

Razvoj prototipa kondenzacijskog higrometra za precizno određivanje točke rosišta zraka

Dželalija, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:975947>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-02**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Preddiplomski studij rudarstva

RAZVOJ PROTOTIPA KONDEZACIJSKOG HIGROMETRA ZA PRECIZNO
ODREĐIVANJE TOČKE ROSIŠTA ZRAKA

Završni rad

Marko Dželalija
R-4453

Zagreb, 2023



KLASA: 602-01/23-01/100
URBROJ: 251-70-11-23-2
U Zagrebu, 04.09.23

Marko Dželalija, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/100, URBROJ: 251-70-11-23-1 od 28.06.2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

RAZVOJ PROTOTIPA KONDEZACIJSKOG HIGROMETRA ZA PRECIZNO ODREĐIVANJE TOČKE ROSIŠTA ZRAKA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomске ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

RAZVOJ PROTOTIPA KONDEZACIJSKOG HIGROMETRA ZA PRECIZNO
ODREĐIVANJE TOČKE ROSIŠTA ZRAKA

Marko Dželalija

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu detaljno su prikazani izgradnja i testiranja prototipa kondenzacijskog higrometra za određivanje točke rosišta zraka na principu hlađenja reflektirajuće aluminijske pločice termoelektričnim generatorom, a njegovo hlađenje vršeno je regulacijom temperature preko razvojne pločice Arduino. Cilj izgradnje kondenzacijskog higrometra visoke točnosti je dobivanje točne vlažnosti u svrhu umjeravanja ostalih instrumenata pa zbog toga kondenzacijski higrometri imaju visoku cjenovnu vrijednost. Rezultatima testiranja je utvrđeno da bi se uz dodatne kalibracije senzora dobivali podatci visoke točnosti.

Ključne riječi: higrometar, Arduino, vlažnost zraka, kondenzacija, senzor, rosište
Završni rad sadrži: 36 stranice, 3 tablica, 27 slika, 1 priloga, i 13 reference.
Jezik izvornika: Hrvatski
Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb
Mentori: Dr.sc. Mario Klanfar, izvanredni profesor RGNF
Komentor: Dr.sc. Vjekoslav Herceg, viši asistent RGNF
Ocjenjivači: Dr.sc. Mario Klanfar, izvanredni profesor RGNF
Dr.sc. Dalibor Kuhinek, izvanredni profesor RGNF
Dr.sc. Dubravko Domitrović, izvanredni profesor RGNF

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. VLAŽNOST ZRAKA.....	2
2.1. Metode mjerenja vlažnosti zraka	3
3. ARDUINO	10
3.1. Hardware.....	10
3.2. Software	13
4. GRADNJA HIGROMETRA.....	15
4.1. Dijelovi:.....	15
5. PROGRAMSKI KOD	22
6. REZULTATI	28
6.1. Prvo testiranje	29
6.2. Drugo testiranje	31
6.3. Treće testiranje	32
7. ZAKLJUČAK	34
LITERATURA	35

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Assmannov aspiracijski psihrometar (Klanfar, 2018).....	5
Slika 2-2. Mollierovog dijagrama za očitavanja vlažnosti (Klanfar, 2018)	7
Slika 2-3. Primjer psihrometerske tablice za određivanje relativne vlažnosti zraka (Klanfar, 2018).....	7
Slika 2-4. Prijenosni vlagomjer sa sondom (Humidity Meter, az-instrument).....	9
Slika 2-5. Industrijski higrometar s rashlađenim zrcalom (PST, (n.d.): Michell Optidew) ..	9
Slika 3-1. Arduino Uno (Medium (2019): Mehakagrawal, Basics of Arduino).....	10
Slika 3-2. Modulacija širine impulsa (PWM) (Hrvojević, 2018.).....	11
Slika 3-3. ARDUINO IDE	14
Slika 4-1. Blok shema higrometra	15
Slika 4-2. Termoelektrični generator peltier (Robocraze, 2021).....	16
Slika 4-3. Regulirajući elementi (Tranzistori i relej).....	17
Slika 4-4. Tranzistor (Soldered, 2023.)	17
Slika 4-5. Senzor temperature DS18B20 (Random tutorials, 2019)	18
Slika 4-6. Senzori za očitavanje temperature i promjena zamagljenja.....	18
Slika 4-7. Pojačalo HX711 (Elprocus, 2022)	18
Slika 4-8. PTC100	19
Slika 4-9. MLX96014 (Lastminuteengineers, 2019).....	20
Slika 4-10. Vidno polje FOV (Lastminuteengineers, 2019).....	20
Slika 4-11. OPB 710 (Optek, n.d)	21
Slika 4-12. Prototip kondenzacijskog higrometra	22
Slika 5-1. Pozivanje vanjskih biblioteka i rezervacija memorijski mjesta	23
Slika 5-2. Početni uvjeti programa	24
Slika 5-3. Algoritam	25
Slika 5-4. Ispis podataka.....	26
Slika 6-1. 1. testiranje	29
Slika 6-2. 2. testiranje	31
Slika 6-3. Finalno testiranje.....	32

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Specifikacije Arduino Uno pločice	13
Tablica 4-1. Karakteristike MLX90614	20
Tablica 6-1. Parametri zraka u laboratoriju pri 3. testiranju.....	33

POPIS PRILOGA

Prilog 1 - Shema prototipa kondenzacijskog higrometra za precizno određivanje točke rosišta zraka

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
m_s	(kg)	masa suhog zraka
m_v	(kg)	masa vlažnog zraka
$e=E'$	(Pa)	parcijalni tlak vodene pare u zraku
p	(Pa)	tlak zraka
t_s	(°C)	temperatura suhog termometra
t_v	(°C)	temperatura vlažnog termometra
p_{atm}	(Pa)	atmosferski tlak
A	(-)	psihrometerska konstanta
q	(kJ/kg)	latentna toplina
L	(kJ/kg)	specifična latentna toplina vode
C_p	(kJ/(kg·K))	specifična toplina zraka
$X' - X$	(kg)	količina isparene vode
$1 + X$	(kg)	masa vlažnog zraka

1. UVOD

Vlažnost zraka je parametar koji je važan u svakodnevnim situacijama, posebice u industrijskim procesima, laboratorijskim mjerenjima i ljudskom zdravlju. Stoga je važno imati što preciznija mjerenja koja možemo dobiti raznim izvedbama higrometra koje su opisane u poglavlju (2.1). Većina elektroničkih higrometara na tržištu nema visoku točnost. Takvi higrometri ograničenih mogućnosti ipak mogu biti vrlo korisni u raznim situacijama gdje nema potrebe za velikim razredom točnosti. Profesionalni higrometri koji se temelje na principu kondenzacije zraka su izuzezno precizni, a njihova cijena doseže do nekoliko desetaka tisuća eura. Praćenje vlažnosti zraka koristi se za brojne svrhe, a neke od njih su: kontroliranje kvalitete proizvoda i plijesni, održavanja mehanizacije, građenju u ekstremnim uvjetima, skladištenju proizvoda čija kvaliteta uvelike utječe o vlažnosti zraka, reguliranju klimatskih sustava.

U ovom radu prikazan je proces izgradnje kondenzacijskog higrometra iznimno visoke točnosti te je naveden točan proces izvedbe njegove samogradnje. Takav higrometar koristi senzore koji prate trenutak pojave rose i pomažu u određivanju preciznih temperatura kod kojih dolazi do kondenzacije ili zamagljivanja na korištenoj aluminijskoj pločici. Uz uporabu programabilne Arduino pločice, prati se i postiže točno očitavanje podataka. Provedena su tri testiranja s različitim kodovima i položajem senzora. Nadalje, naredna poglavlja će detaljnije opisati elemente korištene pri samogradnji, koncepte kondenzacije i vlažnosti, korištene kodove na programabilnoj pločici te će biti prikazani i analizirani rezultati svih ispitivanja.

Preko rosišta zraka indirektno se mjeri relativna i preračunava apsolutna vlažnost, a koje su opisane u 2. poglavlju.

2. VLAŽNOST ZRAKA

Vlažnost zraka je omjer količine vodene pare koja je pohranjena u zraku ili atmosferi, a ovisi o termodinamičkim parametrima vodene pare. Vlažnost zraka izražena je kao apsolutna i relativna.

Apsolutna vlažnost zraka predstavlja mjeru količine vodene pare koja se nalazi unutar određenog volumena zraka. Ova vrijednost se izražava u gramima vodene pare po metru kubičnom zraku. Apsolutna vlažnost opisuje apsolutni sadržaj vodene pare u zraku, bez obzira na njegovu temperaturu i pritisak. Ovaj odnos se definira prema jednadžbi (2-1).

$$X = \frac{m_v}{m_s} \quad (2-1)$$

gdje je:

m_s – masa suhog zraka (kg),

m_v – masa vlažnog zraka (kg).

Postoji drugi način za određivanje apsolutne vlažnosti zraka koji se temelji na poznavanju parcijalnih tlakova. Ovi parcijalni tlakovi odnose se na udjel suhog zraka i tlak vodene pare unutar uzorka. Korištenjem gravimetrijske metode, uzima se uzorak zraka i mjeri se masa uzorka prije i nakon kondenzacije vodene pare. Izraz (2-2) koristi se za izračunavanje apsolutne vlažnosti zraka putem dobivene razlike u masi.

$$X = 0,622 * \frac{e}{p-e} \quad (2-2)$$

gdje je:

e – parcijalni tlak vodene pare u zraku (kg),

p – tlak zraka (Pa).

Relativna vlažnost zraka je mjera koliko je zrak zasićen vodenom parom u odnosu na maksimalnu količinu vode koju može sadržavati pri određenoj temperaturi i izražava se u postotku prema izrazu (2-3).

$$\varphi = \frac{e}{E} (\%) \quad (2-3)$$

gdje je:

e – parcijalni tlak vodene pare u zraku (Pa),

E – parcijalni tlak zasićene vodene pare u zraku (Pa).

