

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za elektrotehniko

Ime in priimek avtorja

# **Navodila in predloga za izdelavo zaključnega dela**

Diplomsko delo

Visokošolski strokovni študijski  
program prve stopnje Aplikativna  
elektrotehnika

Mentor: Naziv ter ime in priimek mentorja

Ljubljana, 2019



## Zahvala



## Povzetek



## **Abstract**





## Vsebina

1. Uvod.....	1
2. Izbira zaključnega dela.....	2
3. Uporabljeni senzorji.....	3
3.1. Kapacitivni senzor vlage .....	3
3.1.1. Karakteristika senzorja.....	5
3.1.1.1. Priprava vzorcev prsti različnih vlažnosti .....	5
3.1.1.2. Meritve vzorcev .....	8
3.2. Senzor vlage in temperature DHT22.....	11
4. Aktuatorji.....	13
4.1. Elektromagnetni ventili .....	13
4.2. Namakalna cev .....	14
5. Mikrokrmilnik ESP32 .....	15
6. Elektro omara.....	15
7. Aplikacija in delovanje.....	16
7.1. Posredovanje podatkov iz aplikacije .....	19
7.2. Regulacija vlage področij .....	20

## Seznam slik

Slika 1: Kapacitivni senzor vlage.	3
Slika 2: Vezje kapacitivnega senzorja	3
Slika 3: Vezava kapacitivnega senzorja na ESP-32	4
Slika 4: Meritev vlažnosti posušene prsti	5
Slika 5: Vzorci prsti različnih vlažnosti	6
Slika 6: Primer 100 % vlažnosti vzorca prsti	7
Slika 7: Senzor DHT22	11
Slika 8: Primer formata podatkov	11
Slika 9: Ohišje senzorja DHT22	12
Slika 10: Elektromagnetni ventil	13
Slika 11: Relejski modul HW - 316	13
Slika 12: Začetna stran aplikacije	16
Slika 13: Nastavitev IP naslova željenega spletnega strežnika	17
Slika 14: Ročni režim delovanja	17
Slika 15: Avtomatski režim delovanja	18
Slika 16: Potrebna dolžina "paketa"	19
Slika 17: Paketa podatkov pri prenosu	19

## Seznam tabel

Tabela 1: Vzorci prsti različne vlažnosti	6
Tabela 2: Vzorci prsti vlažnosti od 0 % do 100 %	7
Tabela 3: Meritve vlažnosti posameznih vzorcev prsti	8
Tabela 4: Pogrešek pri linearizaciji grafa karakteristike senzorja	10



## Seznam uporabljenih simbolov

Veličina / Oznaka		Enota	
Ime	Simbol	Ime	Simbol
čas	t	sekunda	s
električna napetost	U	volt	V
električni tok	I	amper	A
električna upornost	R	ohm	$\Omega$
električna moč	P	watt	W
dolžina	l	meter	m
masa	m	kilogram	kg
prostornina	V	liter	l
pogrešek	E	/	/
količina informacij	/	bit	b
količina informacij	/	bajt	B
temperatura	T	stopinja Celzija	$^{\circ}\text{C}$

## **1. Uvod**

## **2. Izbira zaključnega dela**

## 3. Uporabljeni senzorji

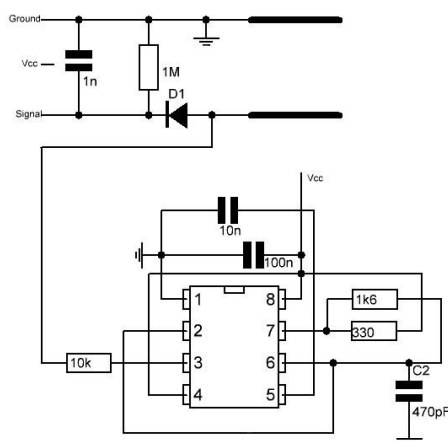
### 3.1. Kapacitivni senzor vlage

Za merjenje vlage v prsti visoke grede sem uporabil kapacitivni senzor vlage SKU:SEN0193 oziroma v1.2. Kot že samo ime pove senzor uporablja kapacitivno metodo za merjenje vlage v zemlji. Zasnovan je na osnovi planarnega kondenzatorja, saj sta plošči kondenzatorja v isti ravnini. Gre za senzor boljše izdelave iz nerjavečih materialov in zakritih kovinskih delov. Zaradi izbranih materialov ima senzor posledično daljšo življenjsko dobo. Ker je v senzor vgrajen regulator napetosti, ga lahko napajamo v območju od 3.3 V do 5V. V mojem primeru je uporabljena napajalna napetost 5 V.



Slika 1: Kapacitivni senzor vlage.

