

# MEHATRONIČKI SUSTAV ZA DETEKCIJU UGLJIKOVOG MONOKSIDA I KONDICIONIRANJE ZRAKA

---

**Jurinić Matoš, Bruno**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:039275>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-06**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

Bruno Jurinić Matoš

**MEHATRONIČKI SUSTAV ZA DETEKCIJU  
UGLJIKOVOG MONOKSIDA I  
KONDICIONIRANJE ZRAKA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2023.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

Bruno Jurinić Matoš

**MEHATRONIČKI SUSTAV ZA DETEKCIJU  
UGLJIKOVOG MONOKSIDA I  
KONDICIONIRANJE ZRAKA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr.sc.Vladimir Tudić, prof. struč. stud.

KARLOVAC, 2023.

Karlovac University of Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering  
Professional study of Mechatronics

Bruno Jurinić Matoš

**MECHATRONIC SYSTEM FOR DETECTION  
CARBON MONOXIDE AND AIR  
CONDITIONING**

FINAL PAPER

KARLOVAC, 2023.

## **SAŽETAK**

Tema Završnog rada je osmišljavanje, projektiranje i programiranje uređaja za alarmiranje kuće/stana kod prevelike koncentracije ugljičnog monoksida u prostoriji, pročišćavanje zraka i dojava o prevelikoj koncentraciji ugljičnog monoksida na mobilni uređaj. Rad se sastoji od uvoda, teorijskog dijela, praktičnog dijela i zaključka. U svakoj cjelini se opisuje pojedina faza rada. Uvod opisuje nastajanje ugljičnog monoksida, njegovu štetnost za ljudski organizam, kolika je smrtnost ljudi od ugljičnog monoksida u svijetu, prevenciju i liječenje te daje uvid u rad. U teorijskom dijelu opisan je svaki element koji se koristi, dok se praktični dio bazira na izradi, ispitivanju uređaja i rezultatima ispitivanja mehatroničkog sustava za detekciju ugljičnog monoksida i kondicioniranje zraka. U zaključku se navodi učinkovitost uređaja te mogućnost poboljšanja i sigurnosti.

Ključne riječi: mehatronički sustav za detekciju ugljikovog monoksida i kondicioniranje zraka, senzor za ugljikov monoksid, kondicioniranje zraka.

## **SUMMARY**

The topic of final paper is the preparation, design and programming of a device for alarming house/apartment in case of excessive concentration of carbon monoxide in the room, air purification and notification of excessive concentration of carbon monoxide on a mobile device. The paper consist of an introduction, a theoretical part, a practical part and a conclusion. In each unit, a single phase of the work is described. The introduction describes the formation of carbon monoxide, it's harmfulness to the human organism, what is the death rate of people from carbon monoxide in the world, prevention and treatmentn and gives an insight into the work. Each element used is described in the theoretical part, while the practical part is based on creation, testing of the device and the result of the mechatronic system for carbon monoxide and air conditioning. The conclusion state the effectiveness of the device and the possibility of improvement and safety.

Keywords: mechatronic system for carbon monoxide detection and air conditioning, carbon monoxide sensor, air conditioning

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Ugljični monoksid</b> .....	<b>1</b>
1.1.1. Što je ugljični monoksid i kako nastaje? .....	1
1.1.2. Simptomi trovanja i liječenje .....	1
1.1.3. Zašto je opasan?.....	1
1.1.4. Smrtnost u svijetu .....	2
1.1.4.1. Smrtnost u SAD-u .....	2
1.1.4.2. Smrtnost u Ujedinjenom Kraljevstvu.....	3
1.1.4.3. Smrtnost u Japanu .....	3
1.1.5. Korištenje ugljičnog monoksida.....	4
<b>2. DETEKTOR UGLJIČNOG MONOKSIDA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. Mikro upravljač</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Senzor za ugljični monoksid</b> .....	<b>7</b>
2.2.1. Općenito o senzoru .....	7
2.2.2. Tehnički podaci MQ-7 senzora .....	9
<b>2.3 HC-05 Bluetooth Modul</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4. Arduino „buzzer“</b> .....	<b>12</b>
2.4.1. Što je Arduino „buzzer“? .....	12
2.4.2. Što je „piezoelektrični“ efekt? .....	12
2.4.3. Princip rada.....	13
2.4.4. Svrha korištenja .....	14
<b>2.5. VARTA baterija</b> .....	<b>14</b>
<b>3. IZLOŽENOST UGLJIČNOM MONOKSIDU U ZATVORENOM PROSTORU: MJERNJE KONCENTRACIJE PLINA POMOĆU SENZORA I ALARMA</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1. Odabir teme rada</b> .....	<b>15</b>
3.1.1. Ideja Završnog rada.....	15
3.1.2. Razrada Završnog rada .....	15
3.1.3. Nabava elemenata .....	16
3.1.4. Konzultacije s mentorom .....	16
3.1.5. Odabir literature .....	17
<b>3.2. Usporedba s drugim sličnim uređajima na tržištu</b> .....	<b>17</b>
3.2.1. Senzor MQ-7 za detekciju ugljikovog monoksida izrađen s Arduino platformom .....	17
3.2.2. Korištenje MQ-7 senzora s Arduino platformom i Android aplikacijom .....	18
3.2.3. Prednosti alarmnih sustava sa Bluetooth modulom .....	21
3.2.4. Nedostaci alarmnih sustava s Bluetooth modulom .....	22
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>30</b>

<b>5. LITERATURA.....</b>	<b>31</b>
<b>6. PRILOZI .....</b>	<b>33</b>
<b>6.1 Grafovi .....</b>	<b>33</b>
<b>6.2 Slike.....</b>	<b>33</b>
<b>6.3 Tablice .....</b>	<b>34</b>
<b>6.4 Kodovi .....</b>	<b>34</b>
6.4.1 Kod za paljenje i gašenje LED lampice.....	34
6.4.2 Kod za alarm protiv ugljičnog monoksida .....	34



# 1. UVOD

## 1.1. Ugljični monoksid

### 1.1.1. Što je ugljični monoksid i kako nastaje?

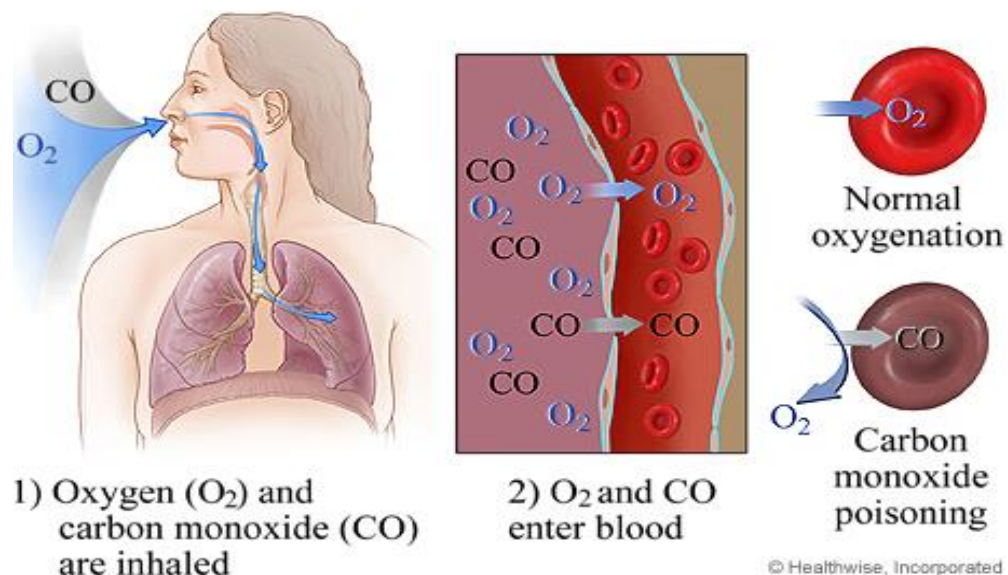
Ugljični monoksid je plin bez boje, mirisa i okusa zbog čega je i dobio naziv „tihi ubojica“. Prelazi iz plina u tekuće stanje na temperaturi od  $-191,5^{\circ}\text{C}$ , dok pri  $-204^{\circ}\text{C}$  prelazi u čvrsto stanje [1]. Također, ima manju gustoću od zraka. Nastaje kao nusproizvod izgaranja tvari koje sadrže ugljik, u situacijama kada u zraku nedostaje dovoljna koncentracija kisika. Primjerice, nastaje pri gorenju drveta u kaminu ili pećima te u roštiljima na drveni ugljen. To je jedan od razloga zašto se ugljen nikada ne smije spaljivati u zatvorenom prostoru. Također nastaje kod plinskih pećnica, te kod plinskih bojlera. Ugljični monoksid također može biti prisutan u ispušnim plinovima automobila, što može biti izuzetno opasno u slučaju kada se automobil nalazi u zatvorenoj garaži [2].

### 1.1.2. Simptomi trovanja i liječenje

Simptomi trovanja ugljičnim monoksidom podijeljeni su u dvije kategorije: akutne (kratkotrajne) i kronične (dugotrajne). Simptomi akutnog trovanja slični su simptomima gripe, ali se ne pojavljuje temperatura. Prvi organi koji pate od nedostatka kisika su obično živčani sustav i srce. Također, može doći do zatajenja drugih važnih organa, kao što su plućni edem, bubrezi, oštećenje srčanog mišića, itd. Ako simptomi ne nestanu kroz 2 do 3 tjedna, pretpostavlja se da je došlo do trajnog oštećenja prethodno spomenutih organa. Ako dođe do trovanja ugljičnim monoksidom potrebno je provjetriti prostoriju ili izaći na svjež zrak, a kod teškog trovanja ugljičnim monoksidom jedina efikasna medicinska pomoć je dugotrajno davanje stopostotnog kisika putem maske [3].

### 1.1.3. Zašto je opasan?

Ugljikov monoksid se brzo apsorbira u pluća i ulazi u krvotok. Trovanje se događa kada se ugljični monoksid miješa i veže s hemoglobinom u krvi, pretvarajući ga u karboksihemoglobin (COHb). Kada se ugljični monoksid veže za hemoglobin manje kisika se prenosi do tjelesnih tkiva i vitalnih organa. Veza između ugljičnog monoksida i hemoglobina približno je 250 jača od veze između kisika i hemoglobina, te ometa normalni transport kisika do stanica i tkiva u tijelu [4].

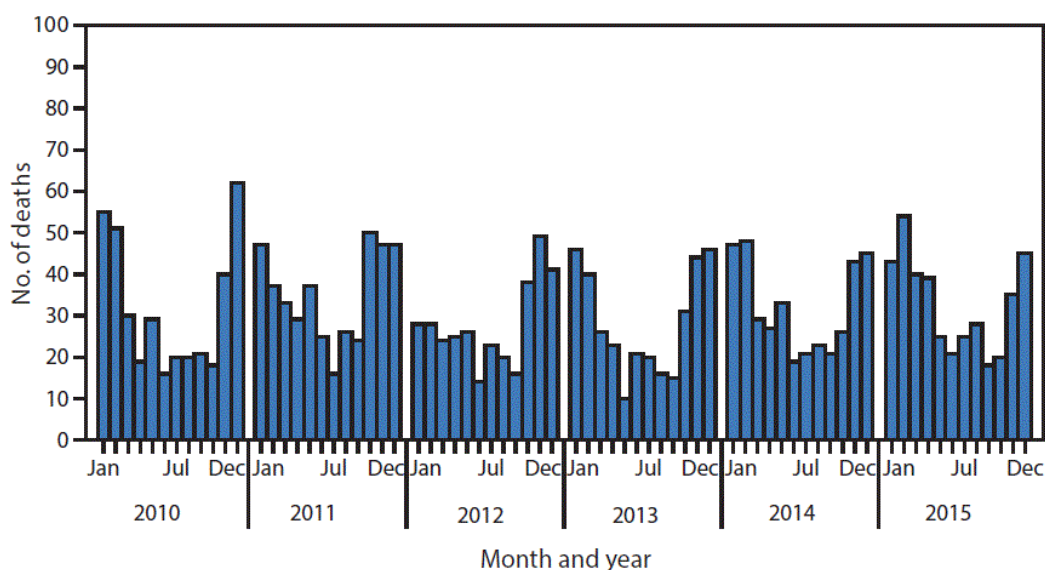


Slika 1. Predodžba trovanja ugljičnim monoksidom [4].

#### 1.1.4. Smrtnost u svijetu

##### 1.1.4.1. Smrtnost u SAD-u

Svake godine u SAD-u najmanje 430 ljudi umre zbog slučajnog trovanja ugljičnim monoksidom, dok otprilike 50 000 ljudi završi na odjelu hitne pomoći. U razdoblju od 2010. do 2014. godine, zabilježeno je 2 244 smrtnih slučajeva uzrokovanih slučajnim trovanjem, dok je u 2015. godini broj preminulih iznosio 393. Godišnje se dogodi oko 15 000 namjernih trovanja CO, što čini više od dvije trećine prijavljenih smrtnih slučajeva. Promatrano razdoblje pokazuje najveći broj smrtnih slučajevima u zimskim mjesecima, što je prikazano u Grafu 1 [5].