Relativna vlažnost iznosi 0 % kada je zrak potpuno suh, 50 % ako zrak sadrži polovicu maksimalne količine vodene pare, 100 % kada je zrak potpuno zasićen vodenom parom. U trenutku zasićenja postignuta je temperatura rosišta odnosno temperatura kondenzacije koja nikada ne može biti veća od okolne temperature zraka. Prema referenci VK-SPY (2019).

U poglavlju 2.1. opisane su metode mjerenja i preračunavanja apsolutne i relativne vlažnosti zraka.

2.1. Metode mjerenja vlažnosti zraka

Određivanje apsolutne i relativne vlažnosti zasniva se na istim metodama.

Jedan od načina za određivanje vlažnosti zraka je pomoću Assmanovog aspiracijskog psihrometra (slika 2-1.). Assmanov aspiracijski psihrometar sastoji se od suhog termometra koji mjeri temperaturu zraka, dok se mokri termometar obavija vlažnom krpicom ili vlažnim slojem pamuka. Strujanjem zraka kroz mokri termometar, voda na termometru isparava i uzrokuje hlađenje, što rezultira nižom temperaturom od temperature suhog termometra. Ova

razlika u temperaturama omogućuje izračunavanje relativne vlage zraka putem psihrometrijskih tablica ili matematičkih jednažba (2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7).

$$q = L (X' - X) = (1+X) c_p (t_s - t_v) \quad (2-4)$$

$$X = \frac{L \cdot X' - c_p (t_s - t_v)}{c_v (t_s - t_v) + L} \quad (2-5)$$

gdje je:

q – latentna toplina – toplina koja je potrebna za prijeći u neko drugo toplinsko stanje (kJ/kg),

L – specifična latentna toplina vode (kJ/kg),

C_p – specifična toplina zraka (kJ/(kg·K)),

$1 + X$ – masa vlažnog zraka (kg),

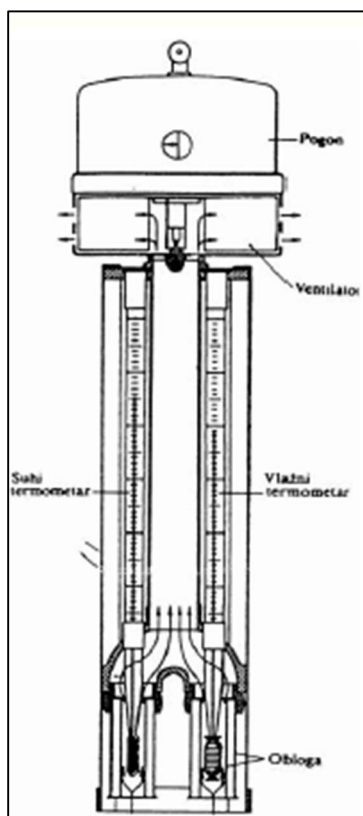
$X' - X$ – količina isparene vode (kg),

t_s – temperatura suhog termometra (°C),

t_v – temperatura vlažnog termometra (°C),

p – atmosferski tlak (Pa),

e – parcijalni tlak vodene pare u zraku (kg).



Slika 2-1. Assmannov aspiracijski psihrometar (Klanfar, 2018)

Različiti načini za određivanje relativne vlažnosti zraka koji su navedeni i opisani prema sljedećim točkama:

- a) računski – preko Sprungove formule

Prema Sprungovoj formuli spomenutoj u jednadžbi (2-6) određuje se parcijalni tlak vodene pare koji se preračuna u relativnu vlažnost po izrazu (2-3). Relativna vlažnost računa se pomoću parametara temperature suhog (t_s) i vlažnog termometra uz iznos tlaka i psihrometatske konstante.

$$e = E' - 0,5 * (t_s - t_v) * \frac{p}{775} \quad (2-6)$$

gdje je:

E' – parcijalni tlak zasićene vodene pare,

t_s – temperatura suhog termometra (°C),

t_v – temperatura vlažnog termometra ($^{\circ}\text{C}$),

p – atmosferski tlak (Pa),

e – parcijalni tlak vodene pare u zraku (kg).

ili direktno iz točke rosišta preračunavamo relativnu vlažnost preko jednadžbe (2-7)

$$RH = 100 \times e^{\left(\frac{T_r \times a}{b + T_r} - \frac{a \times T}{b + T}\right)} \quad (2-7)$$

gdje je:

RH – relativna vlažnost zraka (%),

T_r – temperatura rosišta ($^{\circ}\text{C}$),

T – stvarna temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$),

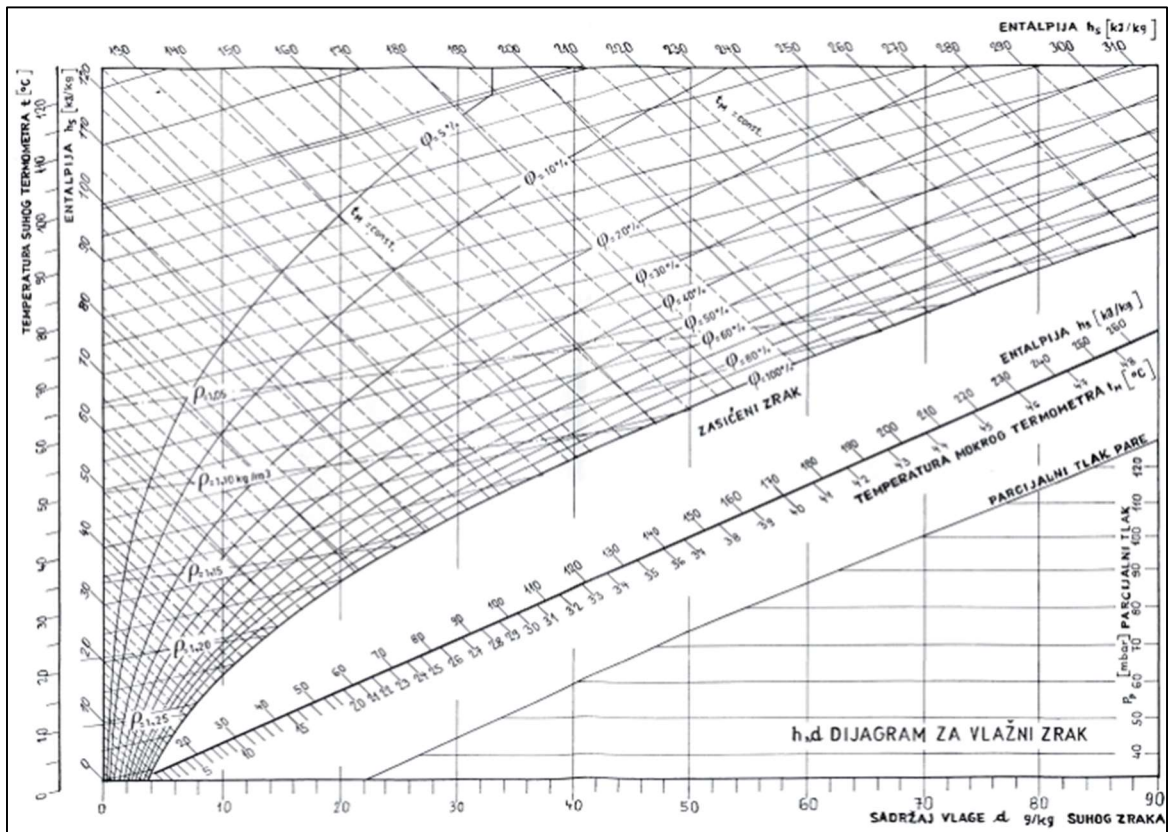
a – konstanta, iznosi 17,251 ($^{\circ}\text{C}$),

b – konstanta, iznosi 237,7 ($^{\circ}\text{C}$).

b) grafički – preko Mollierovog dijagrama

Mollierov dijagram (slika 2-3) je vrsta dijagrama koji se sastoji od različitih krivulja. To je dvofazni termodinamički dijagram, a sastoji se od dvije faze: zrak i vodena para. Tim krivuljama predočavaju se različite količine vodene pare u zraku u ovisnosti o temperaturi. Prilikom očitavanja potrebna su dva poznata podatka koja daju sjecište dviju linija. Preko tog sjecišta moguće je odrediti i pratiti određene procese (hlađenje, grijanje, odvlaživanje, isparavanje, kondenzacija...).

Njime se određuju i relativna i apsolutna vlažnost pa su njegove struktura i funkcija opisane u prethodnom odlomku.



Slika 2-2. Mollierovog dijagrama za očitavanja vlažnosti (Klanfar, 2018)

Psihrometerske tablice

ts-tv	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	100	81	63	45	28	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	100	83	65	48	32	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	100	84	67	51	35	20	2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	100	85	69	54	39	24	8	-	-	-	-	-	-	-	-
4	100	85	70	56	42	28	14	-	-	-	-	-	-	-	-
5	100	85	71	58	45	32	19	5	-	-	-	-	-	-	-
6	100	86	72	60	47	35	23	10	-	-	-	-	-	-	-
7	100	86	73	62	49	38	26	14	3	-	-	-	-	-	-
8	100	87	74	63	51	40	29	18	7	-	-	-	-	-	-
9	100	87	75	64	52	42	32	21	11	-	-	-	-	-	-
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	-	-	-	-	-
11	100	88	77	66	56	46	36	27	17	8	-	-	-	-	-
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-	-	-	-	-
13	100	89	79	69	59	49	40	32	23	14	5	-	-	-	-
14	100	90	79	70	60	51	42	34	25	17	9	-	-	-	-
15	100	90	80	70	61	52	44	36	28	20	12	-	-	-	-
16	100	90	80	71	62	54	46	37	30	22	15	4	-	-	-
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17	9	-	-	-
18	100	91	81	73	65	56	49	41	34	27	20	13	5	-	-
19	100	91	82	74	66	58	50	43	36	29	22	15	9	-	-
20	100	91	82	74	66	59	51	44	37	30	24	18	12	4	-
21	100	91	83	75	67	60	53	46	39	32	26	20	14	8	3
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22	16	11	6
23	100	92	84	76	69	62	55	48	42	36	30	24	18	13	8
24	100	92	84	77	70	63	56	49	43	37	31	26	20	15	10
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27	22	17	12
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29	24	19	14
27	100	93	85	78	71	65	58	52	47	41	36	30	25	21	16
28	100	93	85	79	72	65	59	53	48	42	37	32	27	22	18
29	100	93	85	79	72	66	60	54	48	43	38	33	29	24	19
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34	30	25	21
31	100	93	86	79	73	67	62	56	51	45	40	35	31	26	22
32	100	93	86	80	74	68	63	57	52	46	41	36	32	27	23
33	100	93	86	80	74	69	63	58	52	47	42	37	33	28	24
34	100	94	87	81	75	69	64	59	53	48	43	38	34	29	25
35	100	94	87	81	75	70	64	59	53	49	44	39	35	30	26
36	100	94	87	82	76	70	65	60	54	50	45	40	36	31	27
37	100	94	87	82	76	71	65	60	54	50	46	41	37	32	28
38	100	94	87	82	76	71	66	61	55	51	47	42	38	33	29
39	100	94	88	83	77	72	66	62	56	52	48	43	39	34	30
40	100	94	88	83	77	72	67	62	57	53	48	43	39	35	31