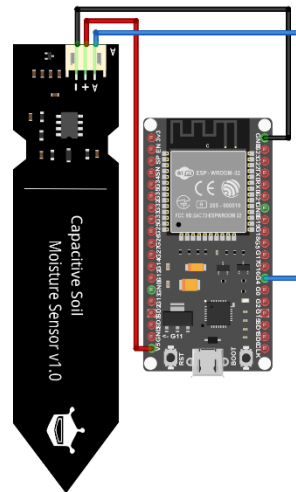
Kapacitivni senzor zaznava vlago v prsti z merjenjem kapacitivnih sprememb v dielektriku. Dielektrik je v našem primeru prst določene vlažnosti. Sama kapacitivnost senzorja se meri s pomočjo časovnega vezja DIL8 555. S časovnim vezjem generiramo pravokotni napetostni signal, ki je proporcionalen napetosti na kondenzatorju znotraj prsti. Spodnja slika prikazuje vezje senzorja.



Slika 2: Vezje kapacitivnega senzorja



Kondenzator je reaktivni element in shranjuje energijo na svojih ploščah. Zato je v vezju napetostni delilnik, katerega predstavlja  $10\text{ k}\Omega$  upor med kondenzatorjem in tretjo nožico časovnega vezja. Z napetostnim delilnikom dosežemo, da se z večanjem vlažnosti v prsti poveča kapacitivnost. Zaradi povečanja kapacitivnosti pade napetost analognega signala na vhodu mikrokrmilnika ESP-32. Po pretvorbi analognega vhodnega signal lahko z izračunom pridobimo uporabno vrednost, kot je na primer vlažnost. Kapacitivni senzor vlage se na ESP-32 priključi na sledeč način.



Slika 3: Vezava kapacitivnega senzorja na ESP-32

Za zaznavanje vlage prsti v visoki gredi je uporabljenih šest senzorjev. Po dva na vsako področje. Senzorji so napajani z napetostjo  $5\text{ V}$  iz napajalnika v elektro omari. Pomembno je, da so senzorji priključeni na analogne vhode prvega AD pretvornika, saj je drugi AD pretvornik mikrokrmilnika uporablja že Wi-Fi modul. Zato sem senzorje priključil na sledeče pine: 25, 32, 33, 34, 35 in 39.

### 3.1.1. Karakteristika senzorja

Karakteristiko senzorja sem preveril z merjenjem vlage v prsti pri vzorcih različnih vlažnosti. Pred samimi meritvami je potrebna še pretvorba analognega signala na vhodu ESP-32 mikrokontroler-a v uporabno vrednost, kot je napetost. Pretvorbo analognega signala predstavlja spodnja enačba.

$$U_X = \frac{X}{4095} \cdot 5 \text{ V [V]}$$

Število X v enačbi predstavlja vrednost analognega signala vhoda mikrokontroler-a. Ker je vrednost X pridobljena s pomočjo 12 bitnega AD pretvornika, jo je potrebno deliti z maksimalno vrednostjo, ki jo lahko pridobimo z AD pretvornikom, kar je število 4095. Kvocient je potrebno pomnožiti še z napajalno napetostjo kapacitivnega senzorja vlage, katera znaša 5 V.

#### 3.1.1.1. Priprava vzorcev prsti različnih vlažnosti

Za samo pripravo sem uporabil prst, ki bo uporabljena tudi v visoki gredi. Nabrano prst sem stresel v pekač in jo enakomerno porazdelil. Prst sem sušil v pečici z vklopljenima spodnjim in zgornjim greloma pri 130 °C približno šest ur. Po sušenju sem z napravo za merjenje vlage sipkih materialov preveril dejansko vlago v prsti.



Slika 4: Meritev vlažnosti posušene prsti

Prst sem nato razdelil po plastičnih kozarčkih prostornine 250 ml. V vsak kozarec sem natresel 150 g posušene prsti. Sledilo je iskanje količine vode pri kateri vzorec prsti doseže 100 % vlažnost. Samo količino vode sem prirejal po gravimetrični metodi. Pripravil sem enajst vzorcev, kateri so vsebovali določeno količino vode glede na težo posameznega vzorca od 0 % do 100 % s korakom po 10 %.

S sledečo enačbo sem izračunal maso vode, ki je potrebna, da dosežem željeno količino vode v prsti vzorca.

$$\theta_g = \frac{m_v}{m_z} \cdot 100 \%$$

$$m_v = \frac{\theta_g \cdot m_z}{100 \%}$$

Izračunano maso vode lahko enostavno pretvorimo v količino vode, saj velja pretvorba 1 kg = 1 l. S pomočjo omenjene enačbe in pretvorbe sem lahko sestavil naslednjo tabelo, po kateri sem se ravnal pri pripravi vzorcev prsti za določitev 100 % vlažnosti vzorca.

