



KAKOVOST ZRAKA V BIVALNIH PROSTORIH

Rebeka Strnad in Veronika Šekoranja

Mestna občina Celje, Mladi za Celje
SIC Alme M. Karlin, Celje

Mentor: Mitja Suvajac

Celje, 2025

POVZETEK

V tej raziskovalni nalogi smo želeli ugotoviti, koliko CO_2 je prisotnega v prostorih, ki jih dijaki in profesorji dnevno uporabljamo, kako koncentracijo CO_2 merimo, kako je sestavljen senzor CO_2 in kako ga uporabljamo. Ugotovili smo, da vedno več stanovanj uporablja prezračevalne sistemu, ki imajo vgrajene senzorje CO_2 .

Pri raziskovanju smo merili prisotnost CO_2 in ugotovili, da je največ CO_2 prisotnega v učilnici po pouku, najmanj pa na prostem. Prisotnost CO_2 najhitreje znižamo s prezračevanjem prostora. V kolikor prostora ne prezračimo, lahko pride do povišane koncentracije CO_2 , ki povzroča glavobol in omotico.

Ključne besede: senzor CO_2 , CO_2 , koncentracija CO_2 , kakovost zraka

ABSTRACT

In this research work, we wanted to find out how much CO_2 is present in the rooms that students and professors use on a daily basis, how CO_2 concentration is measured, how CO_2 sensor is composed and how we use it. We helped ourselves with our research with articles that we obtained from the web and websites. We've found that more and more homes are using ventilation systems that have CO_2 sensors built in.

In our research, we measured the presence of CO_2 and found that most CO_2 were present in the classroom after school and the least outdoors. The presence of CO_2 is most quickly lowered by ventilating the room. If the room is not ventilated, an increased concentration of CO_2 can occur, which causes headaches and dizziness.

Keywords: sensor CO_2 , CO_2 , CO_2 concentration, air quality

KAZALO VSEBINE

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | UVOD | 1 |
| 2 | SENZOR CO₂ | 2 |
| 2.1 | Dejavniki, ki vplivajo na natančnost IR laserja | 4 |
| | 1. Valovna dolžina | 4 |
| | 2. Koherenca in fazna stabilnost | 4 |
| | 3. Divergenca žarka | 4 |
| | 4. Kakovost optičnih komponent | 4 |
| | 5. Toplotni učinki in stabilnost vira | 4 |
| | 6. Motnje v atmosferi | 4 |
| 3 | KAKO IZGLEDA POVEZAVA CO₂ SENZORJA Z ARDUINOM? | 5 |
| 3.1 | Arduino koda, potrebna za delovanje senzorja | 5 |
| 4 | PRIPOMOČKI | 9 |
| 5 | PROSTORI MERJENEJA | 9 |
| 5.1 | Hipoteze: | 10 |
| 6 | POTEK PREIZKUSA | 10 |
| 7 | REZULTATI | 13 |
| 8 | ZAKLJUČEK | 14 |
| | VIRI IN LITERATURA | 15 |

1 UVOD

Senzor CO_2 je poleg senzorja za temperaturo in vlago med najbolj uporabljenimi senzorji. Ta senzor nadzoruje kakovost zraka in meri prisotnost CO_2 v prostoru. Plin CO_2 je od plina, kot je npr. O_2 , težji in se v sobah v večjih količinah nahaja pri tleh. CO_2 je pri dihanju plin, ki ga izdihnemo, kar pomeni, da tega plina naše telo ne porabi. Če ga je v prostoru, v katerem smo, preveč, postanemo omotični, zato je priporočljivo, da se prostori redno zračijo, saj tako v prostor pride svež zrak. V ozračju pa lahko to prisotnost tudi izmerimo, kar bomo v tej raziskovalni nalogi tudi počeli.

Ogljikov dioksid je triatomska molekula, sestavljena iz enega atoma ogljika in dveh atomov kisika. Je plin brez barve z rahlim vonjem in okusom [9]. Plin nastopa v številnih naravnih procesih[3]. V zadnjih 100 letih se je koncentracija atmosferskega CO_2 povišala za skoraj 30 % (iz 280 $\mu\text{L/L}$ na začetku industrijske revolucije, na današnjo koncentracijo 360 $\mu\text{L/L}$). Rastline so sposobne reducirati atmosferski ogljikov dioksid (CO_2) v energijsko bogate molekule.

