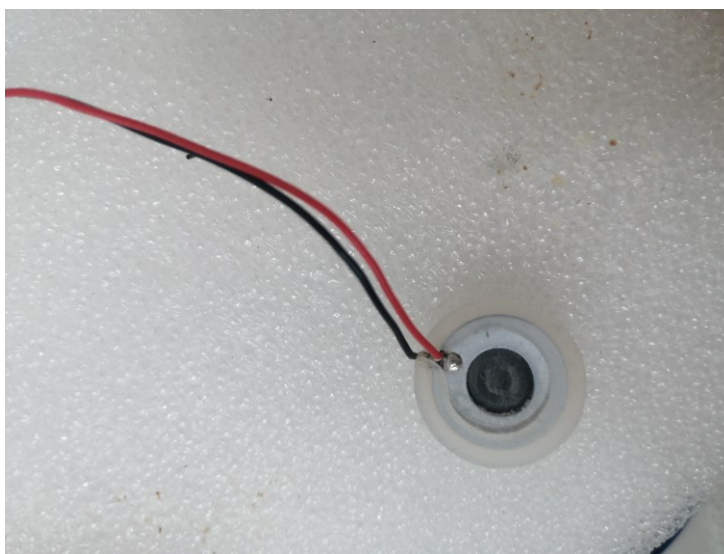
Piezoelektrični generator je naprava, ki izkorišča pojav piezoelektričnega učinka za pretvorbo električne energije v mehansko gibanje (glej sliko 14). Piezo materiali, kot so keramika, kristali ali polimerni filmi, imajo sposobnost generiranja električnega naboja, ko nanje deluje mehanski pritisk ali deformacija.

V fogponskem rastlinjaku s pomočjo piezo elementa pretvorimo vodo, obogateno s hranilnimi snovmi, v fino meglico, ki je enake velikosti kot pore rastlin, skozi katere se tako lažje absorbira.

Piezo element deluje na osnovi piezoelektričnega učinka. Ko se nanj priključi električna napetost, pride do mehanske deformacije elementa, kar ustvari vibracije. Te vibracije nato povzročijo razpad tekočine na drobne kapljice, ki tvorijo fino meglico. Velikost in gostota kapljic se lahko nadzorujeta s prilagajanjem frekvence in amplitude vibracij piezo elementa.

Fina meglica, ustvarjena s pomočjo piezo elementa, se lahko enakomerno porazdeli po rastlinjaku, saj je le ta lažja od vode in težja do zraka. Meglica se tako zadržuje v prostoru neposredno zraven korenin, to nam omogoča optimalno absorpcijo hranilnih snovi, tako tudi zmanjšamo izgubo hranil in omogočamo njihovo učinkovito izkoriščanje.

Uporaba piezo elementa za avtomatizirano ustvarjanje fine meglice in dovajanje hranil ima številne prednosti v modernem rastlinjaku. Zagotavlja bolj natančno in učinkovito dostavo hranil, zmanjšuje porabo vode in hranil ter omogoča prilagodljivost glede na specifične potrebe rastlin. Hkrati pa prispeva k trajnostni in učinkoviti pridelavi hrane ter odpira nove možnosti za izboljšanje kmetijskih procesov.



Slika 14: Piezo element.

3.2.2 Ventilator

Ventilator je v fogponskem rastlinjaku uporabljen za uravnavanje kroženja meglice, prav tako ga lahko uporabimo za reguliranje temperature, ni pa ključna komponenta fogponskega rastlinjaka (glej sliko 15). Ventilator smo kmalu po uporabi zaradi prevelike vsebnosti vlage v rastlinjaku uničili (glej sliko 16), kljub temu pa smo na koncu prišli do uporabnih podatkov za raziskavo.

Ventilator deluje na principu ustvarjanja zračnega pretoka znotraj rastlinjaka. Ko je vklopljen, ustvari zračni tok, ki enakomerno porazdeli fino meglico. Ventilator se vklaplja periodično,

vklopi se v določenem optimalnem zaporedju, da zamenja staro meglico z novo ali pa če je temperatura v rastlinjaku prevelika.

Ventilator ima vgrajen krmilnik, ki nam omogoča določanje jakosti ventilatorja. Ta je po navadi nizka, saj nočemo poškodovati korenin, ampak zgolj rahlo potisniti meglico do njih.



Slika 15: Ventilator.



Slika 16: Uničen ventilator.

3.2.3 Nadziranje parametrov v fogponskem rastlinjaku

V modernem rastlinjaku bomo uporabili različne senzorje, s pomočjo katerih pridobimo dragocene podatke o parametrih in rasti rastlin v rastlinjaku. Ti podatki nam omogočajo natančen nadzor in optimizacijo pogojev za uspešno gojenje rastlin.

Nadziranje pH vode

Nadziranje nivoja vode pri fogponskem pridelovanju je izjemno pomembno, saj ne uporabljamo zemlje, ki bi imela fiksni pH, na katerega so navajene (glej sliko 17). Namesto tega moramo

naš pH v vodi skrbno uravnavati ter paziti, da ne bo voda, ki jo uporabljamo, preveč kisla ali bazična.

Pri fogponiki se primeren pH vode nahaja med 5,5 in 6,2 pH, pH domače vode iz pipe pa se je gibal med 7 pH, kar je bilo občutno preveč bazično. Zato smo dodali razna hranila, ki jih rastlina sama po sebi potrebuje, to pa je znižalo pH raven na 5,8.

Stabilnost pH vode smo nato merili vsake 3 dni, da se ta ne bi drastično spremenila. Ob spremembah Ph-ja pa smo vodo kar se da hitro uravnavali. Če je bila voda preveč bazična, smo dodali določeno mero univerzalnega hranila, v nasprotnem primeru, če je bila voda preveč kisla, pa smo dodali vodo iz pipe.

Nadziranje Ph vrednosti je izjemno pomembno, saj so lahko posledice preveč kisle ali bazične vode velik korak nazaj. Sprva se problem sploh ne opazi, skozi čas pa rastlina preneha rasti ter se začne neopazno krčiti. Prav tako se pojavi rumenenje listov in občasno gnitje korenin, dokler ne pride do popolnega odmrtnja rastline. Če pa je voda preveč kisla, se postopoma opazijo spremembe na piezo generatorju, saj se minerali začnejo spreminjati v sol, ki se nabira na vrhu piezo generatorja.

Raven pH v vodi smo merili s pomočjo merilnega testa, ki je v prvotnem namenu namenjen merjenju Ph vode v akvariju, kljub temu pa je vseeno zadoščal našim namenom. V prihodnosti pa nameravamo za merjenje pH uporabiti senzor. Ta nam bo omogočal meritve v realnem času, prav tako bo ta tudi bolj natančen kot ročno testiranje.



Slika 17: PH test.

Senzor za merjenje temperature

Senzor temperature v modernem rastlinjaku igra ključno vlogo pri spremljanju in vzdrževanju optimalnih temperaturnih pogojev za rastline. S pravilnim nadzorom temperature lahko dosežemo optimalno rast, razvoj in produktivnost rastlin.

V prvih dneh raziskovanja smo ugotovili, da piezo generatorji proizvajajo veliko toplote, ki se nato kopiči znotraj rastlinjaka. Prevelika temperatura pa slabo vpliva na rast rastlin, saj povzroča gnitje korenin, ki pa v fogponiki predstavljajo eno izmed glavnih prednosti. Slabost prevelike temperature lahko opazimo tudi pri piezo generatorjih, saj lahko ti zaradi prevelike temperature pregorijo.

V fogponskem rastlinjaku smo se morali boriti tudi z meglo, saj bi normalni senzorji temperature v tako vlažnem okolju razpadli. Zato smo morali uporabiti temu primerne senzorje temperature.

Uporabili smo DS18B20 (glej sliko 18).

Ta enojni žični senzor zagotavlja natančne digitalne podatke o temperaturi in se odlikuje z visoko natančnostjo meritev. Zmožen je pokrivati širok temperaturni razpon, kar omogoča sledenje temperatur od zelo nizkih do visokih vrednosti.

Senzor DS18B20 je enostaven za integracijo v različne sisteme in naprave zaradi svoje enojne žične povezave. Njegova prednost je zagotovo to, da je glava senzorja prekrita z aluminijasto kapico. Tako pa se v primeru fogponskega rastlinjaka, kjer je prisotna visoka vlažnost, DS18B20 izkaže kot primeren senzor. Njegova zmožnost delovanja v zahtevnih okoljih omogoča spremljanje in vzdrževanje optimalnih temperaturnih razmer za rastline.

Cena senzorja DS18B20 se lahko razlikuje glede na prodajno mesto in količino nakupa, vendar je običajno cenovno dostopna, njegova cena pa se giblje med 2 in 3 evri. Takšno nadziranje temperature pa nam omogoča, da jo lahko sproti uravnavamo.



Slika 18: Senzor za merjenje vlage in temperature.

3.3 Programski del

3.3.1 Avtomatizacija v fogponskem rastlinjaku

Avtomatizacija v fogponskem rastlinjaku je izjemno pomembna tema, saj gre za novo tehnologijo, ki je veliko ljudi sprva ne bo razumelo. Premikanje vode se v našem rastlinjaku ne vede enako kot v cvetličnem lončku na polici. Tukaj moramo biti precizni z oskrbovanjem korenin z vodo, saj lahko vsaka manjša napaka povzroči upočasnjeno rast ali pa celo venenje rastline.

Zato želimo procese v modernem rastlinjaku čim bolj poenostaviti in jih približati še tako nezavednim osebam. Pri tem nam pomagajo razni senzorji, ki ves čas sporočajo stanje znotraj fogponskega rastlinjaka. Tako bi v prihodnosti lahko analizirali vsako od poročil in rastlini tako zagotovili optimalne razmere za rast. Lahko bi optimizirali vnos hranilnih snovi, ponastavili spekter svetlobe ter predvideli, v katerem rastnem stanju je rastlina in kdaj bo čas za žetje. S preciznim branjem parametrov bi lahko opozorili na razne bolezni, ki jih je rastlina začela razvijati, tako bi ji lahko nudili oskrbo že preden se bolezen do konca razvije. Možnosti pri uporabi avtomatizacije so neomejene.