$\theta_g$ [%]	$m_v$ [g]	$V_v$ [ml]
0	0	0
10	15	15
20	30	30
30	45	45
40	60	60
50	75	75
60	90	90
70	105	105
80	120	120
90	135	135
100	150	150

Tabela 1: Vzorci prsti različne vlažnosti

Na spodnji sliki je razvidno, da za vzorec s 100 % vlažnostjo potrebujem količino vode, ki je relativno gledano na maso vzorca v območju med 60 % in 70 %. Območje je možno določiti že po vizualnem ogledu vzorcev, saj je pri vzorcu s količino vode 105 ml nivo vode višji od nivoja prsti. Pri 90 ml količine vode v vzorcu pa nivo vode še ni viden.



Slika 5: Vzorci prsti različnih vlažnosti

Iskanje potrebne količine vode, da dosežem 100 % vlažnost vzorca sem nadaljeval z dodajanjem vode v pred pripravljen vzorec s 60 % prisotnostjo vode v vzorcu. Vodo sem dodajal s korakom po 1 ml, dokler nisem dosegel željenega rezultata. Z omenjenim poizkusom sem identificiral potrebno količino vode, da lahko dosežemo 100 % vlažnost v vzorcu s 150 g prsti. Iskana vrednost je torej 95 ml. Sam vzorec s katerim sem dosegel iskano vlažnost je predstavljen na spodnji sliki.



Slika 6: Primer 100 % vlažnosti vzorca prsti

Zatem sem lahko izračunal potrebno količino vode za druge procentualne vrednosti vlažnosti vzorcev prsti. Ponovno sem pripravil enajst vzorcev z vlažnostjo le teh od 0 % do 100 % vlažnosti s korakom po 10 %. Spodnja tabela prikazuje količino vode za posamezno vrednost vlažnosti prsti.

<b>R<sub>h</sub>[%]</b>	<b>m<sub>v</sub> [g]</b>	<b>V<sub>v</sub> [ml]</b>
0	0	0
10	9,5	9,5
20	19	19
30	28,5	28,5
40	38	38
50	47,5	47,5
60	57	57
70	66,5	66,5
80	76	76
90	85,5	85,5
100	95	95

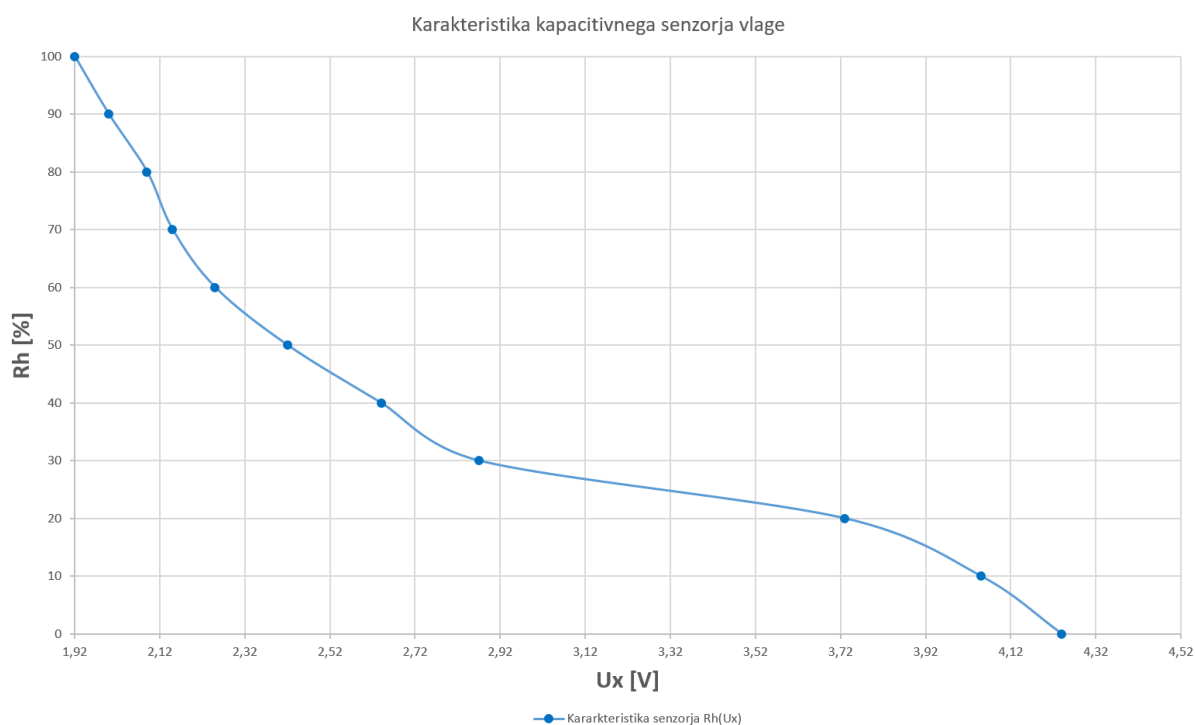
Tabela 2: Vzorci prsti vlažnosti od 0 % do 100 %