Ob vdihu naše telo sprejme 0,04 % CO_2 , medtem ko pri izdihu naše telo izloči približno 4,5 % več CO_2 kot pri vdihu. Ogljikov dioksid (CO_2) je naravno prisoten v zraku, vendar lahko povečane koncentracije vplivajo na zdravje ljudi.

Koncentracije CO_2 v zraku do 1.000 ppm (delcev na milijon) so običajno prisotne v notranjih prostorih in ne predstavljajo tveganja za zdravje. Vendar pa lahko koncentracije nad 5.000 ppm povzročijo neprijetne simptome, kot so glavobol, utrujenost in zmanjšana koncentracija.

Pri koncentracijah nad 10.000 ppm lahko pride do resnejših težav, kot so omotica, kratka sapa in povečano tveganje za nesreče zaradi zmanjšane pozornosti.

Pri koncentracijah nad 40.000 ppm (4 %) lahko pride do zadušitve in smrti zaradi pomanjkanja kisika.

Pomembno je omeniti, da so te vrednosti odvisne od trajanja izpostavljenosti in drugih dejavnikov, kot so temperatura in vlažnost zraka.

Za zaščito zdravja je priporočljivo vzdrževati koncentracijo CO_2 v notranjih prostorih pod 1.000 ppm in zagotoviti ustrezno prezračevanje [2].

Cilj raziskovalne naloge je ugotoviti, koliko CO_2 je v ozračju in kako deluje senzor CO_2 .

2 SENZOR CO₂

Senzorji za CO₂ pogosto uporabljajo infrardečo (IR) svetlobo, da zaznajo koncentracijo CO₂ v zraku. Infrardeči laser oddaja svetlobo, ki jo molekule CO₂ absorbirajo na specifični valovni dolžini. Več CO₂ v zraku pomeni večjo absorpcijo svetlobe, kar senzor zazna in pretvori v vrednost koncentracije CO₂ [5].

Senzor, ki smo ga uporabili

Uporabili smo senzor SEN0159, ki je elektro-kemijski senzor za merjenje koncentracije. Deluje na principu elektrokemijske reakcije, pri kateri se plin CO₂ absorbira na elektrodah v notranjosti senzorja. Pri tem CO₂ reagira z elektrodama, kar povzroči spremembo električnega signala. Ta signal se nato uporabi za izračun koncentracije v zraku.

Elektro-kemijski senzorji so natančni in porabijo malo energije, zato so primerni za uporabo v različnih aplikacijah, kot so spremljanje kakovosti zraka, prezračevanje ali industrijski procesi [10].

