

Arduino meteorološka postaja: izrada i mjerenja

Vranić, Jure

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:757540>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Splitu
Prirodoslovno – matematički fakultet

Arduino meteorološka postaja: izrada i mjerjenja

Završni rad

Jure Vranić

Split, rujan 2022.

Želim se zahvaliti svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Jadranki Šepić na pruženoj pomoći i danim savjetima kod pisanja ovog završnog rada.

Posebne zahvale mojoj obitelji koja je uvijek vjerovala u mene te mi s njima nikad ničega nije manjkalo. Naručito majci koja me uvijek gurala.

I na kraju, velike zahvale Karli na potpori i razumijevanju u stresnim vremenima kroz koje smo, za vrijeme mog obrazovanja, skupa prolazili.

Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilište u Splitu
Prirodoslovno – matematički fakultet
Odjel za fiziku
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

Završni rad

Arduino meteorološka postaja: izrada i mjerenja

Jure Vranić

Sveučilišni preddiplomski studij Fizika

Sažetak:

Meteorološka opažanja su pomagala ljudskoj vrsti od davnina. U proteklih par desetljeća, kod ljudi je porasla zainteresiranost za meteorologiju zbog neizvjesne klimatske budućnosti. Laici i meteorološki rekreativci sve se više počinju baviti s idejom vlastitih meteoroloških mjerenja, a time i meteoroloških postaja. U ovom završnom radu prikazan je primjer jednostavne i jeftine amaterske meteorološke postaje na Arduino platformi koja bilježi podatke iz atmosfere. Postaja se služi senzorom koji vrši automatska minutna mjerenja temperature i tlaka, koja se pohranjuju na računalo, gdje se i obrađuju. Postaja je pogodna za vanjska i unutarnja mjerenja, a zbog niske cijene izrade i jednostavnosti izrade predstavlja izvrstan pilot-projekt za svakog početnika. Za iskusne korisnike ovaj projekt nudi idejni kostur na kojem se mogu raditi daljnje preinake ili nadogradnje po potrebi.

Glavne riječi: Vrijeme, Meteorološka postaja, Arduino UNO, BMP280 senzor

Rad sadrži: 24 stranice, 20 slika, 3 tablice, 18 literaturnih navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Jadranka Šepić

Ocjenjivači: izv. prof. dr. sc. Jadranka Šepić,
doc. dr. sc. Vladimir Pleština,
dr. sc. Marin Vojković

Rad prihvaćen: 20. 9. 2022.

Rad je pohranjen u Knjižnici Prirodoslovno – matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu.

Basic documentation card

University of Split
Faculty of Science
Department of Physics
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

Bachelor thesis

Arduino meteorological station: manufacture and measurements

Jure Vranić

University undergraduate study programme Physics

Abstract:

Meteorological observations have aided the human species since ancient times. In the past couple of decades, people have increased interest in meteorology due to uncertain fate of our climate's future. Amateurs and meteorological recreationalists are increasingly starting to entertain with the idea of their own meteorological measurements, and thus meteorological stations. This bachelor thesis shows an example of a simple and cheap amateur meteorological station on the Arduino platform that records data from the atmosphere. The station uses a sensor that performs one minute measurements of atmospheric pressure and air temperature, which are stored on a computer, where they're processed. The station is suitable for external and internal measurements and due to the low cost and simplicity makes for an excellent pilot project for any beginner. For experienced users, however, this project offers a conceptual skeleton on which further modifications or upgrades can be made as needed.

Keywords: Weather, Meteorological station, Arduino UNO, BMP280 sensor

Thesis consists of: 24 pages, 20 figures, 3 tables, 18 references. Original language: Croatian.

Supervisor: Asoc. Prof. Dr. Jadranka Šepić

Reviewers: Asoc. Prof. Dr. Jadranka Šepić,
Assist. Prof. Dr. Vladimir Pleština,
Dr. Marin Vojković

Thesis accepted: September 20, 2022

Thesis is deposited in the library of the Faculty of Science, University of Split.

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Meteorološke postaje	1
1.1.1	Glavna meteorološka postaja	2
1.1.2	Obična meteorološka postaja	2
1.1.3	Kišomjerne postaje	2
1.1.4	Službene meteorološke postaje	3
1.1.5	Amaterske meteorološke postaje	4
2	Arduino meteorološka postaja	5
2.1	Komponente	6
2.1.1	<i>Arduino</i> UNO	6
2.1.2	BMP280 senzor tlaka i temperature	8
2.2	Izrada meteorološke postaje	10
2.3	Software	12
2.3.1	<i>Arduino</i> IDE	12
2.3.2	<i>CoolTerm</i>	15
3	Mjerenja	16
3.1	Eksperimentalni postav	16
3.2	Analiza podataka	17
4	Zaključak	21

1 Uvod

U ovom završnom radu obrađena je tema izrade i testiranja amaterske meteorološke stanice na *Arduino* platformi. Objasniti će se temeljni koraci, pomoću kojih će ovu meteorološku stanicu, svatko moći, ne samo replicirati, nego i nadograđivati po potrebi.

Praćenje meteoroloških prilika je ljudima od davnina pomagalo u svakidašnjim životnim zadaćama, ali i izbjegavanju nesreća. Zahtjevi kao što su iščekivanje stabilnog vremena; što je značilo sigurniju plovidbu, uspijeh godišnjih usjeva; predviđanja prirodnih ekstrema u svrhu zaštite života ljudi, imovine i uspjeha u ratovanju predstavljaju samo neke od motiva za razvoj meteorologije.

Stoljećima su se proučavali i pokušavali predvidjeti vremenski uvjeti. U sedamnaestom stoljeću interes za meteorologiju svodio se na osnovno razumijevanje atmosferskih čimbenika: tlaka, temperature i vlage zraka. Započeto je empirijsko i instrumentalno promatranje atmosfere, no metodička evidencija mjerenih podataka nije zaživjela. Osamnaesto stoljeće donijelo je hirovitu zainteresiranost za meteorološka mjerenja diljem važnih europskih znanstvenih središta. Pokušali su uspostaviti kooperativne mreže snimanja atmosferskih podataka od grada do grada i na "prošireniji" način su vršili dnevna opažanja. Opsežna mjerenja atmosferskih podataka dovela su i do prvih pokušaja objašnjenja opće cirkulacije atmosfere. [1] Osamnaesto stoljeće donijelo je i prvu stalnu meteorološku postaju u svijetu koja se nalazi u bavarskoj pokrajini, Hohenpeißenberg. [2]

1.1 Meteorološke postaje

Meteorološka postaja je organizacijska jedinica meteorološke službe čiji je zadatak obavljati meteorološka motrenja, tj. opažanja i mjerenja koja su u skladu s utvrđenim i jedinstvenim propisima te raspoloživim mjernim uređajima. [3]

U Republici Hrvatskoj, Državni hidrometeorološki zavod je upravna i znanstvena Organizacija koja, u skladu s propisima Svjetske meteorološke organizacije (SMO) UN-a, prati hidrometeorološke procese, prikuplja, obrađuje i objavljuje hidrološke i meteorološke podatke, istražuje atmosferske procese te upravlja mrežom meteoroloških/hidroloških postaja i nacionalnom bazom podataka iz područja meteorologije, hidrologije i kvalitete zraka. [4]

Sakupljeni meteorološki podaci dostavljaju se DHMZ-u i predstavljaju temelj meteorološke prakse proučavanja i prognoziranja vremena i klime te drugih istraživanja vezana za stanje atmosfere. Nakon prikupljanja meteoroloških podataka, dobivenih promatranjem ili

mjerenjem, DMHZ ih šalje na međunarodnu razmjenu u svrhu analize i prognoze globalnog stanja atmosfere te drugih znanstvenih istraživanja koji se bave vremenom i klimom. [3]

DHMZ dijeli meteorološke postaje prema namjeni i načinu rada na :

- Glavne
- Obične
- Kišomjerne postaje

1.1.1 Glavna meteorološka postaja

Glavna meteorološka postaja je meteorološka postaja osnovne mreže DHMZ-a, s profesionalnim motriteljima. Na njoj se vrše mjerenja i opažanja atmosferskih pojava u svrhu praćenja i prognoziranja klime i vremena. Na takvoj postaji vrše se opažanja sadašnjeg i prošlog vremena, oblaka, vidljivosti, stanja tla, fenološka opažanja, vjetar, stanje mora. Također, obavljaju se mjerenja smjera i brzine vjetra, temperature zraka, tla i vode, tlaka, vlažnosti, oborina, isparavanja, itd.[3]