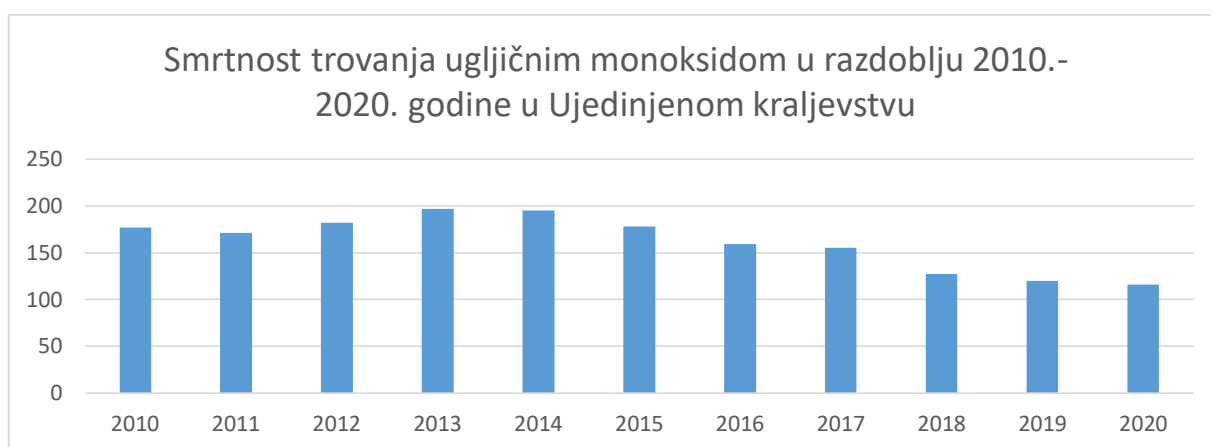
Graf 1. Smrtnost trovanjem ugljičnim monoksidom u SAD-u u razdoblju od 2010. do 2015. godine [5].

Inhalacijske ozljede čine više od dvije trećine smrtnih slučajeva izazvanih požarom. U jednom istraživanju iz 2001. godine, koje je obuhvatilo više od 25 000 ozljeda povezanih s požarom u stambenim objektima, više od 50% pacijenata liječenih na odjelima hitne

pomoći imalo je dijagnozu anoksije, što upućuje na trovanje ugljičnim monoksidom uslijed udisanja dima. Među žrtvama s opeklinama, čak tri četvrtine imalo je razinu karboksihemoglobina (COHb) dovoljno visoku da uzrokuje smrt ili ozljedu. Kod ovakvih pacijenata je teško pripisati samo trovanje CO kao uzrok smrti, bez obzira na razinu COHb, zbog popratnih teških opeklini i inhalacijskih ozljeda [6].

#### 1.1.4.2. Smrtnost u Ujedinjenom Kraljevstvu

U Ujedinjenom Kraljevstvu, u promatranom razdoblju od 2010. do 2020. godine, zabilježeno je 1 777 smrtnih slučajeva uzrokovanih trovanjem ugljičnim monoksidom. Važno je napomenuti da „Ured za državnu statistiku Ujedinjenog Kraljevstva“ podatke o smrtnim slučajevima uzrokovanim ugljičnim monoksidom, kao i mjesto gdje je smrt nastupila, ne izdaje za širu javnost, nego te podatke naplaćuje [7].



Graf 2. Smrtnost trovanjem ugljičnim monoksidom za razdoblje od 2010. do 2020. godine u Ujedinjenom Kraljevstvu [7].

#### 1.1.4.3. Smrtnost u Japanu

Ugljični monoksid je vodeći uzrok smrti od trovanja u Japanu. Svake godine između 2 000 i 5 000 ljudi u Japanu umire od trovanja ugljičnim monoksidom, što čini više od polovice ukupnog broja smrtnih slučajeva uzrokovanih trovanjem. Broj smrtnih slučajeva od trovanja ugljičnim monoksidom udvostručio se 2003. godine u usporedbi s brojem iz 2001. godine, što ukazuje na povećanje stope samoubojstva inhaliranjem ugljičnog monoksida [8].



Graf 3. Smrtnost trovanjem ugljičnim monoksidom u Japanu u razdoblju od 2000. do 2017. godine [9].

#### 1.1.5. Korištenje ugljičnog monoksida

Osim što je jako otrovan i štetan plin, kako za čovjeka, tako i za atmosferu, ugljični monoksid se koristi u nekoliko grana industrije. Najvažnija grana je metalurgija, gdje se koristi za proizvodnju metala, kao što su čelik, željezo te ostali obojeni metali. Ugljični monoksid se također koristi u proizvodnji hrane. Još jedna važna grana korištenja ugljičnog monoksida je proizvodnja, prerada i vađenje nafte i plina. Također je bitan u kemijskoj, kao i u građevinskoj industriji gdje se koristi za proizvodnju cementnog vapna, gipsa i betona. Također se koristi u proizvodnji energije gdje se može koristiti kao gorivo u određenim industrijskim pećima i generatorima. U znanstvenim istraživanjima, ugljični monoksid se ponekad koristi kao reagens ili kao sredstvo za kontrolirano stvaranje određenih atmosfera.

Važno je napomenuti da su gore navedene primjene ugljičnog monoksida specifične i zahtjevaju visoku stručnost, pridržavanje sigurnosnih protokola i odgovarajuću zaštitnu opremu. Uobičajena primjena ugljičnog monoksida nije preporučljiva zbog opasnosti od trovanja. U kućanstvu i uobičajenim okruženjima, važno je izbjegavati izloženost ugljičnom monoksidu i poduzimate mjere opreza kako bi se spriječile nesreće povezane s tim otrovnim plinom [10].

## 2. DETEKTOR UGLJIČNOG MONOKSIDA

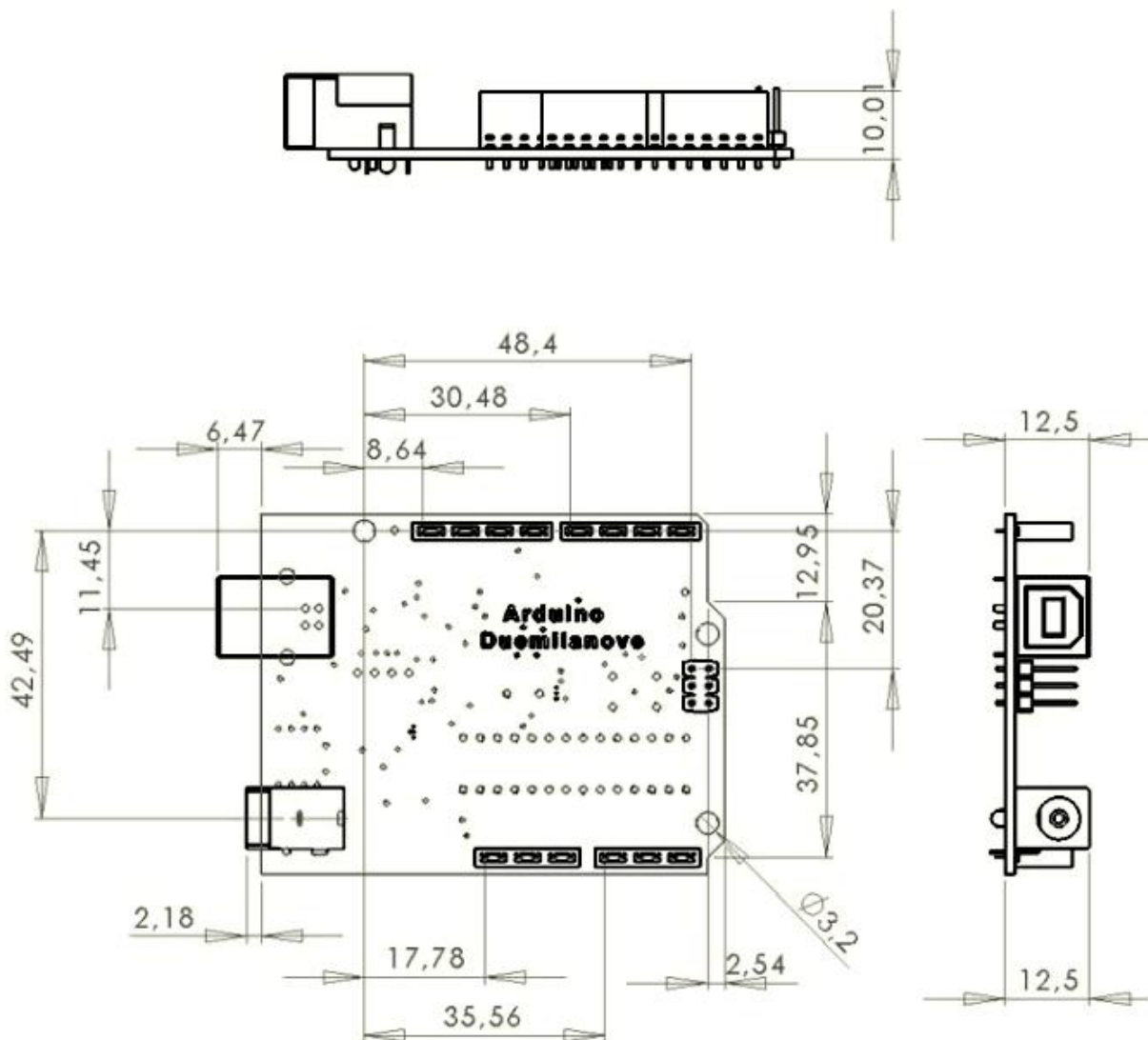
### 2.1. Mikro upravljač

Prilikom odabira prvog uređaja u ovom projektu, bilo je potrebno odabrati mikro upravljač. Odlučeno je koristiti Arduino UNO mikro upravljač koji je trenutno jedan od popularnijih mikro upravljača na tržištu. Osim što postoji već više od 10 godina, lako je pronaći velik broj informacija o Arduino mikro upravljačima, kao i o programskim bibliotekama koje su napravili drugi korisnici za upravljanje uređajima koji komuniciraju s Arduino mikro upravljačima. Glavna prednost ove pločice je niska cijena na tržištu te mogućnost zamjene mikro upravljača na pločici u slučaju greške. Glavne značajke ove pločice uključuju: dostupnost u DIP (dual-inline-package) kućištu, odvojivost i Atmega328 mikro upravljač. Programiranje ove pločice može se jednostavno učitati pomoću Arduino računalnog programa [11]. Ova pločica ima veliku podršku od strane Arduino zajednice, što će omogućiti vrlo jednostavan način za početak rada u ugradbenoj elektronici i mnogim drugim aplikacijama.



Slika 2. Predložba mikro upravljača Arduino UNO.

Izvorno autor.



Slika 3. Predodžba dimenzija mikro upravljača Arduino UNO [12].

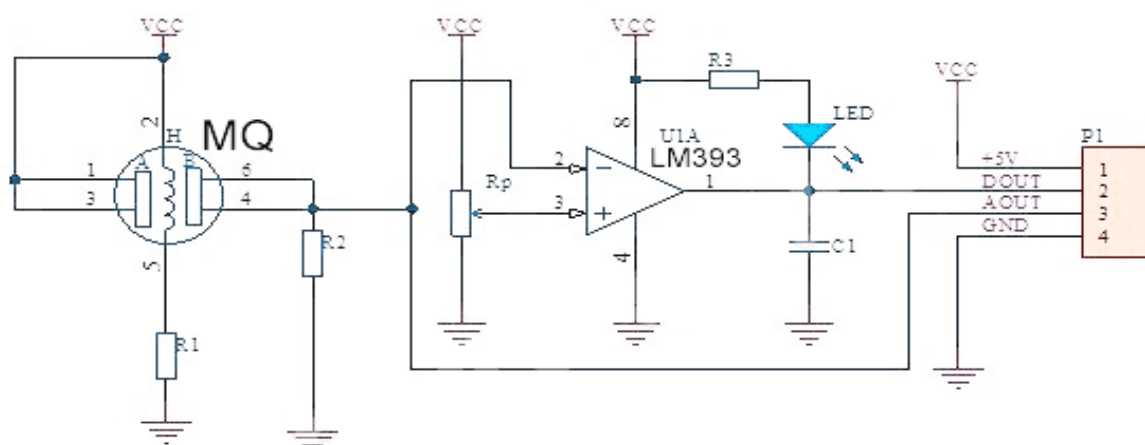
Ulazni napon	7-12 V
Radni napon	5 V
Ulazni napon	6-20 V
Digitalni I/O pinovi	14
PWM digitalni I/O pinovi	6
Analogno ulazni pinovi	6
DC struja po I/O pinu	20 mA
DC struja za 3.3 pin	50 mA
Memorija	32 KB
Clock speed	16 MHz
Ugrađenih led dioda	13
Dimenzije	68 x 53 x 15.4 mm
Težina	25 g

Tablica 1. Karakteristike mikro upravljača Arduino UNO [12].

## 2.2 Senzor za ugljični monoksid

### 2.2.1. Općenito o senzoru

Senzor ima trenutnu osjetljivost na ugljični monoksid i može otkriti koncentraciju ugljičnog monoksida u okolini. Također, posjeduje mali grijač s elektrokemijskim senzorom koji omogućuje mjerenje različitih vrsta plinskih kombinacija te se stoga može kalibrirati. Modul plinskog senzora može se koristiti na sobnoj temperaturi. Sastoji se od kositrenog dioksida ( $\text{SnO}_2$ ) koji ima nisku vodljivost u čistom zraku, sloja unutar mikro cijevi od mjerne elektrode (aluminijevog oksida) te grijaćeg elementa unutar cjevastog kućišta. Na prednjoj strani senzora nalazi se zatvorena mreža od nehrđajućeg čelika, a stražnja strana drži priključne terminale. Kada se ugljični monoksid nalazi u okolini senzora, vodljivost senzora raste s povećanjem koncentracije ugljičnog monoksida.



Slika 4. Predodžba senzora za ugljični monoksid (MQ-7) [13].