Načelo delovanja

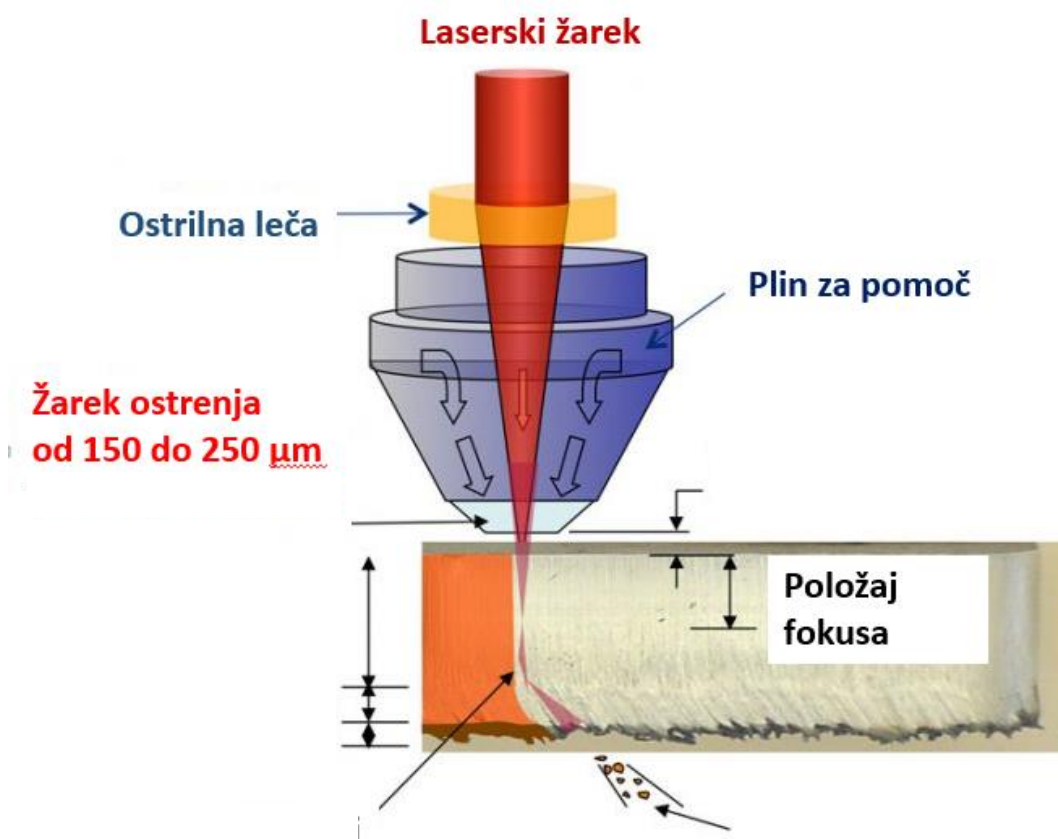
Molekule CO₂ absorbira infrardeče sevanje na določeni valovni dolžini. To je ključno za delovanje IR senzorja za CO₂. Senzor uporablja infrardeči vir svetlobe, običajno infrardeči laser ali LED, ki oddaja sevanje na določeni valovni dolžini. Sevanje potuje skozi prostor, v katerem se nahajajo plini (vključno s CO₂), in se delno absorbira, odvisno od koncentracije CO₂ v zraku [5].

Infrardeči laser

Infrardeči laser oddaja svetlobo na valovni dolžini, ki je specifična za CO₂. To pomeni, da CO₂ svetlobo pri tej valovni dolžini močno absorbira.

Ko svetloba potuje skozi zrak, se nekateri fotoni absorbirajo zaradi prisotnosti CO₂, kar povzroči zmanjšanje intenzitete svetlobe, ki doseže detektor.

Detektor meri ta padec svetlobe in izračuna koncentracijo CO₂. Večja koncentracija plina pomeni večjo absorpcijo svetlobe [5].



Slika 1: Shema delovanja CO2 senzorja [12]

Fizika

Zakon Beer-Lambert

Povezava med koncentracijo plina in absorpcijo svetlobe je opisana z Beer-Lambertovim zakonom:

$$A = \epsilon c l$$

- A je absorpcija svetlobe,
- ϵ je molarna absorpcija na določeni valovni dolžini,
- c je koncentracija plina,
- l je pot svetlobe skozi plin (debelina plinskega sloja).

Senzor izmeri padec svetlobe (A) in na podlagi tega izračuna koncentracijo CO_2 . [6]

2.1 Dejavniki, ki vplivajo na natančnost IR laserja

1. Valovna dolžina

Infrardeči laserji delujejo v območju 700 nm–1 mm. Krajše valovne dolžine omogočajo boljšo natančnost in manjšo razpršenost žarka. Daljše valovne dolžine se bolj absorbirajo v atmosferi, kar zmanjšuje njihovo natančnost pri dolgih razdaljah [4].

2. Koherenca in fazna stabilnost

Koherenca laserja pomeni, da imajo vsi fotoni enako valovno dolžino in fazo. Visoka koherenca omogoča natančno usmerjenost žarka in majhno razpršenost, kar je ključno za aplikacije, kot sta holografija in interferometrija. Pri nekaterih IR laserjih lahko pride do faznega šuma, kar zmanjša natančnost pri meritvah [4].

3. Divergenca žarka

Divergenca pomeni razpršenost žarka pri večjih razdaljah. Manjša divergenca pomeni bolj usmerjen in natančen žarek. IR laserji, kot so CO_2 laserji, imajo nizko divergenco in so zato zelo natančni [4].