1.1.2 Obična meteorološka postaja

Obična meteorološka postaja je meteorološka postaja osnovne mreže DHMZ-a koja služi za obavljanje opažanja i mjerenja meteoroloških elemenata i pojava za potrebe klimatologije. Na običnoj meteorološkoj postaji vrši se opažanje atmosferskih pojava, vidljivosti, količine oblaka, fenološka opažanja (po potrebi) te jačine vjetra.[3]

1.1.3 Kišomjerne postaje

Kišomjerna meteorološka postaja je meteorološka postaja osnovne mreže DHMZ-a na kojoj se vrše opažanja i mjerenja atmosferskih pojava i oborina (vrsta i količina oborina, visina snježnog pokrivača)[3]

Prema vrsti instrumenata koje koriste, meteorološke postaje dijelimo na:

- Konvencionalne
 - Poluautomatske
 - Automatske
- Konvencionalno-elektroničke
- Elektroničke postaje

Također, meteorološke postaje možemo podijeliti prema mreži koja ih povezuje, odnosno pripadnosti ili nepripadnosti službenoj organizaciji:

- Službene (Profesionalne)
- Amaterske postaje,

gdje su službene postaje građene po propisima Svjetske meteorološke organizacije i održavane od strane profesionalanih motritelja dok su amaterske građene i uzdržavane od strane amatera.

1.1.4 Službene meteorološke postaje

Službena meteorološka postaja (SMP) povezana je sa osnovnom mrežom DHMZ-a kojom upravljaju i koju održavaju profesionalni nadzornici. Na profesionalnoj meteorološkoj postaji obavljaju se opažanja i mjerenja u svrhu praćenja i prognoziranja vremena i klime, analize atmosfere, programa zaštite okoliša te drugih potreba agrometeorologije, tehničke meteorologije i ostalih gospodarsko-znanstvenih djelatnosti.

Službene postaje provode opažanja sadašnjeg i prošlog stanja vremena, oblaka (količine, visine i vrste), vidljivosti, jačine vjetra, stanja tla i fenoloških pojava (po potrebi). Mjerenja koja se vrše na službenim postajama, a koja su uvjetovana naputcima DHMZ-a, su:

- trenutne i ekstremne temperature zraka (i vode - ako postoje uvjeti) na 2 metra iznad tla
- brzina i smjer vjetra na 10 metara iznad tla
- temperature tla od 2 centimetra do 1-og metra dubine
- tlak zraka (tendencije tlaka i karakteristike tendencije tlaka) na razini barometra
- vlažnost zraka na 2 metra iznad tla,
- vlažnost tla
- karakteristike snježnog pokrivača (prekrivena površina, visina i gustoća snijega)
- dubine zamrzavanja/odmrzavanja tla
- trajanje sunčevog isijavanja
- isparavanje. [3]

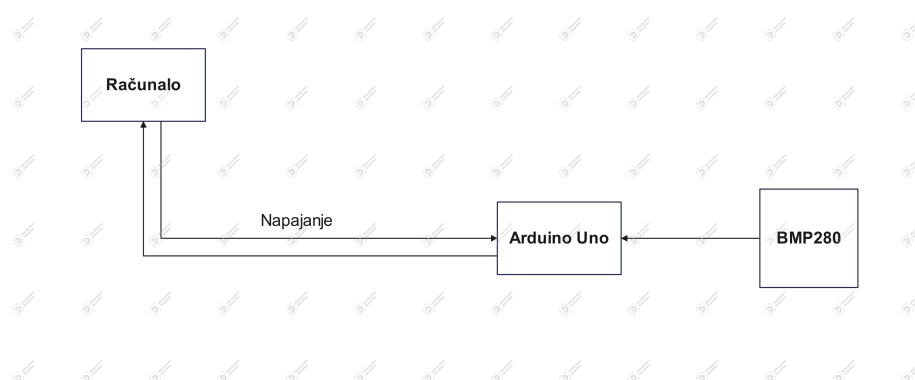
Važno za napomenuti je da se na pojedinim službenim meteorološkim postajama ne vrše sva gore navedena mjerenja, bilo zbog neadekvatne lokacije, bilo zbog nedostatka instrumentacije. Isto uzrokuje smanjenje prostorne gustoće dostupnih meteoroloških podataka.

1.1.5 Amaterske meteorološke postaje

Amaterske meteorološke postaje (AMP) često su povezane u nezavisne mreže. Ove mreže mogu biti lokalne, regionalne ili globalne. Primjeri lokalne nezavisne mreže bila bi *Pljusak* [5], a globalne *Wunderground* [6]. Amaterske postaje grade i održavaju amateri po uzoru na službene. Osnovu mreže amaterskih postaja dakle čine automatske meteorološke stanice – s kojima korisnici nastoje mjeriti što više varijabli. No, obzirom na ograničene novčane resurse i manjak regulative, AMP često sadrže senzore manje preciznosti i točnosti, koji, uz to, često nisu postavljeni na način ni na lokacijama koje zadovoljavaju standarde Svjetske meteorološke organizacije. Prednost amaterskih stanica je što su široko rasprostranjene te često prekrivaju područja na kojima nema podataka SMP-a. Zbog automatske prirode AMP, nije potreban svakodnevni angažman motritelja.

2 Arduino meteorološka postaja

U okviru ovog završnog rada izradio sam jednostavnu i cjenovno povoljnu amatersku meteorološku postaju na kojoj se mjere tlak i temperatura te s koje se podaci šalju na računalo. U radu su također analizirani nizovi mjerenih podataka. U tu svrhu izabrana je *Arduino* platforma koja zadovoljava uvjet cijene, široke primjene i jednostavnosti uporabe. Prema njenim karakteristikama *Arduino* meteorološka postaja spada pod elektroničke amaterske meteorološke postaje malih dimenzija. U ovom poglavlju će se opisati sve potrebne komponente za izradu postaje, proces izrade postaje te program (*eng. software*) koji se koristi za upravljanje postajom.



Slika 1: Dijagram projekta. (izvor: autor)

Arduino meteorološka postaja koristi računalo (laptop) kao izvor napajanja i time je vezana za ograničeno područje. Ovaj problem je rješiv implementacijom eksterne baterije minimalnog kapaciteta 1100 mAh i solarnom pločom snage 3W koja isporučuje struju napona 5V *Arduino* ploči. Dodamo li uz to mini SD "štit" modul na *Arudino* ploču, za pohranu podataka, dobivamo potpuno autonomnu vanjsku meteorološku postaju. [7] Za izradu projekta korišten je *Arduino* UNO mikrokontroler na kojeg je spojen senzor temperature i tlaka BMP280. Podaci se šalju na serijski priključak (*eng. serial port*) računala gdje ih preuzima *CoolTerm* program koji ih zapisuje u tekstualnu datoteku. Pohranjeni podaci naknadno se analiziraju pomoću MATLABa. Za izradu kućišta korištena je temeljna ideja Stevensovog zaklona koji štiti senzor od izravnog Sunčevog zračenja, a pritom omogućava konstantan protok zraka. Na Slici 2 prikazana je varijanta Stevensovog zaklona, koja je izrađena od plastičnih tanjurića, pruža odličan zaklon od Sunčevog zračenja. Uz to, jeftina je za izradu i manjih je dimenzija.