Slika 2-3. Primjer psihrometerske tablice za određivanje relativne vlažnosti zraka (Klanfar, 2018)

c) psihrometerska tablica

Psihrometerska diferencija je razlika u temperaturi između suhog i vlažnog termometra u psihrometru. Relativna vlažnost se očitava direktno iz psihrometerske tablice (slika 2-3) preko navedenih podataka.

d) instrumentima – higrometrima

Higrometar je instrument koji se koristi za izravno mjerenje relativne vlage u zraku. Mjeri količinu vodene pare u zraku u odnosu na maksimalnu moguću zasićenost pri određenoj temperaturi, a izražava se kao relativna vlažnost. Najčešći tip higrometra je električni higrometar koji koristi senzor. Elektronički senzori očitavaju promjene fizikalnih veličina (električnog kapaciteta, električnog otpora ili toplinske provodljivosti). Promjene ovih veličina mogu se pretvoriti u relativnu vlažnost.

Senzori reagiraju na promjene vezane uz vlagu u zraku i prikazuju očitavanja relativne vlage na zaslonu instrumenta. Točnija je metoda gravimetrije po kojoj se mjeri razlika u masi uzorka zraka prije i nakon sušenja (uklanjanja vode iz zraka), taj rezultat daje količinu vodene pare u uzorku, a to direktno pokazuje apsolutnu vlažnost.

Higrometri su obično manji i prijenosniji (slika 2-4.) od psihrometra te pružaju brže i preciznije očitavanje relativne vlage. Na slici 2-5. prikazan je primjer preciznog higrometra u industrijskoj uporabi.



Slika 2-4. Prijenosni vlagomjer sa sondom (Humidity Meter, az-instrument)

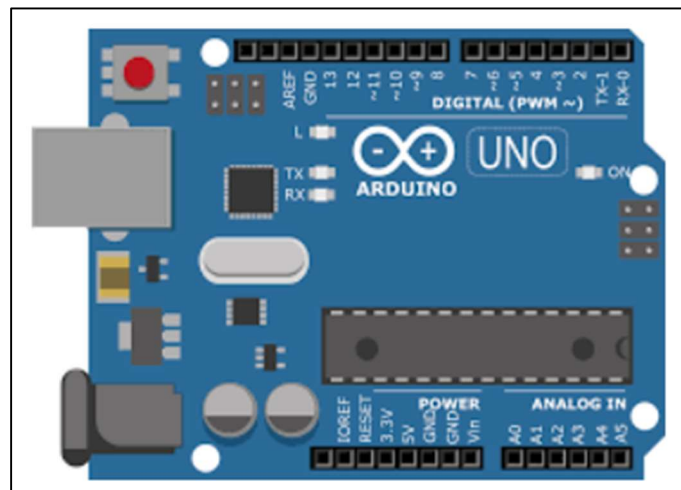


Slika 2-5. Industrijski higrometar s rashlađenim zrcalom (PST, (n.d.): Michell Optidew)

3. ARDUINO

Arduino potječe iz istoimene talijanske kompanije kojoj je bio cilj da programibilne pločice prilagodi širem tržištu te komercijalizira Arduino ili mikroracunalo zasnovano na Atmel tehnologiji koji ima prednosti u razvoju robotike i upravljačke elektronike. Uz niz prednosti, valja izdvojiti da je Arduino platforma otvorenog koda što znači da je hardver i softver dostupan svima za slobodno korištenje, izmjena i distribucija sadržaja obavlja se putem web preglednika ili preko uputa od strane prodavača.

Definitivno je najveća prednost njegova jednostavnost, stoga je jako popularna platforma pri prototipiranju elektroničkih projekata. Na pločicu se prebacuju programski kodovi koji su najčešće napisani u računalnom programu ARDUINO IDE (engl. *"Integrated development environments"*) programskim jezikom C ili C++. Koristan je i popularan, ali ima i svoja ograničenja. Za složenije i zahtjevnije projekte možda će biti potrebna naprednija platforma ili mikrokontroler. Međutim, Arduino je izvrstan izbor za početak učenja elektronike i programiranja te za prototipiranje jednostavnijih projekata.



Slika 3-1. Arduino Uno (Medium (2019): Mehakagrawal, Basics of Arduino)

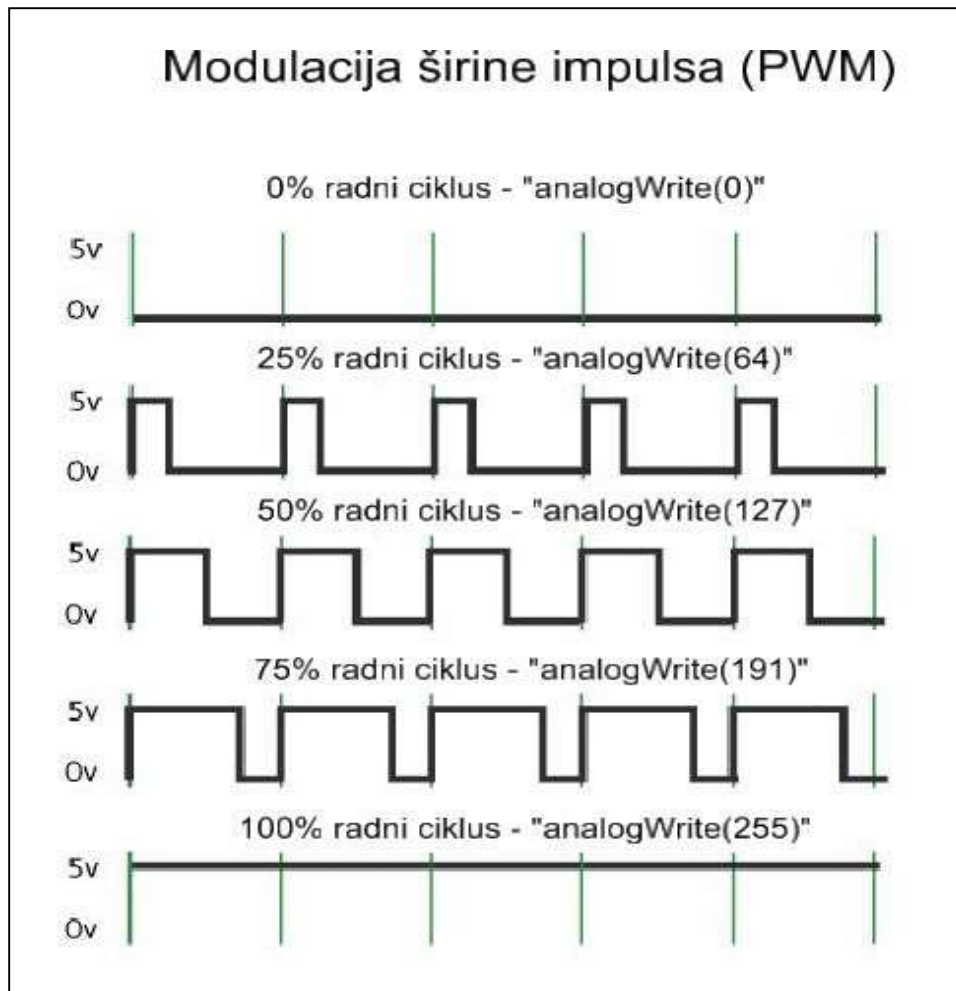
3.1. Hardware

- 1) **Digitalni pinovi** (engl. Digital pins): 14 pinova od kojih PWM (engl. *"Pulse with modulation"*) pinovi označeni s "~" ili "!" na Arduino Uno. Mogu se koristiti kao

ulaz i izlaz uz pomoć funkcija kao što su `pinMode()`, `digitalWrite()` i `Digital Read()`. Oni rade na logičkoj razini, gdje je :

-LOW (niska razina) 0V,

-HIGH (visoka razina) je 5V.



Slika 3-2. Modulacija širine impulsa (PWM) (Hrvojević, 2018.)

PWM je kratica za modulaciju širine impulsa u kontekstu Arduino platforme. Tehnika PWM koristi se za generiranje analognih signala putem digitalnih izlaza mikrokontrolera poput Arduina.

Umjesto da se analogni signal generira neprekidno, PWM koristi digitalni signal sastavljen od pulsa (perioda) koji varira u trajanju impulsa (pulsne širine). Arduino biblioteka pruža funkcije poput `analogWrite()` koje omogućuju postavljanje PWM vrijednosti za odabrani

pin. Vrijednost PWM-a može biti između 0 i 255, pri čemu 0 predstavlja najmanju pulsnu širinu (0 V) i 255 najveću pulsnu širinu (5 V).

- 2) **Analogni pinovi** (engl. *"Analog Pins"*): koriste se za analogni ulaz, čime se mjere kontinuirane vrijednosti napona.