Trenutno pa smo se morali zadovoljiti zgolj z avtomatskim zalivanjem, ki proizvaja meglico na 25 % ravni glede na uro na vsakem piezo generatorju, to pomeni, da piezo generator proizvaja meglico 15 minut v celi uri. To izbrani rastlini doprinese dovolj vlage in hranilnih snovi, da lahko funkcionira brez pomanjkanja ali prekomernega zalivanja. Prav tako lahko predvidevamo, ali je že čas žetve ali ne. Ta funkcija je sicer še nenatančna, ampak skozi temeljito raziskovanje lahko postane realnost.

Vseh ostalih možnih avtomatizacij na žalost nismo mogli dodati zaradi pomanjkanja potrebnih senzorjev in meritev. Upamo pa, da bomo lahko skozi nadaljnje raziskave in možne investicije ter sponzorstva uresničili tudi vse omenjene ideje.

3.3.2 Mikrokrmilnik v modernem rastlinjaku

Vsi avtomatski procesi, ki se dogajajo znotraj modernega rastlinjaka, so posledica uporabe zmogljivega mikrokrmilnika ESP-8266 (glej sliko 19). Ta napredna mikrokrmilniška enota ponuja razširjen nabor vhodno-izhodnih zatičev, visoko procesorsko zmogljivost in obsežno pomnilniško kapaciteto, kar omogoča učinkovito upravljanje in nadzor procesov v rastlinjaku.

ESP8266 je majhen mikrokrmilnik, zasnovan za aplikacije internetnih stvari (IoT). S poudarkom na močnih povezavah ta mikrokrmilnik prinaša izjemno funkcionalnost in je cenovno ugoden. Procesorska moč ESP8266 temelji na 32-bitnem mikrokontrolerju Tensilica L106, ki deluje s frekvenco do 80 MHz, kar zadostuje za izvajanje različnih nalog.

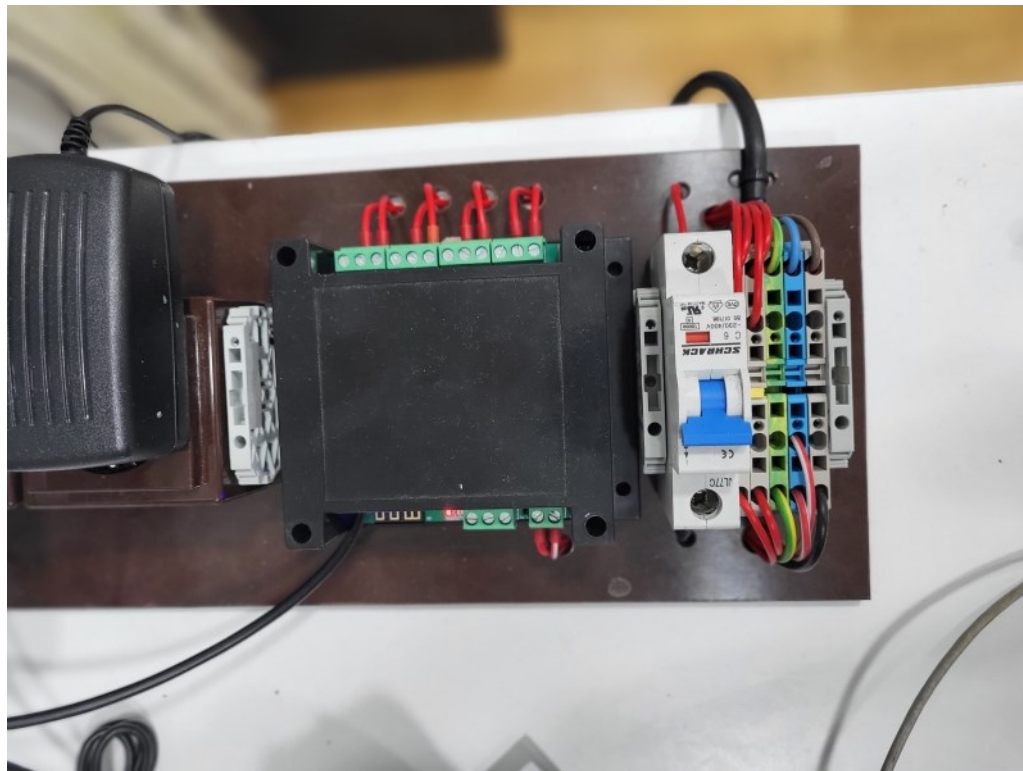
Glavna prednost ESP8266 je vgrajen Wi-Fi modul, ki podpira standarde 802.11 b/g/n. Omogoča preprosto povezljivost s spletnimi omrežji, kar je ključno za več aplikacij IoT. Mikrokrmilnik ponuja vgrajen pomnilnik za shranjevanje programske kode, nekateri modeli vključujejo tudi dodani pomnilnik flash za shranjevanje podatkov.

Energetska učinkovitost je ena od glavnih značilnosti ESP8266, kar je pomembno za naprave, ki delujejo na baterijsko napajanje. Poleg tega mikrokrmilnik vključuje več digitalnih in analognih vhodno/izhodnih pinov za povezavo z različnimi senzorji in napravami.

Programiranje ESP8266 je mogoče izvesti v različnih okoljih, kot so Arduino IDE, PlatformIO in NodeMCU Lua, kar programerju omogoča različne izkušnje prilagodljivosti pri razvoju. Podpora široke skupnosti zagotavlja obilico dokumentacije, knjižnic in projektov, ki olajšujejo razvoj na tej platformi.

Zaradi svoje ugodne cene je ESP8266 priljubljena izbira za razvoj IoT projektov, pametnih domov, senzorskih omrežij in drugih aplikacij, ki zahtevajo brezžično povezljivost ter zmogljivost.

V modernem rastlinjaku je ESP8266 ključni element za ustvarjanje pametnega in avtomatiziranega okolja, v katerem se uporablja napredna tehnologija za nadzor, prilagajanje in optimizacijo rastnih pogojev.



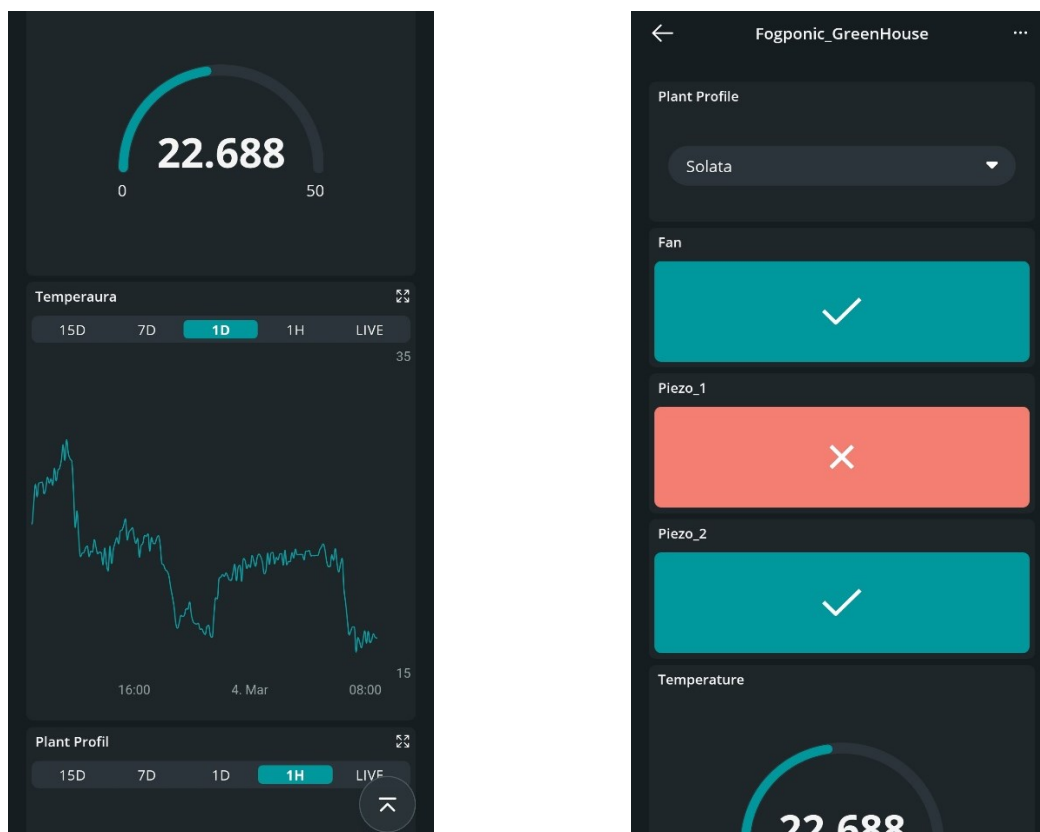
Slika 19: 4-relejni modul z mikrokontrolerom 8266.

3.3.3 Arduino Cloud

Pri programiranju fogponskega rastlinjaka smo se odločili za programsko okolje imenovano Arduino Cloud. Arduino Cloud je platforma, ki omogoča enostavno upravljanje in povezovanje Arduino naprav in ostalih mikrokontrolerov v oblaku za internet stvari (IoT).

Arduinno Cloud napravam omogoča brezžično povezavo z omrežjem, programerjem pa to predstavlja prednost, saj za vsako nadgradnjo sistema, programske kode ali vmesnika ne potrebujejo nobenih priključkov za priključevanje mikrokontrolerja z računalnikom, ampak lahko nadgradnjo opravijo kar preko interneta, Arduino Cloud pa jim omogoča, da tovrstne nadgradnje izvedejo tudi na izjemne razdalje.