Slika 2: Varijanta Stevensovog zaklona izgrađena od plastičnih tanjurića obojanih u bijelu boju .
(preuzeto s: https://pljusak.com/img/site/zaklon_plastik.jpg)

2.1 Komponente

2.1.1 *Arduino* UNO

Programski paketi vezani uz mikrokontroler *Arduino* otvorenog su tipa(*eng. open source*) te dostupni svima za uporabu. Jednostavan je i fleksibilan za korištenje te je dozvoljeno slobodno dijeljenje i preuređivanje s ciljem proširenja već postojeće platforme. *Arduino* mogu koristiti početnici koji se tek kreću razvijati u smjeru robotike, elektronike ili programiranja ali i oni koji imaju dublje razumjevanje i duže iskustvo s navedenim područjima. Upravo zato, *Arduino* "nastupa" kao mozak u nebrojenim projektima koji variraju od svakidašnjih pomagala do kompleksnih znanstvenih uređaja.[8]

Prednosti korištenja *Arduino* mikrokontrolera su:

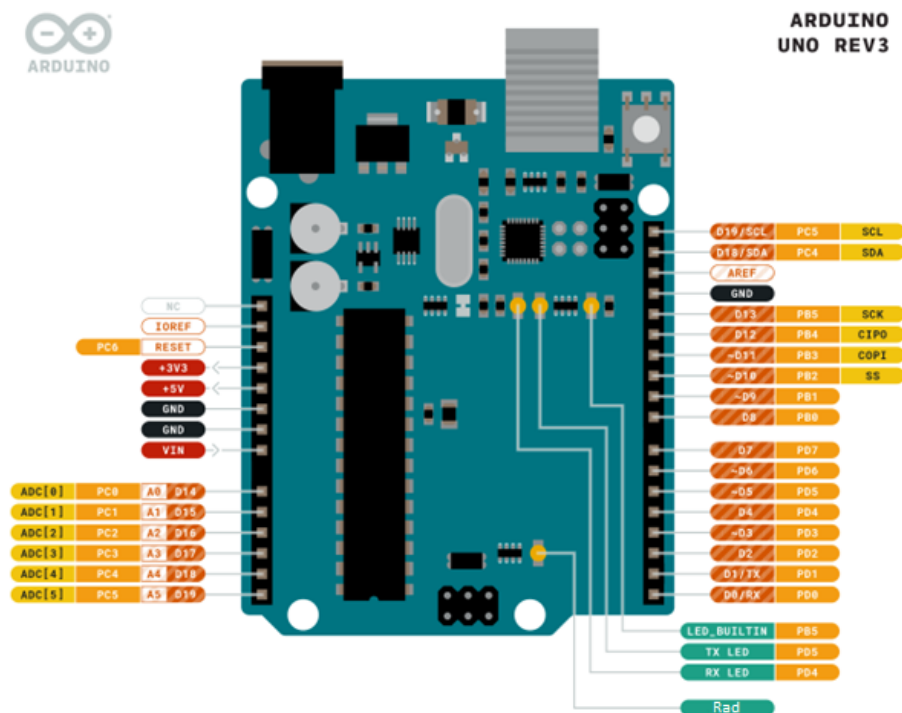
- Povoljna cijena - u usporedbi s drugim mikrokontrolerima na tržištu *Arduino* je dosta jeftin, prosječne cijene za nabavu *Arduino* pločice variraju između 22 USD (*Arduino Nano*) do 46 USD (*Arduino UNO*).
- Fleksibilnost - programski paket naziva *Arduino IDE* (eng. *Internal Development Enviroment*) podržan je na *Windows*, *Linux* i *Mac* operativnim sustavima dok je većina ostalih mikrokontrolera ograničena na *Windows*.
- Jednostavno i jasno programsko okruženje - *Arduino IDE* jednostavan je za početnike, a opet dovoljno fleksibilan za napredne korisnike.
- Otvoren i proširiv softver – omogućava naprednim programerima proširenje postojeće platforme kroz C++ biblioteke.
- Otvoren i proširiv hardver – omogućava naprednim dizajnerima sklopova izradu vlastite verzije modula te proširenje i poboljšavanje postojećih. [8]

Za izradu ovog projekta korišten je *Arduino UNO R3*, čije karakteristike su dane u Tablici 1 .

Tablica 1: Karakteristike *Arduino UNO-a* (izvor: [9])

Mikrokontroler	ATmega38P – 8 bitni mikrokontroler
Radni napon	5 V
Preporučeni ulazni napon	7-12 V
Analogni priključci	6 (A0 - A5)
Digitalni priključci	14
Istosmjerna struja po I/O priključcima	40 mA
Istosmjerna struja po 3.3V priključku	50 mA
Flash memorija	32 KB
Radna frekvencija	16 MHz

Arduino UNO, prikazan na Slici 3 baziran je na ATmega328 mikročipu koji ima značajke visokog stupnja učinkovitosti i niskoenergetskog zahtjeva.[10] Posjeduje 3 priključka za napajanje (jedan na 3.3 V i dva na 5V) kojima je maksimalna jačina struje 50 mA. Dva ulaza mogu poslužiti za napajanje cijele pločice – USB-b i 2.1 mm ulaz s naponom između 7 – 12 V. *Arduino Uno* ima tri priključka za uzemljenje koja su međusobno interno povezana, šest analognih priključaka na kojima se analogni signal pretvara u digitalni s ADC-om (eng. *Analog to Digital Converter*). Ukupno ima 14 digitalnih priključaka - pri tome, svaki protokol komunikacije između različitih priključaka (ako različiti uređaji moraju međusobno komunicirati) ima svoju skupinu pinova.[11]



Slika 3: Shematski prikaz Arduino UNO-a. (slika preuzeta s [9])

2.1.2 BMP280 senzor tlaka i temperature

Odabrani senzor BMP280 tvrtke *JOY-it*, prikazan na Slici 4 , koristit će se za mjerenje tlaka i temperature zraka zbog visoke preciznosti. Karakteristike BMP280 senzora dane su u Tablici 2 .



Slika 4: BMP280 senzor tlaka i temperature. (slika preuzeta s [12])

BMP280 spada u piezorezistivne senzore, tj. senzore koji imaju membranu građenu od poluvodiča kao što je silicij kojima se mijenja otpor ovisno o vanjskoj sili koja na njih djeluje.[13] U ovom slučaju ta sila je atmosferski tlak zraka. Prilikom mjerenja analogni signal se pretvara u digitalni pomoću ADC-a i nakon AD pretvorbe ostaju nekompenzirane vrijednosti tlaka i temperature koje BMP280 senzor kalibrira pomoću integrirane memorije

Tablica 2: Karakteristike BMP280 senzora temperature i tlaka (izvor: [12])

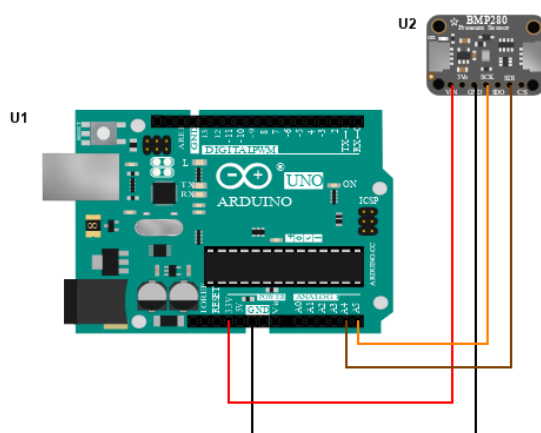
Senzor	BMP280
Raspon mjerenja tlaka	Od 300 do 1100 hPa
Apsolutna točnost	± 1 hPa
Raspon mjerenja temperature	Od -40 do 85 °C
Apsolutna točnost	± 1 °C
Rezolucija mjerenja tlaka	0.16 hPa
Rezolucija mjerenja temperature	0.01 °C
Frekvencija mjerenja	Do 157 Hz

podataka koja je predinstalirana na senzor.[14] Ova memorija, tzv. EEPROM (eng. Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), predstavlja omjere stvarnih i izmjerenih vrijednosti. Ovaj princip rada rezultira visokoj točnosti BMP280 senzora. Za spajanje senzora BMP280 s Arduinoom promotrimo Tablicu 3 i Sliku 5.