Ovi pinovi mogu se koristiti za čitanje senzora koji daju analogni izlaz, kao što su senzori temperature, svjetlosti, vlage i drugi.

- 3) **Pin0 (RX) i Pin1 (TX)**: koriste se za prijenos i primanje serijskih podataka, čije diode trepere pri razmjeni podataka putem USB-a

- 4) **Pin-4 (SDA -Serial data) & Pin-5 (SCL -Serial Clock)**: pinovi kojima se ostvaruje (I2C) (engl. *"Inter-Integrated Circuit"*) serijska komunikacija između glavnog mikroprocesora i podređenih senzora

- 5) **Napajanje i referentna masa** (engl. *"Power and Ground"*): Arduino ploče imaju pinove za napajanje i uzemljenje. Obično su označeni kao 5 V, 3.3 V i GND (engl. *"ground"*).

Pinovi za napajanje koriste se za davanje napajanja drugim uređajima ili sensorima, dok se uzemljenje koristi za uspostavljanje zajedničke reference za električnu struju.

- 6) **Reset** tipka je alat kojim jednostavno resetiramo mikrokontroler, bilo da je došlo do greške u radu ili trebamo ponovnu sinkronizaciju kako bi započeli novu komunikaciju.

Tablica 3-1. Specifikacije Arduino Uno pločice

Mikrokontroler	Atmega328
Napon (USB)	5 V
Ulazni napon (preporučeni)	7 V – 12 V
Ulazni granični napon	9 V – 20 V
Broj digitalni ulazno/izlaznih (U/I) pinova	14
Broj digitalnih PWM U/I pinova	6
Broj analognih ulaznih pinova	6
Maksimalna istosmjerna struja za U/I pin	20 mA
Maksimalna istosmjerna struja za 3,3 V pin	40 mA
Trajna memorija	32 kB (Atmega328) od kojih („bootloader“) pri podizanju sustava koristi 2 Kb
SRAM	2 kB (Atmega328)
EEPROM	1 kB (Atmega328)
Frekvencija sata	16 MHz
Kontrolna LED dioda	13
Duljina	78,5 mm
Širina	54 mm
Masa	20 g

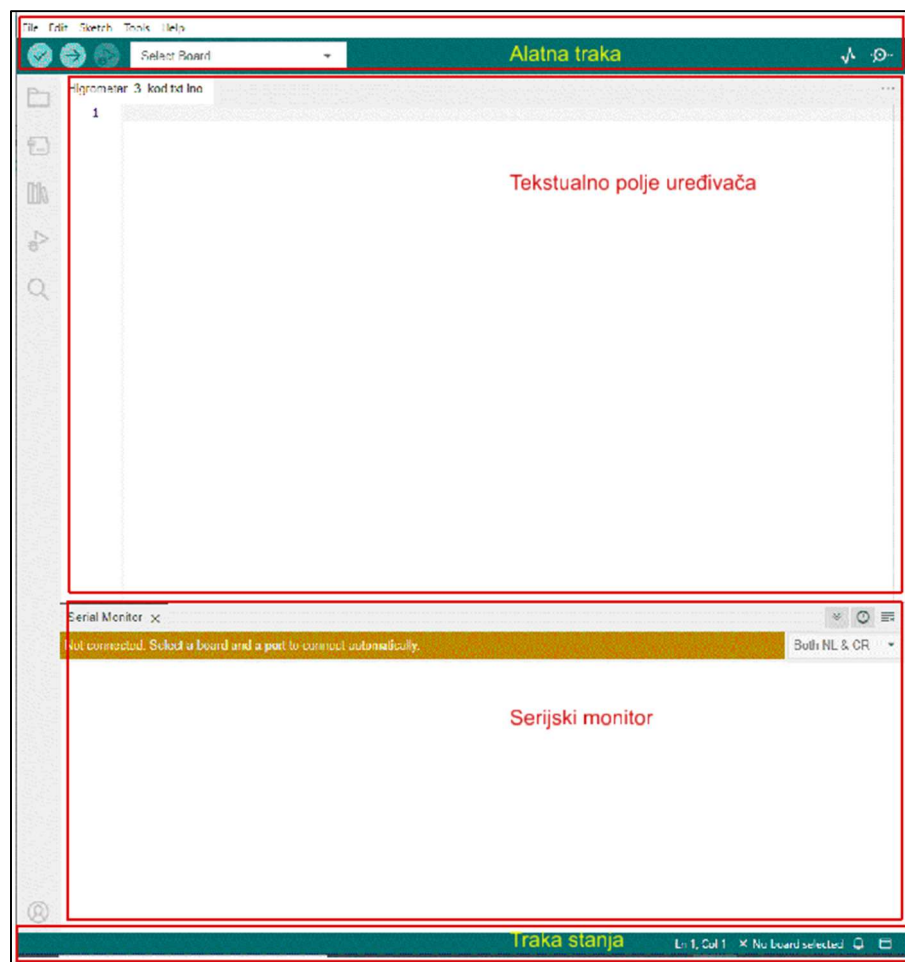
3.2. Software

Integrirano razvojno okruženje ili IDE je zaslužna za sveobuhvatne mogućnosti računalnog programiranja te programerima pruža jednostavnije rukovanje programskim kodom. Programske biblioteke se preuzimaju putem računalnog programa.

Sučelje Arduino IDE (slika 3-3.) sastavljeno je od navedenih komponenti:

- a) Alatna traka: na vrhu prozora nalazi se traka alata koja sadrži osnovne ikone i naredbe; ovdje se nalaze opcije za otvaranje, spremanje i otpremanje koda, kao i ikone za provjeru koda, otvaranje serijskog monitora i slanje naredbi mikrokontroleru.

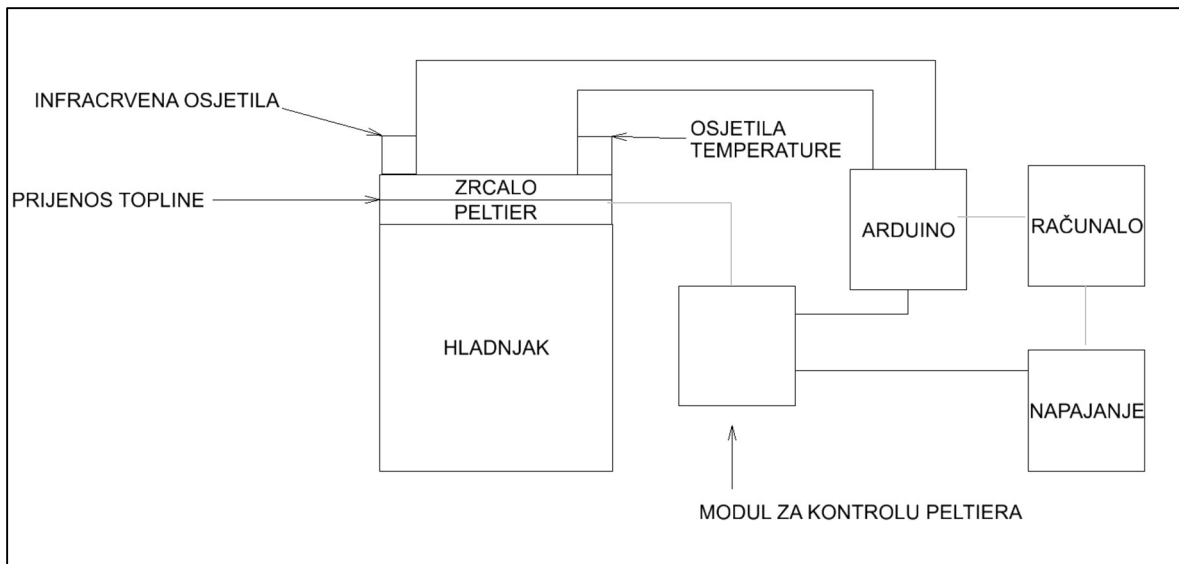
- b) Tekstualno polje uređivača: središnji dio prozora je tekstualno polje uređivača u kojem se piše Arduino kod – funkcije, deklaracije, logika programa
- c) Serijski monitor: na donjem dijelu prozora nalazi se serijski monitor; od tamo se mogu pratiti izlazni podaci koje generira Arduino kod; korisno je za ispisivanje poruka, očitavanje senzora ili provjeru stanja programa
- d) Traka stanja: na dnu prozora nalazi se traka stanja koja prikazuje različite informacije o stanju projekta, kao što su status otpremanja koda, brzina prijenosa podataka itd.



Slika 3-3. ARDUINO IDE

4. GRADNJA HIGROMETRA

Samogradnja kondenzacijskog higrometra po principu određivanja temperature rosišta izvedena je prema blok shemi (slika 4-1), a u prilogu 1 se nalazi prikaz detaljnog spoja svih komponenti higrometra.



Slika 4-1. Blok shema higrometra

4.1. Dijelovi:

Dijelovi korišteni u izgradnji kondenzacijskog higrometra su:

- Arduino Uno
- Aktivni hladnjak
- 2x Mosfet IRFZ 44 N i relej za regulaciju
- Termoelektrični generator (peltierov element) snage 53 W
- Aluminijska pločica
- Osjetilo temperature DS18B20
- Infracrveno optičko osjetilo OPB710
- Infracrveno temperaturno osjetilo MLX90614
- RTD PTC100
- Dvokanalno pojačalo HX711

Za zamagljenje zrcalne površine potrebno je ohladiti refleksirajuću površinu. Termoelektrični generator koji radi pri principu prolaska struje kroz TEC element prikazan je na (slika 4-2) - jedna površina elementa se zagrijava, a druga se hladi.