Uporabnikom omogoča tudi integracijo grafičnega uporabniškega vmesnika (GUI). To pomeni, da lahko uporabnik razvije svojo aplikacijo znotraj Arduino Clouda, kjer lahko sam spreminja stanje določenih vtičev na mikrokontrolerju (glej sliko 20). S pomočjo programske kode lahko tako avtomatizira razne procese, GUI pa prav tako omogoča takojšnji vpogled v stanje vtičev, omogoča grafični prikaz stanja senzorjev ter nam omogoča vpogled vrednosti celo do leto dni nazaj.



Slika 20: Grafični vmesnik na telefonu.

Znotraj Arduino Clouda je mogoče izdelati tudi pametno nadziranje, ki ga uporabljamo v fogponskem rastlinjaku s pomočjo tako imenovane tehnologije trigers. Ta nam s pomočjo programske kode omogoča, da ob določenem trenutku prejmemo sporočilo na našem telefonu ali računalniku, na primer če se je sprožil senzor gibanja na terasi, v tistem trenutku nam bo Arduino Cloud poslal sporočilo na našo sprejemno napravo.

Tako Arduino Cloud predstavlja platformo, namenjeno izkušenim programerjem kot tudi začetnikom, ki skupaj gradijo povezano skupnost, kjer si delijo medsebojno znanje in izkušnje.

3.3.4 Algoritem

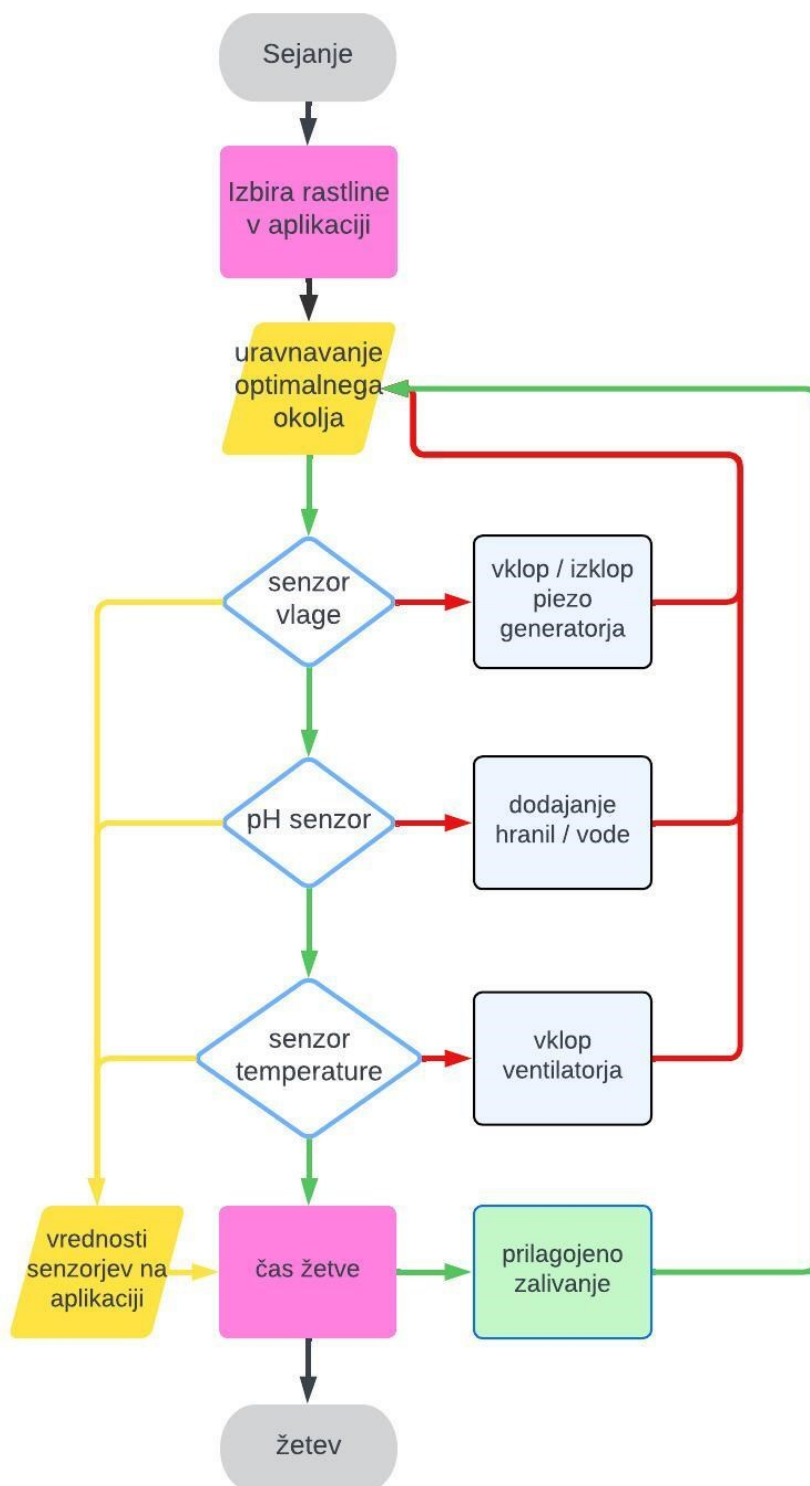
Algoritem je niz ukazov, ki jih je treba upoštevati, da računalnik izvede izračune ali druge postopke za reševanje problemov. V skladu s svojo formalno definicijo je algoritem končen niz ukazov, ki se izvajajo v določenem vrstnem redu za izvedbo določene naloge. To ni celoten program ali koda; je preprosta logika za problem, predstavljen kot neformalen opis v obliki diagrama poteka ali psevdokoda (glej sliko 21).^[3]

Cilj algoritma v fogponskem rastlinjaku je zagotavljati optimalne pogoje za rastline, ki smo jih izbrali. To vključuje prilagajanje parametrov, kot so temperatura, vlažnost in pH vode. Čeprav trenutno ne uporabljamo vseh potrebnih senzorjev, ki bi zagotovili optimalne pogoje rastlini, kot je na primer senzor za merjenje pH v vodi, bomo v diagram poteka algoritma vseeno dodali omenjen senzor, saj ga tehnično uporabljamo, ampak izpis podatkov zaenkrat ni avtomatiziran.

Začnemo s sejanjem željene rastline. Rastlino izberemo v aplikaciji. Umetna inteligenca zaradi podatkov, s katerimi smo jo nahranili, ve, kako bi morale zgledati optimalno okolje za gojenje te rastline. Zato začne po podatkih to okolje implementirati. Senzorji ves čas sporočajo vrednost določenih parametrov v rastlinjaku. Če parametri niso skladni z vrednostjo, ki jo je določila umetna inteligenca, se sprožijo potrebni postopki, da uravnajo vrednost parametrov na določeno vrednost. Na primer če je v rastlinjaku premajhna vsebnost vlage, vklopimo piezo generator.

Senzorji sproti pošiljajo vrednosti senzorjev na grafični vmesnik, kjer lahko v realnem času opazujemo stanje parametrov v fogponskem rastlinjaku. Dokler ne napoči čas žetve, je vedno prisotno avtomatsko zalivanje, tako rastlini vedno zagotovimo zadostno količino vode. Ob primernem času pridelek požanjemo ter postopek ponovimo, ko v rastlinjak posadimo nove rastline.

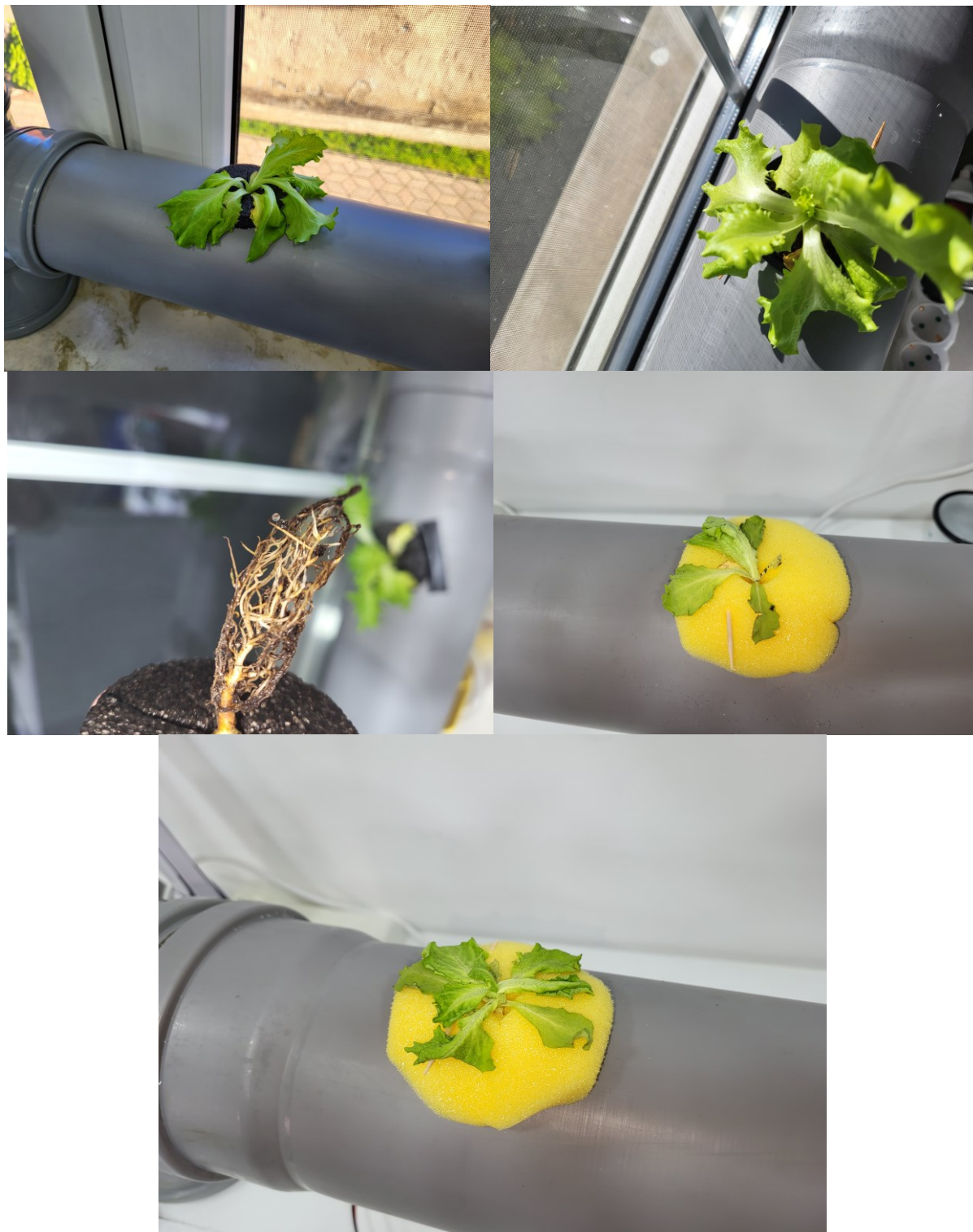
Kodni zapis algoritma si lahko podrobneje ogledate v Prilogi B na koncu raziskovalne naloge.