Tablica 3: Upute za priključivanje BMP280 senzora sa Arduino Uno mikrokontrolerom

BMP280	VCC	GND	SCL	SDA	SDO	CSB
Arduino UNO	3.3 V	GND	A5	A4	-	-

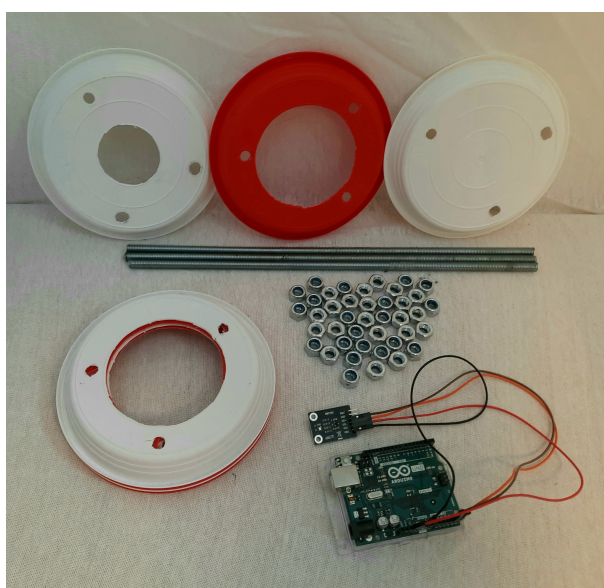
I2C je protokol za serijsku komunikaciju između Arduina i BMP280 senzora. Priključci za I2C komunikaciju su na *Arduino* UNO-u analogni pinovi A4 i A5 koji se spajaju sa podatkovnim priključkom SDA (eng. *Serial Data*) i satnim priključkom SCL (eng. *Serial Clock*). GND predstavlja priključak za prizemljenje, a VCC (eng. *Voltage Common Collector*) je priključak za napajanje. Ostala dva priključka (SDO i CSB) služe za komunikaciju s drugim uređajima te su u ovom projektu nisu korištena.

**Slika 5:** Shematski prikaz spajanja Arduino UNO-a (U1) s BMP280 senzorom (U2) (izvor: autor)

2.2 Izrada meteorološke postaje

Nakon što je „mozak“ (mikrokontroler i mjerni senzor) meteorološke postaje izrađen, u ovom poglavlju je opisan proces izrade tijela, tj. zaklona za senzor. Sav potreban materijal nalazi se na Slici 6 i sastoji se od:

- 3 metalne šipke dužine 33 cm s navojem te odgovarajuće matice
- 7 plastičnih tanjurića promjera 13.8 cm (po mogućnosti bijele boje)
- Elektronika (Arduino, senzor i potrebni kabeli)

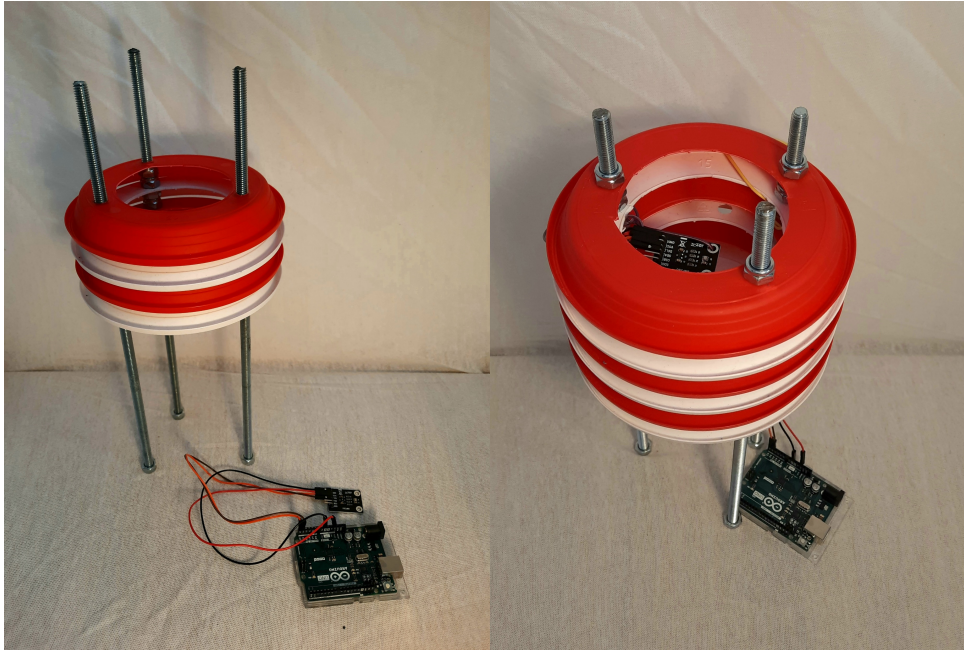


Slika 6: Materijal potreban za izradu meteorološke postaje (izvor: autor)

Na plastičnim tanjurićima probijemo rupe predviđene za 3 šipke čiji vrhovi, u ovom slučaju, označavaju jednakokračan trokut. Jedan tanjurić ostavimo čitavim, na jednom izrežemo krug promjera 4.5 cm, na preostalih ostalih pet izrežemo krug promjera 8 cm. Redom će nam tanjurići graditi krov, podnicu (koja omogućava vertikalni protok zraka) i tijelo u kojem će biti pohranjen senzor.

Matice će nam posluživati kao razmaknice (*eng. spacer*) za tanjuriće tijela (što omogućuje horizontalno strujanje zraka) i kao držači podnice i krova. Za tanjuriće od podnice do četvrtog, korištene su dvije matice (jedna na drugoj) za postizanje idealnog razmaka između tanjurića, Slika 7 (lijevo).

Nakon što je četvrti tanjurić smješten na razmaknice, senzor je žicama učvršćen za šipke, Slika 7 (desno). Zatim, tanjurići se postavljaju do krova gdje je stavljena samo jedna matica kao razmaknica. Na Slici 8 prikazan je završeni izgled meteorološke postaje.



Slika 7: Prikaz razmaknica između dva tanjurića (lijevo), prikaz fiksacije senzora (desno) (izvor: autor)



Slika 8: Završeno kućište meteorološke postaje (izvor: autor)

2.3 Software

Za izradu software-a korištena su dva programa:

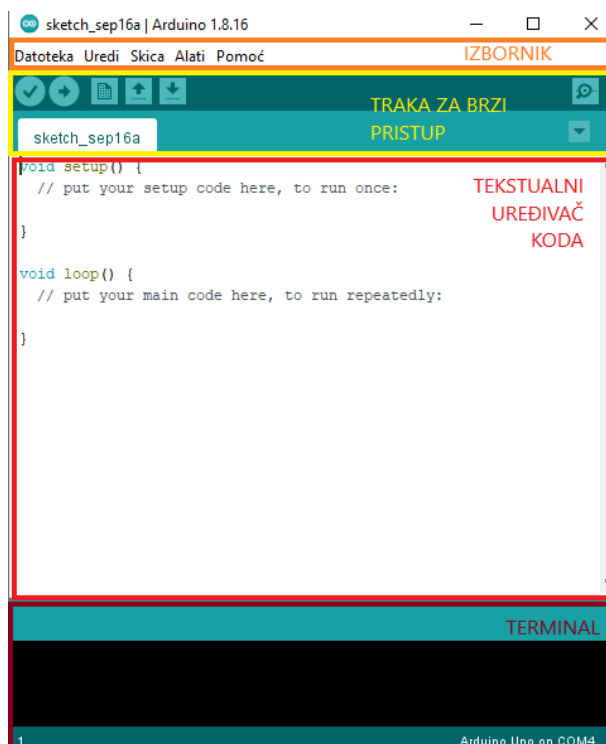
- *Arduino IDE* kao programsko okruženje za programiranje Arduino pločice
- *CoolTerm* – program jednostavnog sučelja koji omogućuje serijsku komunikaciju hardvera i računala s kojim je spojen na serijski priključak

2.3.1 Arduino IDE

Arduino IDE je softverski paket koji služi za programiranje *Arduino* pločice te ga krase mogućnost rada u različitim operacijskim sustavima (*Windows*, *Linux* i *MacOS*). Napisan je u programskom jeziku *Java*. U *Arduinu IDE* se sastavljaju tzv. skice (eng. *sketches*) tj. programi koji rade na svim *Arduino* pločicama. Prebačaj programa sa računala na *Arduino* pločicu ostvaruje se pomoću USB veze.[15]

Za potrebe ovog rada koristila se verzija programskog paketa *Arduino IDE* 1.8.16. Nakon što se instalira *Arduino IDE* programski paket, potrebno je instalirati proširenja, tj. biblioteke koje služe kao upravljački programi za *Arduino* pločice, senzore i druge module.