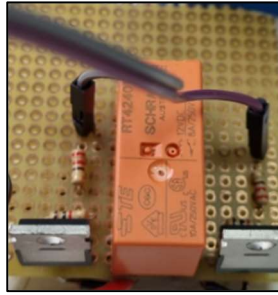


Slika 4-2. Termoelektrični generator peltier (Robocraze, 2021)

Peltierov efekt je pojava koja se javlja prolaskom struje kroz dvije različite vrste poluvodiča spojene zajedno. Kada se struja provodi kroz TEC modul (slika 4-2), dolazi do prijenosa topline s jednog poluvodiča na drugi, što rezultira hlađenjem jednog dijela modula i zagrijavanjem drugog dijela. Ovaj princip se koristi za uklanjanje topline s komponenata koje se pregrijevaju, kao što su procesori, čipovi ili optički uređaji. Termoelektrični generator ili peltierov element u svrhe testiranja pričvršćen je za zrcalo i hladnjak. Dimenzije peltierovog elementa iznose 38x38 mm. Karakteristike peltiera su opisane brojevima poslije oznake TEC1. Na površini rashlađivača prve 3 brojke označuju sadržaj elementa od 127 termoparova, a brojka 06 pokazuje da maksimalna struja iznosi 6A.

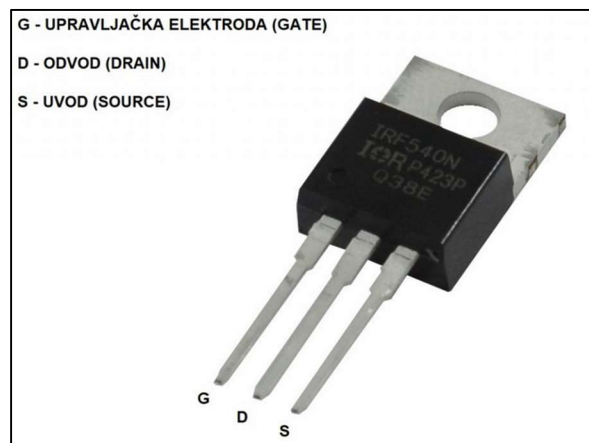
Na toplu stranu je bio spojen pasivni aluminijski radiator sličnih dimenzija po dodirnoj površini, a na hladnu stakalce jednakih dimenzija. Spojevi između elemenata se ostvaruju putem termalne paste čija je zadaća da ostvaruje bolji termalni kontakt između plohe koja se hladi i zrcala.

Rezultat je blago zamagljenje zrcala i vrlo visoka temperatura pasivnog hladnjaka. No kako TEC element hladi i više stupnjeva ispod ništice u sljedećim testiranjima uvedeni su regulacijski elementi (slika 4-3).



Slika 4-3. Regulirajući elementi (Tranzistori i relej)

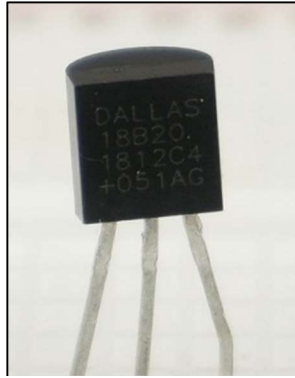
Regulaciju peltierovog elementa (slika 4-3.) vrši se arduinom uz pomoć releja i dva tranzistora (slika 4-4.). Zadaća releja je da mijenja polaritet na peltieru u slučaju pojave ekstremnih temperaturnih vrijednosti.



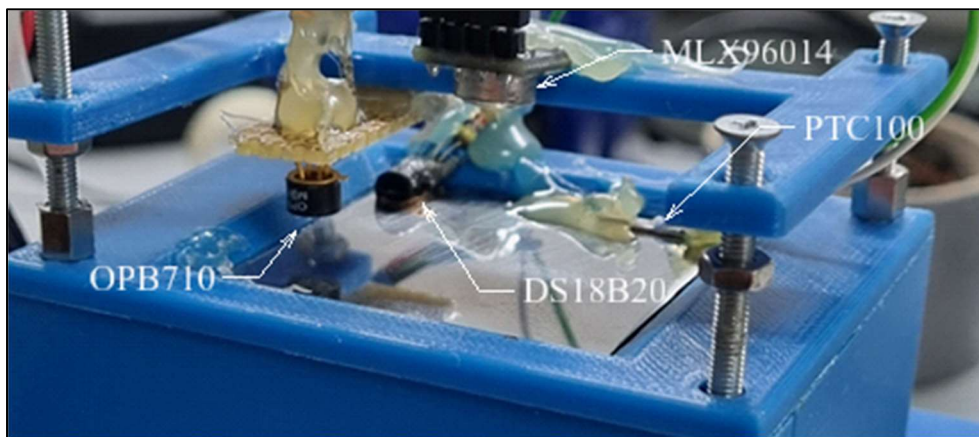
Slika 4-4. Tranzistor (Soldered, 2023.)

Za očitavanje temperature i promjene zamagljenja korišteni su različiti senzori koji su prikazani na slici (4-6.). Promjene pratimo sensorima u navedenom SerialMonitoru u poglavlju 3-2.

Senzor temperature DS12B20 (slika 4-5.) fiksiran je za aluminijsku pločicu vrućim ljepilom (slika 4-6.). Osjetilo komunicira s Arduinom preko jednožične bus komunikacije preko jednog digitalnog pina (podatkovnog) i gnd-a. Preciznost +/- 0,5 °C u radu s temperaturama od -10 °C do 85 °C dok je ukupni raspon radne temperature -55 °C do 125 °C.



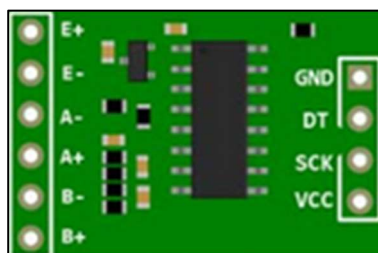
Slika 4-5. Senzor temperature DS18B20 (Random tutorials, 2019)



Slika 4-6. Senzori za očitavanje temperature i promjena zamagljenja

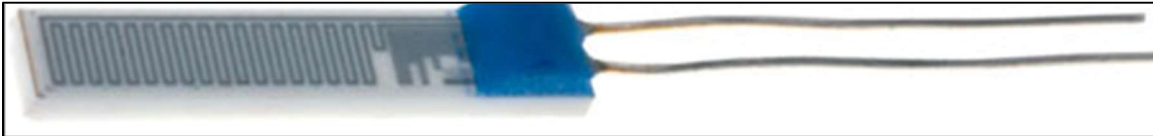
Za drugo očitavanje temperature su bile zaslužne dvije komponente:

- Pojačalo HX711 (slika 4-7) - pločica koja omogućuje jednostavno očitavanje mjernih ćelija za mjerenje težine. Žice mjerne ćelije spajaju se s jedne strane, a mikrokontroler s druge strane. HX711 komunicira s mikrokontrolerom pomoću dvožilnog sučelja (sat i podaci) koji je na drugu stranu povezan s osjetilom PTC100 (slika 4-8).



Slika 4-7. Pojačalo HX711 (Elprocus, 2022)

- PTC100 (slika 4-7.) je otporni temperaturni detektor ili RTD (engl. “*Resistance Temperature Detector*”, Peaksensors n.d.), a radi na načelu promjene otpora ovisno o promjeni temperature metala. Vrijednost otpora se transponira u vrijednost temperature. Naširoko se koristi za industrijske procese sa sporom dinamikom i relativno širokim temperaturnim rasponom. Koristi se za spore dinamičke procese jer RTD-ovi imaju sporo vrijeme odziva, ali su točni i imaju nizak pomak tijekom vremena.



Slika 4-8. PTC100

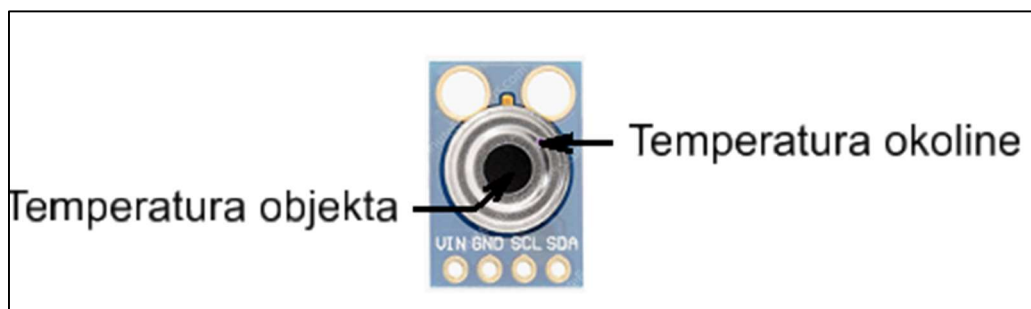
Načelo rada senzora temperature MLX90614 (slika4-9) po principu IR (engl. “*infrared radiation*”, Techtarget, 2023) zračenja, bitno se razlikuje od ostalih temperaturnih senzora beskontaktnim mjerenjem temperature. Senzor se usmjeri prema onome što se želi izmjeriti, a on zatim detektira temperaturu apsorbirajući emitirane IR valove.

Objekti sobne temperature zrače u IR području (valna duljina im se kreće u rasponu od 8 do 25 μm).

Senzor preko SCL i SDA pinova ostvaruje serijsku komunikaciju preko Arduina. Karakteristike su detaljnije opisane u tablici 4-1.

MLX90614 generira dva očitavanja temperature: temperaturu objekta i temperaturu okoline. Temperatura objekta je beskontaktno mjerenje koje se odvija preko leće sa senzora, dok temperatura okoline mjeri temperaturu na matrici senzora. Senzor se najčešće koristi u mjerenjima na daljinu, to jest pri daljinama na kojima nije moguć fizički kontakt. Važnu ulogu je imao u području medicine za vrijeme trajanja corona virusa prilikom beskontaktnog mjerenja tjelesne temperature pacijenata.

Temperatura okoline može se koristiti za kalibraciju podataka, ali ono za što je stvarno potrebno je mjerenje temperature objekta.

