

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

## 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

## 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**



## **1. Uvod**

## **2. Izbira zaključnega dela**



## 3. Uporabljeni senzorji

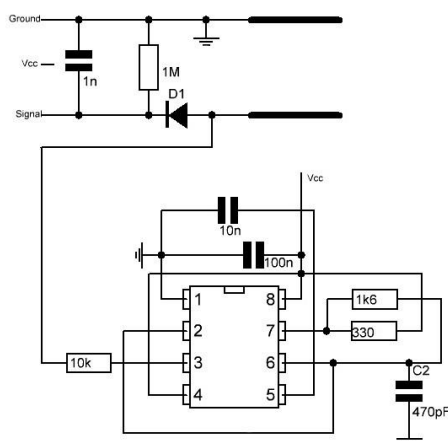
### 3.1. Kapacitivni senzor vlage

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.



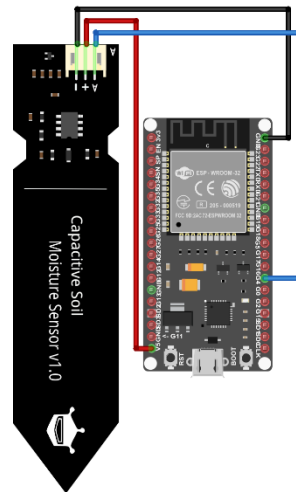
Slika 1: Kapacitivni senzor vlage.

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 prikllopil 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.

$R_h$ [%]	$m_v$ [g]	$V_v$ [ml]
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

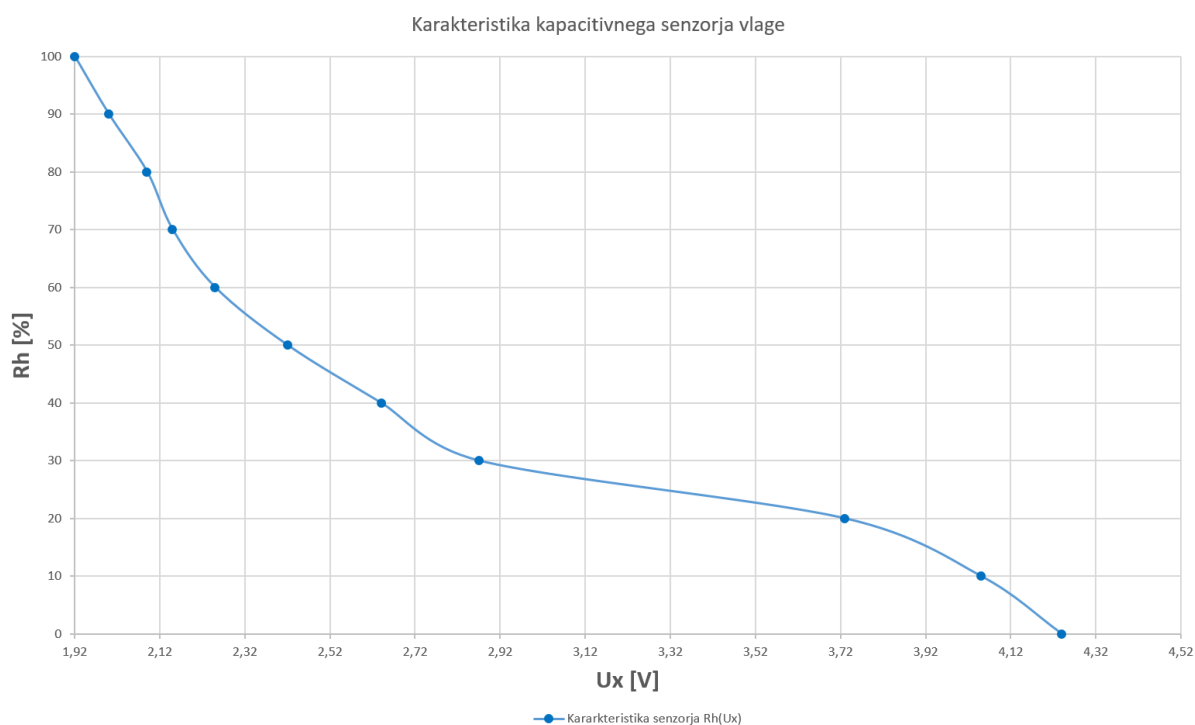
Tabela 2: Vzorci prsti vlažnosti od 0 % do 100 %