Slika 21: Blokovni diagram algoritma.

4 Rezultati raziskovanja

Po končani raziskavi smo rastlinam izmerili potrebne podatke, da smo lahko določili trende. Radi bi omenili, da smo kot končne rezultate zapisali zgolj zdrave rastline, saj so rastline v začetnih fazah implementacije fogponike v fogponskem rastlinjaku pogosto ovenele že v prvem dnevu gojenja (glej sliko 22). Ti spodrseljaji so bili pomembni mejniki v naši raziskavi, saj smo le tako dobili potrebne podatke, da smo dognali končno formulo za algoritem v fogponskem rastlinjaku.



Slika 22: Neuspešni poskusi implementacije fogponike.

Podatke smo zbirali na podlagi dveh vrst rastlin, in sicer mikrozelenja brokolija in solate Gentila. V nadaljevanju bomo posebej opisali določen trend in kriterije, ki jih le ta zastopa. Opozoriti pa želimo, da kriterija za merjenje listov pri mikrozelenju brokolija ne moremo izvesti, zato ga tam ne bomo zapisali.

4.1 Vizualni izgled

Najprej bomo pridelek ločili glede na vizualni predstavi. Ogledali si bomo korenine in stebila pridelanih rastlin in na koncu podali mnenje.



Slika 23: Korenine mikrozelenja brokolija pri fogponskem obdelovanju.

Na sliki lahko vidimo korenine, ki so nastale pri gojenju mikrozelenja z metodo fogponskega pridelovanja (glej sliko 23). Vizualno lahko potrdimo, da so izjemno dobro razvite, to vidimo po majhnih belih laskih, ki so nastali.



Slika 24: Prikaz korenin in stebel pri fogponski pridelavi mikrozelenja brokolija.

Opazimo lahko tudi izjemno rast stebela, ki so bila v primerjavi s tradicionalno metodo dosti trša (glej sliko 24).



Slika 25: Mikro zelenje v koritu.

Pri rastlinah v tradicionalni metodi opazamo slabšo razvitost, kot lahko opazimo so listi na glavicah mikro zelenja še zmeraj v večini zaprti, to nakazuje na nepopolno razvitost rastline (glej sliko 25).



Slika 26: Primerjava pridelka fogponske metode s tradicionalno metodo, naris.

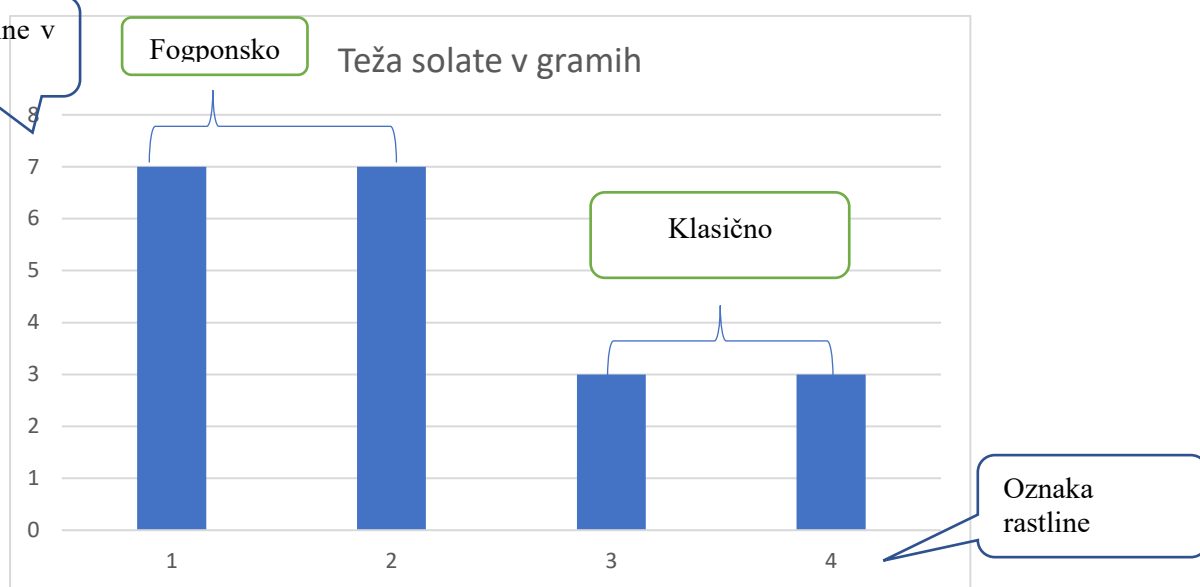


Slika 27: Primerjava pridelka fogponske metode s tradicionalno metodo, tloris.

Na sliki lahko opazimo razliko med fogponskim in tradicionalnim pristopom gojenja rastlin (glej sliki 26 in 27). Takoj lahko opazimo, da je rastlina na levi strani, pridelana s pomočjo fogponske metode gojenja, občutno večja od rastline na desni strani, ki je pridelana po tradicionalni metodi gojenja.

Opazimo tudi razliko v listih, ti so daljši in širši ter bolj upognjeni kot pri tradicionalni metodi. Posledica tega je predvsem v dejstvu, da je solata, pridelana z fogponiko, prešla v novo fazo rasti.

4.2 Končna teža posamezne rastline



Slika 28: Graf teže določene rastline.

Na zgornjem grafu lahko opazimo razliko v teži (glej sliko 28). Prvi in drugi stolpec sta rastlini, ki smo ju vzgojili v fogponskem rastlinjaku, tretja in četrta pa sta rastlini, ki smo ju vzgojili v koritu. Opazimo lahko, da so teže sorodkinj iz iste metode podobni. To za nas ni presenečenje, radi pa bi izpostavili, da smo vse rastline posadili enak čas. Vse rastline so pri setvi tehtale 1 gram. Rastline po klasični metodi so na koncu tehtale 3 grame, kar pomeni, prirastek 2 grama (3 grame – 1 gram). Rastline po fogponski metodi pa so na koncu tehtale 7 gramov, kar pomeni prirastek 6 gramov (7 gramov – 1 gram). Sklenemo, da smo pri fogponski metodi pridobili 3-krat več hrane (6 gramov : 2 grama = 3). Meritve so bile izvedene od 8. februarja 2024 do 3. marca 2024.



Slika 29: Graf teže mikrozelenja pri določeni metodi gojenja.

Po izteku roka gojenja smo pri mikrozelenju izmerili celotno težo pridelka in dolžino posameznih rastlin, da bi lahko primerjali metodi. Opazimo lahko stolpec na levi, ki predstavlja rast mikrozelenja s pomočjo tradicionalne metode gojenja, mikrozelenje je tam doraslo do 39 gramov, med tem ko stolpec

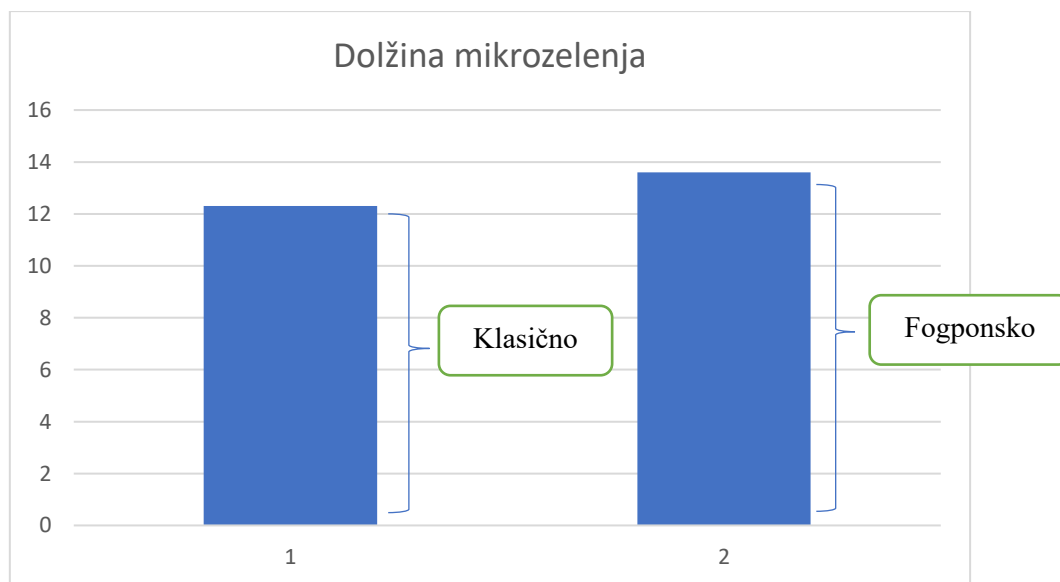
na desni predstavlja težo 51 gramov, to so rastline, ki smo jih vzgojili s pomočjo fogponske metode gojenja (glej sliko 29). To nam pove, da je teža mikrozelenja 1,33-krat večja kot pri tradicionalni metodi gojenja. Merjenje smo izvedli s koreninami vred takoj po žetvi mikrozelenja.