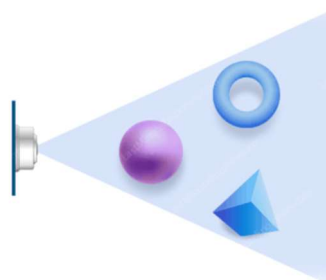


Slika 4-9. MLX96014 (Lastminuteengineers, 2019)

Tablica 4-1. Karakteristike MLX90614

Temperatura objekta (°C)	-70 do 382,2
Temperatura zraka (°C)	-40 do 85
Točnost	+/- 0,5
FOV (°)	90
Izvor napajanja (V)	3,3 V do 5,5
Struja (mA)	20

Vidno polje IR termometra jedan je od najvažnijih parametara koje treba uzeti u obzir. FOV (engl. *”field-of-view”*, Lastminuteengineers, 2019) određuje se kutom u kojem je senzor osjetljiv na toplinsko zračenje. To znači da će senzor detektirati sve objekte u vidnom polju i vratiti prosječnu temperaturu svih objekata u njemu. Osim FOV, IR zračenje karakterizira i emisivnost. Emisivnost je svojstvo upijanja IR zraka. Tijela s visokom emisivnošću (apsolutno crna tijela) u potpunosti apsorbiraju IR zrake te se nazivaju toplinskim izvornicima, a tijela niske emisivnosti (zrcala) reflektiraju IR zrake te ih nazivamo reflektorima topline.



Slika 4-10. Vidno polje FOV (Lastminuteengineers, 2019)

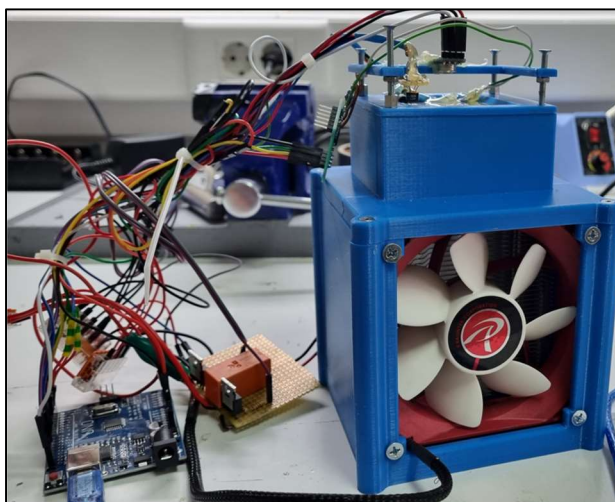
Također se i OPB710 serije senzora se sastoje od infracrvene diode koja emitira infracrveni snop i NPN silicij foto tranzistora, koji se nalaze jedan pored drugog u odnosu na konvergentne optičke osi u crnom plastičnom kućištu.

Paralelno s MLX 90614 iznad zrcala se postavlja drugo IR osjetilo OPB710 (Slika 4-11.), spojeno na Arduino pinovima. Glavna mu je zadaća detekcija zamagljenja na zrcalu u trenutku zamagljenja.



Slika 4-11. OPB 710 (Optek, n.d)

Samogradnja se sastoji od faza konstruiranja, printanja kućišta, lemljenja i programiranja. U fazi konstrukcije određene su dimenzije i položaji određenih sastavnih elemenata. Nakon usavršavanja svih konstrukcijskih zahtjeva u CAD programu, uz pomoć asistenta pristupilo se 3D printanju kućišta higrometra, a zatim se elementi modela spajaju i sastavljaju vijcima i maticama tako da se postupno mogu mijenjati dimenzije koje utječu na udaljenosti senzora. Senzori se postavljaju na predviđena mjesta prema slici (4-6) i povezuju putem Arduina nakon čega se pristupa programiranju.



Slika 4-12. Prototip kondezacijskog higrometra

5. PROGRAMSKI KOD

Prema slici 5-1. u prvom dijelu programskog koda korištena je naredba "include" koja služi za pozivanje vanjskih biblioteka, a koje je bilo potrebno preuzeti prethodno prije pozivanja. Vanjske biblioteke sadrže korisne definicije i funkcije koje su korištene u programu.

Define se koristi kako bi se definirale konstante korištene u kodu, što pridonosi poboljšanju čitljivosti koda i lakšem prepravljanju u slučaju greške.

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include "HX711.h"

#define ONE_WIRE_BUS 4

Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress Thermometer;
HX711 scale;

byte Peltier_PWM_pin = 9;
byte Fan_PWM_pin = 10;
byte Reflectance_sensor_in = 6;
byte Reflectance_sensor_out = 7;
byte LOADCELL_DOUT_PIN = 3;
byte LOADCELL_SCK_PIN = 2;
byte Reley_pin = 5;
int Peltier_PWM_value_cooling = 0;
int Peltier_PWM_value_heating = 0;
int Fan_PWM_value = 0;
float Last_Sensor_temp = 0;
float Temp_DS18B20;
float Temp_PTC100;
float Temp_PTC100_units;
float Temp_MLX9061_ AMBIENT;
float Temp_MLX9061_ OBJECT;
float Sensor_temp;
byte Reflectance;
byte control =0;
byte state=0;

```

Slika 5-1. Pozivanje vanjskih biblioteka i rezervacija memorijski mjesta

Korištene naredbe za rezervaciju mjesta u memoriji:

- "byte" – naredba kojom se rezervira mjesto u memoriji u iznosu od 8 bitova, odnosno 1 bajta; koristi se za pohranu vrijednosti u rasponu od 0 do 255
- "int" – podatkovni tip u Arduino programiranju; koristi se za pohranu cjelobrojnih vrijednosti s predznakom; koristi 2 bajta memorije i može pohraniti vrijednosti u rasponu od -32 768 do 32 767, a pritom pohranjuje cijele brojeve unutar tog raspona u Arduino programima
- "float" – podatkovni tip u Arduino programiranju koji se koristi za pohranu brojeva s pomičnim zarezom (decimalnih brojeva); koristi 4 bajta memorije i ima ograničenu decimalnu preciznost od približno 6 do 7 decimalnih mjesta pa se iz tog razloga koristi za pohranu senzorskih vrijednosti, izračunatih vrijednosti i drugih situacija koje zahtijevaju vrlo visoku preciznost decimalnih brojeva

- "unsigned long" – podatkovni tip u Arduino programiranju koji se koristi za pohranu pozitivnih cjelobrojnih vrijednosti; koristi 4 bajta memorije i može pohraniti vrijednosti u rasponu od 0 do 4 294 967 295 pa se iz tog razloga koristi za pohranu većih brojeva od onih koji se mogu pohraniti u prethodno navedene tipove

Na slici 5-2. u prva dva reda nakon unsigned long se nalaze `time_now = - interval + 100;` i `time_now_2 = - interval_2 + 100;` čije su zadaće zadavanje vremenskih intervala tako da se petlja ponavlja svakih 100 ms.

Kao što je prikazano na narednoj slici, funkcija "void setup()" izvršava se na početku programa te se koristi za postavljanje početnih uvjeta i parametara, odnosno određuju se inicijalni uvjeti programa. U njoj se obično postavljaju načini rada pinova, inicijaliziraju se varijable i uređaji te se obavljaju ostale početne konfiguracije.

```

unsigned long time_now = - interval + 100; //obavi prvo mjerenje 100 ms nakon uključenja
unsigned long time_now_2 = - interval_2 + 100; //obavi prvo mjerenje 100 ms nakon uključenja

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(Reflectance_sensor_out, INPUT);
  pinMode(Reflectance_sensor_in, OUTPUT);
  pinMode(Peltier_PWM_pin, OUTPUT);
  pinMode(Fan_PWM_pin, OUTPUT);
  pinMode(Reley_pin, OUTPUT);
  digitalWrite(Reley_pin, LOW);
  digitalWrite(Reflectance_sensor_in, LOW);

  Serial.begin(9600);

  sensors.begin();
  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN,32);

  if (!mlx.begin()) {
    Serial.println("Error connecting to MLX sensor. Check wiring.");
  };
  Serial.println(mlx.readEmissivity());
  mlx.writeEmissivity(new_emissivity);

  //int deviceCount = sensors.getDeviceCount();
  //Serial.println(deviceCount);
}

```

Slika 5-2. Početni uvjeti programa

U nastavku je opisan detaljan set funkcija za izvršavanje koda koji služi za mjerenja temperature rosišta.

- `pinMode()` – u Arduino programiranju koristi se za postavljanje načina rada (ulazni/izlazni) pina na Arduino ploči; to omogućuje kontrolu ulaznih i izlaznih funkcionalnosti koje su korištene za reguliranje brzine vrtnje ventilatora, očitavanje refleksije i regulaciju grijanja-hlađenja
- `Serial.begin()` – korištena za inicijalizaciju serijske komunikacije pri radu MLX90614; koristi se za određivanje brzine serijske komunikacije, a osim toga putem serijskog porta može slati i primiti vanjske podatke

```
Peltier_PWM_value_cooling = 150;
Peltier_PWM_value_heating = 100;
Fan_PWM_value = 150;

if (millis() - time_now_2 > interval_2){
  time_now_2 = millis();

  if (Reflectance == 0){
    analogWrite(Peltier_PWM_pin, 0);
    digitalWrite(Reley_pin, LOW);
    analogWrite(Peltier_PWM_pin, Peltier_PWM_value_cooling);
    analogWrite(Fan_PWM_pin, Fan_PWM_value);
    state = 0;
    //Serial.println("hladim");
  }
  if (Reflectance == 1){
    analogWrite(Peltier_PWM_pin, 0);
    digitalWrite(Reley_pin, HIGH);
    analogWrite(Peltier_PWM_pin, Peltier_PWM_value_heating);
    analogWrite(Fan_PWM_pin, Fan_PWM_value);
    state = 1;
    //Serial.println("grijem");
  }