### 3.1.1.2. Meritve vzorcev

Meritve sem izvajal tako da sem kapacitivni senzor vlage potisnil v prst približno 7 cm globoko. Zatem sem počakal 1 min, da se je premikanje prsti in vode ob senzorju umirilo. Nato sem odčital vrednost, ki jo je ESP-32 izpisal na serijskem vmesniku. Po koncu meritev sem pridobil sledečo tabelo in graf.

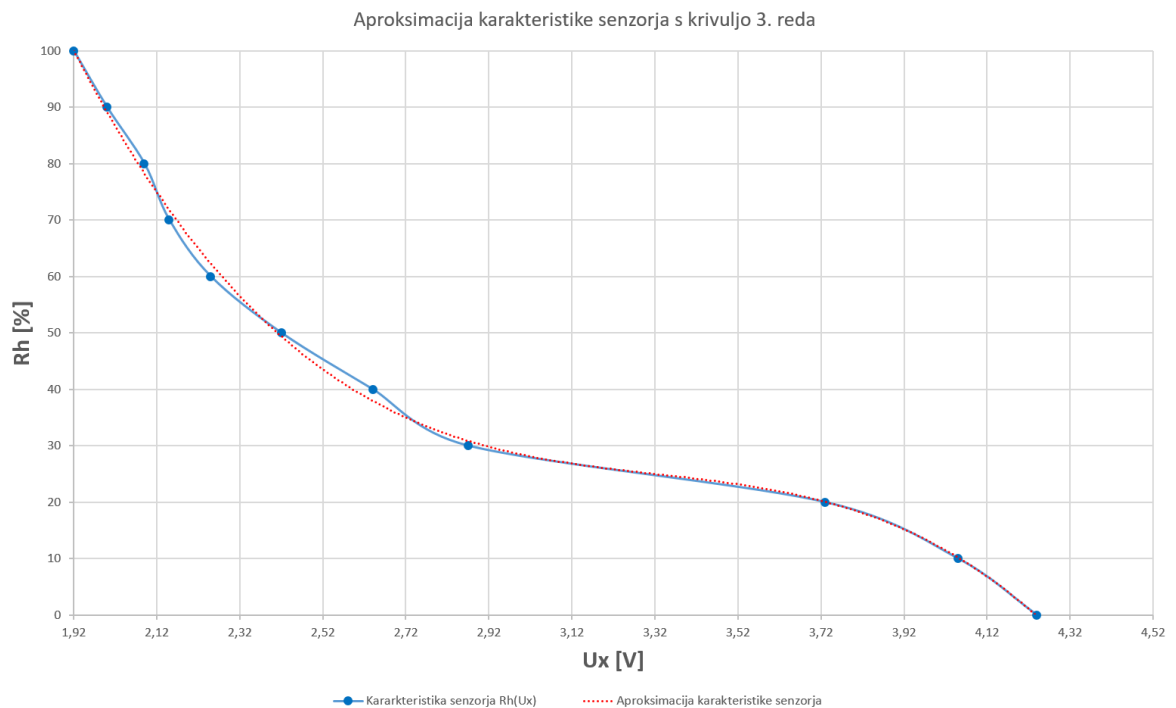
$R_h$ [%]	x	$U_x$ [V]
0	3510	4,24
10	3251	4,05
20	2523	3,73
30	2359	2,87
40	1908	2,64
50	1777	2,42
60	1613	2,25
70	1572	2,15
80	1572	2,09
90	1572	2,00
100	1572	1,92

Tabela 3: Meritve vlažnosti posameznih vzorcev prsti



Graf 1: Meritve vlažnosti prsti

Iz grafa je razvidno, da z večanjem vlažnosti prsti pada napetost na analognem vhodu mikrokrmilnik-a. Najmanjšo vrednost dosežemo pri 100 % vlažnosti in sicer 1,92 V. Iz podanih podatkov lahko sklepamo, da merilno območje kapacitivnega senzorja vlage zadošča potrebam merjenja, saj nismo dosegli nobene od mej senzorja (5 V spodnja meja in 0 V zgornja meja glede na vlažnost vzorcev). Karakteristika senzorja ni dovolj linearna zato sem se odločil, da bom graf aproksimiral s pomočjo krivulje tretjega reda. Graf aproksimacije karakteristike je predstavljen spodaj.