Grijač osigurava potrebne radne uvjete za rad osjetljivih komponenti. Sastoji se od 4 PIN-a. Standardni mjerni krug osjetljive komponente senzora se sastoji od 2 dijela. Prvi dio je krug grijanja koji služi za vremensku kontrolu (visoki i niski napon se izmjenjuju ciklički), dok je drugi dio izlazni krug signala koji precizno reagira na promjene površine otpora senzora.

PIN 1: VCC (Voltage Common Collector)

PIN 2: GND (Ground)

PIN 3: DO (Digital output)

PIN 4: AO (Analog output)

Omogućuje detekciju metodom ciklusa visoke i niske temperature. Ugljični monoksid se otkriva u situaciji kada je temperatura niska (zagrijana za 1,5 V) i u situaciji kada je temperatura visoka (zagrijana za 5,0 V). Zatim se čiste drugi plinovi adsorbirani na niskoj temperaturi [14].

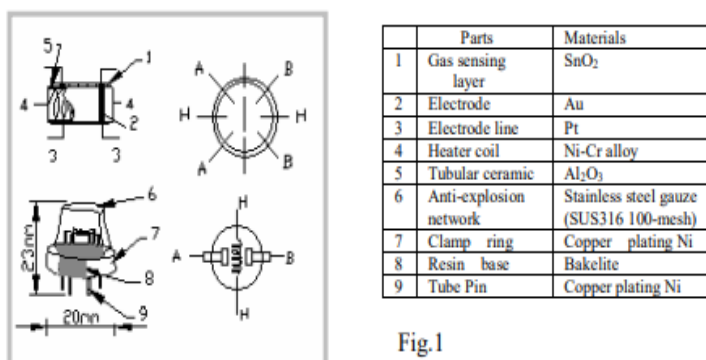
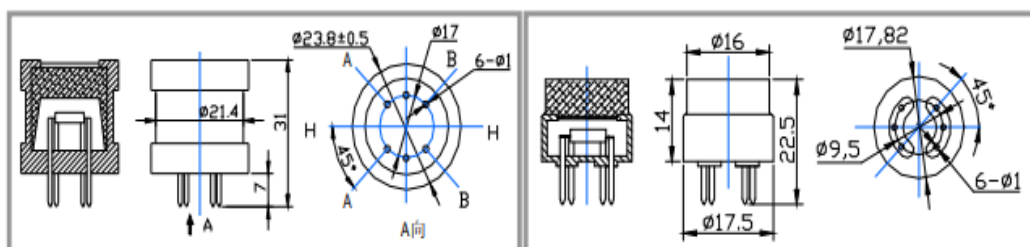


Fig.1



Slika 5. Predodžba MQ-7 senzora [15].

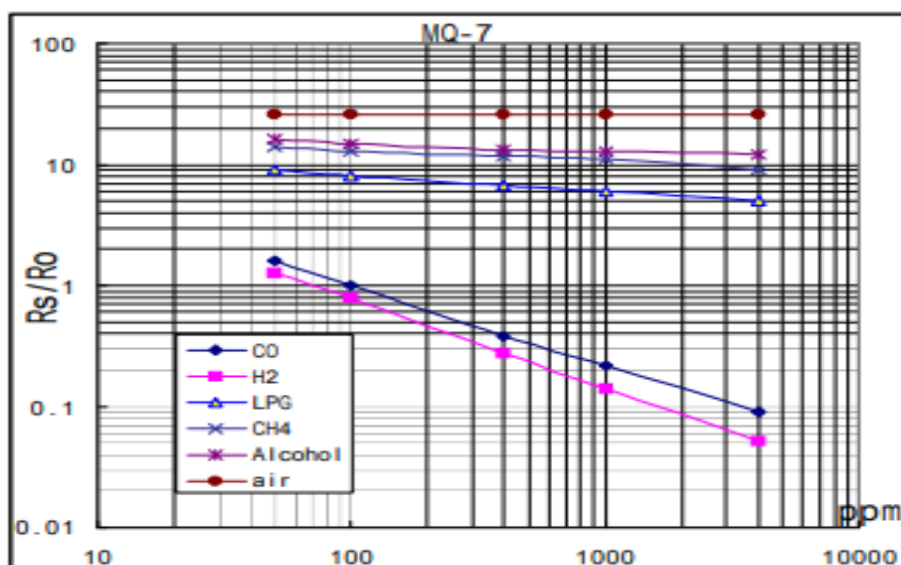
Na prethodnoj slici prikazana je struktura i konfiguracija MQ-7 senzora. Senzor se sastoji od mikro keramičke cijevi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , osjetljivog sloja kositra dioksida ( $\text{SnO}_2$ ), mjernih elektroda i grijača koji su fiksirani u kućište izrađeno od plastike i čelične mreže. Grijač osigurava potrebne radne uvjete za rad osjetljivih komponenti.

Karakteristika osjetljivosti MQ-7 senzora odnosi se na način na koji senzor reagira na prisutnost ugljičnog monoksida u okolini. Obično je prikazana grafom koji prikazuje odnos između koncentracije ugljičnog monoksida i izlaznog signala senzora. Senzor ima tendenciju da poveća svoj izlazni signal s povećanjem koncentracije ugljičnog monoksida. To znači da će senzor pokazivati veći otpor kada je izložen većoj koncentraciji smrtonosnog plina.

Na idućem grafu prikazana je karakteristika osjetljivosti MQ-7 senzora za nekoliko plinova. Graf prikazuje vrijednosti izlaznog signala senzora (najčešće otpora) na y-osi i koncentraciji ugljičnog monoksida na x-osi. Kako koncentracija plina raste, izlazni signal senzora se povećava proporcionalno.

Graf prikazuje temperature od  $20^\circ\text{C}$ , vlažnost zraka od 65% i koncentraciju kisika od 21%. Vrijednost  $R_L$  (otpor opterećenja) iznosi 10 k $\Omega$ .  $R_0$  predstavlja otpornost senzora na 100 ppm CO u čistom zraku, dok  $R_s$  predstavlja otpornost senzora na različite koncentracije plinova.





Slika 6. Karakteristika osjetljivosti MQ-7 senzora za nekoliko plinova pri temperaturi 20°C, relativnoj vlažnosti zraka 65%, koncentraciji kisika 21% i vrijednosti  $R_L = 5k\Omega$  [16].

<u>Rs- otpor senzora u željenom plinu</u>	$R_0$ - otpor senzora u čistom zraku	CO - ugljikov monoksid
H <sub>2</sub> - vodik	LPG – Liquefied petroleum gas	CH <sub>4</sub> - metan

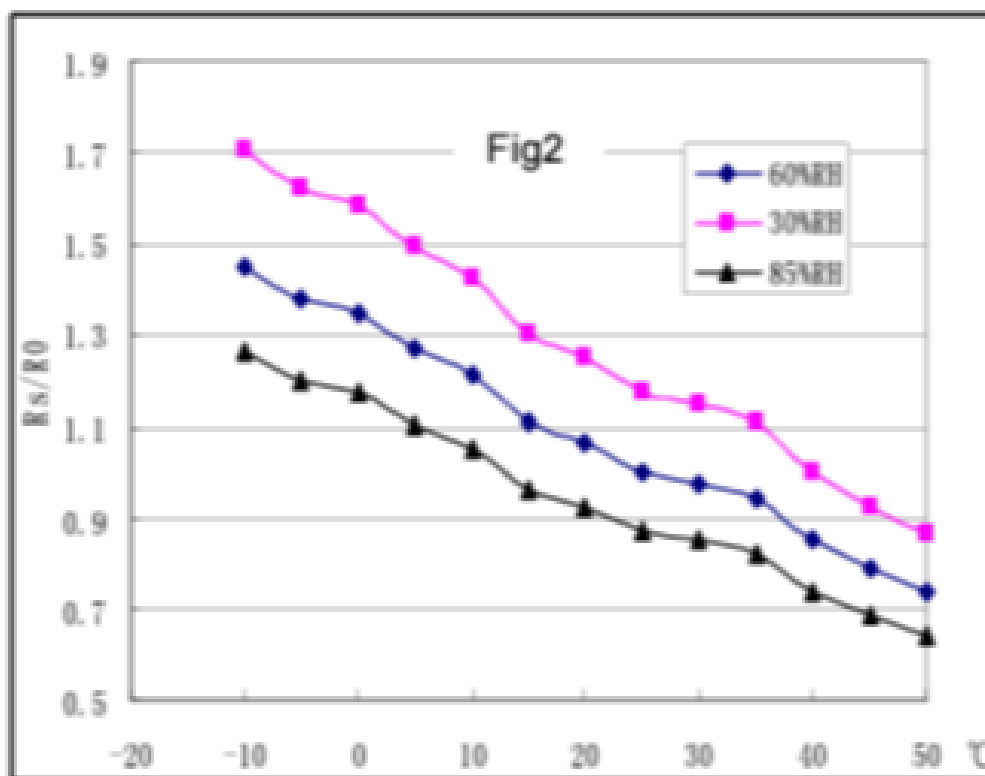
Tablica 2. Legenda plinova iz prethodnog grafa [16].

### 2.2.2. Tehnički podaci MQ-7 senzora

Tip senzora	Poluvodički	Osjetljivost	$R_s(u \text{ zraku})/R_s(100 \text{ ppm CO}) \geq 5$
Koncentracija	10-10000 ppm	Otpor senzora, $R_s$	2k $\Omega$ - 20k $\Omega$ (pri 100 ppm CO)
Napon petlje $V_C$	$\leq 10V$ DC	Temperatura	20°C $\pm$ 2°C
Napon grijača, $V_H$	5.0V $\pm$ 0.2V AC ili DC (visoki napon) 1.5V $\pm$ 0.1V AC ili DC (niski napon)	Karakteristika nagiba, $\alpha$	$\leq 0.6 (R_{300 \text{ ppm}}/R_{100 \text{ ppm CO}})$
Vrijeme zagrijavanja grijača, $T_L$	$T_L$ 60 $\pm$ 1 s (visoki napon) 90 $\pm$ 1 s (niski napon)	Potrošnja grijača, $P_H$	$\leq 350$ mV
Otpor grijača, $R_H$	31 $\Omega$ $\pm$ 3 $\Omega$ (sobna temp.)	Vlažnost	65% $\pm$ 5%

Tablica 3. Tehnički podatci MQ-7 senzora. [17]

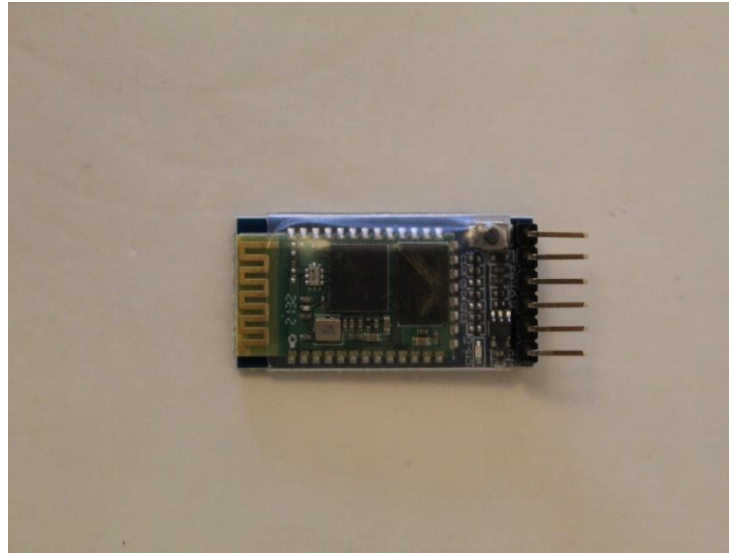
Na idućem grafu prikazana je tipična karakteristika temperature i vlage. Ordinata označava omjer senzora ( $R_s/R_0$ ),  $R_s$  označava otpor senzora u 100 ppm CO, pod različitim temperaturama i vlažnostima.  $R_0$  označava otpor senzora u okolišu u kojem koncentracija ugljičnog monoksida iznosi 100 ppm.



Slika 7. Utjecaj temperature i vlage [17].

### 2.3 HC-05 Bluetooth Modul

U radu je za prijenos podataka između senzora za ugljični monoksid i pametnog telefona odabran HC-05 Bluetooth Modul. On je dizajniran kao zamjena kableske veze te koristi serijsku komunikaciju za interakciju s elektronikom. Obično se koristi za bežično povezivanje malih uređaja poput pametnih telefona radi razmjene datoteka putem kratkog dometa bežične veze. Koristi frekvencijski pojas od 2,45 GHz, a brzina prijensa podataka može varirati do 1Mbps u rasponu od 10 metara. HC-05 Modul radi unutar napajanja od 4 do 6V i podržava različite brzine prijensa podataka, uključujući 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400 i 460800. Najvažnije je da se može koristiti u master-slave načinu rada. U slave modu, modul se može povezati s drugim uređajima poput mikro upravljača i senzora. U master modu, modul se može koristiti za povezivanje s drugim Bluetooth uređajima radi primanja i slanja podataka. Modul je opremljen crvenom LED diodom koja označava status veze, neovisno o tome je li Bluetooth povezan ili ne. Prije spajanja na HC-05, LED dioda kontinuirano treperi na periodički način. Kada se poveže s drugim Bluetooth uređajem, treptanje usporava na interval od 2 sekunde [18].



Slika 8. Predodžba stražnje strane Bluetooth modula HC-05.

Izvorno autor.

Za povezivanje s drugim Bluetooth uređajima, modul se obično koristi u kombinaciji s odgovarajućim softverom na drugom uređaju. Modul je lako dostupan na tržištu zbog niske cijene (cca 6€) i jednostavnosti korištenja. Koristi se u raznim projektima, kao što su bežična kontrola robota, pametnim kućama, upravljanje vozilima, bežičnom komunikacijom između dva mikro upravljača te komunikacijom s prijenosnim računalima, stolnim računalima i mobilnim telefonima.