  Last_Sensor_temp = Sensor_temp;
}
```

Slika 5-3. Algoritam

Na slici 5-3. nalazi se algoritam koji je korišten prilikom trećeg testiranja koje je detaljno prikazano u poglavlju 6. Glavna varijabla o kojoj ovisi stanje hlađenja ili grijanja stakalca je `Reflectance`, a može iznositi 0 ili 1. Pri stanju 0 izlazna snaga hlađenja izražena je PWM impulsom iznosa 150, a pri stanju 1 snaga grijanja izražena je PWM impulsom iznosa 100. Cilj je izmjenjivati hlađenje i grijanje pločice u ovisnosti o pojavi rošenja. Sve se odvija u

temperaturnom rasponu oko točke rosišta zraka. Nizom takvih ciklusa, zbog veće točnosti, teži se dobiti srednju temperaturu rosišta.

U retku if provjerava se je li prošlo više vremena od definiranog intervala (interval_2). Nakon toga, vrijednost time_now se ažurira kako bi započelo brojanje novog intervala.

U algoritmu za 3. testiranje korištene su navedene funkcije:

- Millis() – praćenje vremena i vremenskih uvjeta za izvođenje zadataka u programu (odgađanja između funkcija ili njihovog pozivanja ako je određeno periodički)
- analogWrite() – služi za generiranje analognih signala; korištenjem digitalnih signala (PWM) omogućeno je generiranje analognih efekata – na opisani način omogućuje kontrolu peltiera
- digitalWrite() – postavlja vrijednost na nekom digitalnom pinu (digitalne vrijednosti su high ili low; koristi se za kontrolu izlaznih pinova – u prikazanom slučaju ova funkcija nalazi primjenu za hlađenje i refleksiju