4. Kakovost optičnih komponent

Kakovost leč in ogledal vpliva na fokusiranje in usmerjenost žarka. Aberacije v optiki lahko povzročijo neenakomerno porazdelitev moči in zmanjšajo natančnost [4].

5. Toplotni učinki in stabilnost vira

IR laserji, še posebej laserji CO_2 , oddajajo veliko toplote. Toplotna širitev optičnih komponent lahko spremeni usmerjenost žarka. Aktivno hlajenje in stabilizacija vira povečata natančnost [4].

6. Motnje v atmosferi

Pri daljših razdaljah lahko vlaga, prah in turbulence v zraku vplivajo na širjenje infrardečega žarka. Za visoko natančnost se pogosto uporablja optika v vakuumu ali optična vlakna, kjer ni atmosferskih motenj [4].

3 KAKO IZGLEDA POVEZAVA CO₂ SENZORJA Z ARDUINOM?

Arduino je odprtokodna platforma za elektroniko, ki omogoča enostavno programiranje in uporabo mikrokrmilnikov. Sestavljen je iz strojne opreme (različne plošče, kot je Arduino Uno) in programske opreme (Arduino IDE).

Deluje tako, da prebere podatke s senzorjev, jih obdela s pomočjo kode in izvede ukaze (npr. prižge LED, pošlje podatke na zaslon ali motor). Programira se v jeziku, podobnem C/C++, in se pogosto uporablja za avtomatizacijo, robotiko in IoT projekte [7].

3.1 Arduino koda, potrebna za delovanje senzorja

```
#include "math.h";

/*****Hardware Related Macros*****/
#define MG_PIN (0) //define which analog input channel you are going to use
#define BOOL_PIN (2)
#define DC_GAIN (8.5) //define the DC gain of amplifier

/*****Software Related Macros*****/
#define READ_SAMPLE_INTERVAL (50) //define how many samples you are going to take in normal operation
#define READ_SAMPLE_TIMES (5) //define the time interval(in milisecond) between each samples in //normal operation

/*****Application Related Macros*****/
//These two values differ from sensor to sensor. user should derermine this value.
#define ZERO_POINT_VOLTAGE (0.23) //define the output of the sensor in volts when the concentration of CO2 is 400PPM
#define REACTION_VOLTGAE (0.02) //define the voltage drop of the sensor when move the sensor from air into 1000ppm CO2

/*****Globals*****/
float CO2Curve[3] = {2.602,ZERO_POINT_VOLTAGE,(REACTION_VOLTGAE/(2.602-3))};
//two points are taken from the curve.
//with these two points, a line is formed which is
//"approximately equivalent" to the original curve.
//data format: { x, y, slope}; point1: (lg400, 0.324), point2: (lg4000, 0.280)
//slope = ( reaction voltage ) / (log400 -log1000)
```

```

int co2 = 0;
// int percentage;
// float volts;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);    //UART setup, baudrate = 9600bps
  pinMode(BOOL_PIN, INPUT);    //set pin to input
  digitalWrite(BOOL_PIN, HIGH);    //turn on pullup resistors

  Serial.print("MG-811 Demonstration\n");

  // Spark.variable("CO2", &co2, int);
  // Spark.variable("percentage", &percentage, int);
  // Spark.variable("volts", &volts, float);

}

void loop()
{

  int sensorValue = analogRead(A1);
  Serial.println(sensorValue);

  int percentage;
  float volts;

  // Spark.variable("CO2", &co2, int);
  // Spark.variable("percentage", &percentage, int);
  // Spark.variable("volts", &volts, float);

  volts = MGRRead(MG_PIN);
  Serial.print( "SEN0159:" );
  Serial.print(volts);
  Serial.print( "V  " );

  percentage = MGGetPercentage(volts,CO2Curve);
  // Serial.println(CO2Curve);
  Serial.println(percentage);
  // Serial.println(MGRRead);
  Serial.print("CO2:");
  if (percentage == -1) {
    Serial.print( "<400" );
  } else {