Slika 9. Predodžba prednje strane Bluetooth modula.

Izvorno autor.

Radni napon	4V – 6 V (tipično 5V)
Radna struja	30 mA
Raspon	otprilike 10 m
Brzina prijenosa	9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800
Način rada	Master, Slave ili Master/Slave
Standardizirani protokol	IEEE 802.15.1

Tablica 4. Radne karakteristike HC-05 Bluetooth modula [19].

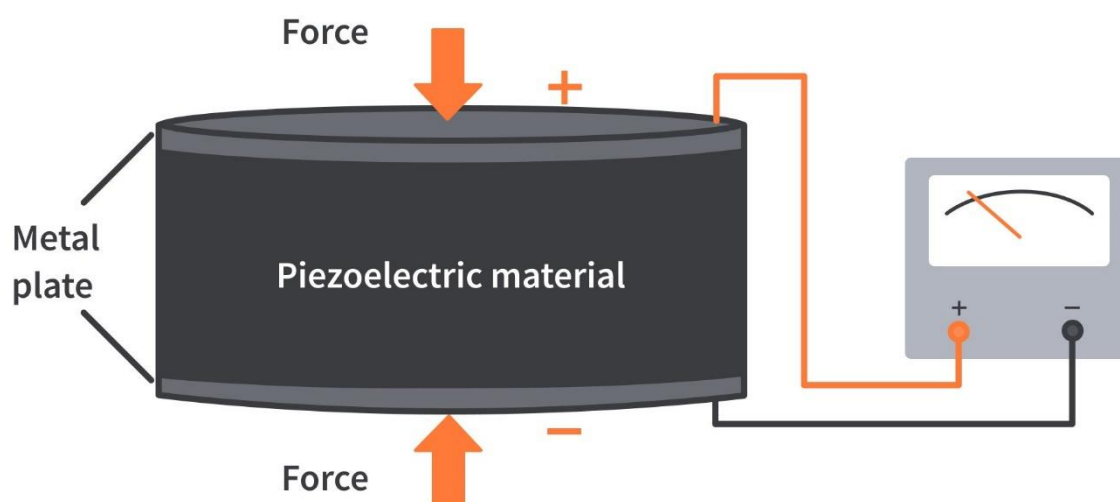
## 2.4. Arduino „buzzer“

### 2.4.1. Što je Arduino „buzzer“?

Arduino zvučnik se još naziva i „piezo“ zvučnik. To je u osnovi mali zvučnik koji se može izravno spojiti na Arduino. Zvučnik ima podesivu frekvenciju zvuka. Proizvodi zvuk na temelju obrnutog „piezoelektričnog“ efekta. Može proizvesti zvuk u različitim frekvencijama, ovisno o signalu koji se šalje s Arduina. Korisnik može programirati Arduino tako da kontrolira frekvenciju i trajanje zvuka koji zvučnik emitira. To omogućuje stvaranje različitih tonova, melodija i zvučnih efekata u raznim projektima.

### 2.4.2. Što je „piezoelektrični“ efekt?

„Piezoelektrični“ efekt je pojava u kojoj neki materijali mogu generirati električni naboj kada su izloženi mehaničkom stresu ili obrnuto, mijenjati oblik kada se primjeni električna napetost. Efekt se temelji na svojstvu određenih materijala da se deformiraju ili stvaraju električni naboj pod utjecajem vanjske sile.



Slika 10. Predodžba principa direktnog "Piezoelektričnog" efekta [20].

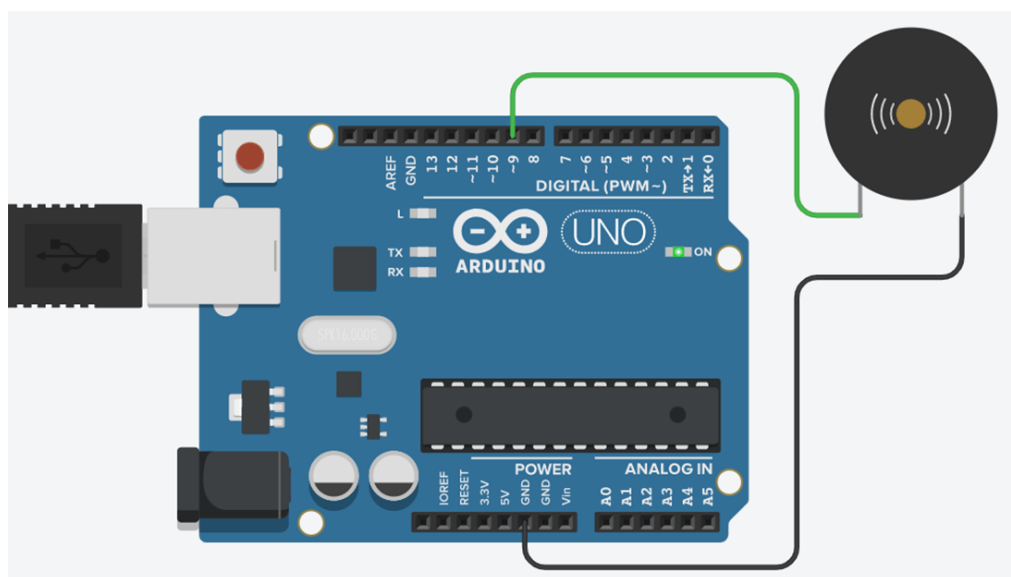
### 2.4.3. Princip rada

Kada se „piezoelektrični“ materijal stisne, savije, istegne ili podvrgne drugom mehaničkom stresu, unutarnja ravnoteža naboja u materijalu se mijenja, što rezultira generiranjem električnog naboja na površini materijala. Ovaj električni naboj može biti pozitivan ili negativan, ovisno o specifičnom materijalu i primijenjenom stresu.

Obrnuto, kada se na „piezoelektrični“ materijal primjeni napetost, on će se deformirati i mijenjati oblik. Ovaj efekt se koristi u mnogim aplikacijama, kao što su „piezoelektrični“ senzori, „piezoelektrični“ aktuatori, „piezoelektrični“ zvučnici i „piezoelektrični“ upaljači.

Zvučnik proizvodi isti bučni zvuk bez obzira na varijaciju napona koji se na njega primjenjuje. Sastoji se od piezo kristala između dva provodnika. Kada se potencijal primjeni preko tih kristala, oni guraju jedan provodnik i vuku drugi. Ova akcija rezultira zvučnim valom. Većina zvučnika proizvodi zvuk u rasponu od 2 do 4 kHz.

„Piezoelektrični“ efekt se javlja u određenim kristalnim strukturama, kao što su kvarc, turmalin i rodonit, ali i u nekim keramičkim i polimernim materijalima [21].



Slika 11. Predodžba Arduino "buzzer-a" spojen na Arduino mikroupravljač [22].

Pin 1 se prepoznaje po simbolu (+) ili dužem vodiču na terminalu. Može se napajati s 6 V DC. Pin 2 se identificira po simbolu (-) ili kraćom terminalskom nogom. Obično se spaja na uzemljenje sklopa. „Buzzer“ je pogodan za „Breadboard“ i „Perfboard“.

Nazivni napon	6V DC
Radni napon	4 - 8 V
Nazivna struja	< 30 mA
Tip zvuka	Kontinuirano piskutanje
Rezonantna frekvencija	~2300 Hz

Tablica 5. Karakteristike Arduino "buzzer-a" [23].

#### 2.4.4. Svrha korištenja

Koristi se u elektroničkim igrama, alarmnim sustavima, obavještajnim signalima, reprodukciji melodija ili jednostavnim zvučnim povratnim informacijama u projektima. Budući da je mali, jednostavan za korištenje i jeftin, popularan je izbor za dodavanje zvučnih funkcionalnosti u Arduino projektima.

Zahvaljujući svojoj sposobnosti pretvaranja mehaničke energije u električnu i obrnuto, „piezoelektrični“ materijali imaju široku primjenu u industriji, medicini, elektronici i drugim područjima.

#### 2.5. VARTA baterija

Za ovo istraživanje odabrana je 9-voltna baterija zbog podrške mikro upravljača koji se koristi u istraživanju za baterije napona od 7 V do 12 V. Ove vrste baterija posebno se ističu u uređajima s kontinuiranom i niskom potrošnjom energije, poput alarmnih sustava, daljinskih upravljača, radio uređaja, kamera i drugih uređaja koji zahtijevaju veći napon iz jedne baterije, ali se dobro pokazuju u uređajima s visokom potrošnjom energije. Ovakve baterije su se prvo koristile u tranzistorskim radijima. Otporne su na toplinu i hladnoću, a ne korištene i zapakirane ostaju svježije i do 5 godina. VARTA baterija je poznata kao E ili PP3 baterija. Dimenzije ove baterije su sljedeće: 22,5 mm X 16 mm X 44,5 mm [24].



Slika 12. Predodžba „Zinc - Carbon-ske“ 9V VARTA baterije [25].

### **3. IZLOŽENOST UGLJIČNOM MONOKSIDU U ZATVORENOM PROSTORU: MJERNJE KONCENTRACIJE PLINA POMOĆU SENZORA I ALARMA**

#### **3.1. Odabir teme rada**

Radi se o praktičnom projektu koji je definiran kao zadatak u okviru izrade Završnog rada na stručnom studiju Veleučilišta u Karlovcu. Autor je koristio svoja stručna zvanja i iskustvo tijekom studija, kao i iz vlastite prakse, kako bi omogućio realizaciju ovog mehatroničkog instrumentarija. Svojim znanjem iz područja mehatronike, autor je uspio integrirati različite komponente i tehnologije te razviti funkcionalan sustav. Osim toga, u radu su provedena temeljita ispitivanja koja su naznačena u kasnijem dijelu rada, kako bi se potvrdile performanse i pouzdanost alarmnog sustava. Korištenjem relevantnih metoda i mjernih tehnika, provođenje testova omogućilo je autoru da prikupi relevantne podatke i izvede zaključke o kvaliteti rada alarmnog sustava. Ovaj sveobuhvatni pristup, koji uključuje primjenu stručnog znanja, praktičnog iskustva i rigoroznih ispitivanja, ističe autorovu posvećenost postizanju visokih standarda kvalitete u svojem radu. Njegova stručnost i vještine omogućile su mu uspješno ostvarenje projekta te pružile čvrste temelje za daljnje istraživanje i primjenu mehatroničkog alarmnog sustava za obranu od ugljikovog monoksida.

##### **3.1.1. Ideja Završnog rada**

Ideja za završni rad na temu alarmnog sustava za detekciju ugljikovog monoksida proizašla je iz svijesti o opasnostima koje ovaj bezbojan i neosjetljiv miris može predstavljati u unutarnjim prostorima. Svake godine, mnogi ljudi diljem svijeta zadobivaju ozbiljne zdravstvene probleme ili izgube život zbog izloženosti ugljikovog monoksida.

Potaknut ovom problematikom, autor razvija ideju za istraživanje alarmnog sustava koji pruža pouzdano i rano upozorenje na prisutnost ugljikovog monoksida u zatvorenim prostorijama. Osim osnovne funkcije upozorenja, planirano je integrirati dodatne značajke koje će unaprijediti sigurnost i udobnost korisnika.

Jedna od dodatnih značajki koja se razmatrala u radu je mogućnost bežične povezanosti. To omogućava korisnicima da primaju upozorenja i informacije o razinama ugljikovog monoksida na svoje pametne telefone ili druge mobilne uređaje.

##### **3.1.2. Razrada Završnog rada**

Razrada projekata alarmnog sustava za detekciju ugljikovog monoksida uključuje nekoliko ključnih aspekata, uključujući dizajn, implementaciju, testiranje i evaluaciju performansi sustava. Kroz ovaj detaljni proces, cilj je osigurati pouzdan i učinkovit sustav koji će pružiti ranu detekciju ugljikovog monoksida i upozorenja korisnicima.

Dizajn sustava uključuje odabir odgovarajućih komponenti i senzora za detekciju ugljikovog monoksida. Plan je koristiti visokokvalitetne senzore koji su osjetljivi i precizni u otkrivanju i mjerenju razine ugljikovog monoksida. Također će se koristiti mikro upravljač koji će obraditi podatke sa senzora i upravljati alarmnim signalima.

Implementacija sustava obuhvaća razvoj potrebne elektronike i spajanje na PCB (Printed Circuit Board).

Nakon implementacije, autor provodi temeljito testiranje sustava kako bi procijenio njegove performanse i pouzdanost. Testiranje uključuje simuliranje različitih scenarija izloženosti ugljikovom monoksidu. Također provodi testiranje pouzdanosti sustava kroz duže vremensko razdoblje kako bi bio siguran u njegovu stabilnost.

Evaluacija performansi sustava će uključivati analizu rezultata testiranja, usporedbu s postavljenim standardima i usporedbu s drugim komercijalnim sustavima za detekciju ugljikovog monoksida. Tijekom cijelog razvojnog procesa, autor prati smjernice i sigurnosne standarde kako bi osigurao da sustav bude siguran za upotrebu i usklađen s relevantnim propisima. Također vodi računa o aspektima održivosti, kao što je smanjenje potrošnje energije sustava.

### 3.1.3. Nabava elemenata

Nabava elemenata je važan dio procesa pripreme i izrade alarmnog sustava za detekciju ugljikovog monoksida. Kako bi se osigurala dostupnost kvaliteta i potrebnih elemenata, potrebno je provesti detaljnu nabavu.