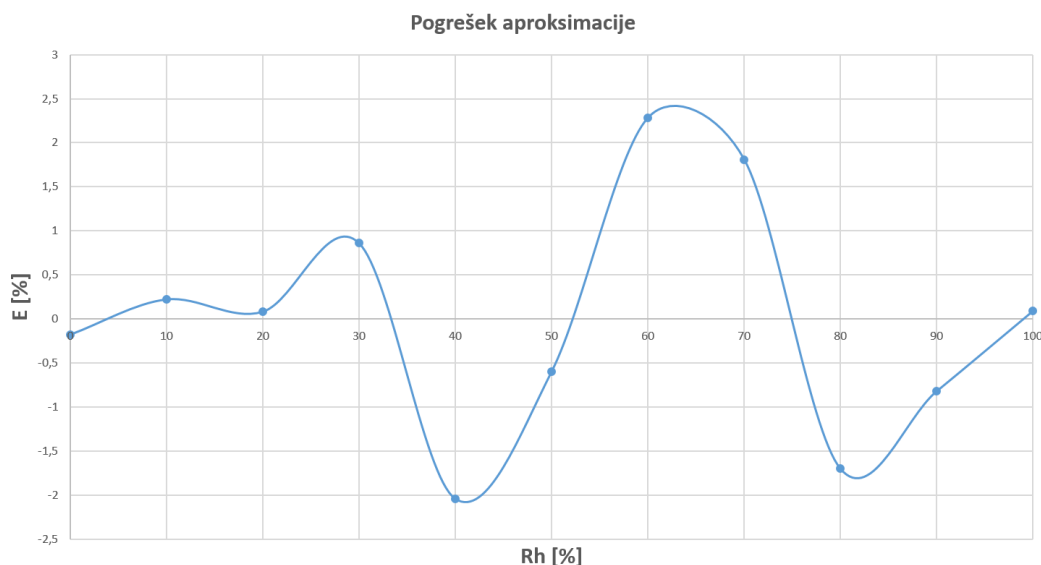


Graf 2: Aproksimacija karakteristike kapacitivnega senzorja

Pri aproksimaciji sem uporabil krivuljo z enačbo:

$$R_h = -22,93 \cdot U_x^3 + 228,7 \cdot U_x^2 - 768,59 \cdot U_x + 895$$

Zaradi linearizacije se nam pojavi pogrešek, kateri je predstavljen na spodnjem grafu.



Graf 3: Pogrešek aproksimacije

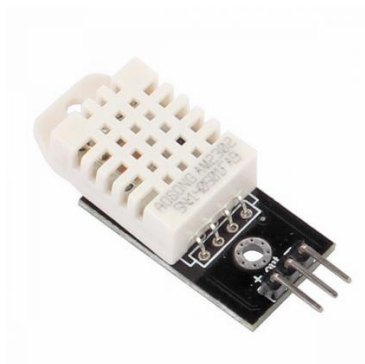
$U_x$ [V]	$R_h$ [%]	$R_h$ [%]	E [%]
1,92	100	100,09	0,09
2,00	90	89,18	-0,82
2,09	80	78,30	-1,70
2,15	70	71,81	1,81
2,25	60	62,28	2,28
2,42	50	49,40	-0,60
2,64	40	37,96	-2,04
2,87	30	30,86	0,86
3,73	20	20,08	0,08
4,05	10	10,22	0,22
4,24	0	-0,18	-0,18

Tabela 4: Pogrešek pri linearizaciji grafa karakteristike senzorja

Na grafu so predstavljene vrednosti pogreška v merilnem območju kapacitivnega senzorja vlage. Nekaj več kot polovica pogreškov je pozitivne narave in malo manj kot polovica pogreškov je negativne narave. Od vseh pogreškov najbolj izstopa največji pogrešek 2,28 % pri 2,25 V napetosti. Povprečna vrednost absolutnega pogreška je približno 0,97 %. Iz pridobljenih podatkov lahko zaključimo, da je pogrešek sprejemljiv glede na to, da smo uporabili nizkocenovni senzor vlage.

### 3.2. Senzor vlage in temperature DHT22

DHT22 je senzor relativne vlage in temperature v ozračju z digitalnim izhodom. Oznaka senzorja je AM2303.



