

OSNOVNA ŠOLA GORICA VELENJE
Goriška cesta 48, 3320 Velenje
MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ SAŠA REGIJE

RAZISKOVALNA NALOGA
**IZDELAVA MERILNIKA IN MERJENJE OGLJIKOVEGA
DIOKSIDA V ŠOLSKIH PROSTORIH**

Tematsko področje: TEHNIKA

Avtorica:

Taja Sovič, 9. razred

Mentorja:

Peter Brglez, prof.

Anže Maj Blagus

Velenje, 2026

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Osnovni šoli Gorica Velenje.

Mentorja: Peter Brglez, prof., Anže Maj Blagus

Datum predavitve: 16.03.2026

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD OŠ Gorica Velenje, šolsko leto 2025/2026
- KG ogljikov dioksid/izdelava merilnika/co2 senzor
- AV SOVIČ, Taja
- SA BRGLEZ, Peter
- KZ 3320 Velenje, SLO, Goriška cesta 48
- ZA OŠ Gorica Velenje
- LI 2026
- IN **IZDELAVA MERILNIKA IN MERJENJE OGLJIKOVEGA DIOKSIDA V ŠOLSKIH PROSTORIH**
- TD Raziskovalna naloga
- OP XI, 38 str., 3 graf., 24 sl., 23 vir.
- IJ SL
- Jl sl / en
- AI Kakovost zraka v zaprtih prostorih ima pomemben vpliv na počutje, zbranost in zdravje ljudi. Eden najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo nanjo, je ogljikov dioksid (CO₂), ki je brezbarven plin in nastaja pri dihanju. V zaprtih prostorih se hitro kopiči, povišane vrednosti v zraku pa negativno vplivajo na učenje in splošno počutje, predvsem v učilnicah in bivalnih prostorih. V raziskovalni nalogi sem se ukvarjala z načrtovanjem in izdelavo naprave za merjenje vrednosti CO₂ v zraku. Cilj naloge je bil izdelati preprost brezžični in cenovno dostopen CO₂ merilec, ki omogoča učinkovito spremljanje kakovosti zraka. Najprej sem pregledala obstoječe naprave za merjenje kakovosti zraka, nato sem na podlagi tega izbrala ustrezne elektronske komponente, predvsem senzor za merjenje CO₂ in mikrokontroler ESP8266, ki omogoča povezavo z brezžičnim omrežjem Wi-Fi. V praktičnem delu sem povezala senzor na merilec z zaslonom in ga sprogramirala. Izdelani merilec omogoča sprotno spremljanje vrednosti CO₂ na računalniku preko Arduino Cloud. Napravo sem preizkusila v različnih učilnicah in ugotovila, da deluje zanesljivo ter je primerna za osnovno spremljanje kakovosti zraka.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND OŠ Gorica Velenje, school year 2025/2026
- CX carbon dioxide/co2 sensor
- AU SOVIČ, Taja
- AA BRGLEZ, Peter
- PP 3320 Velenje, SLO, Goriška cesta 48
- PB OŠ Gorica Velenje
- PY 2026
- TI **DESIGN OF A MEASURING DEVICE FOR INDOOR CARBON DIOXIDE MEASUREMENT IN SCHOOLS**
- DT Research work
- NO XI, 38 p., 3 graf., 24 fig., 23 ref.
- LA SL
- AL sl / en
- AB Indoor air quality has a significant impact on people's well-being, concentration, and health. One of the most important factors affecting it is carbon dioxide (CO₂), a colorless gas produced by human breathing. It accumulates quickly in enclosed spaces, and elevated levels in the air have a negative impact on learning and general well-being, especially in classrooms and living spaces. In my research project, I worked on designing and building a device for measuring CO₂ levels in the air. The aim of the project was to create a simple, wireless, and affordable CO₂ meter that enables effective monitoring of air quality. First, I reviewed existing devices for measuring air quality. Based on my research, I selected the appropriate electronic components, primarily a CO₂ sensor and an ESP8266 microcontroller that can connect to a network using Wi-Fi. After that, I assembled the circuit and connected the sensor. The meter I made enables real-time monitoring of CO₂ levels on a computer using Arduino Cloud. I tested the device in various classrooms and found that it works reliably and is suitable for basic air quality monitoring.