4.3 Prirastek listov pri solati



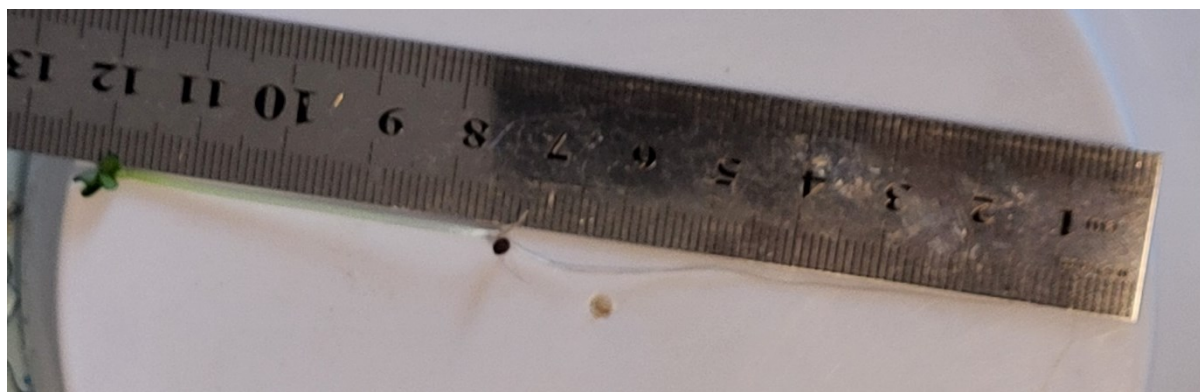
Slika 30: Graf števila listov določene rastline.

V zgornjem grafu lahko opazimo skoraj popolnoma enakomeren prirastek listov (glej sliko 30). Opazimo zanimiv trend, vse rastline imajo podobno število listov, vendar se vseeno razlikujejo v teži in razvitosti. Prva in druga rastlina sta vzgojeni s pomočjo fogponske metode, tretja in četrta pa po tradicionalni metodi gojenja.



Slika 31: Graf dolžine mikrozelenja pri uporabi določene metode gojenja.

V zgornjem grafu lahko razberemo, da je mikrozelenje v levem stolpcu za 1,3 centimetra manjše kot mikrozelenje v desnem stolpcu (glej sliko 31). Mikrozelenje v levem stolpcu je vzgojeno po tradicionalni metodi gojenja, med tem ko so podatki za mikrozelenje v desnem stolpcu pridobljeni s pomočjo fogponske metode gojenja.



Slika 32: Prikaz merjenja mikrozelenja.

Pri vsaki metodi smo izmerili dolžino od vrha stebela do konic korenin, da bi čim bolj optimalno določili rast. Postopek smo ponovili na 50 rastlinah, potem smo iz zbranih vrednosti izračunali povprečje dolžine mikrozelenja za določeno metodo (glej sliko 32).

Opazimo lahko, da so rastline, ki smo jih vzgojili s fogponsko metodo gojenja, bile večje, ampak ne za enako velikost, kot smo jo izmerili pri gojenju solate. Menimo, da gre tukaj za neko omejeno rast pri mikrozelenju, ki je ne moremo prekoračiti, res pa je, da se je s pomočjo fogponike iz semena razvilo več mikrozelenja, kot pri tradicionalni metodi, zaradi česar je bil pridelek posledično težji.

4.4 Poraba naravnih virov za rast pridelka

Merili smo tudi porabo virov, da bi določili, katera izmed metod je bolj trajnostna. Opazili smo, da za gojenje v tradicionalni metodi potrebujemo s hranili bogato zemljo, to predstavlja prvo razliko, saj smo pri fogponski metodi potrebovali zgolj majhen čepek, ki je rastlini dajal podporo in zadrževal meglico, da ni uhajala, morali pa smo dokupiti posebna hranila, namenjena hidroponskemu gojenju. Rastline pri gojenju s tradicionalno metodo gojenja smo zalivali vsak drugi dan, pri enem zalivanju smo porabili približno 3 decilitre vode, skupaj smo tako porabili okrog 3,6 litra vode, medtem ko smo pri fogponiki napolnili oba rezervoarja z 2,6 litri vode. Vode v rezervoarja nismo nikoli potrebovali doliti, saj nismo imeli pretežnih izgub vode zaradi učinkovite uporabe čepkov, zaradi katerih meglica ni mogla uhajati, zato se je neporabljena meglica počasi posedla na dno rezervoarja in spremenila nazaj v vodo. Skozi celotno rast so rastline porabile okrog 3 decilitre vode, zato smo morali samo ponovno namestiti piezo generator na optimalno višino. Tako smo prišli do spoznanja, da je fogponska metoda prav tako bolj trajnostna kot trajnostna metoda gojenja, s tem da smo lahko vodo v fogponskem rastlinjaku uporabili še pri sledečih ciklih, tako smo minimalizirali porabo vode in bi lahko s polnim rezervoarjem vzgojili še 7 ciklov. Sedaj pa primerjajmo še ekonomski pristop k tovrstnemu gojenju.

Za gojenje v koritu smo morali kupiti korito, ki je stalo 10 evrov, in porabili 15 evrov za zemljo. Vredno je omeniti, da pri zemlji nismo skoparili in smo kupili najdražjo zemljo v lokalni kmetijski zadrugi. Vse skupaj nas je stalo 25 evrov.

Za primerjavo bomo uporabili najnovejši fogponski rastlinjak, saj smo skozi raziskovanje model večkrat spremenili in mu dodali oziroma odvzeli določene elemente, ki so seveda stali, da smo na koncu prišli do izdelka, ki smo ga uporabili. Za celotno ohišje, izdelano iz PVC cevi, smo porabili 35 evrov, za nakup čepkov smo porabili 25 centov, piezo generatorja sta nas poslala nazaj za 20 evrov, izdelava celotnega krmilnika je štela okrog 20 evrov, ne smemo pa pozabiti še na porabo elektrike. Izračunali smo, da v celotnem mesecu ne bi porabili niti 10 centov pri standardni vrednosti kilovatne ure, ki je trenutno 11 centov, ne smemo pozabiti, da je piezo generator vklopljen zgolj četrtino časa, zato smo v mesecu porabili zgolj okrog 3 cente. Spomniti se moramo tudi na posebna hranila, ki smo jih kupili, ta so stala 33 evrov za celotno kolekcijo FloraGrow, vsaka steklenica od treh je 500 mililitrska, čeprav jo je priporočeno porabiti zgolj 2 mililitra na liter za vsako izmed hranil. Torej smo za 2,6 litra, ki smo jih dotočili v rezervoarju, dodali še 5 mililitrov vsakega hranila, to je izjemno malo, ne smemo pa pozabiti dejstva, da smo lahko cikel ponovili še 7-krat.

Skupaj smo tako porabili okrog 58,25 evra za izdelavo in gojenje v rastlinjaku. Primerjava je sedaj odvisna od različnih vidikov, kajti zemljo bomo morali slej kot prej zamenjati, skozi čas nam bo zmanjkalo hranil in tako dalje. Pomembna točka pri tej primerjavi pa je seveda čas. Kot smo opazili, so v istem času rastline v fogponskem rastlinjaku zrasle za večjo količino, to pomeni, da bodo prej pripravljene za žetev kot rastline v koritu. Ne smemo pa pozabiti tudi na naš čas, pri gojenju v fogponskem rastlinjaku moramo zgolj doliti vodo in dodati hranili, pri tradicionalni metodi pa moramo ves čas spremljati rast in dolivati vodo, ki je porabimo mnogo več kot pri fogponskem rastlinjaku. Spomnimo se tudi na prostor, v katerem živimo. Res je, da v trenutnih razmerah v fogponskem rastlinjaku pridelujemo zgolj 2 rastlini naenkrat, v koritu pa bi jih lahko po vsej verjetnosti okrog 6. Fogponski rastlinjak je bil namerno izdelan v teh merilih, saj smo za prvi poskus želeli rastlini omogočiti čim več prostora za rast (več o bodočnosti fogponskega rastlinjaka pa v poglavju 4.6 pod rubriko vertikalni fogponski rastlinjak).

4.5 Pomanjkljivost raziskave

Opozorili bi predvsem na dve pomanjkljivosti raziskave, in sicer na majhno raznolikost in majhno število uporabljenih rastlin. Za natančnejše rezultate bi morali primerjati vsaj 20 primerkov in 5 vrst različnih rastlin, ampak, ker za tovrstno večjo raziskavo nismo imeli dovolj časa in denarja smo se morali zadovoljiti omenjenimi podatki, ki vseeno nakazujejo na opazne razlike med metodama.

Končna ugotovitev

V procesu raziskovanja smo ugotovili, da je solata pri fogponskem načinu gojenja vizualno večja (poglavje 4.1), rastline 3-krat težje (poglavje 4.2) kot pri tradicionalnem načinu gojenja. Pri merjenju pa nismo opazili razlike v številu listov (poglavje 4.3). Po mesecu dni smo s »fogponskimi« rastlinami dosegli večji - količnisko in po velikosti - pridelek kot pri »klasičnih«. Implementacija fogponskega načina pridelave je dražja kot tradicionalna (za cca. 33 evrov, poglavje 4.4). Smo pa mnenja, da je fogponski rastlinjak bližje ideji trajnostnega razvoja.

V procesu raziskovanja smo ugotovili, da je mikrozelenje pri fogponskem načinu gojenja vizualno večje, vključno z boljšim videzom koreninskega sistema (poglavje 4.1), rastline pridelane v fogponskem rastlinjaku so 1,33-krat težje (poglavje 4.2) in povprečno 1,3 centimetra večje kot pri tradicionalnem načinu gojenja.