Pri prvom otvaranju *Arduino IDE* programskog paketa korisnik će se suočiti sa sučeljem kojeg možemo podijeliti u četiri cjeline kao što je prikazano na Slici 9.



Slika 9: Sučelje *Arduino IDE*-a (izvor: autor)

Za nove korisnike samo su dva dijela bitna, to je izbornik (za pronalazak i instalaciju potrebnih biblioteka) i tekstualni uređivač koda u kojem se piše program za *Arduino* pločicu. Za pronalazak pravih biblioteka potrebno je slijediti put *Alati* pa *Manage Libraries*, nakon čega se, iza naredbe *#include*, upisuje naziv biblioteke kako bi joj program imao pristup. Slika 10 prikazuje biblioteke koje su korištene za ovaj projekt

```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
```

Slika 10: Korištene biblioteke (izvor: autor)

Nakon uvrštenih biblioteka, korisnik će primijetiti dva dijela u tekstualnom uredniku:

- *void setup()* – blok naredbi koje se izvršavaju jedanput, pri paljenju *Arduino* pločice te nakon dovršetka idu na sljedeću
- *void loop()* – blok naredbi koje se periodički ponavljaju.

Za mjerenje podataka tlaka i vremena dovoljno je uvrstiti biblioteku *Adafruit_BMP280.h* koja je kompatibilna sa *JOYit*-ovim senzorom. Koristeći funkciju *void measure_t_p()* izmjereni podaci spremaju se u varijable *p* i *t* (Slika 11).

```
void measure_t_p()
{
    float p = bmp.readPressure();
    float t = bmp.readTemperature();

    if(isnan(p) || isnan(t) || isnan(a))
    {
        Serial.println("Failed to read from BMP sensor!");
    }
}
```

Slika 11: Funkcija koja dohvaća podatke temperature i tlaka sa senzora (izvor: autor)

Koristeći postojeće svojstvo periodičnog ponavljanja napisan je blok koda koji će pratiti vrijeme mjerenja. Prvo se definiraju sve potrebne varijable (Slika 12).

Nakon čega je napisan ostatak koda u *loop()* bloku (Slika 13).

```
#define SEK 0
#define MIN 50
#define HOUR 17
#define DAY 7
#define MON 9
#define YEAR 2022

int tim = SEK;
int m = MIN;
int h = HOUR;
int d = DAY;
int mon = MON;
int y = YEAR;
```

Slika 12: Definicija varijabli potrebnih za mjerenje vremena (izvor: autor)

```
void loop() {
    if(tim == 0 || tim % 60 == 0)
    {
        measure_t_p();
    }
    delay(880);
    tim++;

    if(tim == 60)
    {
        tim = 0;
        m++;
    }

    if(m == 60)
    {
        m = 0;
        h++;
    }

    if(h == 24)
    {
        h = 0;
        d++;
    }
    if(m==2 || m==4 || m==6 || m==9 || m==11){
        if(d == 31)
        {
            d = 1;
            mon++;
        }
    }
    else
    {
        if(d==32)
        {
            d = 1;
            mon++;
        }
    }
}
```

Slika 13: Definicija varijabli potrebnih za mjerenje vremena (izvor: autor)

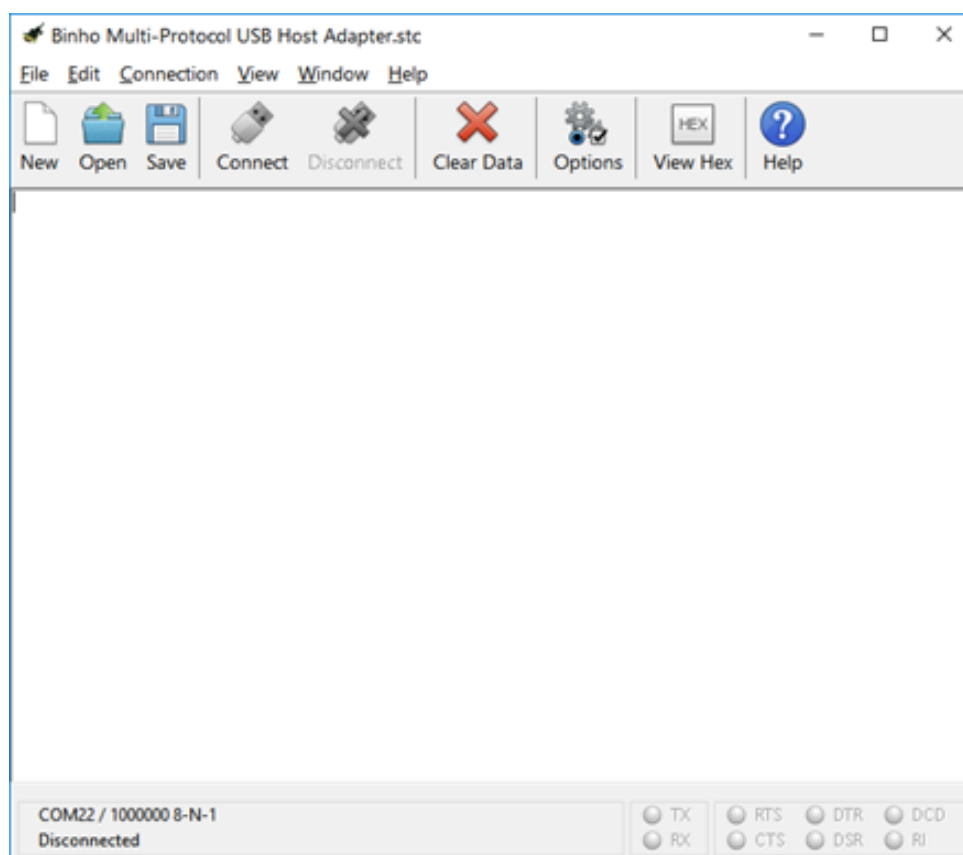
U kodu se prvo poziva funkcija koja obavlja mjerenje podataka na početku, odnosno nakon uključivanja uređaja, i zatim svake minute. To je ostvareno tako što se daljnji napredak koda odgađa jednu sekundu, odnosno 880 milisekundi, kao rezultat kalibriranja. Kod se potom grana; ispituje se vrijeme i datum te se kod po potrebi prilagođava. Kad bi postaja neprestano radila godinu dana greška zapisanog vremena odmicala bi 4.5 sati. Ova devijacija se može smanjiti dodatnim kalibriranjem funkcije *delay*.

Kod je vremenski uvjetovan da svaku minutu ispiše na serijski spoj vrijeme te izmjereni tlak i temperaturu.

2.3.2 CoolTerm

Coolterm je besplatan softver (eng. *freeware*) koji je izrazito jednostavan za uporabu te se koristi za bilježenje podataka koji dolaze na serijski spoj računala.[16]

Prilikom ulaza u program potrebno je imati meteorološku postaju spojenu s računalom preko USB veze (Slika 14). Zatim prateći *Connection* na traci izbornika pronaći *Capture to Text/Binary File* te konačno odabrati opciju *Start*. *CoolTerm* će tražiti da se stvori text-datoteka nakon čega će započeti sa bilježenjem podataka.