```

```

Serial.print(percentage);
}
Serial.print( "ppm" );
Serial.print( " Time point:" );
Serial.print(millis());
Serial.print("\n");

if (digitalRead(BOOL_PIN)){
Serial.print( "=====BOOL is HIGH=====" );
} else {
Serial.print( "=====BOOL is LOW=====" );
}

Serial.print("\n");

delay(200);
}

```

```

/***** MGRead *****/
Input: mg_pin - analog channel
Output: output of SEN-000007
Remarks: This function reads the output of SEN-000007
*****/

```

```

float MGRead(int mg_pin)
{
int i;
float v=0;

for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
v += analogRead(mg_pin);
delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
}
v = (v/READ_SAMPLE_TIMES) *5/1024 ;
return v;
}

```

```

/***** MQGetPercentage *****/
Input: volts - SEN-000007 output measured in volts
pcurve - pointer to the curve of the target gas
Output: ppm of the target gas
Remarks: By using the slope and a point of the line. The x(logarithmic value of ppm)
of the line could be derived if y(MG-811 output) is provided. As it is a
logarithmic coordinate, power of 10 is used to convert the result to non-logarithmic
value.
*****/

```

```

int MQGetPercentage(float volts, float *pcurve)
{

```

```

if ((volts/DC_GAIN )>=ZERO_POINT_VOLTAGE) {
return -1;
} else {
return pow(10, ((volts/DC_GAIN)-pcurve[1])/pcurve[2]+pcurve[0]);
}
} [11].

```



Slika 2: Mikroročunalnik

Za povezavo senzorja CO₂ z Arduinom potrebujemo nekaj osnovnih komponent.

CO₂ senzor

Na trgu so različni senzorji za CO₂, ki uporabljajo tehnologijo infrardečega sevanja, kot so MH-Z19 ali CCS811. Ti senzorji imajo običajno vgrajen detektor, procesor za obdelavo podatkov in izhodni signal, ki ga lahko bere Arduino. Mi smo uporabili senzor SEN0159, ki pa je elektrokemijski [7].

Arduino plošča

Senzor povežemo s pinom za komunikacijo (digitalni ali analogni, odvisno od tipa senzorja). Plošča, kot je Arduino Uno, Mega ali kateri koli drug model, omogoča branje signalov in njihovo obdelavo za prikazovanje na zaslonu ali za sprožitev alarmov.

Napajanje in kabli

Senzor CO_2 potrebuje napajanje (ponavadi 5V), in ko je vse povezano, lahko Arduino bere vrednosti s senzorja preko serijske komunikacije ali analognega vhodnega pina (odvisno od modela senzorja).

Koda

Programiranje Arduina vključuje branje vrednosti s senzorja in njihovo pretvorbo v koncentracijo CO_2 , ki jo nato lahko izpišemo na zaslon ali uporabimo za druge akcije (kot so opozorila) [7].

4 PRIPOMOČKI

- računalnik
- senzor CO_2
- mikroročunalnik
- Arduino IDE
- kabli za vezavo (žice) [1].

5 PROSTORI MERJENEJA

Pri izvajanju poskusa smo se odločili za merjenje CO_2 v naslednjih prostorih:

- učilnica pred poukom
- učilnica po pouku
- učilnica po tem, ko je prezračena
- kabinet
- na prostem

| CO ₂ [ppm] | KAKOVOST ZRAKA |
|-----------------------|--|
| 2100 | SLAB Močno onesnažen zrak v zaprtih prostorih (potrebno prezračevanje) |
| 2000 | |
| 1900 | |
| 1800 | |
| 1700 | |
| 1600 | |
| 1500 | POVPREČEN Onesnažen zrak v zaprtih prostorih (priporočeno prezračevanje) |
| 1400 | |
| 1300 | |
| 1200 | |
| 1100 | |
| 1000 | USTREZEN |
| 900 | DOBER |
| 800 | |
| 700 | |
| 600 | ODLIČEN |
| 500 | |
| 400 | |
| 400 | |

Slika 3: Grafikon ravni ogljikovega dioksida [8]

5.1 Hipoteze:

1. Več delcev CO₂ je v učilnici pred poukom kot v prezračeni učilnici in manj delcev CO₂ kot v učilnici po pouku.
2. V učilnici, ki je prezračena, je najbližja količina delcev CO₂ tisti zunaj.
3. V kabinetu je približno enako delcev CO₂ kot v učilnici po pouku, ker je kabinet bistveno manjši.