Na našo raziskovalno vprašanje

»Ali je fogponsko pridelovanje učinkovitejše kot tradicionalna vzgoja rastlin?«

odgovorimo

»Glede na rezultate trdimo, da je fogponski način gojenja solate in mikrozelenja neprimerno boljši od klasičnega.«

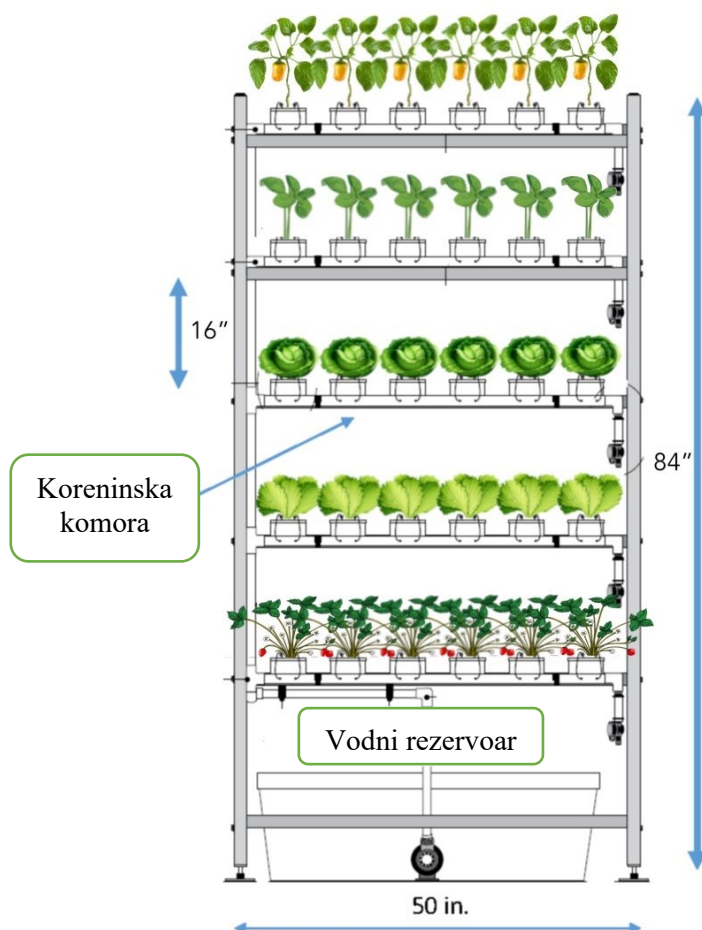
4.6 Najverjetnejša bodočnost kmetovanja

V sklopu fogponskega rastlinjaka smo prav tako razvili razne ideje za nadaljevanje projekta, ki bi jih lahko izvedli s pomočjo tehnologije, ki nam jo zagotavlja fogponski rastlinjak. Ti projekti se bi neposredno nanašali na trajnostni razvoj našega planeta, prav tako pa tudi možni razvoj družbe, ki jo poznamo še na drugih planetih v našem osončju. Nanašajo se na že obstoječe probleme naše družbe in jih inovativno rešujejo. Med te inovativne projekte štejemo npr. spodaj predstavljene projekte.

Vertikalni fogponski rastlinjak

Vertikalno gojenje je strategija, pri kateri želimo porabiti čim manj prostora za čim več pridelka (glej sliko 33). Namesto da bi rastline posadili v gredicah, jih vstavimo v posebej zasnovane stolpce, v katerih jim namesto vode dovajamo meglo in tvorimo fogponski sistem s pomočjo piezo generatorja.

Ta metoda je namenjena predvsem komercialni pridelavi rastlin, pri kateri izrabimo podan prostor do njegovega maksimalnega potenciala. Tako lahko v zgolj enem kvadratnem metru vzgojimo celo 10-krat večjo količino, kot bi jo lahko po navadi.



Slika 33: Vertikalno kmetovanje.

(vir: <https://assets.delawarebusinesstimes.com/2019/02/EricTowerDiagram.jpg>)

Umetna inteligenca v fogponskem rastlinjaku

Umetna inteligenca (UI) je široko področje, ki se nanaša na uporabo tehnologij za izdelavo strojev in računalnikov, ki imajo sposobnost posnemanja kognitivnih funkcij, povezanih s človeško inteligenco, kot je sposobnost videti, razumeti in se odzvati na govorjeni ali pisni jezik, analizirati podatke, dajati priporočila in drugo.

Strojno učenje je podmnožica umetne inteligence, ki stroju ali sistemu samodejno omogoča učenje in izboljšave iz izkušenj. Namesto eksplicitnega programiranja strojno učenje uporablja algoritme za analizo velikih količin podatkov, učenje iz vpogledov in nato sprejemanje premišljenih odločitev. Algoritmi strojnega učenja sčasoma izboljšujejo učinkovitost, ko so usposobljeni – izpostavljeni več podatkom. Modeli strojnega učenja so rezultat ali tisto, kar se program nauči z izvajanjem algoritma na podatkih o usposabljanju. Več podatkov kot je uporabljenih, boljši bo model.

Možne implementacije umetne inteligence so vse okoli nas, le da se mi tega še ne zavedamo, saj se sami sploh ne zmoremo poistovetiti z vsemi prednostmi, ki nam jih tovrstna tehnologija ponuja. Predstavlja nam odgovore na milijone stranskih vprašanj, ki skupaj tvorijo celoto. UI bi nam lahko pomagala tudi

pri mnogih problemih, s katerimi se soočamo v kmetijstvu, zato jo z veseljem sprejemamo v našo raziskavo, kjer jo nameravamo vključiti v praktični izvedbi gojenja fogponike.

Nekatere izvedljive in koristne ideje, ki bi jih lahko implementirali v fogponski rastlinjak s pomočjo UI, so na primer uravnavanje parametrov v modernem rastlinjaku. To bi dosegli z implementacijo senzorjev ter spremljanjem posledic spreminjanja le-teh. Tako bi se rastlinjak sam odzval na razne spremembe parametrov. Ker bi iz izkušenj vedel, da je posledica povečane temperature gnitje korenin, bi to preprečil tako, da bi za določen čas, do stabiliziranja parametra, zmanjšal proizvod meglice in povečal hladilni sistem.

V fogponski rastlinjak bi lahko dodali kamero in jo usmerili proti rastlinam, kamera bi lahko na podlagi barve rastline in plodov določila, kdaj je optimalni čas za obiranje pridelka. Prav tako bi lahko zaznala, kdaj je določeno rastlino napadla bolezen ter skozi čas tudi določila katera.

Edina omejitev pri implementaciji UI v kmetijstvo je zgolj naša domišljija.

Pridelava rastlin v ekstremnih pogojih

S pomočjo tehnologij in posebej zasnovanih sistemov in materialov v modernem rastlinjaku bi lahko rastline uspevale tudi na najbolj ekstremnih območjih, kot so vroča puščava Sahara in vse dol do hladne Antarktike. Tako bi si znanstveniki in raziskovalci v teh območjih lahko sami gojili hrano.

Po podatkih Združenih narodov poseljuje naš planet Zemlja od leta 2019 že več kot 7,7 milijarde ljudi. Ta številka vztrajno raste, v zadnjih letih se zviša za približno 1,1 % na leto. Do 2030 naj bi svetovno prebivalstvo naraslo na približno 8,5 milijarde, do 2050 na 9,7 milijarde, do 2100 pa na okoli 10,9 milijarde ljudi.[9]

Naša inovativna ideja se s tem problemom spopade tako, da bi v teh ekstremnih območjih, kjer ne živi skoraj noben, postavili več tovrstnih rastlinjakov in tako ta območja spremenili v kmetije, saj ne bi bile nikomur v napoto. To pa bi potem reševalo razne prostorske krize, ki se bodo pojavile v prihodnosti. Tako izkoriščamo prostore, ki niso primerni za življenje, in jih spreobrnemo v korist potrošnikov, pridelovalcev in planeta.

Fogponski rastlinjak v vesolju

Ljudje bomo morali slej kot prej razširiti našo družbo na druge planete v našem osončju ali pa celo izven njega. To bi nam uspelo s pomočjo modernega rastlinjaka. Fogponski rastlinjak bi poslali na določen planet, preden bi prišli tja. Nato bi razni roboti postavili moderni rastlinjak skupaj z vesoljskim prebivališčem. Rastlinjak bi v tem času proizvedel hrano za astronave in po vesoljski postaji razširil kisik. Astronavti bi tako prišli na planet, kjer bi jih čakala hrana in prostor za bivanje.

Zelena stanovanja

Stene bi bile nekoliko širše in posebej prirejene, saj bi znotraj njih postavili okolje za naš fogponski rastlinjak. Tako bi stanovalci imeli sveže rastline na dosegu roke, brez da bi morali vanje vlagati veliko dodatnega truda.

Rastlinjaki na vodi – kot vemo v našem fogponskem rastlinjaku porabljamo vodo v rezervoarju za proizvodnjo fine meglice. S pomočjo rastlinjakov, ki bi plavali na vodi, bi lahko vodo direktno črpali iz jezera oziroma določene vodne površine. Tako bi imeli hitrejši dostop do vode, tako pa bi se lahko lotili tudi reševanja prostorske stiske.

Fogponski rastlinjak tako ni le orodje, s katerim ugotovimo optimalno formulo za rast rastlin, saj z njegovo pomočjo in drzno ter premišljeno strukturo rešujemo razne probleme. Fogponski rastlinjak je tako osnovna ideja, iz katere lahko naredimo velike premike in skupaj najdemo razne odgovore na vprašanja ter rešujemo probleme v sedanjosti in tako oblikujemo zeleno prihodnost.

5 Zaključek

Fogponska metoda gojenja rastlin predstavlja inovativno pot v pridelavi rastlin. V raziskavi smo jo uporabili in preučili v rastlinjaku, v katerem smo gojili solato in mikrozelenje. Fogponski rastlinjak, kot smo ga poimenovali, smo opremili z naprednimi tehnologijami (senzorji, aktuatorji, krmilni algoritem), s katerimi smo določena dela avtomatizirali (zalivanje, prezračevanje ...). To metodo gojenja rastlin smo primerjali s tradicionalno.