KAZALO VSEBINE

1. UVOD.....	1
1.1. HIPOTEZE.....	1
2. PREGLED OBJAV	2
2.1. CO ₂ IN LJUDJE.....	2
2.2. SENZORJI CO ₂	2
2.2.1. NEDISPERZIVNI INFRARDEČI SENZORJI.....	2
2.2.2. ELEKTROKEMIČNI PLINSKI SENZORJI	4
2.2.3. PLINSKI SENZORJI NA OSNOVI KOVINSKEGA OKSIDA	5
2.3. KALIBRACIJA IN VPLIV OKOLJA NA MERITVE	7
2.4. MIKROKRMILNIKI.....	9
2.4.1. ESP8266	10
2.4.2. ARDUINO UNO	11
2.5. Zaslon LCD1602.....	11
2.6. ARDUINO CLOUD	12
2.7. LASERSKI REZALNIK MECPOW X3 PRO 10W	13
2.7.1. BOXES.PY	14
2.7.2. LIGHTBURN	14
3. MATERIALI IN METODE DELA.....	16
3.1. OPIS METOD RAZISKOVANJA	16
3.1.1. METODA IZBIRE KOMPONENT	16
3.1.2. METODA NAČRTOVANJA VEZJA	16
3.1.3. METODA PROGRAMIRANJA MIKROKRMILNIKA.....	16
3.1.4. METODA TESTIRANJA NAPRAVE.....	16
3.1.5. METODA OBDELAVE IN PRIKAZA PODATKOV	17
3.2. IZBOR IN TESTIRANJE SESTAVNIH DELOV	17
3.3. TESTIRANJE ARDUINO CLOUD	20
3.4. IZDELAVA MERILNIKA.....	21
3.4.1. NAČRTOVANJE VEZJA	21
3.4.2. PROGRAMIRANJE MERILNIKA	22
3.4.3. IZDELAVA NAČRTA OHIŠJA.....	24
3.4.4. SESTAVLJANJE OHIŠJA.....	26
3.5. MERJENJE.....	27

3.5.1. MERJENJE V UČILNICI.....	27
3.6. OBDELAVA IZMERJENIH PODATKOV.....	28
4. REZULTATI IN DISKUSIJA.....	30
4.1. HIPOTEZA 1.....	30
4.2. HIPOTEZA 2.....	30
4.3. HIPOTEZA 3.....	30
4.4. HIPOTEZA 4.....	31
4.5. HIPOTEZA 5.....	32
5. ZAKLJUČEK.....	34
6. POVZETEK.....	35
7. SUMMARY.....	36
8. VIRI IN LITERATURA.....	37
ZAHVALA.....	39

KAZALO SLIK

Slika 1: Princip delovanja NDIR senzorja	3
Slika 2: SCD41 senzorji na različnih ploščah [7]	4
Slika 3: Elektrokemični plinski senzor	5
Slika 4: Senzor na podlagi kovinskega oksida	6
Slika 5: Senzor MQ135	7
Slika 6: Različni Arduino mikrokontrolerji [12]	9
Slika 7: Mikrokontroler ESP8266 [14]	10
Slika 8: Arduino Uno (Vir: lasten)	11
Slika 9: LCD1602 zaslon (Vir: lasten)	12
Slika 10: Laserski rezalnik Mecrow X3 pro 10W (Vir: lasten)	13
Slika 11: Spletna stran Boxes.py	14
Slika 12: LightBurn logo [23]	15
Slika 13: Koda kalibracije MQ135	17
Slika 14: Kalibracija senzorja MQ135	18
Slika 15: Koda za nastavljanje vrednosti okolja	19
Slika 16: Spletna stran Arduino Cloud, prikaz naprav	20
Slika 17: Shema vezja med SCD41 in ESP8266	21
Slika 18: Spajkanje senzorja SCD41 s priključki	22
Slika 19: Koda za povezavo med ESP8266 in SCD41	23
Slika 20: Načrt ohišja v LightBurn	25
Slika 21: Lasersko rezanje ohišja merilnika	25
Slika 22: Lepljenje ohišja merilnika	26
Slika 23: Prikaz zaščite senzorja pred soncem [6]	27
Slika 24: Arduino Cloud nadzorna plošča	28