```
Serial.print(Temp_DS18B20);  
Serial.print(" ");  
Serial.print(Temp_PTC100_units);  
Serial.print(" ");  
Serial.print(Temp_MLX9061_AMBIENT);  
Serial.print(" ");  
Serial.print(Temp_MLX9061_OBJECT);  
Serial.print(" ");  
Serial.print(Reflectance);  
Serial.print(" ");  
Serial.println(state);
```

Slika 5-4. Ispis podataka

- `Serial.print()` i `Serial.println()` – koriste se za ispisivanje podataka na serijski monitor putem serijske veze (`Serial.print()` ispisuje podatke bez prelaska u novi red, a `Serial.println()` ispisuje podatke s prelaskom u novi red nakon svakog ispisivanja)

6. REZULTATI

Nakon samogradnje prototipa kondenzacijskog higrometra (slika 4-12.) pristupilo se ispitivanjima.

Provedena su tri ispitivanja s ciljem dobivanja relevantnijih podataka. Sva tri testiranja u svom programskom kodu pozivaju se na jednake vanjske biblioteke, rezerviraju memorijska mjesta i imaju iste početne uvjete programa prikazane u prethodnom poglavlju.

Testiranjima su se utvrdile promjene temperature pri kojima dolazi do rošenja na pločici.

U SerialMonitoru se dobiva pet parametara koji su pretočeni u graf (objašnjena je legenda i prikazan način mjerenja vrijednosti za sva provedena ispitivanja):

- Tanka plava linija prati temperaturu senzora DS18B20 pločice te je uzimamo kao referentnu temperaturu za očitavanje temperature rosišta. Navedena linija prikazuje vrijednosti temperatura, ali s odstupanjem od $\pm 0,5$ °C.
- Isprekidana narančasta linija predstavlja vrijednosti PTC100 čije su temperature dobivene preračunavanjem vrijednosti izlaza s pojačala HX711. Zbog velikih promjena vrijednosti uslijed hlađenja dolazi do odstupanja koja su označena prekidima linije na dijagramu.
- Žuta linija prikazuje vrijednost objektne temperature senzora MLX90614. Vrijednost na slikama 6-1. i 6-2. je podijeljena sa 100 jer koeficijent emisivnosti (poglavlj 4) nije bio ispravno postavljen. Daljnjim eksperimentiranjem dolazi se do realnije vrijednosti te ga onda vraćamo u prvo mjerilo (slika 6-3).
- Siva linija označava temperaturu okoline te je u pravilu konstantna.
- Masna plava linija označava pojave rošenja koje su dobivene senzorom OPB710. Kada dosegne vrijednost 1 na y-osi u desnom mjerilu, zaključuje se da je došlo do zamagljenja pločice .

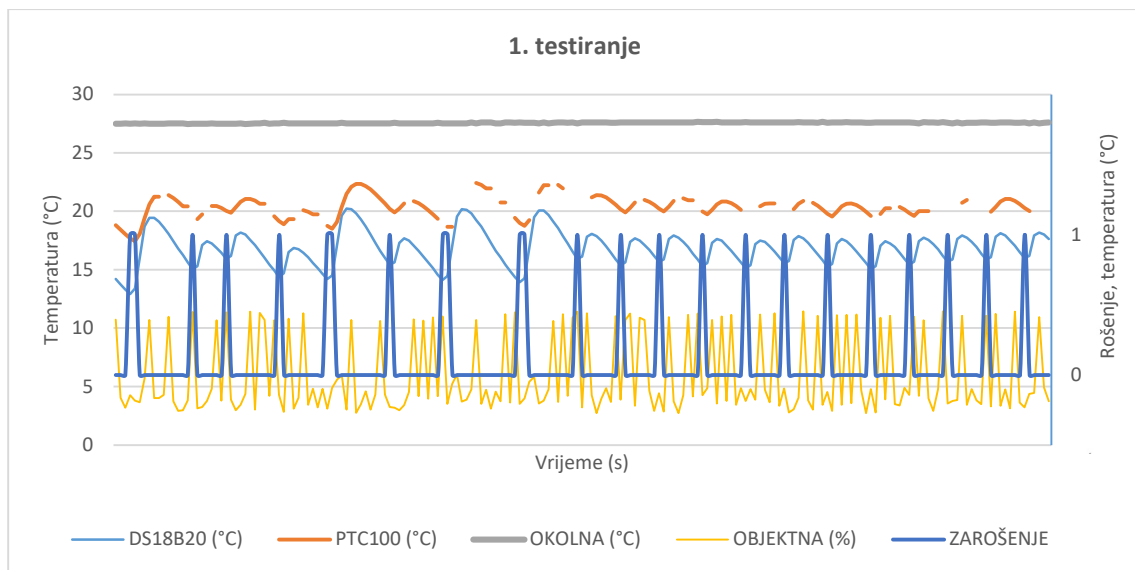
Hlađenje ili grijanje ovisi o stanju senzora pokreta OPB710 koji registrira je li došlo do zamagljenja. Regulacija, odnosno hlađenje ili grijanje, izvodi se uz pomoć detekcije rošenja

čije vrijednosti mogu biti 0 ili 1. Za hlađenje odnosno pojavu refleksije ili stanja 0, polaritet releja se ne mijenja, a vrijedost PWM-a ostaje ista. U slučaju rošenja za sva tri slučaja, algoritam mijenja stanje hlađenja putem releja i vrijednost PWM signala koji se šalju na vrata mosfeta.

Sljedeći dijagrami predstavljaju promjenu temperature i refleksije (rošenja) u vremenskim intervalima. Na dijagramima su označene dvostruke y osi (dva mjerila y osi u °C).

U nastavku su prikazana i detaljno opisana sva tri ispitivanja pomoću grafova te koje promjene vrijednosti parametara regulacije i promjene položaja senzora su uzrokovale pojedine razlike na očitanjima s higrometra.

6.1. Prvo testiranje



Slika 6-1. 1. testiranje

Prilikom provođenja prvog testiranja senzor refleksije postavljen je iznad pločice kako je prikazano na slici 4-6. Pokreće se Arduino s unaprijed zadnim uvjetima. Tijek grafa prikazuje obrađene podatke iz prvog testiranja, a odmah u prvom dijelu grafa uočava se nepotrebno povećanje temperature. Zbog toga, tijekom započetog provođenja ispitivanja (u drugom

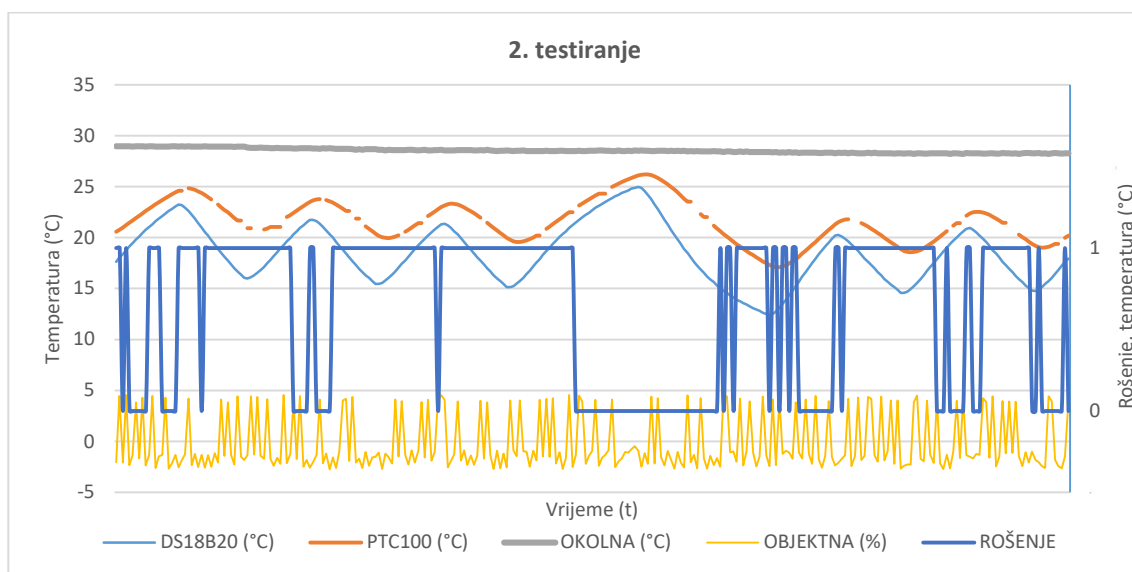
dijelu grafa), senzor se približava pločici pa bolje registrira promjene, što rezultira ujednačenim promjenama temperature na svim senzorima.

U slučajevima u kojima nema zamagljenja polaritet na releju ostaje nepromijenjen, te se postavlja vrijednost PWM signala na 150, tj. 60 % maksimalnog napona koji prođe kroz vrata mosfeta i preko releja predaje se termoelektričkom generatoru. U slučaju refleksije grijanje se postavlja na maksimalnu snagu (promjeni polaritet releja preko mosfeta) i automatski vraća na hlađenje.

Pri provođenju ovog testiranja koeficijent emisivnosti bio je postavljen na iznos 0.05 preko funkcije `mlx.writeEmissivity(0.05)` (očitana iz datasheeta senzora za polirani aluminij).

Iz grafa se primjećuje da je okolna temperatura konstantna i iznosi 27 °C. Prema legendi na grafu, rošenje pokazuje nagli skok, odnosno detektira promjenu i u tom trenutku krivulje očitane senzorima DS18B20 i PTC100 imaju paralelne skokove zbog grijanja pločice. U drugoj polovini grafa očitavaju se približno periodičke promjene rošenja, a senzorom DS18B20 u tom trenutku dobivaju se rezultati od približno 16 °C.

6.2. Drugo testiranje

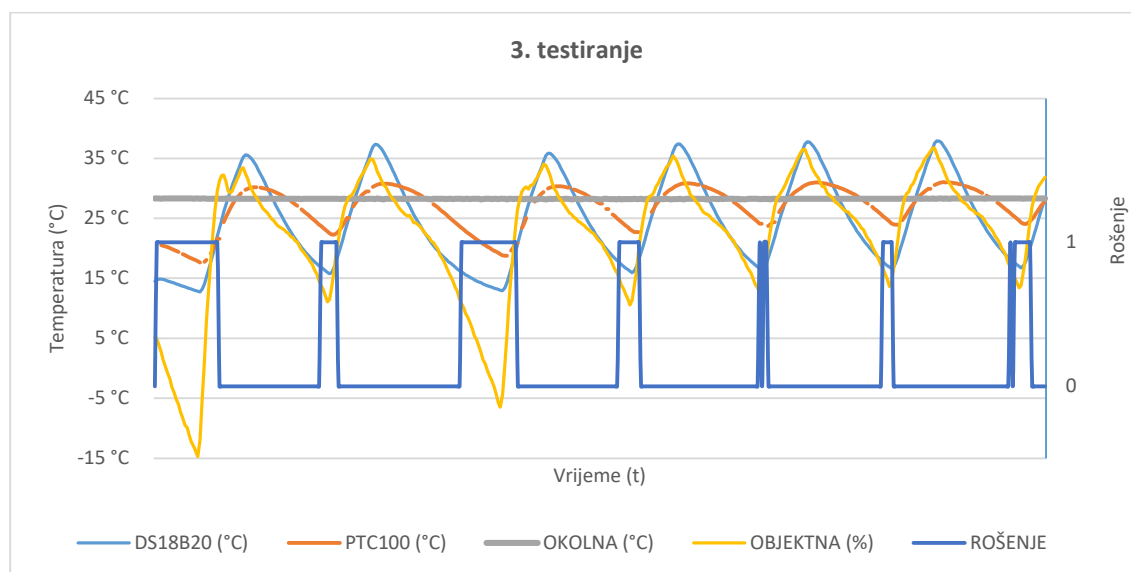


Slika 6-2. 2. testiranje

Položaj senzora ostaje isti kao i onaj u drugom dijelu prvog testiranja. Testiranje započinje pokretanjem Arduina na kojem su postavljeni drugačiji uvjeti (parametri regulacije) za razliku od onih pri prvom testiranju. S obzirom da je iz rezultata grafa prvog testiranja primjećena potreba za većim vremenskim područjem razdoblja zamagljenja pločice, produljuju se vremenski interval mjerenja i regulacije. Uz već postojeći iznos hlađenja koji iznosi 150 PWM, intezitet snage grijanja je izjednačen sa spomenutim. Na taj način je postignut željeni interval, ali se ne može procjeniti točka rosišta zbog rasipanja vrijednosti.

U odnosu na prvo testiranje uočava se da je produljeno trajanje očitavanja točke rosišta. To nije povoljno zbog velikih širina razmaka temperaturnih vrijednosti. Srednju vrijednost točke rosišta procjenjujemo na 14,5 °C.

6.3. Treće testiranje



Slika 6-3. Finalno testiranje

U prethodna dva ispitivanja nisu dobivane korisne informacije od objektne temperature. Iz navedenog razloga u završnom trećem testiranju senzor je prilagođen mijenjanjem koeficijenta emisivnosti senzora MLX90614 iznosa 0.85. i doraden je gumenom cjevčicom kako bi mu se ograničilo mjerno područje. Također je izvršena horizontalna promjena položaja senzora OPB710 s obzirom na prethodna ispitivanja. Regulacija za slučaj grijanja je smanjena na vrijednost od 100 PWM. Korekcijom emisivnosti iskazuju se mjerodavniji rezultati u kojima se vidi da je na taj način moguće odrediti odmagljenje koje uzrokuje povećanje temperature prikazano šumom.

Tijekom dužeg vremena rada higrometra pojavljuju se konstantne vrijednosti u trenucima zamagljenja. Te vrijednosti su jednake vrijednostima točke rosišta izmjerenim referentnim vlagomjerom po tablici 6-1.

Tablica 6-1. Parametri zraka u laboratoriju pri 3. testiranju

Sobna temperatura, (°C)	28,2
Relativna vlažnost, (%)	51,3
Atmosferski tlak zraka, (kPa)	1002,1
Točka rosišta (engl. Dew point), (°C)	17

7. ZAKLJUČAK

Cilj razvitka prototipa kondenzacijskog higrometra po principu kondenzacije (slika 6-1.) je dobiti precizne točke temperature rosišta zraka. Poznavanje i određivanje točnih vrijednosti točaka rosišta zraka vrlo je važno i često korišteno u meteorologiji, avijaciji i kontroli klime.

Ovim završnim radom dokazana je mogućnost samogradnje funkcionalnog kondenzacijskog higrometra koji daje realna očitavanja. Za preciznija mjerenja moguće je uvesti poboljšanja poput kalibracije senzora temperature PTC100 koji paralelno prati krivulju senzora DS180B20.

U testiranjima je IR senzor, koji mjeri temperaturu objekta u slikama (6-1., 6-2.), očitavao pogrešne vrijednosti. Uz promjenu koeficijenata emisivnosti i dalje ne postoje mjerodavne temperature objekta. Primijećeno je da je razlog tomu rasipanje IR valova u trenutku promjene refleksije i zamagljenja tijela. Očitavanje temperature hipotetski postaje rješivo ugradnjom objektiva s lenovom lećom. Plankonveksna leća bi smanjila kut i paralelno odašiljala i primala odbijene IR zrake.

Čistoća pločice utječe na raspoređivanje kondenzata na površini. Termalna raspodjela topline u aluminijskoj pločici zbog toga ima ključnu ulogu, a ona na svim dijelovima nije bila ista. Primjenom termalne kamere, senzori bi se mogli pozicionirati na kritične točke promjena.

Kao što je navedeno i opisano u prethodnim poglavljima, za izgradnju kondenzacijskog higrometra potrebna je preciznost i točna umjerenost mjernih komponenti. S obzirom da se kondenzacijski higrometri primjenjuju u industriji, medicini, prometu i općenito u održavanju i praćenju zdravih uvjeta za funkcioniranje i rad, važno je pratiti i inovirati proizvodnju i razvoj novih prototipa kondenzacijskog higrometra.

LITERATURA

VK-SPY 2019. Apsolutna i relativna vlažnost zraka URL: <https://vk-spy.ru> (22.5.2023)

ROBOCRAZE 2021. Peltier Cooler Working Principle & Applications URL: <https://robocraze.com> (20.5.2023)

JAVAPOINT (n.d.) Arduino Uno pinout URL: <https://www.javatpoint.com> (06.06.2023.)

ELECTROPEAK 2019. DS18B20 Temperature Sensor URL: <https://electropeak.com> (23.05.2023.)

RANDOM TUTORIALS 2019. DS18B20 URL: <https://randomnerdtutorials.com> (19.6.2023.)

OPTEK (n.d.) OPB710 URL: <https://us.rs-online.com> (23.5.2023.)

Lastminuteengineers, (2019): MLX90614 i FOV URL: <https://lastminuteengineers.com/> (25.5.2023.)

ARDUINO, (2018.): PWM Tutorial URL: <https://www.arduino.cc/en/> / (01.07.2021.)

Elprocus, (2022): Arduino with Load Cell and HX711 Amplifier (Digital Scale) URL: <https://randomnerdtutorials.com/> (26.5.2023.)

Soldered 2023. Što je to mosfet? URL: [https://soldered.com/hr/\(25.5.2023\)](https://soldered.com/hr/(25.5.2023))

Šarko, D. 2020. Analiza točke rosišta atmosferskog zraka u okolini rudnika Sv. Barbara u Rudama, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. URL: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/rgn%3A1247> (18.06.2023.)

Hrvojević, H, (2021): Samogradnja kondenzacijskog higrometra za određivanje točke rosišta zraka, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. URL: <https://repositorij.rgn.unizg.hr/islandora/object/rgn:1762/datastream/PDF/view> (01.04.2023.)

Klanfar M. (2018): Vjetrenje i odvodnjavanje, Prezentacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

ARDUINO 2021. ARDUINO UNO REV3. URL: <https://store.arduino.cc> (06.06.2023.)

Digikey 2021.: OPB710. URL: <https://media.digikey.com/> (22.06.2021.)

AZ-INSTRUMENT, (n.d.): Prijenosni vlagomjer sa sondom URL: <https://www.az-instrument.com.tw/en/product-61640> (22.06.2021.)

PCBoard, (n.d.) IRLZ44N N-Channel MOSFET. URL: <https://www.pcboard.ca/> (01.07.2021.)

Prilog-1 Shema prototipa kondenzacijskog higrometra za precizno određivanje točke rosišta zraka