Prvi korak u nabavi elemenata je identifikacija potrebnih komponenti na temelju dizajna sustava. To uključuje senzor za detekciju ugljikovog monoksida, Arduino UNO mikro upravljač LED diode, Arduino „buzzer“, žice za spajanje komponenti i Bluetooth HC-05 Modul. Također je važno uzeti u obzir specifične zahtjeve i specifikacije projekta kako bi se odabrale odgovarajuće komponente.

Nakon identifikacije potrebnih komponenti, sljedeći korak je pronalaženje dobavljača ili distributera koji nude te komponente. U radu su istraživana lokalna tržišta elektroničkih komponenti, kao i online trgovine specijalizirane za prodaju elektroničkih dijelova. Važno je provjeriti pouzdanost dobavljača, kvalitetu komponenti koje nude, dostupnosti, cijene i mogućnost dobave u željenom vremenskom okviru.

Nakon odabira dobavljača, slijedi proces narudžbe i nabave. To uključuje stvaranje popisa potrebnih elemenata, izračunavanje količina, pregovaranje i cijenama i uvjetima, te postavljanje narudžbe. Važno je pratiti status narudžbe i osigurati da se dobavljeni elementi isporuče u skladu s planiranim rokovima.

### 3.1.4. Konzultacije s mentorom

Konzultacije s mentorom na temu Završnog rada su ključan dio procesa izrade rada i razvijanja projekta. Konzultacije omogućavaju autoru da dobije stručno usmjerenje, podršku i povratne informacije od mentora kako bi razradio svoju ideju i osigurao kvalitetnu izvedbu rada.

Tijekom konzultacija, autor iznosi svoju ideju o alarmu za detekciju ugljikovog monoksida mentoru i raspravlja o različitim aspektima projekta. Mentor saslušava i analizira ideje, pruža povratne informacije i upute za daljni razvoj i testiranje projekta. Također se raspravlja o tehničkim detaljima, dizajnu sustava, odabiru komponenti, metodologiji istraživanja i ostalim relevantnim pitanjima.

Tijekom konzultacija, mentor pruža smjernice o prikladnom istraživanju literature, metodologiji eksperimentiranja i analizi podataka. Također, pomaže u identifikaciji resursa, literature ili stručnjaka na temu detekcije ugljikovog monoksida kako bi se osigurala relevantnost i kvaliteta istraživanja.



Mentor pomaže u identifikaciji potencijalnih izazova ili poteškoća te pruža smjernice za njihovo prevladavanje. Raspravlja se o mogućim poboljšanjima dizajna, metodologije ili implementacije kako bi se postigao optimalan rezultat.

### 3.1.5. Odabir literature

Literatura na temu alarma za detekciju ugljikovog monoksida obuhvaća različite izvore kao što su znanstveni članci, tehnički priručnici, istraživački radovi i tehničke specifikacije. Važno je osigurati da literatura bude objektivna, ažurirana i temeljena na provjerenim izvorima kako bi se pružili pouzdani podaci i informacije.

U literaturi se mogu naći informacije o različitim aspektima alarma za detekciju ugljikovog monoksida, kao što su princip rada, tehnologije detekcije, različiti modeli i proizvođači, norme i sigurnosni standardi, instalacija i održavanje, kao i rezultati istraživanja o učinkovitosti i pouzdanosti ovih uređaja.

Prilikom izrade Završnog rada, autor se koristi literaturom za razumijevanje teorijskih aspekata detekcije ugljikovog monoksida, proučavanje postojećih metoda i tehnologija, identificiranje najboljih metoda u projektiranju i implementaciji alarma, te analizu rezultata prethodnih istraživanja kako bi se postavile hipoteze i ciljevi vlastitog istraživanja.

Također, literatura služi kao polazna točka za prikupljanje primjera stvarnih primjena alarma za ugljikov monoksid, usporedbe različitih modela, te analizu povratnih informacija korisnika kako bi se stekao stvarni uvid u stvarnu primjenu i korisničko iskustvo.

## 3.2. Usporedba s drugim sličnim uređajima na tržištu

U proteklim desetljećima, alarmi za detekciju ugljikovog monoksida postali su ključni sigurnosni uređaji u domovima i radnim prostorima diljem svijeta. Njihova sposobnost otkrivanja prisutnosti ovog opasnog plina i upozorenje korisnika na moguću prijetnju za život ima neprocjenjivu važnost u prevenciji trovanja ugljikovim monoksidom. U svrhu razvoja i nadogradnje takvih sustava, usporedba s drugim alarmima za detekciju ugljikovog monoksida postaje neophodna. Ovaj rad ima za cilj provesti temeljnu analizu i usporedbu različitih sustava koji su dostupni na tržištu te pružiti uvid u prednosti i nedostatke različitih modela.

### 3.2.1. Senzor MQ-7 za detekciju ugljikovog monoksida izrađen s Arduino platformom

Koncept izrade sklopa za detekciju ugljikovog monoksida s Arduino platformom temelji se na korištenju MQ-7 senzora. Senzor je dizajniran tako da detektira prisutnost plina.

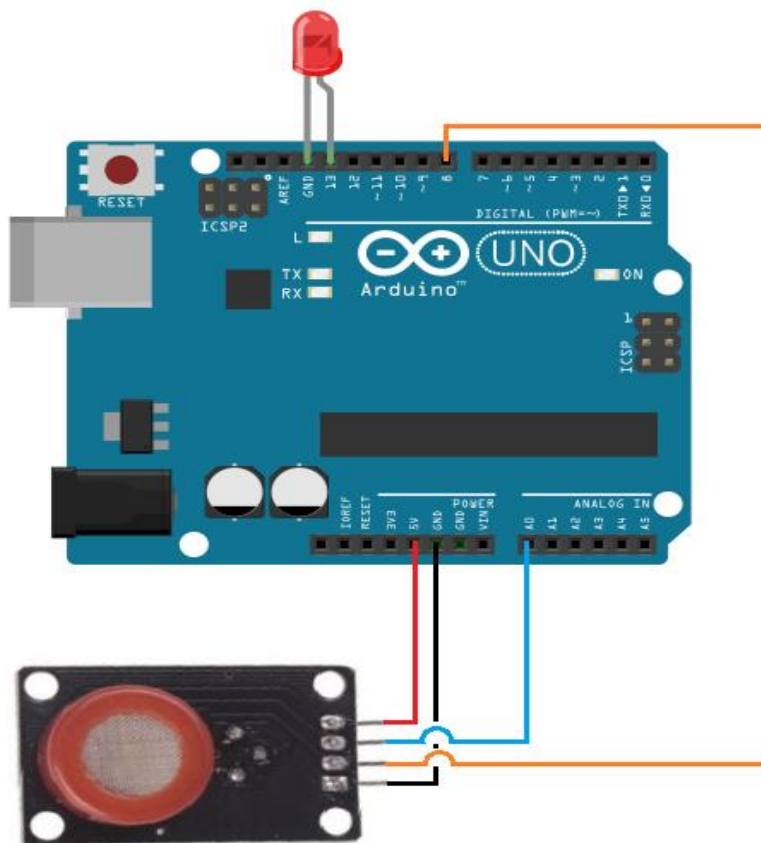
Glavna ideja je spojiti MQ-7 senzor na Arduino ploču kako bi se dobili relevantni podaci o razini ugljikovog monoksida u okolini. Senzor reagira na plin i generira analogni signal proporcionalan količini detektiranog plina. Isti signal se zatim učitava i obrađuje pomoću Arduino ploče.

Kako bi se izgradio sklop, potrebno je nabaviti MQ-7 senzor ugljikovog monoksida, Arduino ploču i LED diodu. Nakon što su komponente nabavljene slijedi izrada samog sklopa, što uključuje povezivanje senzora s Arduino pločom. Nakon što je senzor

povezan s Arduino pločom, slijedi programiranje. U kodu se definiraju pinovi za senzor i LED diodu te se postavljaju ulazi i izlazi. Arduino ploča čita analogne vrijednosti AOUP pina senzora i digitalne vrijednosti s DOUP pina senzora.

Ovisno o očitanim vrijednostima, led dioda se uključuje ili isključuje kao indikator prekoračenja granice ugljikovog monoksida.

Na taj način, izrada sklopa za detekciju ugljikovog monoksida s Arduino platformom omogućuje praćenje razine plina u okolini i pruža vizualnu indicaciju kada ta razina prelazi zadane granice [26].



Slika 13. Predodžba spajanja MQ-7 senzora i LED diode na Arduino UNO mikro upravljač [26].

### 3.2.2. Korištenje MQ-7 senzora s Arduino platformom i Android aplikacijom

U ovom projektu se prikazuje kako primiti podatke sa senzora putem Arduina pomoću mobilnog uređaja. Da bi se izveo ovaj projekt, potrebne su sljedeće komponente: Bluetooth modul, MQ-7 senzor, maketa, Arduino UNO i žice za spajanje elektroničkih komponenti.

Također su potrebni sljedeći softverski alati: Arduino IDE (za programiranje Arduina) i App Inventor 2 (za izradu aplikacije).

Spajanje se odvija na sljedeći način: Arduino pinovi (Rx i Tx) spajaju se na odgovarajuće pinove Bluetooth modula, dok se Arduino pinovi (VCC, Gnd, AO i DO) spajaju na odgovarajuće pinove MQ-7 senzora, kao što prikazuje slika 14 [27].

**Arduino Pins: ----- Bluetooth Module:**

RX (Pin 0)-----TX

TX (Pin 1)-----RX

5v-----5v

Gnd-----Gnd

Pin2,Gnd-----Gnd

**Arduino Pins: ----- MQ-7(CO Sensor):**

Vcc ----- 5V pin

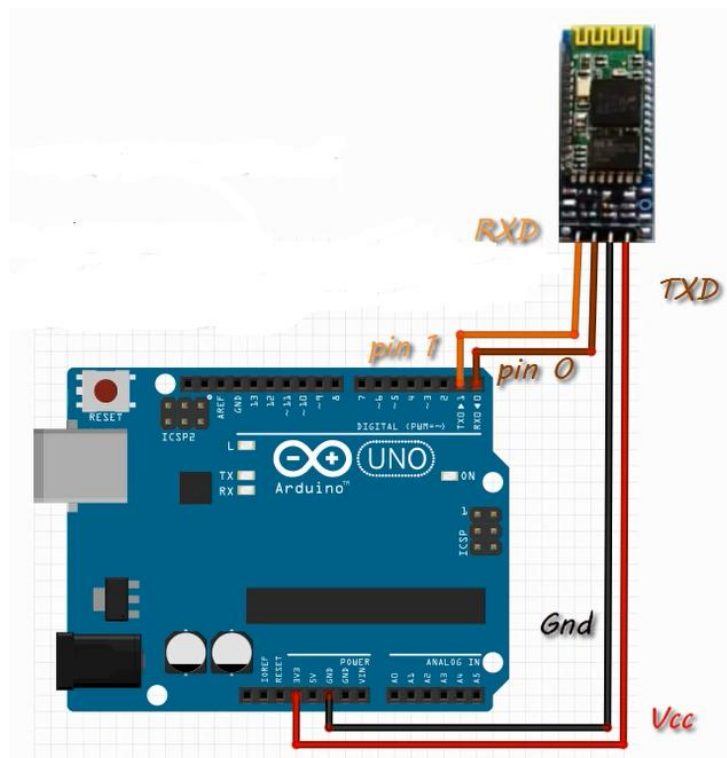
GND ----- GND pin

A\_Out ----- A0 pin

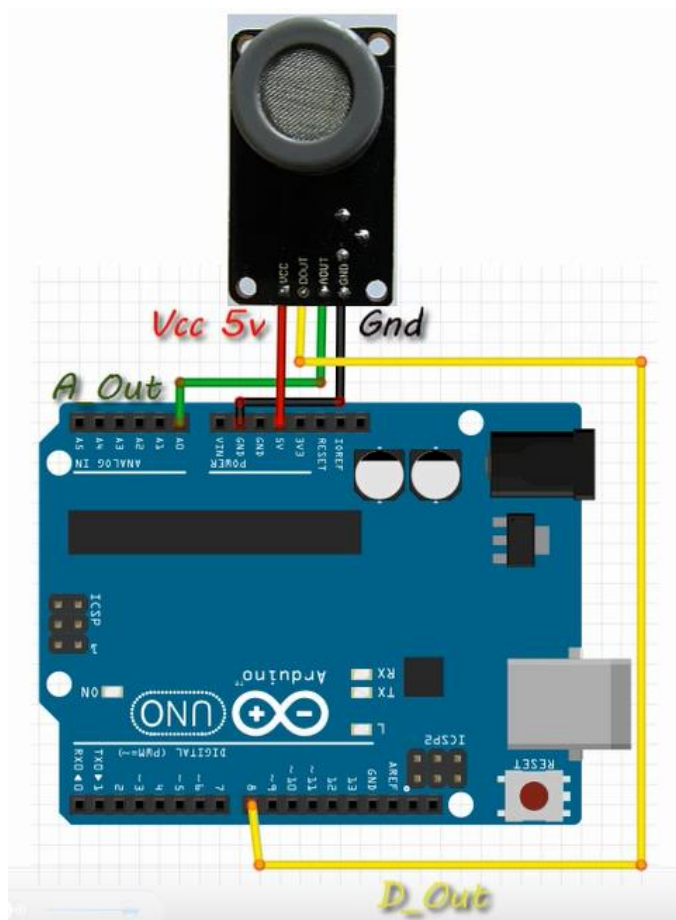
D\_Out ----- pin 8.

Tablica 6. Predodžba prikazuje spajanje Bluetooth modula i MQ-7 senzora na Arduino UNO mikro upravljača [27].