Po končani raziskavi smo pridobili podatke o teži posameznih rastlin, prirastku števila listov in vizualnem izgledu rastlin.

Pri fogponski metodi gojenja rastlin smo pridelali 3-krat večjo težo rastlin. Porabili smo tudi manj vode. Iz ugotovitev sklepamo, da bi fogponski način gojenja rastlin bil primernejši za gojenje rastlin za prehrano ljudi (v istem času pridelamo več in manj obremenjujemo okolje).

Raziskavo bi bilo smiselno ponoviti v večjem (realnem) merilu in še z drugimi rastlinami, ki jih ljudje običajno gojimo v rastlinjakih. Če bi se izkazalo, da tudi tam solata in/ali druge rastline ob rabi fogponike rastejo hitreje kot pri tradicionalnem gojenju, bi to pomenilo odpiranje novih vrat v pridelavo rastlinske hrane. Ker bi z manj sredstvi v istem času pridelali več, bi verjetno tovrstno kmetovanje pozitivno doprineslo tudi k ideji trajnostnega razvoja človeštva.

6 Viri in literatura

- [1] Our World in Data, Land use, september 2019, citirano januar-ja 2021 iz, (<https://ourworldindata.org/land-use>)
- [2] High tight technologies, Water usage in the agricultural industry, september 2020, citirano januar 2024 iz, (<https://htt.io/water-usage-in-the-agricultural-industry>)
- [3] Simpli learn, What is an algorithm, oktober 2023, citirano januar 2024 iz, (<https://www.simplilearn.com/tutorials/data-structure-tutorial/what-is-an-algorithm>)

Priloga A – Podroben opis izdelave fogponskega rastlinjaka

Če hočemo raziskati primerjavo med fogponsko in tradicionalno metodo, ki jo iščemo, moramo teorijo fogponike uporabiti tudi v praksi. Iz pregleda že izvedenih raziskav smo opazili, da še nihče ni dokumentiral izdelave in pridelave rastlin v fogponskem rastlinjaku, brez da bi te na koncu ovenele. To nam zagotavlja težko nalogo, hkrati pa velik cilj, da izumimo prvi delujoč fogponski rastlinjak in to tudi dokumentiramo.

Podatki o izdelavi neuspešnih rastlinjakov pa ne gredo v pozabo, namreč prav vsi ti rezultati nam dajejo dodatno strokovno podporo ter delujejo kot kažipot pri izdelavi našega rastlinjaka. Sporočajo nam že obstoječe probleme, s katerimi so se spopadali, ko so gradili svojo inovacijo, tako pa lahko lažje identificiramo rešitve na te probleme.

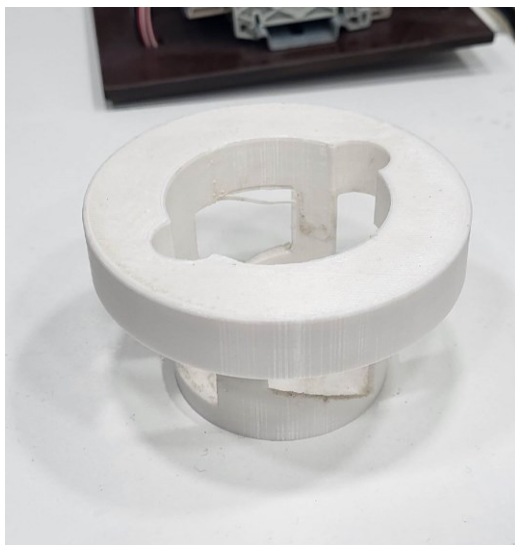
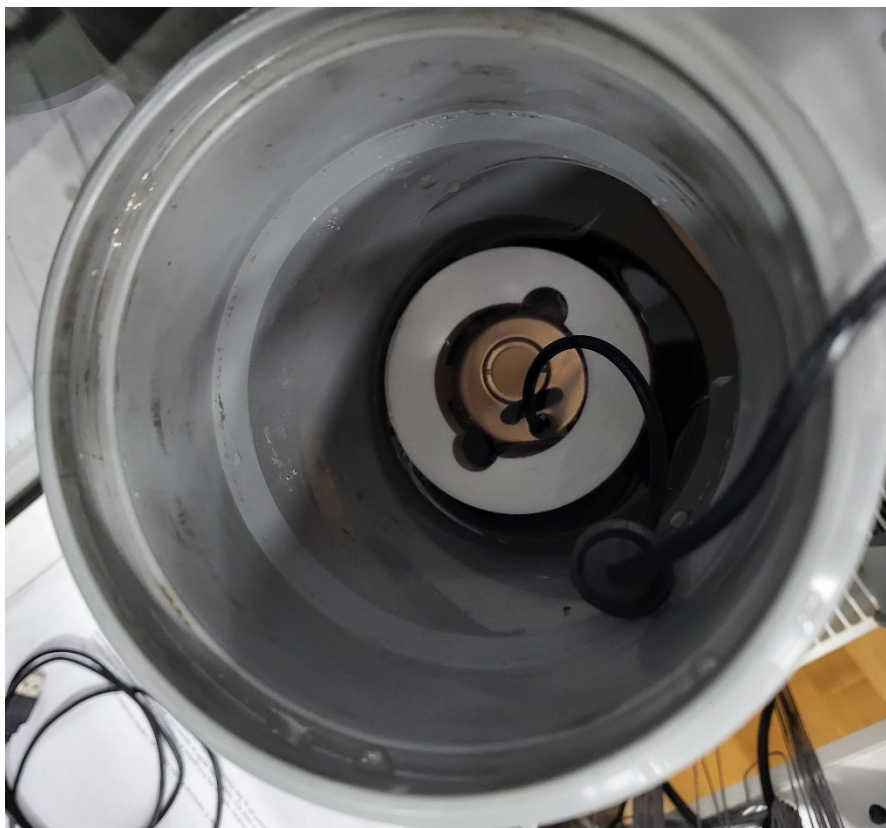
Ko smo predelali teorijo, razložili programski del in si zadali jasne cilje, se moramo le še držati načrta, čeprav se je ta skozi poglobljene raziskave in odkrivanja nepričakovanih problemov še velikokrat spremenil. Naše začetne ideje so delovale na enakem principu kot sedaj, le da se je vmes spremenila oblika rastlinjaka.



Slika 34: Uporabljene PVC cevi.

Fogponski rastlinjak je narejen iz PVC cevi dolge 1 meter, ta ima premer 100 milimetrov, to je prostor, kjer se nahajajo rastline (glej sliko 35). V cev smo zvrtili dve luknji s premerom 5 centimetrov. Med seboj sta oddaljeni za 15 centimetrov, tako jima omogočamo optimalen prostor za razvoj korenin in širjenje listov. Na vsaki strani cevi sta priključena PVC spoja v obliki črke T, ta služita kot podpora stebra in hkrati kot rezervoarja. V vsakega izmed rezervoarjev lahko shranimo do 1,5 litra vode.

Znotraj rezervoarjev za vodo na posebej izdelanih plovčkih plujeta piezo generatorja (glej slike 36).



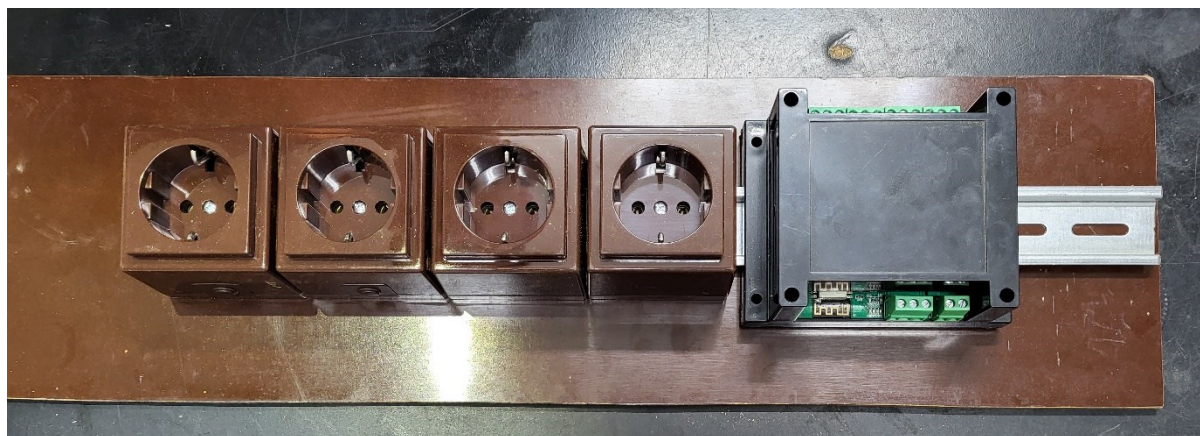
Slika 35: 3D model plovčka za piezo generator.

Nad podpornima stebroma se naša cev zoži na 50 milimetrov ter tvori sklenjen krog s spodnjim prostorom, kjer se nahajajo korenine (glej sliko 37). 50-milimetrska cev služi kot podpora ventilatorju.



Slika 36: Notranjost fogponskega rastlinjaka.

Trenutno naš rastlinjak ločimo na dva dela. Na prostor, kjer gojimo naše rastline, ter posebej izdelan krmilnik, ki nadzoruje rastne procese. Sestavljen je iz lesene plošče, na katero smo pritrdili naš že prej omenjen ESP8266 relejski modul, dodali smo varovalko in kableske konektorje, na katere smo povezali naš fazni in nevtralni vodnik ter dodali ozemljitev. Dodali smo tudi 4 vtičnice, ki smo jih povezali preko relejev v relejskem modulu.



Slika 37: Postavitev komponent.

Najprej smo izrezali primerno leseno desko, na katero smo pritrdili rešetko. Na rešetko smo priključili 4-relejski modul, varovalko in naš vir energije (glej sliko 38).



Slika 38: Inštalacija kablov v krmilnik.