### 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.

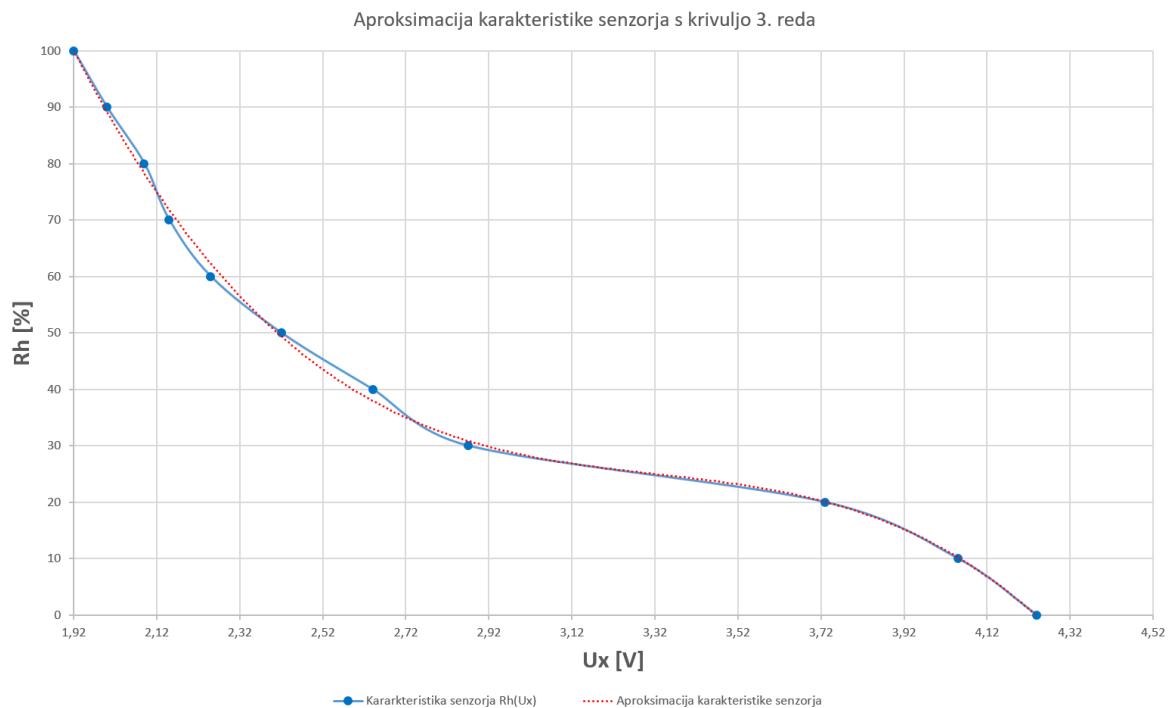
$R_h$ [%]	x	$U_x$ [V]
0	3510	4,24
10	3251	4,05
20	2523	3,73
30	2359	2,87
40	1908	2,64
50	1777	2,42
60	1613	2,25
70	1572	2,15
80	1572	2,09
90	1572	2,00
100	1572	1,92

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.

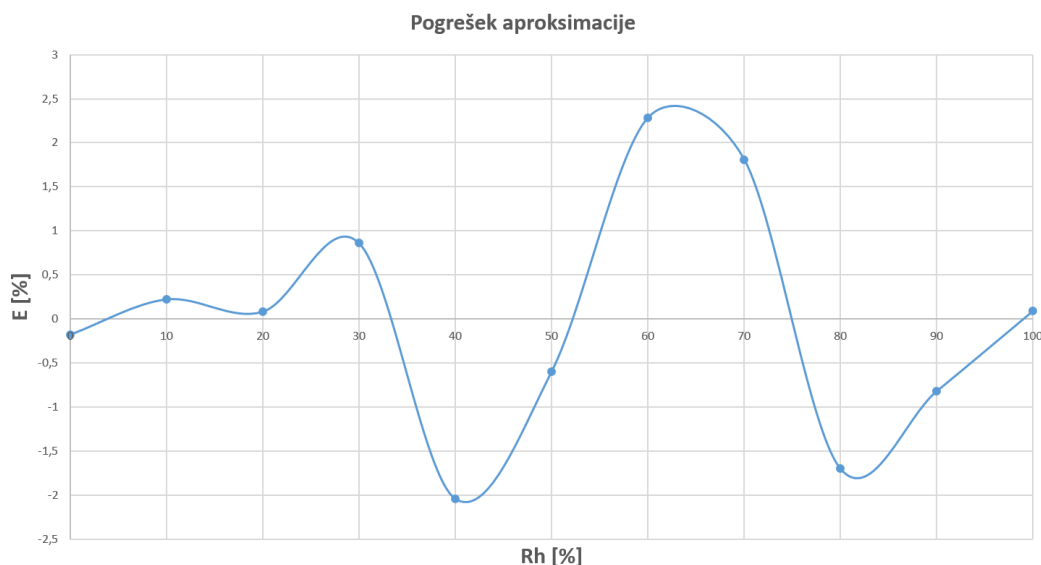


Graf 2: Aproksimacija karakteristike kapacitivnega senzorja

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

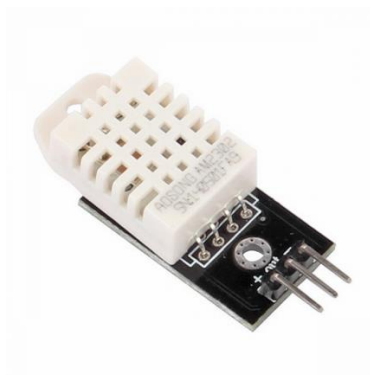
Tabela 4: Pogrešek pri linearizaciji grafa karakteristike senzorja

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 samega 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 neuporabljene prenosne poti je njeno stanje enako ena. Stanje ena v mojem 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:

1. Celoštevilska vrednost vlage (8 bitov)
2. Decimalna vrednost vlage (8 bitov)
3. Celoštevilska vrednost temperature (8 bitov)
4. Decimalna vrednost temperature (8 bitov)
5. 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

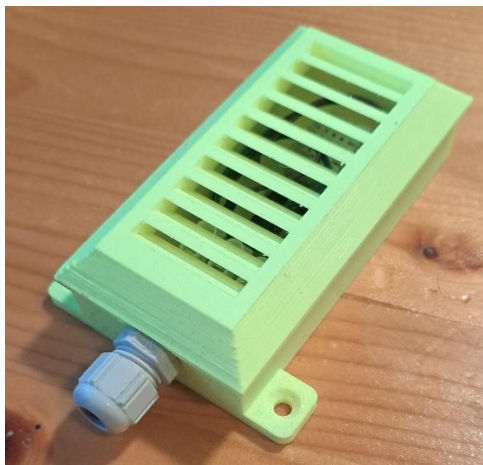
Kontrolna vsota:  $53 + 0 + 24 + 0 = 77$

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 napisano od podjetja Adafruit.