Kako je to u praksi spojeno prikazano je na slikama 14. i 15. gdje su prikazane fotografije spajanja Bluetooth Modul-a i MQ-7 senzora na Arduino UNO mikro upravljač.



Slika 14 Predodžba spajanja Bluetooth Modula na Arduino UNO mikro upravljač[27].



Slika 15. Predodžba spajanja MQ-7 senzora na Arduino UNO mikro upravljač [27].

Slika 14. prikazuje Arduino UNO na koji je spojen Bluetooth Modul s pripadajućim oznakama na mikro upravljaču te Bluetooth Modulu, dok je na slici 15. prikazan senzor

MQ-7 koji je povezan na Arduino UNO odgovarajućim pinovima. Ove slike služe kao praktičan primjer kako se Arduino UNO mikroupravljač koristi za prototipiranje elektroničkih projekata, omogućujući inženjerima brzo i efikasno testiranje i izmjenu veza i komponenti prije same izrade uređaja.

### 3.2.3. Prednosti alarmnih sustava sa Bluetooth modulom

U ovom istraživačkom radu autor koristi alarmni sustav za detekciju ugljikovog monoksida koji sadrži HC-05 Bluetooth modul zbog veće sigurnosti i jednostavnosti korištenja.

#### 3.2.3.1. *Komunikacija i nadzor*

Alarm s ugrađenim Bluetooth Modulom omogućuje bežičnu komunikaciju između alarma i drugih Bluetooth uređaja kao što su pametni telefoni i računala. Korisnik može koristiti aplikaciju na svom pametnom telefonu za nadzor i upravljanje alarmom putem Bluetooth veze. Moguće je primiti obavijesti, postavljati prilagođene postavke alarma i pregledati podatke o razini ugljikovog monoksida putem mobilne aplikacije. Ova vrsta komunikacije omogućava korisnicima veću fleksibilnost u upravljanju alarmom na daljinu.

#### 3.2.3.2 *Praćenje razine ugljikovog monoksida*

Alarmi s Bluetooth modulom omogućuju precizno praćenje razine ugljikovog monoksida u stvarnom vremenu. Podaci o razini ovog plina mogu se prikazivati na mobilnoj aplikaciji u obliku grafova ili brojevnih vrijednosti. Također korisnici mogu pratiti promjene razine ugljikovog monoksida i brzo reagirati ako razina prelazi sigurnosne vrijednosti. Ovakva vrsta praćenja pruža dodatnu sigurnost i svjesnost o prisutnosti ugljikovog monoksida u okolini.

#### 3.2.3.3. *Povezivost s drugim uređajima*

Bluetooth modul omogućuje povezivanje alarma s drugim pametnim uređajima u kućanstvu ili uredu. Alarm može biti povezan s pametnim kućnim sustavom ili sustavom za automatizaciju koji će automatski poduzeti određene radnje u slučaju otkrivanja visoke razine ugljikovog monoksida. Također, alarm može biti sinkroniziran s drugim uređajima poput sigurnosnih sustava ili pametnih termostata radi poboljšane zaštite korisnika.

#### 3.2.3.4. *Upotreba mobilne aplikacije*

Alarm s Bluetooth modulom omogućuje korisniku upotrebu posebne mobilne aplikacije za kontrolu i nadzor. Mobilna aplikacija može pružiti korisne značajke poput upozorenja putem „push“ obavijesti ili SMS poruka u slučaju detekcije visoke razine ugljikovog monoksida.

### 3.2.4. Nedostaci alarmnih sustava s Bluetooth modulom

Iako alarmni sustavi za ugljikov monoksid koji koriste Bluetooth module pružaju mnoge prednosti, postoji nekoliko potencijalnih nedostataka koji se mogu uzeti u obzir.

#### 3.2.4.1. Ovisnost o Bluetooth vezi

Alarmni sustavi s Bluetooth modulom zahtijevaju stabilnu Bluetooth vezu kako bi pravilno funkcionirali. Ako postoji prekid veze ili loša kvaliteta signala, može se dogoditi da se ne primaju obavijesti ili da se podaci o razini ugljikovog monoksida ne ažuriraju ispravno. To može smanjiti pouzdanost sustava i sigurnost korisnika.

#### 3.2.4.2. Ograničen domet

Bluetooth tehnologija ima ograničen domet prijenosa signala. Udaljenost između alarma i uređaja koji prima Bluetooth signale može biti ograničena na nekoliko metara, ovisno o okolini i preprekama poput zidova. To može ograničiti fleksibilnost i udaljenost na kojoj korisnik može primiti obavijesti ili upravljati alarmom.

#### 3.2.4.3. Potreba za napajanjem

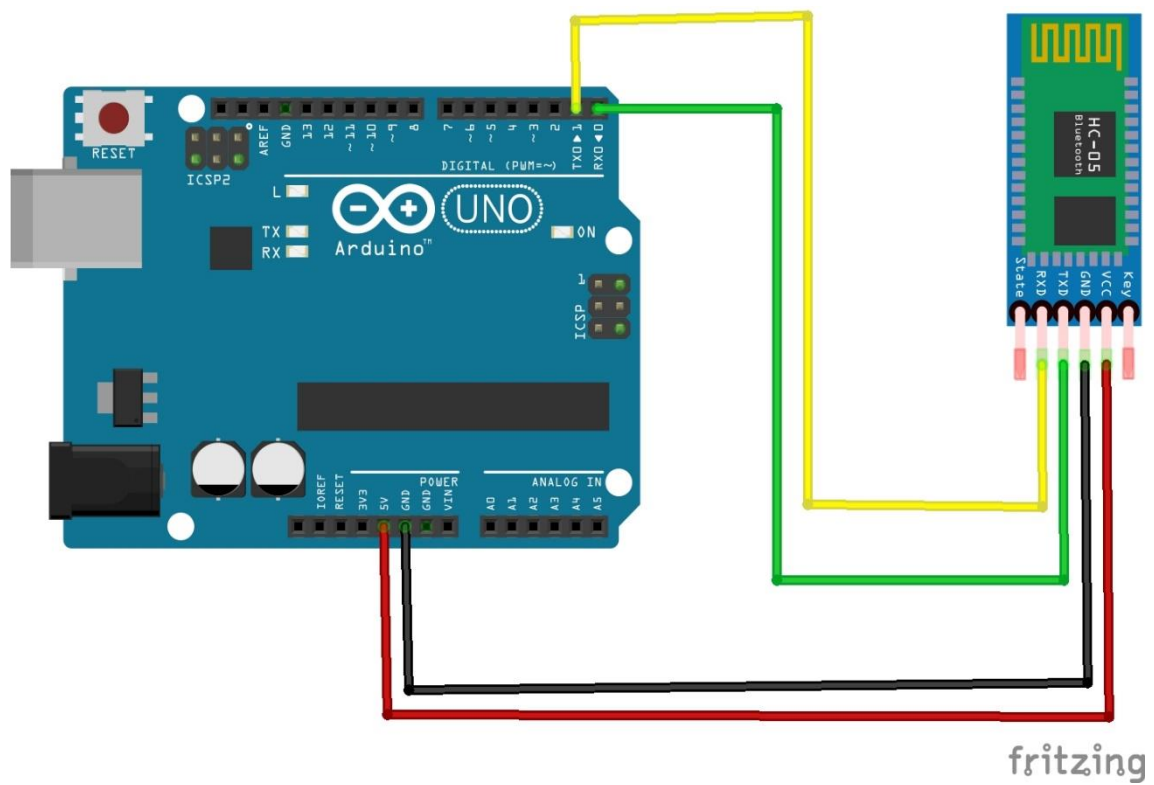
Korištenje Bluetooth modula u alarmnom sustavu zahtijeva dodatno napajanje, što može rezultirati kraćim vijekom trajanja baterije ili zahtijevati stalno povezivanje s izvorom napajanja. U nekim slučajevima potreba za napajanjem može ograničiti fleksibilnost u smislu postavljanja alarma na određenim mjestima.

#### 3.2.4.4. Cijena na tržištu

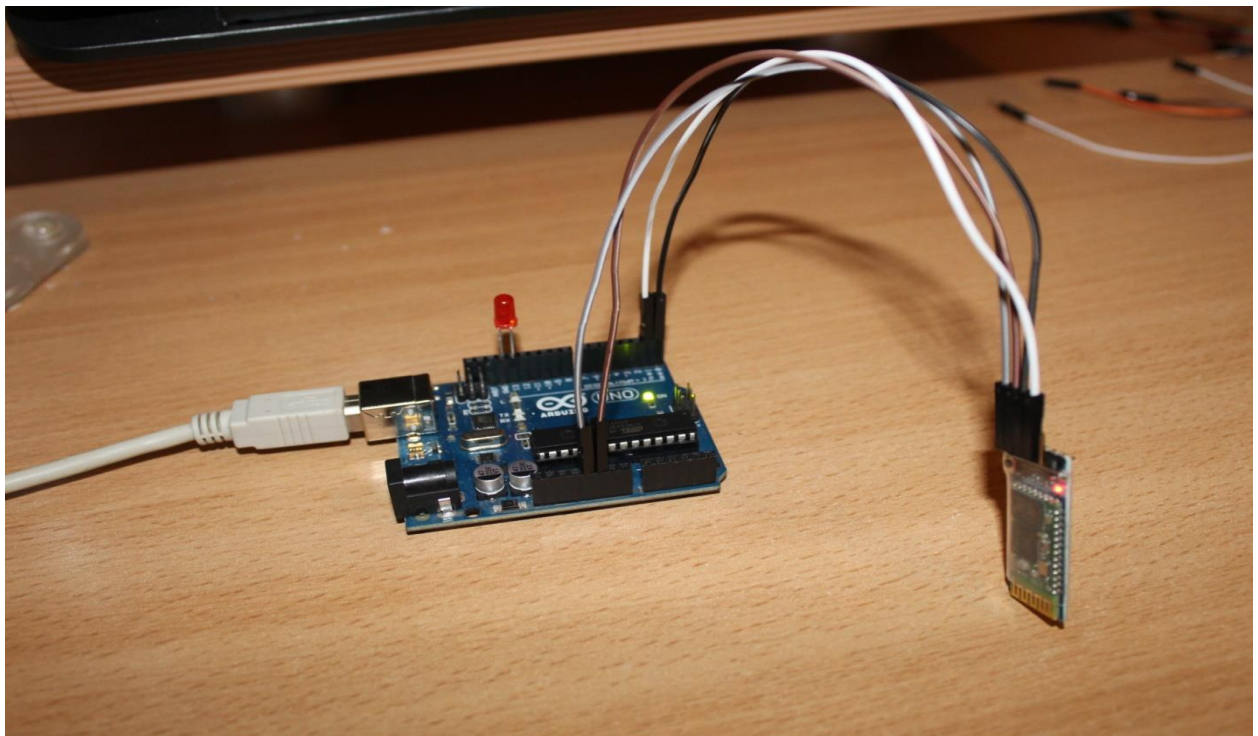
Alarmni sustavi s Bluetooth modulom obično su skuplji od onih bez Bluetooth tehnologije. Ugrađeni Bluetooth modul dodaje trošak proizvodnji, što se može odraziti na konačnu cijenu proizvoda. Cijena može biti faktor koji korisnici trebaju uzeti u obzir pri odabiru alarmnog sustava.

### 3.3. Koraci izrade alarmnog sustava

Prvi korak u izradi alarma za ugljikov monoksid bio je prikupljanje svih potrebnih elemenata. Istraživanjem je utvrđeno da bi alarm trebao sadržavati sljedeće elektroničke komponente: Arduino UNO, HC-05 Bluetooth Modul, MQ-7 senzor, crvenu LED diodu, Arduino „buzzer-a“ i 9V baterije. U početnoj fazi izrade, raspolagalo se s Arduino UNO, HC-05 Bluetooth Modulom i crvenom LED diodom, te je prvi dio projekta bio uspostaviti bežičnu vezu između mikro upravljača i mobilnog uređaja putem platforme Arduino IDE. Na slikama 15. i 16. prikazano je testiranje HC-05 modula putem crvene LED diode, gdje je pomoću aplikacije izrađene u „MIT App Inventor“ programu omogućeno paljenje i gašenje LED diode putem mobilnog uređaja.



Slika 16. Predodžba spajanja HC-05 Bluetooth Modula sa Arduino UNO [28].



Slika 17. Predodžba mikro upravljača koji ima naredbu "OFF" na aplikaciji.

Izvorno autor.



Slika 18. Predodžba mikro upravljača koji ima naredbu "ON" na aplikaciji.

Izvorno autor.

HC-05 Bluetooth Modul ima 6 pinova: STATE, GND, TX, RX, +5V i EN, ali za spajanje su korištena 4 pina: TX, RX, GND i +5V. Pin +5V je odgovoran za napajanje modula te se povezuje na +3.3V izlaz mikro upravljača. TX se koristi za serijski prijenos podataka. Sve što primi putem Bluetooth-a bit će izdano putem ovog pina kao serijski podatak i spaja se spaja na RX izlaz mikro upravljača. RX prima serijske podatke. Svaki serijski podatak koji se daje na ovaj pin bit će emitiran putem Bluetooth-a. GND se povezuje na jedan od tri GND pina na mikro upravljaču.