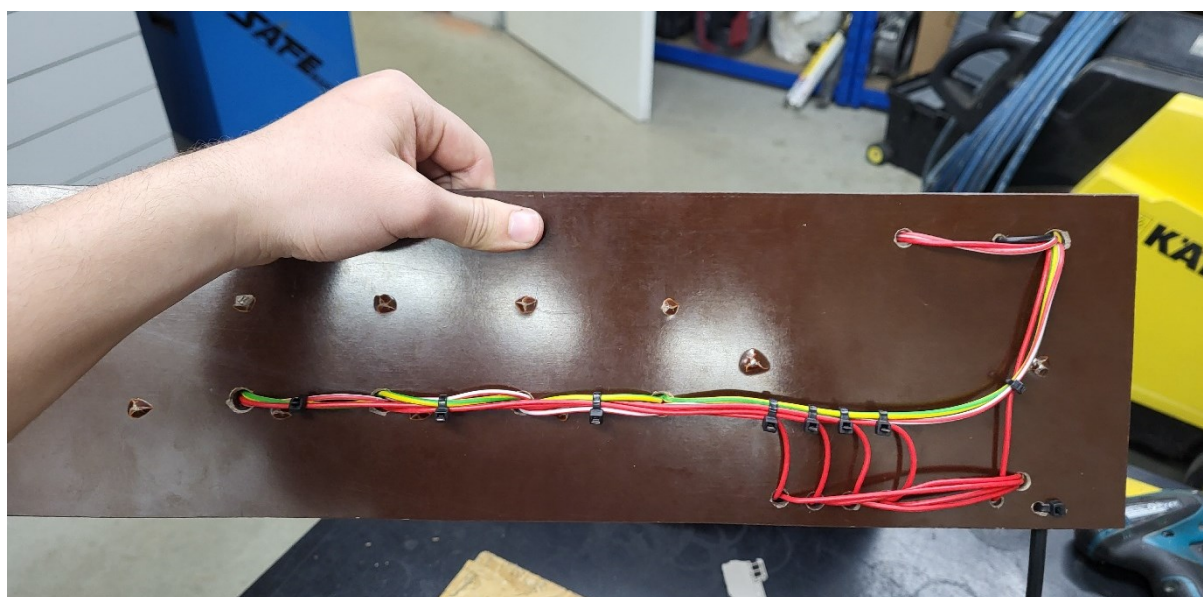
Na svoje mesto smo pritrdili tudi vtičnice (glej sliko 39). Najprej smo fazni vodnik povezali z varovalko ter ga iz varovalke vodili do modula. Vezje modula je tovarniško izdelano tako, da napetost poveže z relejskimi moduli, ki jih nato programiramo s pomočjo ESP8266 krmilnika.

Rele je elektronska naprava, ki deluje kot stikalo, ki ga nadzira električni tok. Namen releja je prekiniti ali vzpostaviti električni tok v enem vezju ob prisotnosti ali odsotnosti toka v drugem vezju.

Nato smo vsak relejski modul povezali s svojo vtičnico in zaključili električni tok (glej sliko 40).



Slika 39: Končni krmilnik.



Slika 40: Urejeni kabli v krmilniku.

Da bi zvišali kriterij varnosti in krmilnik prikazali v najlepši možni luči, smo uredili povezavo med kabli (glej sliko 41).

Priloga B – Programska koda

```
// Vključitev potrebnih knjižnic
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include "thingProperties.h"
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266mDNS.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <ArduinoOTA.h>

// Definicija pinov
#define ONE_WIRE_BUS 2

// Inicializacija oneWire instance za komunikacijo z OneWire napravami
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Prehod oneWire instance v DallasTemperature objekt
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// Ustvarjanje razporeda za upravljanje piezo zvoka
CloudSchedule Piezo;

// Spremenljivke za beleženje časa in statusa naprave
unsigned long prevMillisSensor = 0;
const long intervalSensor = 2000;

unsigned long startTime = 0;
unsigned long prevMillisTimer = 0;
unsigned long intervalTimer = 1000;
unsigned long elapsedTime;
unsigned long currentTime;

// Spremenljivke za sledenje času
int seconds;
int minutes;
int hours;
int days;
```

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  initProperties();

  // Nastavitev pinov za izhode
  pinMode(12, OUTPUT); // Ventilator
  pinMode(14, OUTPUT); // Piezo 1
  pinMode(16, OUTPUT); // Piezo 2
  pinMode(13, OUTPUT); // Rezerva

  // Nastavitev imena in inicializacija OTA
  ArduinoOTA.setHostname("reny");
  ArduinoOTA.begin();

  // Inicializacija senzorjev za temperaturo
  sensors.begin();
}

void loop() {
  // Posodabljanje OTA povezave
  ArduinoOTA.handle();

  // Posodabljanje podatkov na IoT oblaku
  ArduinoCloud.update();

  // Zahteva po temperaturi za vse naprave na busu
  sensors.requestTemperatures();
  temp = sensors.getTempCByIndex(0);

  unsigned long currentMillis = millis();

  // Preverjanje povezave z internetom
  if (currentMillis - prevMillisSensor >= intervalSensor) {
    if(online()){
      Serial.println("Online");
    } else {
```

```
    Serial.println("Offline");
  }
}

// Posodabljanje podatkov na IoT oblaku
if (currentMillis - prevMillisSensor >= intervalSensor) {
  prevMillisSensor = currentMillis;
  ArduinoCloud.update();
  Serial.println("Cloud update");
}

// Preverjanje stanja časovnika
if (timerRunning == false) {
  resetTimer();
} else if (timerRunning == true) {
  updateTimer();
}

// Izpis pretečenega časa
if (currentMillis - prevMillisTimer >= 1000) {
  Serial.print("Elapsed time: ");
  Serial.print(days);
  Serial.print("d ");
  Serial.print(hours);
  Serial.print("h ");
  Serial.print(minutes);
  Serial.print("m ");
  Serial.print(seconds);
  Serial.println("s");

  // Izpis temperature
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(temp);
  Serial.println(" °C");

  prevMillisTimer = currentMillis;

  // Preverjanje, ali je temperatura previsoka
```



```
    checkTemperature();

    // Upravljanje s piezo zvokom glede na profil rastline
    managePiezo();
  }
}

// Sprememba temperature
void onTempChange() {
  Serial.println("on Temp Change");
}

// Sprememba izbranega profila rastline
void onPlantProfileChange() {
  Serial.println("Selected plant profile: ");
  Serial.println(plantProfile);

  // Preklopi na izbran profil rastline
  switchPlantProfile();
}

// Sprememba statusa ventilatorja
void onFanChange() {
  fan = !fan; // Preklopi vrednost med true in false
  ArduinoCloud.update();
  Serial.print("Fan status: ");
  Serial.println(fan ? "ON" : "OFF");
}

// Sprememba statusa piezo 1
void onPiezo1Change() {
  piezo_1 = !piezo_1; // Preklopi vrednost med true in false
  ArduinoCloud.update();
  Serial.print("Piezo 1 status: ");
  Serial.println(piezo_1 ? "ON" : "OFF");
}
```

```
// Sprememba statusa piezo 2
void onPiezo2Change() {
  piezo_2 = !piezo_2; // Preklopi vrednost med true in false
  ArduinoCloud.update();
  Serial.print("Piezo 2 status: ");
  Serial.println(piezo_2 ? "ON" : "OFF");
}
```

```
// Sprememba statusa TempTrig
void onTempTrigChange() {
  // Add your code here to act upon TempTrig change
}
```

```
// Resetiranje časovnika
```

```
void resetTimer() {
  seconds = 0;
  minutes = 0;
  hours = 0;
  days = 0;
  elapsedTime = 0;
  currentTime = 0;
}
```

```
// Posodabljanje časovnika
```

```
void updateTimer() {
  currentTime = millis();
  elapsedTime = currentTime - startTime;
  seconds = elapsedTime / 1000 % 60;
  minutes = (elapsedTime / 1000 / 60) % 60;
  hours = (elapsedTime / 1000 / 60 / 60) % 24;
  days = (elapsedTime / 1000 / 60 / 60 / 24);
}
```

```
// Preverjanje temperature
```

```
void checkTemperature() {
  if(temp > 28){
```

```
temp_trig = true;
Serial.println("Send, push");
}else{
temp_trig = false;
}
}

// Upravljanje s piezo zvokom glede na profil rastline
void managePiezo() {
if (plantProfile == 2) {
// Ventilator se vklopi, ko mine 10 sekund od začetka časovnika
manageFan();

// Piezo 1 se vklopi 1 minuto v vsakem 2-minutnem intervalu
managePiezo1();

// Piezo 2 se vklopi 1 minuto med 3. in 4. minuto v vsakem 5-minutnem intervalu
managePiezo2();

// Piezo mikro se vklopi vsako minuto v 2-minutnem intervalu
manageMicroPiezo();
}
}

// Upravljanje ventilatorja
void manageFan() {
if (seconds < 10) {
digitalWrite(12, HIGH);
fan =

true;
}else{
digitalWrite(12, LOW);
fan = false;
}
}
```

```
// Upravljanje Piezo 1
void managePiezo1() {
  if(minutes % 2 == 0 && seconds < 15){
    digitalWrite(16, HIGH);
    piezo_1 = true;
  }else{
    digitalWrite(16, LOW);
    piezo_1 = false;
  }
}

// Upravljanje Piezo 2
void managePiezo2() {
  if(minutes % 2 == 1 && seconds < 15){
    digitalWrite(14, HIGH);
    piezo_2 = true;
  }else{
    digitalWrite(14, LOW);
    piezo_2 = false;
  }
}

// Upravljanje Piezo mikro
void manageMicroPiezo() {
  if(minutes % 2 == 0){
    digitalWrite(13, HIGH);
  }else{
    digitalWrite(13, LOW);
  }
}

// Spremenba TempTrig
void onTempTrigChange() {
  // Add your code here to act upon TempTrig change
}

// Glavna funkcija za preverjanje povezave
```

```
bool online(){  
    return WiFi.status() == WL_CONNECTED;  
}
```

//napisal: Rene Kolednik AKA. SaB, januar 2024