Slika 7: Senzor DHT22

Sam senzor je sestavljen iz polimernega kondenzatorja za zaznavanje vlažnosti in DS18B20 senzorja za zaznavanje temperature v ozračju. Poleg dveh senzorjev vsebuje tudi osem bitni mikrokrmilnik. Celotni senzor je tudi kalibriran in temperaturno kompenziran s pomočjo uporabe kalibracijske komore. Koeficient, ki je pridobljen za kompenzacijo je zatem shranjen na PROM pomnilniku mikrokrmilnik-a. Ker ima DHT22 senzor digitalni izhod, za komunikacijo uporablja vodilo CAN oziroma vodilo BUS. Gre za asinhroni prenos podatkov za katerega potrebujemo samo eno prenosno pot za izmenjavo podatkov. Ker imamo samo eno prenosno pot potrebujemo upor z upornostjo približno 5,1 k $\Omega$  (ang. pull-up). Upor vežemo med napajalno napetostjo in prenosno potjo senzorja DHT22 z namenom, da v primeru neuporabljenih prenosnih poti je njeno stanje enako ena. Stanje ena v predstavljenem primeru predstavlja 5 V, saj je to tudi napajalna napetost senzorja. Format podatkov, kateri se pošiljajo preko BUS vodila je 40 bitni. Zaporedje je sledeče:

- Celoštevilska vrednost vlage (8 bitov)
- Decimalna vrednost vlage (8 bitov)
- Celoštevilska vrednost temperature (8 bitov)
- Decimalna vrednost temperature (8 bitov)
- Kontrolna vsota (ang. Checksum – 8bitov)

<u>0011 0101</u>	<u>0000 0000</u>	<u>0001 1000</u>	<u>0000 0000</u>	<u>0100 1101</u>
1. bajt	2. bajt	3. bajt	4. bajt	5. bajt

Kontrolna vsota:  $53 + 0 + 24 + 0 = 77$

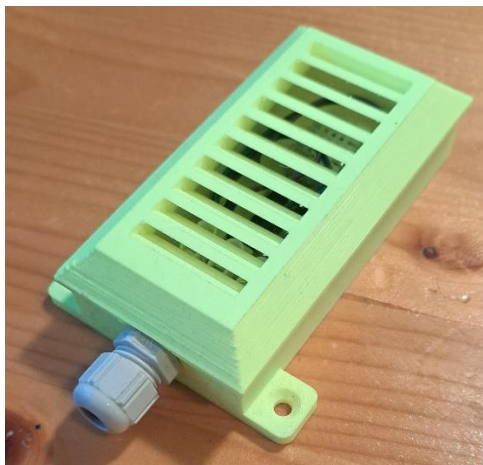
Vlažnost:  $0011\ 0101 = 53\ \%$

Temperatura:  $0001\ 1000 = 24\ ^\circ\text{C}$

Slika 8: Primer formata podatkov



Priporočena napajalna napetost je v območju od 3,3 V do 6 V. Merilno območje senzorja je od 0 – 100 % vlažnosti in -40 – 125 °C. Resolucija znaša 0,1 % za vlažnost in 0,1 °C za temperaturo pri ponovljivosti  $\pm 1$  % za vlažnost in  $\pm 0,2$  °C pri temperaturi. Povprečni cikel zaznavanja temperature in vlažnosti ozračja znaša 2 s. Za senzor sem naredil tudi ohišje z namenom ohranjanja zmogljivosti in natančnosti. Saj pretirana izpostavitve ultravijolični svetlobi ali sončni svetlobi lahko škoduje senzorju.



Slika 9: Ohišje senzorja DHT22

Za komunikacijo med mikrokontroler-om ESP32 in senzorjem DHT22 ter pretvorbo pridobljenih podatkov v uporabne podatke sem uporabil pred pripravljeno knjižnico, katero je napisalo podjetje Adafruit.

## 4. Aktuatorji

Za aktuatorje sem uporabil elektromagnetne ventile, s katerimi krmilimo dovod vode. Poleg ventilov sem uporabil še posebno zalivalno cev za namakanje visoke grede.

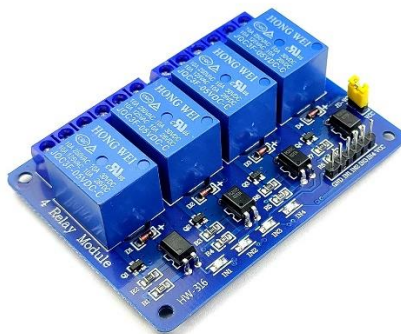
### 4.1. Elektromagnetni ventili

Uporabljeni so trije ventili z namenom ločenega zalivanja treh področij na katere je visoka greda razdeljena. Ventili so tipa NC, kar pomeni, da so v normalnem stanju zaprti. Ob prisotnem napajanju se ventil preklopi v odprto stanje. Vrednost napajalne napetosti za ventile znaša 12 V.