Nakon što je bluetooth modul ispitan na mikro upravljaču, spojen je MQ-7 senzor koji služi za mjerenje koncentracije ugljičnog monoksida u zraku. MQ-7 senzor ima 4 pina: VCC, GND, AO i DO. VCC je odgovoran za napajanje senzora. GND se povezuje na jedan od preostala dva GND pina na mikro upravljaču. AO (Analog Output) je u ovom slučaju spojen na A0 na mikro upravljaču. Taj pin daje kontinuirani izlazni napon koji varira ovisno o koncentraciji plina koji je primijenjen na senzor plina. DO (Digital Output) je spojen na pin na mikro upravljaču koji nema PWM (Pulse Width Modulation). Odabrano je da to bude pin 8. Digital Output daje izlaz u logičkom visokom ili logičkom niskom (0 ili 1) što znači da prikazuje prisutnost ugljičnog monoksida u blizini senzora. „Buzzer“ ima 2 žice. Jedna je (+) koja je odgovorna za napajanje te se zbog programiranja spaja na digitalni pin s PWM-om. U ovom slučaju je to digitalni pin 9. Druga žica je GND (-) i povezuje se na preostali GND pin na mikro upravljaču.

Program je ispisan na Arduino IDE platformi. Kada se Arduino poveže sa senzorom, vrijednost koju senzor mjeri je između 0 i 5 V, a ta se ta vrijednost prikazuje kao broj između 0 i 4095. Pretvorba analogne vrijednosti u PPM vrši se pomoću formule (1). U formuli se koriste dvije konstantne vrijednosti: 3,027 i 1,0698, dok se X koristi kao

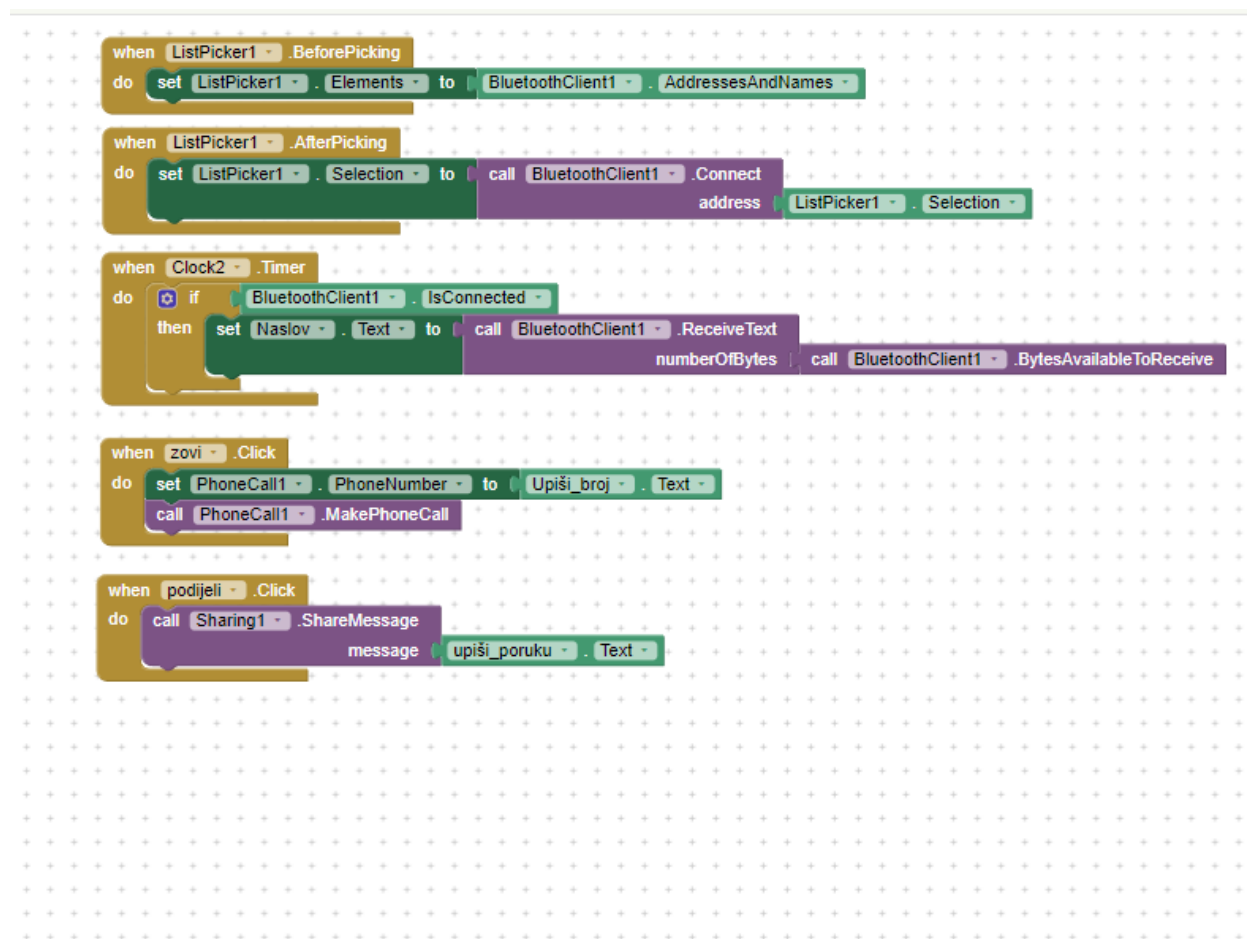


oznaka za analognu vrijednost senzora koja se prikazuje na monitoru. Ulazna vrijednost ( $U_{ul}$ ) može biti 5 V ili 3.3 V, ovisno na koji pin je spojen VCC pin senzora [29]

$$PPM = 3,027 * e^{(1,0698 * (X * \frac{U_{ul}}{4095}))} \quad (1)$$

Zbog teškoće u dobivanju vrijednosti ugljikovog monoksida koje bi mogle nanijeti ozbiljne posljedice po život čovjeka, programiran je alarm koji se aktivira kada senzor dostigne analognu vrijednost od 350, što je jednako kao 4,78 PPM. Važno je napomenuti da porast analogne vrijednosti i PPM vrijednosti nije linearan.

Nakon što je senzor programiran, odlučeno je napraviti Bluetooth aplikaciju koja će prikazivati vrijednosti ugljikovog monoksida u blizini senzora na mobilnom uređaju. Aplikacija je izrađena u MIT App Inventor-u, kao što je prikazano na slici 19.



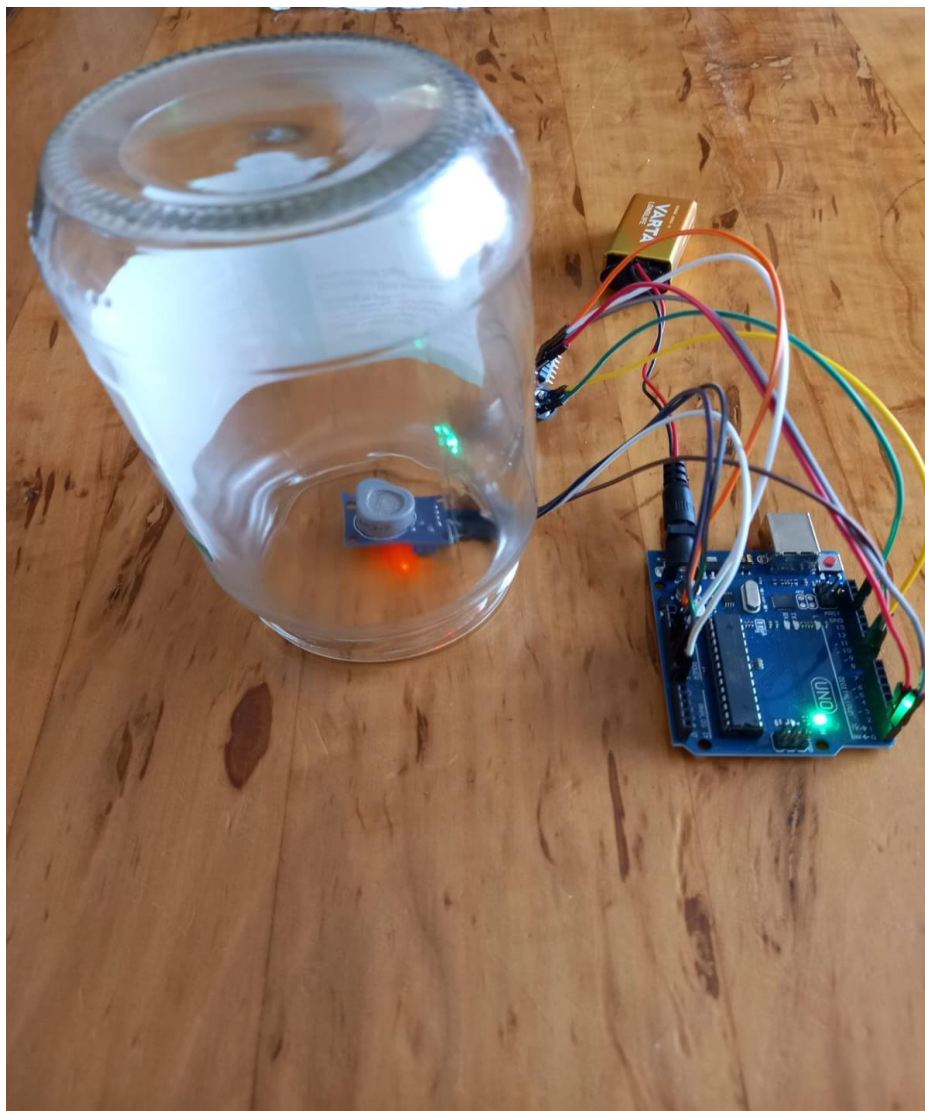
Slika 19. Programska petlja za aplikaciju u MIT App Inventor-u.

Izvorno autor.

Kao što je vidljivo na prethodnoj slici, postoje dvije opcije: „zovi“ i „podijeli“. Ideja iza tih opcija je omogućiti obavještanje hitne, policijske ili vatrogasne službe. Korištenjem opcije za pozivanjem hitne, policije ili vatrogasaca, moguće je zatražiti njihovu

intervenciju u slučajevima slučajnog trovanja ugljičnim monoksidom, kao i u slučajevima namjernog trovanja ugljičnim monoksidom ili pokušaja samoubojstva.

Nakon završetka spajanja električnih elemenata, programiranja alarma i aplikacije slijedilo je ispitivanje sustava. Sustav je ispitan na dva načina. Prvi način je bio korištenje upaljača kako bi se „zarobio“ ugljikov monoksid u staklenoj boci, kao što je prikazano na slici 20. Na taj način se postigla koncentracija ugljikovog monoksida s analognom vrijednošću od otprilike 300, što odgovara 4,48 PPM.



Slika 20. Predodžba ispitivanja alarmnog sustava u staklenoj boci.

Izvorno autor.

Ovakav način ispitivanja nije pouzdan zbog toga što se ugljični monoksid miješa s vanjskim zrakom tijekom vremena kada se prestane „zarobljavati“ u boci, kao i tijekom vremena kada se boca namješta iznad senzora.

Drugi i puno efektivniji način ispitivanja alarma za ugljični monoksid je putem ručno izrađene drvene kutije s postoljem, u koju je umetnut alarmni sustav. To je prikazano na slici 21.



Slika 21. Predodžba kutije za ispitivanje alarma za ugljikov monoksid.

Izvorno autor.

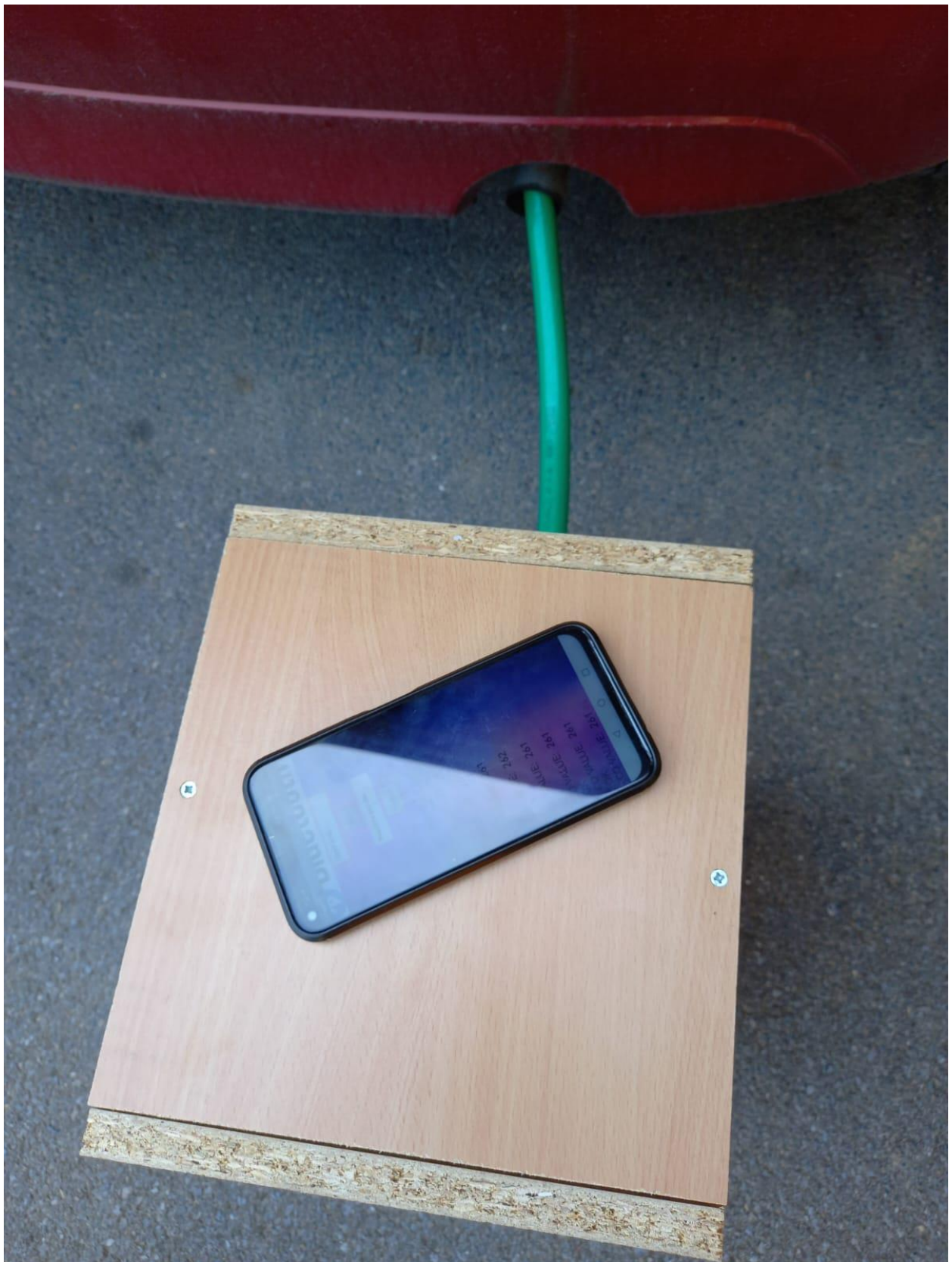
Odabrane dimenzije ove kutije su 20 cm X 20 cm X 25 cm kako bi bilo dovoljno prostora za postavljanje alarmnog sustava. Također, razlog za odabir ovakvih dimenzija je postavljanje senzora što bliže vrhu kutije, jer je ugljični monoksid lakši od zraka te se širi prema gore, ispunjavajući prostor, u ovom slučaju kutiju, od vrha prema dnu. Kutija ima otvor na prednjoj strani za gumeno crijevo koje se spaja na ispušni sustav automobila, kako je prikazano na slici 22.