Slika 14: Izgled sučelja CoolTerm programa (izvor: autor)

3 Mjerenja

Obavljena su dva seta mjerenja:

- Sobno – u kojem su simultano dvije meteorološke postaje bilježile tlak i temperaturu u dvije različito orijentirane sobe - u trajanju od 2 tjedna.
- Vanjsko – u kojem je korištena samo jedna meteorološka postaja koja je dodatno modificirana kako bi izdržala vanjske vremenske uvjete (Slika 15)

3.1 Eksperimentalni postav

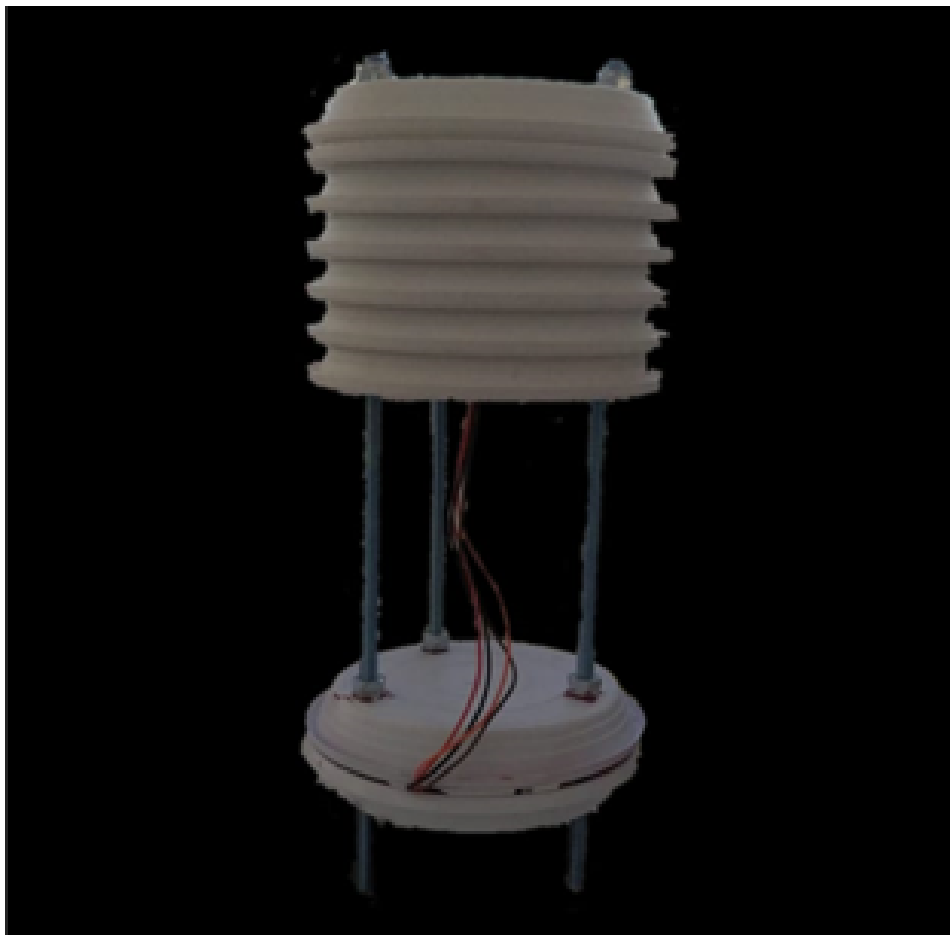
U prvom eksperimentu, jedna postaja je mjerila temperaturu i tlak u dnevnom boravku (Soba 1) koji je na južnoj strani kuće te je izloženiji izravnom Sunčevom zračenju. Druga postaja smještena je u kuhinju (Soba 2) koja se nalazi na suprotnoj (sjevernoj) strani kuće te time nije izložena izravnom Sunčevom zračenju.

Uređaji su simultano pokrenuti te su mjerili temperaturu i tlak zraka s minutnom rezolucijom dva tjedna, od 21. 7. 2022. do 5. 8. 2022. Ova mjerenja su provedena s dva cilja, glavnim i sporednim.

Prvi, glavni cilj bio je ispitati funkcionalnost meteorološke postaje. U slučaju neke greške u kodu ili neispravnosti senzora bilo je bitno da se postaja nalazi u kontroliranim uvjetima, kako eventualna oborina i ostale vremenske neprilike ne bi napravile ozbiljniju štetu.

Drugi, sporedni zadatak cilj bio je da se eksperimentalno ispita u kojoj prostoriji je ugodniji boravak ljeti. Obzirom da se Soba 1 nalazi na jugu te je izložena izravnom Sunčevom zračenju, za očekivati je da će ona, u ljetnim mjesecima, biti toplija od Sobe 2. U ovom zadatku ispitujemo vrijednosti temperature kao pokazatelja ugođe prostora jer je za očekivati da će tlak zraka u obje sobe biti isti.

U drugom eksperimentu, meteorološka postaja pričvršćena je na ogradu balkona gdje joj je pružen zaklon od izravnog Sunčevog zračenja ispod nadstrešnice gdje je bila izložena strujanju zraka. Netom prije provedbe vanjskog mjerenja postaji je nadodano kućište u kojem je smještena Arduino pločica te su spojevi šipki i tanjurića premazani petrolejskim gelom. Potrebne modifikacije bile su u svrhu zaštite Arduino pločice i senzora od vremenskih uvjeta kao što su kiša, tuča, rosa, itd. Minutna mjerenja temperature i tlaka zraka su trajala tjedan dana, od 8. 9. 2022. do 15. 9. 2022.

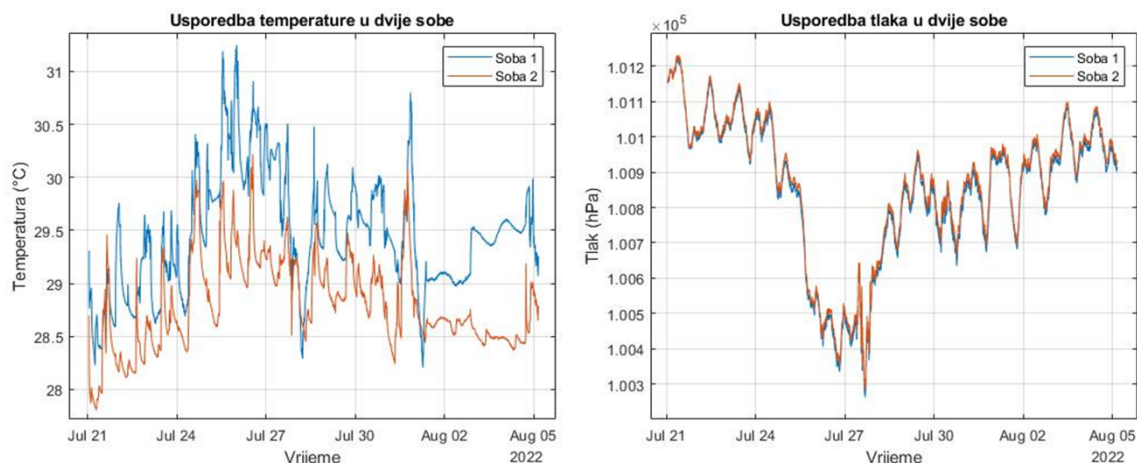


Slika 15: *Modificirana Arduino meteorološka postaja (izvor: autor)*

3.2 Analiza podataka

Analiza započinje s prikazom vremenskog niza temperature i tlaka zraka mjerenih na dvije postaje tijekom prvog eksperimenta (Slika 16).

Na Slici 16 (lijevo) prikazani su mjereni nizovi temperature na dvije postaje - razlika između temperatura mjerenih u dvije sobe jasno je uočljiva. Južna (Soba 1) je u prosjeku 1°C toplija od sjeverne (Soba 2) sobe. Početna mjerenja pokazuje jasne znakove dnevnog hoda što se očituje periodičnim povišenjem i spuštanjem temperature u pravilnim intervalima. Dnevni hod naizgled nestaje od 2. kolovoza - uočena anomalija vjerojatno je rezultat povećane naoblake tijekom 2-4. kolovoza - a zbog koje promjena temperature ne prati Sunčev hod.

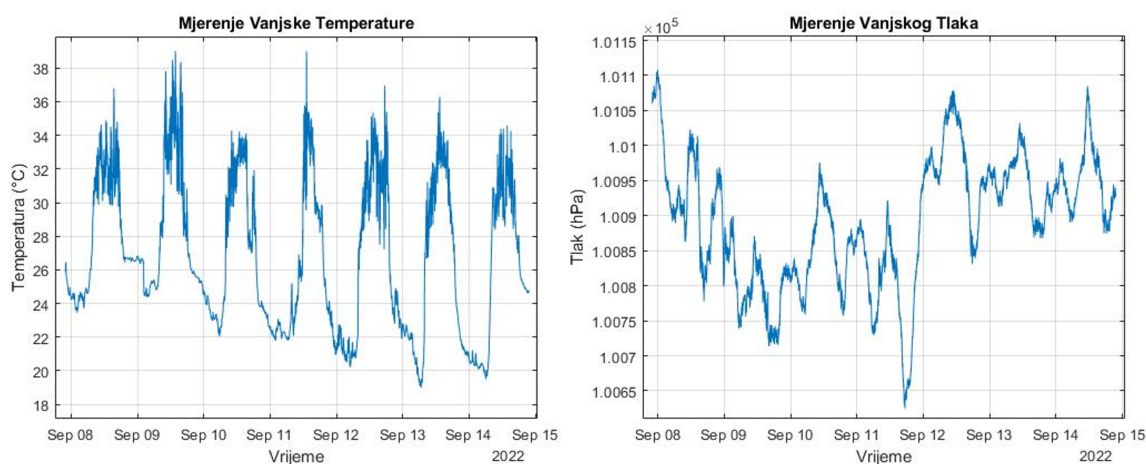


Slika 16: Vremenski nizovi sobne temperature (lijevo) i tlaka (desno) izmjerenih Arduino meteorološkom postajom (izvor: autor)