Slika 10: Elektromagnetni ventil

Samo napajanje je krmiljeno z relejskim modulom HW-316. Gre za modul, ki vsebuje štiri releje. Za potrebe preklapljanja elektromagnetnih ventilov so v uporabi trije releji od štirih. Relejski modul je napajan z napetostjo 5 V in krmiljen s signali, katere pošilja mikrokrmilnik ESP32. Relejski modul prikazuje spodnja slika.



Slika 11: Relejski modul HW - 316

Iz naštetih komponent je razvidno, da potrebujemo dve različni napajalni napetosti 5 V in 12 V. Zato sta uporabljena dva napajalnika:

- 220 V – 5 V, 50 W (LS50 - 5)
- 220 V – 12 V, 35 W (LS35 - 12)

Napajalnika in relejski modul so nameščeni v elektro omari.

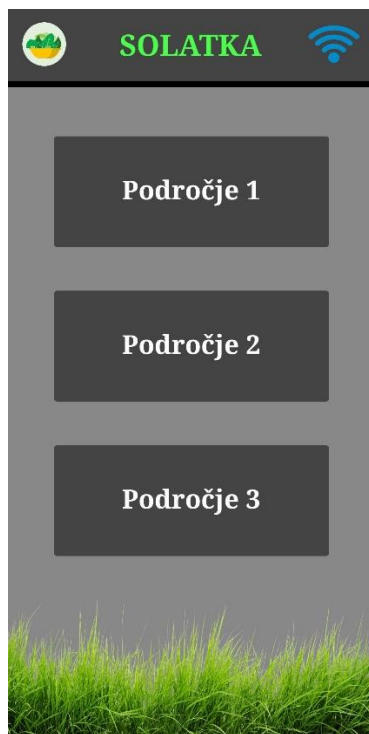
## **4.2. Namakalna cev**

## **5. Mikrokrmilnik ESP32**

## **6. Elektro omara**

## 7. Aplikacija in delovanje

Aplikacija je razdeljena na tri dele: začetna stran, nastavitve IP naslova spletnega strežnika in stran, s pomočjo katere lahko upravljamo visoko gredo. Na začetni strani imamo poleg glave še tri tipke za vsako področje v visoki gredi.



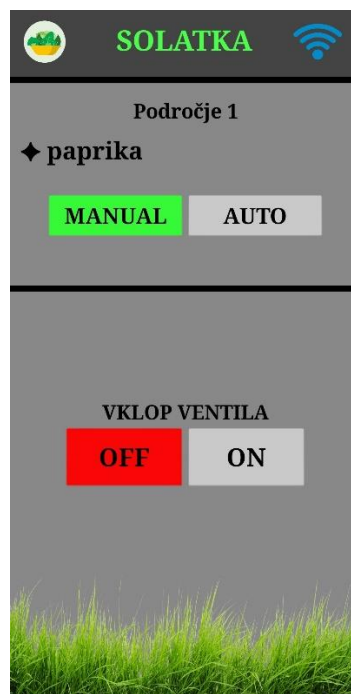
Slika 12: Začetna stran aplikacije

Vse strani vsebujejo enako glavo, ki služi za lažjo uporabo aplikacije. S klikom na napis solatka se nam bo vedno odprla začetna stran. V primeru klika na wifi logotip dostopamo do nastavitve IP naslova spletnega strežnika na, katerega se želimo povezati z aplikacijo. Funkcijo spletnega strežnika izvaja mikrokrmilnik ESP-32. Mikrokrmilnik ima nastavljen statičen IP naslov in sicer 192.168.50.42. V primeru, da želimo spremeniti naslov na, katerega aplikacija pošilja podatke preko porta 80 lahko to dosežemo tako, da vpišemo nov IP naslov in ga nato potrdimo. IP naslov bo bil shranjen v aplikaciji do nadaljnje spremembe. Trenutno izbrani naslov je tudi prikazan v spodnjem delu ekrana.



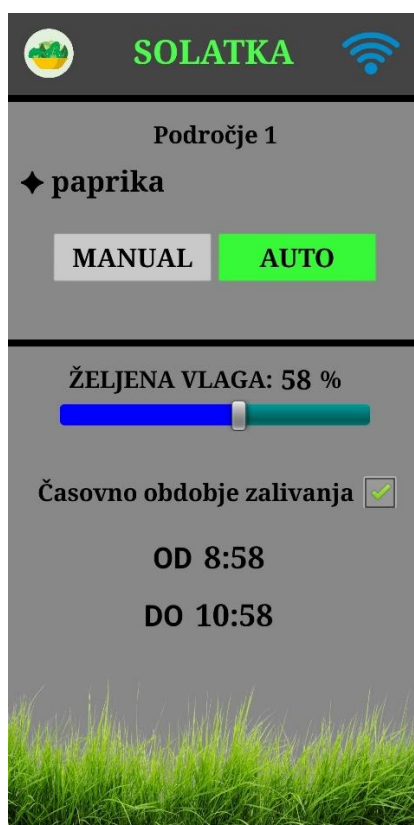
Slika 13: Nastavitev IP naslova željenega spletnega strežnika