Slika 22. Predodžba postavljenog alarmnog sustava i kutije za ispitivanje.

Izvorno autor.

Ovim ispitivanjem postignuta je analogna vrijednost ugljikovog monoksida od otprilike 560, što odgovara približno 6,29 *PPM*. Vrijednost od 6,29 *PPM* se nakupila nakon 5 minuta rada automobila u praznom hodu. Nakon dodatne 2 minute ispitivanja vrijednost se nije značajnije povećavala. Mogući uzrok tome može biti mali prostor između bridova, kao i činjenica da je promjer gumenog crijeva manji od promjera ispušnog sustava automobila, kao što je vidljivo na slici 23.



Slika 23. Ispitivanje alarmnog sustava spojenog na ispušni sustav automobila.

Izvorno autor.

## 4. ZAKLJUČAK

S obzirom na to da je ugljikov monoksid vrlo opasan plin za ljude, tema ovog Završnog rada i razrada zadatka bila je projektiranje i izrada inovativnog mehatroničkog sustava za detekciju tog opasnog plina. Odabran je senzor za detekciju monoksida za kućanstva s plinskim grijačima, ali i za kontrolu ispuštanja kod automobila, u garažama ili u blizini drugih uređaja s unutarnjim izgaranjem. Senzor MQ-7 pokazao se kao vrlo pouzdan u otkrivanju prisutnosti ovog plina u zraku. Osjetilni element je dovoljno precizan i osjetljiv, što omogućava otkrivanje vrlo niske koncentracije ovog plina u zraku, što je dokazano kroz eksperimente iskazane i opisane u ovome radu. Svojstva senzora ovise o mnogim čimbenicima, poput osjetljivosti, brzine odziva, točnosti, pouzdanosti, troškova i drugih čimbenika. Sekundarni doprinos ovog rada je činjenica da opisani senzori za ugljični monoksid nisu bez svojih nedostataka. Mogu biti podložni lažnim alarmima, pogotovo ako su izloženi drugim plinovima ili kemikalijama, kao što su vodik, metan i alkohol. U konačnici, senzori za ugljikov monoksid su vrlo važni alati za u otkrivanju i sprečavanju trovanja ovim plinom, a primjena senzora se širi na razne industrije, kao što su transport, zdravstvo i graditeljstvo. Autor ovog Završnog rada nada se da će ovo istraživanje biti primjer i podloga drugim kolegama mehatroničarima za detekciju ostalih stakleničkih plinova te istraživanje njihovih učinaka na okoliš i zdravlje ljudi.

## 5. LITERATURA

- [1] Enciklopedija, dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63002>, pristupljeno 22.02.2023.
- [2] Penn Medicine, dostupno na: <https://www.pennmedicine.org/for-patients-and-visitors/patient-information/conditions-treated-a-to-z/carbon-monoxide-poisoning>, pristupljeno 22.02.2023.
- [3] Pliva zdravlje, dostupno na: <https://www.plivazdravlje.hr/aktualno/clanak/15946/Ugljicni-monoksid-simptomitrovanja-i-prevenција.html>, pristupljeno 22.02.2023.
- [4] My Health Alberta, dostupno na: <https://myhealth.alberta.ca/Health/Pages/conditions.aspx?hwid=zm2552>, pristupljeno 22.02.2023.
- [5] Center for Disease Control and prevention, dostupno na: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/66/wr/figures/m6608qsf.gif>, pristupljeno 01.03.2023.
- [6] National Library of Medicine, dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5363978/>, pristupljeno 01.03.2023.
- [7] Office for National Statistics, dostupno na: <https://www.ons.gov.uk/aboutus/transparencyandgovernance/freedomofinformationfoi/carbonmonoxidedeathsandpoisoningsforthepast10years>, pristupljeno 17.3.2023.
- [8] Science Direct: dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214750019305864>
- [9] [https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2214750019305864-gr1\\_lrg.jpg](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2214750019305864-gr1_lrg.jpg), pristupljeno 03.04.2023.
- [10] Australian Government, dostupno na: <https://www.dceew.gov.au/environment/protection/npi/substances/fact-sheets/carbon-monoxide-0>, pristupljeno 14.04.2023.
- [11] EIProCus, dostupno na: <https://www.elprocus.com/what-is-arduino-uno-r3-pin-diagram-specification-and-applications/>, pristupljeno 14.04.2023.
- [12] Components101, dostupno na: <https://components101.com/microcontrollers/arduino-uno>, pristupljeno 05.05.2023.
- [13] Teach Me Microcontrollers: dostupno na: <https://www.teachmemicro.com/wp-content/uploads/2018/03/mq-sensor-schematic.gif> pristupljeno 05.05.2023.
- [14] Raspberry Pi, dostupno na: [https://www.waveshare.com/wiki/MQ-7\\_Gas\\_Sensor](https://www.waveshare.com/wiki/MQ-7_Gas_Sensor), pristupljeno 05.05.2023.
- [15] HANWEI ELECTRONICS CO, dostupno na: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>, pristupljeno 15.05.2023.
- [16] HANWEI ELECTRONICS CO, dostupno na: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>, pristupljeno 15.05.2023.
- [17] Henan Hanwei Electronics CO, dostupno na: <https://www.pololu.com/file/0J313/MQ7.pdf>, pristupljeno 15.05.2023.
- [18] Components101, dostupno na: <https://components101.com/wireless/hc-05-bluetooth-module>, pristupljeno 15.05.2023.

- [19] Components101, dostupno na: <https://components101.com/wireless/hc-05-bluetooth-module>, pristupljeno 15.05.2023.
- [20] Circuit Bread, dostupno na: <https://www.circuitbread.com/ee-faq/what-is-piezoelectric-effect>, pristupljeno 15.05.2023.
- [21] OZEKI-The Robot Operating System, dostupno na: [https://ozeki.hu/p\\_2977-how-to-use-a-buzzer-in-arduino.html](https://ozeki.hu/p_2977-how-to-use-a-buzzer-in-arduino.html), pristupljeno 15.05.2023.
- [22] Circuit Geeks, dostupno na: <https://www.circuitgeeks.com/arduino-buzzer-tutorial/>, pristupljeno 17.05.2023.
- [23] Components101, dostupno na: <https://components101.com/misc/buzzer-pinout-working-datasheet>, pristupljeno 17.05.2023.
- [24] Wentronic Deutschland, dostupno na: <https://www.wentronic.com/en/6lr616lp31469v-block-23639>, pristupljeno 21.05.2023.
- [25] DIY Shop, dostupno na: <https://diyshop.co.za/products/battery-9v-zinc-carbon-varta>, pristupljeno 21.05.2023.
- [26] Arduino, dostupno na: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/MQ-7-carbon-monoxide-sensor-circuit-with-arduino.php>, pristupljeno 21.05.2023.
- [27] Autodesk Instructables, dostupno na: <https://www.instructables.com/How-to-Use-Gas-Sensors-Via-Bluetooth-From-Arduino-/>, pristupljeno 21.05.2023.
- [28] Al selectro – all about microcontrollers, dostupno na: <https://alselectro.wordpress.com/2014/10/21/bluetooth-hc05-how-to-pair-two-modules/>, pristupljeno 27.05.2023.
- [29] Spark Forum, dostupno na: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/hazardous-gas-monitor/calculate-gas-sensor-ppm>, pristupljeno 27.05.2023.



## 6. PRILOZI

### 6.1 Grafovi

Graf 1. Smrtnost trovanjem ugljičnim monoksidom u SAD-u u razdoblju od 2010. do 2015. godine.

Graf 2 Smrtnost trovanjem ugljičnim monoksidom za razdoblje od 2010. do 2020. godine u Ujedinjenom Kraljevstvu.

Graf 3. Smrtnost trovanjem ugljičnim monoksidom u Japanu u razdoblju od 2000. do 2017. godine.

Graf 4. Karakteristika osjetljivosti MQ-7 senzora za nekoliko plinova pri temperaturi 20°C, relativnoj vlažnosti zraka 65%, koncentraciji kisika 21% i vrijednosti  $R_L = 5k\Omega$ .

Graf 4. Utjecaj temperature i vlage.

### 6.2 Slike

Slika 1. Predodžba trovanja ugljičnim monoksidom.

Slika 2. Predodžba mikro upravljača Arduino UNO.

Slika 3. Predodžba dimenzija mikro upravljača Arduino UNO.

Slika 4. Predodžba senzora za ugljični monoksid (MQ-7).

Slika 5. Predodžba MQ-7 senzora.

Slika 6. Karakteristika osjetljivosti MQ-7 senzora za nekoliko plinova pri temperaturi 20°C, relativnoj vlažnosti zraka 65%, koncentraciji kisika 21% i vrijednosti  $R_L = 5k\Omega$ .

Slika 7. Utjecaj temperature i vlage.

Slika 8. Predodžba stražnje strane Bluetooth modula HC-05.

Slika 9. Predodžba prednje strane Bluetooth modula.

Slika 10. Predodžba prikazuje princip direktnog "Piezoelektričnog" efekta.

Slika 11. Predodžba Arduino "buzzer-a" spojenog na Arduino mikroupravljač.

Slika 12. Predodžba „Zinc - Carbon-ske“ 9V VARTA baterije.

Slika 13. Predodžba spajanja MQ-7 senzora i LED diode na Arduino UNO mikro upravljača.

Slika 14. Predodžba spajanja Bluetooth Modula na Arduino UNO mikro upravljač.

Slika 15. Predodžba spajanja MQ-7 senzora na Arduino UNO mikro upravljač.

Slika 16. Predodžba spajanja HC-05 Bluetooth Modula sa Arduino UNO.

Slika 17. Predodžba mikro upravljača koji ima naredbu "OFF" na aplikaciji.

Slika 18. Predodžba mikro upravljača koji ima naredbu "ON" na aplikaciji.

Slika 19. Programska petlja za aplikaciju u MIT App Inventor-u.

Slika 20. Predodžba ispitivanja alarmnog sustava u staklenoj boci.

Slika 21. Predodžba kutije za ispitivanje alarma za ugljikov monoksid.

Slika 22. Predodžba postavljenog alarmnog sustava i kutije za ispitivanje.

Slika 23. Ispitivanje alarmnog sustava spojenog na ispušni sustav automobila.

### 6.3 Tablice

Tablica 1. Karakteristike mikro upravljača Arduina UNO.

Tablica 2. Legenda plinova iz prethodnog grafa.

Tablica 3. Tehnički podatci MQ-7 senzora.

Tablica 4. Radne karakteristike HC-05 Bluetooth modula.

Tablica 5. Karakteristike Arduino "buzzer-a".

### 6.4 Kodovi

6.4.1 Kod za paljenje i gašenje LED lampice

```
char Incoming_value = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(13, OUTPUT);
}
void loop()
{
  if(Serial.available() > 0)
  {
    Incoming_value = Serial.read();
    Serial.print(Incoming_value);
    Serial.print("\n");
    if(Incoming_value == '1')
      digitalWrite(13, HIGH);
    else if(Incoming_value == '0')
      digitalWrite(13, LOW);
  }
}
```

6.4.2 Kod za alarm protiv ugljičnog monoksida

```
const int AOUTpin=0;
const int DOUTpin=8;
const int ledPin=13;

int buzzer = 9 ;
int sensorValue;
```

```

int value;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(DOUTpin, INPUT);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode (buzzer, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  sensorValue = analogRead(DOUTpin);
  Serial.print(" CO VALUE: ");
  Serial.println(sensorValue);
  float result = 3.027 * exp(1.0698 * (sensorValue * 5.0 / 4095));
  Serial.print("PPM: ");
  Serial.println(result);
  delay(1000);

  if (result >= 50) {
    Serial.println(" ALARM ");
    analogWrite(buzzer, 127);
    delay(200);
    analogWrite(buzzer, 0);
    delay(200);
  }
  else{
    Serial.println(" OK ");
    digitalWrite (buzzer, LOW);
  }
}

```