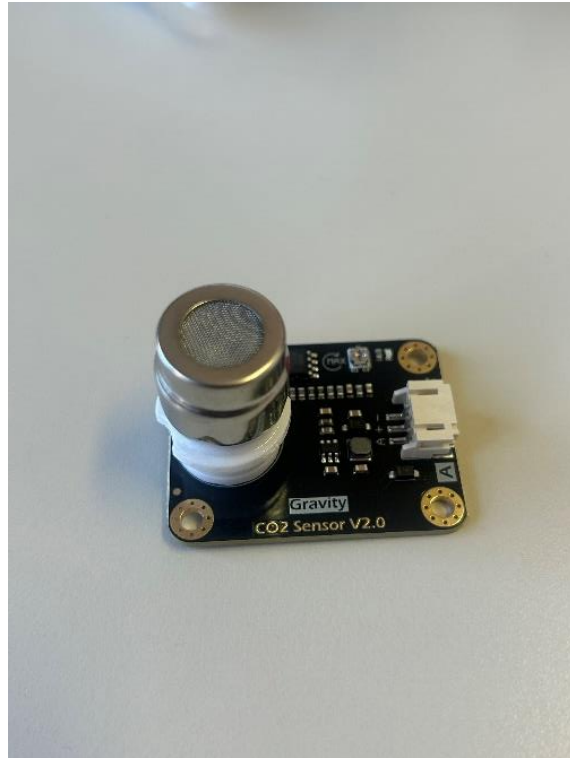
6 POTEK PREIZKUSA

Najprej smo senzor CO₂ povezali z mikroračunalnikom, nato smo ga povezali z računalnikom. Na računalnik smo namestili program Arduino IDE, ki nam je med merjenjem na računalniku prikazoval takojšne rezultate merjenja na 2000 ms oziroma 2 s. Nato smo senzor skalibrirali po navodilih proizvajalca. Mikroračunalnik, ki smo ga kasneje priključili v računalnik, smo povezali s senzorjem CO₂, kar je vidno na sliki 6. Slika 6 pokaže tudi, da žica oranžne barve povezuje analogni vhod A0 s senzorjem, žica rdeče barve 5V s plusom in žica rumene barve GND-ozemljitev z minusom. Ko smo vse povezali in vzpostavili povezavo z računalnikom, smo pričeli s poskusom. Prisotnost CO₂ smo merili v kabinetu, ki je manjši od učilnice, vendar je v njem tudi manj ljudi. Povprečno so v enem kabinetu trije profesorji, v eni učilnici, ki je večja, je v povprečju okoli 28 dijakov. Pri merjenju nismo mogli vplivati na to, kolikokrat je bila učilnica čez dan že prezračena. Najprej smo merili CO₂ v učilnici pred poukom. Ugotovili

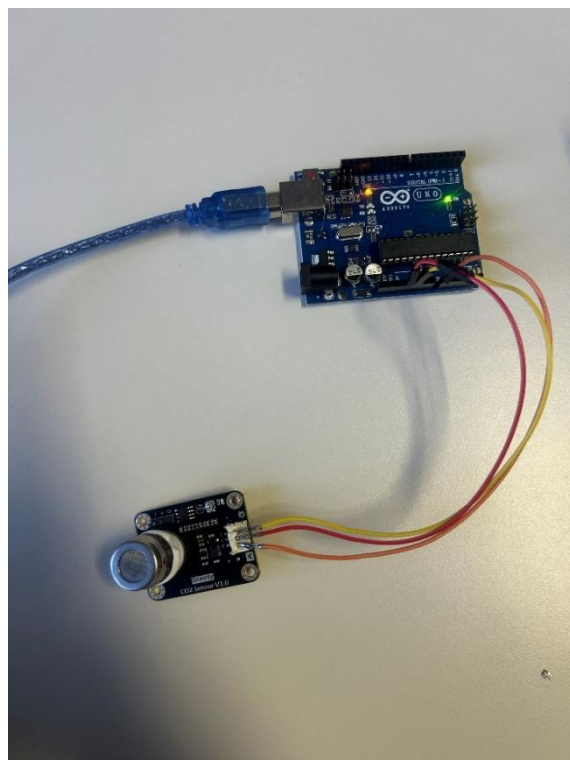
smo, da je bilo v njej 487 ppm CO_2 . To učilnico smo za tem prezračili in izmerili CO_2 , ki ga je bilo 465 ppm. Nato smo CO_2 izmerili še na prostem in ugotovili, da je prisotnega 410 ppm CO_2 . Izmerili smo ga tudi v kabinetu, kjer ga je bilo 642 ppm, nazadnje pa še v učilnici po pouku in ugotovili, da je bilo prisotnega 983 ppm CO_2 . Ko smo merili koncentracijo CO_2 v različnih prostorih, smo tam ostali dalj časa, da smo dobili konstanten podatek koncentracije CO_2 .