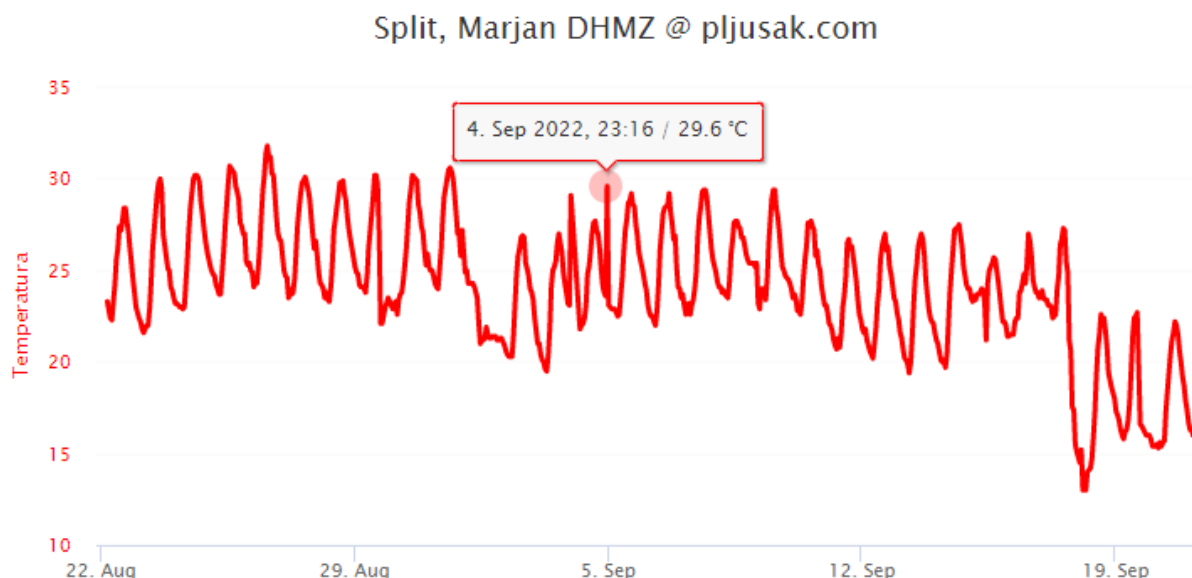
Slika 16 (desno) prikazuje vremenski niz izmjerenog tlaka koji se, kao što je i očekivano, samo neznatno razlikuje u dvije sobe.

Na Slici 17 prikazani su vremenski nizovi izmjerene vanjske temperature (lijevo) i tlaka zraka (desno). Promatrajući graf temperature jasno se uočavaju izrazito visoke temperature koje sredinom dana dostižu i preko 38 °C. Ove temperature donekle su rezultat nepovoljne lokacije meteorološke postaje koja, iako je bila prikladno zaklonjena od Sunca, nije i od dugovalnog zračenja (zid, pod). Istovremeno, najbliže meteorološke postaje DHMZ-a, koje su postavljene po pravilima Svjetske meteorološke organizacije, bilježe temperature do maksimalno 29.6 °C (Slika 18).

Osim toga, jasno se uočava dnevni hod temperature i tlaka zraka (Slika 17). Vrijedi primijetiti i da, kod vanjskog mjerenja, temperatura, posebno u dijelu dana kad je visoka, pokazuje varijabilnost na kraćim periodima nego li je to bio slučaj kod senzora koji su bili smješteni u zatvorenom prostoru (Slika 16)

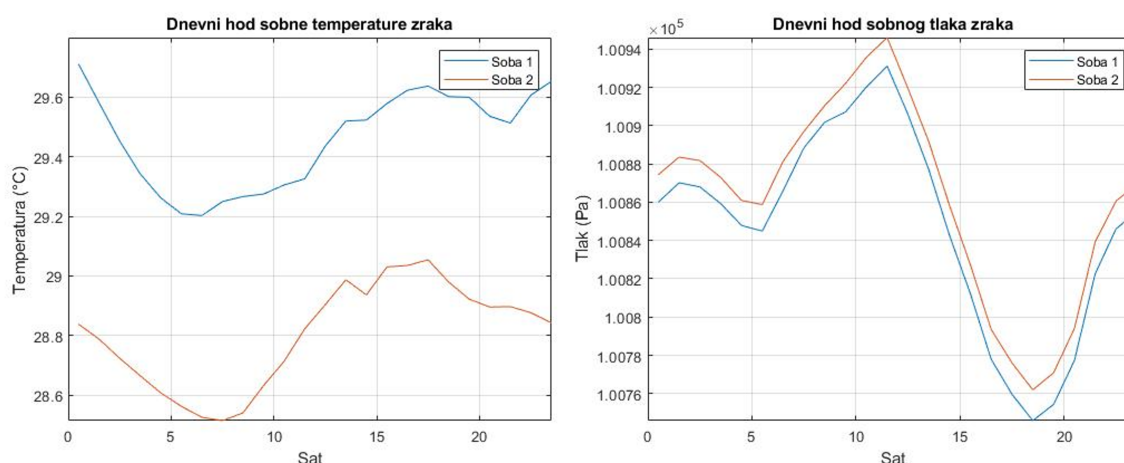


Slika 17: Vremenski nizovi vanjske temperature (lijevo) i tlaka (desno) zraka izmjerenih Arduino meteorološkom postajom (izvor: autor)



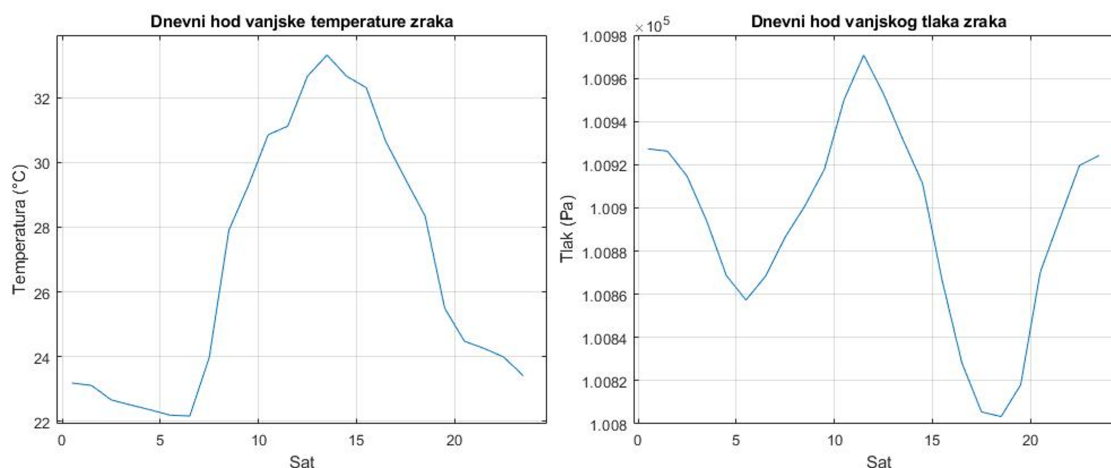
Slika 18: Vremenski niz vanjske temperature zraka izmjerene službenom meteorološkom postajom DHMZ-a (izvor: [17])

Nadalje sam odredio dnevni hod temperature i tlaka zraka. Dnevni hod se određuje tako da se u ukupnom nizu mjerenja pronađe srednja vrijednost mjerenja za svaki sat – dakle jedna vrijednost za sva mjerenja od 00:00 do 01:00, druga vrijednost za sva mjerenja od 01:00 do 02:00, itd. Ta se vrijednost tada pripisuje trenutcima 00:30, 01:30, itd.. Na Slici 19 prikazan je dnevni hod temperature (lijevo) i tlaka (desno) mjerenih tijekom prvog eksperimenta. Jasno se može zaključiti kako je u sjevernoj Sobi 2 nešto lakše podnijeti ljetne vrućine nego u južnoj Sobi 1. Odnosno, izražen je utjecaj položaja sobe u odnosu na glavni izvor topline – Sunce. Što se tiče dnevnog srednjaka tlaka razlike su iznimno male - radi se o svega nekoliko paskala razlike – razlika se vjerojatno javlja kao posljedica kalibracije uređaja.