S pomočjo aplikacije lahko določimo način delovanja visoke grede (avtomatski ali ročni režim delovanja). Glede na izbrani režim delovanja se odprejo različne možnosti za nastavljanje delovanja. V primeru ročnega režima delovanja lahko vklopimo ali izklopimo zalivanje izbranega področja. Izbrano področje je izpisano na začetku ekrana.



Slika 14: Ročni režim delovanja

Avtomatski režim delovanja nam ponudi več nastavitev, ki omogočajo nastavitve zalivanja po meri. Ena od omenjenih nastavitev je željena vlaga izbranega področja. Po določitvi željene vlage področja, mikrokrmilnik regulira zalivalni sistem tako, da bo dejanska vlaga večino časa na specificirani vrednosti podani iz aplikaciji. Ena od nastavitev je tudi vklop/izklop časovnega obdobja aplikacije. Status časovnega obdobja je viden v kvadratu ob napisu časovno obdobje zalivanja. Obkljukan pomeni, da je časovno obdobje zalivanja omogočeno. V tem primeru bo mikrokrmilnik reguliral vlago področja samo v izbranem časovnem obdobju. Časovno obdobje je mogoče prilagoditi s klikom na trenutno določeni čas. Po kliku se odpre okno v katerem lahko določimo željeni čas začetka ali konca časovnega obdobja zalivanja področja. Če časovno obdobje zalivanja ni omogočeno bo regulacija dejanske vlage področja delovala konstantno. V tem načinu delovanja nastavljanje časovnega obdobja zalivanja ni omogočeno.



Slika 15: Avtomatski režim delovanja

## 7.1. Posredovanje podatkov iz aplikacije

Po spremembi nastavitve se te posredujejo iz aplikacije do mikrokrmilnika. Posredovati je potrebno režim delovanja, željeno vlago, časovno obdobje in območje na katero se omenjene nastavitve nanašajo. Prenos podatkov je zasnovan na sistemu "paketov". Skupna dolžina paketa v tem primeru je trinajst mest, kot je prikazano na spodnji sliki.

Območje (1,2,3)	Ročno/ avtomatsko (0,1)	Željena vlaga (0 - 100%)			Ura začetka časovnega obdobja (0 - 24)		Minuta začetka časovnega obdobja (0 - 59)		Ura konca časovnega obdobja (0 - 24)		Minuta konca časovnega obdobja (0 - 59)	

Slika 16: Potrebna dolžina "paketa"

Pri tem se pojavi težava z največjim številom desetiških mest, ki jih lahko zapišemo v spremenljivko znotraj mikrokrmilnika. Tip spremenljivke unsigned long ima velikost štirih bajtov, kar pomeni, da lahko zapišemo števila od 0 do 4 294 967 295. Torej imamo na voljo deset desetiških mest. Paket je potrebno razdeliti na dva dela. Vsak od paketov vsebuje številko paketa, območje, režim delovanja in željeno vlago. Prvi paket vsebuje še uro in minuto začetka časovnega obdobja. Drugi paket, ki se pošlje 500 ms po prvem paketu namesto ure in minute začetka časovnega obdobja vsebuje konec časovnega obdobja. Omenjena paketa sta predstavljena na spodnji sliki.

<b>1</b>									
Število sporočila	Območje (1,2,3)	Ročno/ avtomatsko (0,1)	Željena vlaga (0 - 100%)			Ura začetka časovnega obdobja (0 - 24)		Minuta začetka časovnega obdobja (0 - 59)	

<b>2</b>									
Število sporočila	Območje (1,2,3)	Ročno/ avtomatsko (0,1)	Željena vlaga (0 - 100%)			Ura konca časovnega obdobja (0 - 24)		Minuta konca časovnega obdobja (0 - 59)	

Slika 17: Paketa podatkov pri prenosu

Po uspešnem prenosu podatkov, mikrokrmilnik paketa razčleni v uporabne podatke in jih shrani na svoj pomnilnik. S shranjevanjem podatkov na EEPROM se izognemo izgubi podatkov v primeru prekinitve napajanja. Saj jih v tem primeru lahko ponovno preberemo iz pomnilnika.



## **7.2. Regulacija vlage područij**