Slika 4: Žice



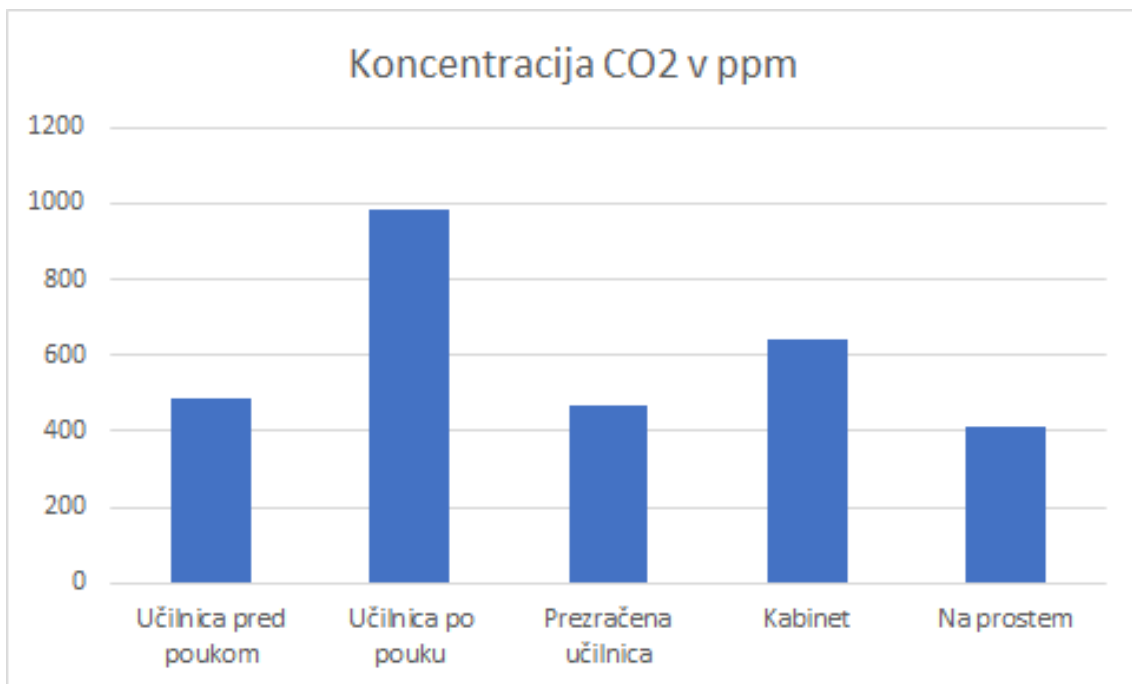
Slika 5: CO2 senzor



Slika 6: Povezan mikroračunalnik s CO₂ senzorjem

7 REZULTATI

Na sliki 7 so prikazani rezultati koncentracije delcev CO_2 v odvisnosti od prostora meritve. Pri merjenju smo dokazali, da je na prostem najmanj delcev CO_2 , malo več jih je v učilnici, ki je bila prezračena, v učilnici pred poukom jih je še malo več, v kabinetu jih je bistveno več, saj je manjši prostor. Največ delcev CO_2 je v učilnici, kjer so ravnokar zaključili s poukom in še ni bila prezračena.