Slika 19: Dnevni hod sobne temperature (lijevo) i tlaka (desno) zraka (izvor: autor)

Na posljertku, na Slici 20 prikazani su dnevni srednjaci tlaka i temperature zraka mjerenih na vanjskoj postaji. Dnevni hod vanjske temperature prikazuje temperaturu srednje vrijednosti višu nego li je, kako je već rečeno, bila mjerena u tom tjednu na službenim postajama DHMZ-a. Ne smijemo zanemariti činjenicu da je ova postaja bila pod urbano-betonskim utjecajem te je grijana dulje od postaja unutar kuće, zbog karakteristike betona da postepeno otpušta toplinu dugovalnim zračenjem. Mjerenja u ovom slučaju se ne mogu otpisati kao pogrešna jer ona u principu to nisu.[18]



Slika 20: Dnevni hod vanjske temperature (lijevo) i tlaka (desno) zraka (izvor: autor)

Lako je primjetiti kako je hod vanjske temperature bitno drugačiji od dnevnog hoda unutarnje temperature - vanjski hod ima raspon od 10 °C dok unutarnji ima raspon svega 0.6 °C. Ovaj rezultat je na prvi pogled neobičan, ali kad se uzme u obzir postojanost temperature u kući koja je dobro toplinski izolirana sa zidovima velike debljine te vremensku razliku mjerenja - ljetno (početak kolovoza) i kasno-ljetno (rujan) - ne mora biti nerealno.

4 Zaključak

Zaključno, u ovom završnom radu, nakon što se obradila tema izrade i testiranja *Arduino* meteorološke postaje, nakon što su pojašnjeni osnovni pojmovi, napravljen kratki pregled povijesnog razvoja meteorologije, pregled meteoroloških postaja te njihova podjela, navedene su potrebne komponente i način izrade *Arduino* meteorološke postaje (u mehaničkom i programskom smislu). Postaja koristi samo jedan senzor temperature i tlaka koji je široko dostupan, jeftin i cjenjen zbog svoje preciznosti. Mjerene podatke šalje se računalu koji ih pomoću besplatnog programa *CoolTerm* bilježi u tekstualnu datoteku. Iako je postaja ograničena položajem – odnosno mora biti vezana za računalu, dan je primjer kako je se, s daljnjim unaprjeđenjem (baterija i solarni panel), može konvertirati u potpuno autonomnu meteorološku jedinicu. Ovaj projekt se pokazao prikladan za vanjska i unutarnja mjerenja temperature i tlaka. Na samom kraju rada mjereni podaci su analizirani pomoću MATLABa te je pokazano da se ovom meteorološkom postajom mogu uspješno mjeriti podaci. Prikaz dnevnog srednjaka vanjske temperature ukazao je na utjecaj sekundarnog zračenja betonskog okruženja - uslijed čega dnevne temperature postižu mnogo više vrijednosti od onih mjerenih na službenim meteorološkim postajama. Ovaj rezultat je karakteristika urbano-betonskog okruženja na kojem je meteorološke postaja mjerila. Ne trebamo stoga gledati takve mjerene podatke kroz prizmu standardiziranih mjerenja temperature zraka (koja se provode u hladu, iznad travnate podloge, dovoljno udaljena od okolnih građevina), već ih promatramo kao osjetnu temperaturu koja je pod utjecajem urbano-betonskog efekta.

Cijena ove meteorološke postaje je kruna cijelog projekta – ukupna cijena elektronike i materijala iznosi cca 60 €. Kućište postaje sastavljeno je od tanjurića cvjetnih posuda koje su lako dostupne; kroz kupnju novih (2 € / tanjuriću) ili prenamjenu starih ili korištenih. Matice i šipke s navojem (ukupno 20 €) su skuplja opcija koja se može zamijeniti s plastičnim PVC cjevčicama (5 €) što neće uvelike smanjiti izdržljivost meteorološke postaje. Uporaba *Arduino* platforme jamči mogućnost korištenja različitih senzora i modula za prihvatljivu cijenu (ukupno 33 €). Postaja se može dodatno poboljšati nadogradnjom dodatnim senzorima za vlagu zraka, brzinu vjetra, količinu oborina - sve to ostvarivo je na *Arduino* platformi. Najveća dobrobit *Arduina* je korisnička prilagodljivost i jednostavnost što, uz potporu široke zajednice *Arduino* korisnika, pruža izvrstan temelj za početnike.

Posebno je potrebno naglasiti kako je projekt osmišljen da ga početnik može rekreirati a iskusni korisnik nadograđivati po potrebi. Iz tog razloga, i jeftine cijene izrade, može poslužiti obrazovnim ustanovama kao dvosatni projekt pomoću kojeg bi učenici naučili osnove programiranja i rada s mikrokontrolerima, proces izrade eksperimentalnog uređaja te, naposljetku, može doprinijeti i popularizaciji meteorologije među mlađim uzrastima – što će doprinijeti razvoju meteorologije u budućnosti.

5 Literatura

- [1] *Eighteenth-Century Meteorological Theory and Experiment* , URL:
<https://www.encyclopedia.com/science/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/eighteenth-century-meteorological-theory-and-experiment> (20. 9. 2022.).
- [2] Heinrich Falk, *The very first weather station*, URL:
<https://www.newscientist.com/letter/mg22630211-200-the-very-first-weather-station/>
(20. 9. 2022.).
- [3] Državni Hidrometeorološki zavod, NAPUTAK za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama, Zagreb 2008.
- [4] DHMZ - O nama, URL:https://meteo.hr/o_nama.php (20. 9. 2022.).
- [5] Pljusak-Meteorološki podaci, URL:<https://pljusak.com/karta.php> (20. 9. 2022.).
- [6] Wundermap, URL: <https://www.wunderground.com/wundermap> (20. 9. 2022.).
- [7] *Solar module for Arduino*, URL:
<https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/arduino-solar/index.html> (20. 9. 2022.).
- [8] *What is Arduino?*, URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (20. 9. 2022.).
- [9] *Arduino Uno Rev 3*, URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> (20. 9. 2022.)
- [10] *ATMega 328 DataSheet*, URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf (20. 9. 2022.).
- [11] *Arduino UNO Tutorial*, URL: <https://diyi0t.com/arduino-uno-tutorial/> (20. 9. 2022.).
- [12] *SEN-KY052 DataSheet*, URL:
<https://tefab.fr/lab/media/datasheet/pj2-sen-ky052-manual-21-05-19-2006.pdf> (20. 9. 2022.).
- [13] *MEMS Capacitive vs Piezoresistive Pressure Sensors – What are their differences?*,
URL: <https://esenssys.com/capacitive-piezoresistive-pressure-sensors-differences/> (20. 9. 2022.).
- [14] *Senzor tlaka i temperature BMP280 - opis*, URL:
<https://e-radionica.com/hr/senzor-tlaka-i-temperature-bmp180.html> (20. 9. 2022.).
- [15] *Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1*, URL:
<https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics> (20. 9. 2022.).

- [16] *Serial Terminal Basics with CoolTerm*, URL:
<https://www.seeedstudio.com/blog/2021/01/20/serial-terminal-basics-with-coolterm/>
(20. 9. 2022.).
- [17] *Grafički prikaz temperature zraka u proteklih 30 dana za Split-Marjan*, URL:
https://pljusak.com/meteo.php?stanica=dhmz_marjan\#https://api.met.no/weatherapi/locationforecast/2.0/compact?lat=43.5084&lon=16.4256&altitude=122 (20. 9. 2022.).
- [18] *Pljusak (Info) - O mjerenjima*, URL: <https://pljusak.com/info.php> (20. 9. 2022.).