Slika 7: Graf odvisnosti koncentracije delcev CO_2 v odvisnosti od prostora

V hipotezi 1 smo predvidevali, da bo več delcev CO_2 v učilnici pred poukom kot v prezračeni učilnici in manj delcev CO_2 kot v učilnici po pouku. To hipotezo smo obdržali, saj so naša predvidevanja potrdili rezultati meritev.

V hipotezi 2 smo predvidevali, da je v prezračeni učilnici najbližja količina delcev CO_2 tisti zunaj. To hipotezo smo obdržali, saj so naša predvidevanja potrdili rezultati meritev.

V hipotezi 3 smo predvidevali, da je v kabinetu približno enako delcev CO_2 kot v učilnici po pouku, saj je kabinet bistveno manjši. To hipotezo smo ovrgli, saj so nam meritve pokazale, da je v kabinetu za skoraj tretjino manj delcev CO_2 kot v učilnici po pouku.

8 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi smo merili prisotnost plina CO_2 v ozračju. Koncentracija tega plina se zaradi človekovih dejavnosti, kot so sežig fosilnih goriv, industrijska proizvodnja in uničevanje gozdov povečuje. Ugotovili smo, koliko CO_2 je prisotnega v prostorih, ki jih profesorji in dijaki dnevno uporabljamo. Vpliv CO_2 na počutje človeka je znan že od leta 1858, ko je Nmec Max von Pettenkoffer ugotovil, da se človek pri koncentraciji pod 0,1 % počuti udobno, pri koncentraciji nad 0,2 % pa neudobno, zato je v večini novih hiš in stanovanj prisoten poleg sensorja za toploto tudi senzor za CO_2 , ki je povezan z ventilacijo, ki se avtomatsko prižge, ko je v stanovanju prevelika koncentracija CO_2 [9]. Pri poskusu smo ugotovili, da z zračenjem prostorov najhitreje zmanjšamo prisotnost CO_2 . To smo dokazali z merjenjem v učilnici po pouku. Takrat je imela za 518 ppm več CO_2 kot učilnica, ki je bila prezračena. V eksperimentu nismo upoštevali višine, na kateri je bil senzor, temperature ali vlage. V prihodnje bi lahko bili tudi na te dejavnike bolj pozorni, ter bi primerjali natančnost različnih senzorjev CO_2 .

VIRI IN LITERATURA

- [1] https://www.youtube.com/watch?v=xT5-V_ebO3g (7.3.2025)
- [2] https://sensor1stop.com/knowledge/carbon-dioxide-levels/#google_vignette (10.3.2025)
- [3] Žerjal, A. (2020). *Neposredno zajemanje ogljikovega dioksida iz ozračja* [Diplomsko delo]. Repozitorij Univerze v Ljubljani. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=119648> (10.3.2025)
- [4] Neethirajan, S., Freund, M. S., Jayas, D. S., Shafai, C., Thomson, D. J., & White, N. D. G. (2010). Development of carbon dioxide (CO₂) sensor for grain quality monitoring. *Biosystems Engineering*, 106(4), 395–404. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.05.002>
- [5] <https://sl.winsen-sensor.com/knowledge/what-is-co2-sensor.html?utm.com> (6.3.2025)
- [6] <https://www.greelane.com/sl/znanost-tehnika-matematika/znanost/beers-law-definition-and-equation-608172> (7.3.2025)
- [7] <https://navody.drateg.cz/navody-k-produktum/detektor-oxidu-uhliciteho-mh-z19b.html?utm.com> (7.3.2025)
- [8] <https://sensor1stop.com/knowledge/carbon-dioxide-levels/> (9.3.2025)
- [9] <http://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4202104612.pdf> (9.3.2025)
- [10] https://wiki.dfrobot.com/CO2_Sensor_SKU_SEN0159 (10.3.2025)
- [11] <https://community.particle.io/t/sen0159-co2-sensor-spark-core-code/9999> (11.3.2025)
- [12] <https://www.schuettemetals.com/blog/onus-of-laser-oxide-scale>