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Relativna vlažnost	29
Graf 2: Primerjava vrednosti CO ₂ čez dan.....	32
Graf 3: Primerjava vrednosti CO ₂ od blizu	33

SEZNAM KRATIC

ppm - delci na milijon (angl. parts per million)

IoT - Internet stvari (angl. internet of things)

I²C - medintegrirano vezje (angl. inter-integrated circuit)

GND – ozemljiti (angl. ground)

SCL - ura (angl. serial clock line)

SDA - podatkovna linija (angl. serial data line)

GPIO - splošnonamenski vhodno-izhodni priključek (angl. general purpose input/output)

VIN - vhodna napetost (angl. voltage input)

TX - oddajanje podatkov (angl. transmit)

RX - sprejemanje podatkov (angl. receive)

UART - univerzalni asinhroni oddajnik in sprejemnik (angl. universal asynchronous receiver/transmitter)

SPI - serijski periferni vmesnik (angl. serial peripheral interface)

MOS - plinski senzorji na podlagi kovinskega oksida (angl. metal oxide semiconductor)

ASC – samodejna kalibracija (angl. automatic self calibration)

NDIR - nedisperzivni infrardeči senzor (angl. non-dispersive infrared)

CSV - besedilna datoteka z vrednostmi, ločenimi z vejico (angl. comma separated values).

1. UVOD

V sodobnem svetu je spremljanje kakovosti zraka vse pomembnejše, saj vpliva na zdravje in počutje ljudi [1]. En izmed plinov v notranjem zraku je ogljikov dioksid, ki nastaja pri dihanju ljudi in se v zaprtih prostorih hitro kopiči. S tem se povečuje tudi zanimanje za naprave, ki merijo koncentracijo CO₂ in omogočajo spremljanje kakovosti zraka.

Raziskovalna naloga se osredotoča na izdelavo merilca CO₂, ki bo meril koncentracijo plina in meritve posredoval brezžično preko interneta na računalnik. Namen naloge ni le izdelati delujočo napravo, temveč tudi pridobiti razumevanje elektronike, senzorjev in mikrokontrolerov, ki so uporabljeni pri takšnih merilnih sistemih.

1.1. HIPOTEZE

Pred začetkom raziskovanja sem si zadala naslednje hipoteze:

1. Kombinacija mikrokontroler ESP8266 z zaslonom in senzorja SCD41 je primerna za merjenje koncentracije CO₂ ter zajem in prikaz podatkov o kakovosti zraka.
2. Osnovnošolec je sposoben izdelati merilec koncentracije CO₂ z uporabo mikrokontroler ESP8266 in senzorja SCD41.
3. Arduino Cloud omogoča samodejno pošiljanje izmerjenih podatkov preko interneta ter njihovo spremljanje na daljavo.
4. Uporaba senzorja, ki omogoča samodejno in neprekinjeno beleženje meritev, bistveno poenostavi analizo kakovosti zraka v učilnicah ter omogoča bolj objektivno primerjavo podatkov.
5. Pri meritvah koncentracije CO₂ v učilnici je zaznavna razlika med vrednostmi na strani prostora ob oknu in na strani, ki je bolj oddaljena od okna, zaradi vpliva prezračevanja in kroženja zraka.

2. PREGLED OBJAV

V tem poglavju bom predstavila teoretične osnove, na katerih temelji raziskovalna naloga.

2.1. CO₂ IN LJUDJE

CO₂ je eden ključnih kazalnikov kakovosti zraka. Njegova vrednost je odvisna od števila oseb v prostoru, njihove aktivnosti ter načina prezračevanja. V zunanjem zraku znaša približno 0,04 %, v izdihanem zraku pa okoli 5 %, zato se lahko v prostorih brez ustreznega prezračevanja hitro poveča. Povišane vrednosti negativno vplivajo na počutje, zbranost in učno učinkovitost; priporočena koncentracija v zaprtih prostorih je pod 1000 ppm, saj višje vrednosti povzročajo utrujenost, občutek zadušljivosti in negativno vplivajo na zmožnost koncentriranja. [2]

2.2. SENZORJI CO₂

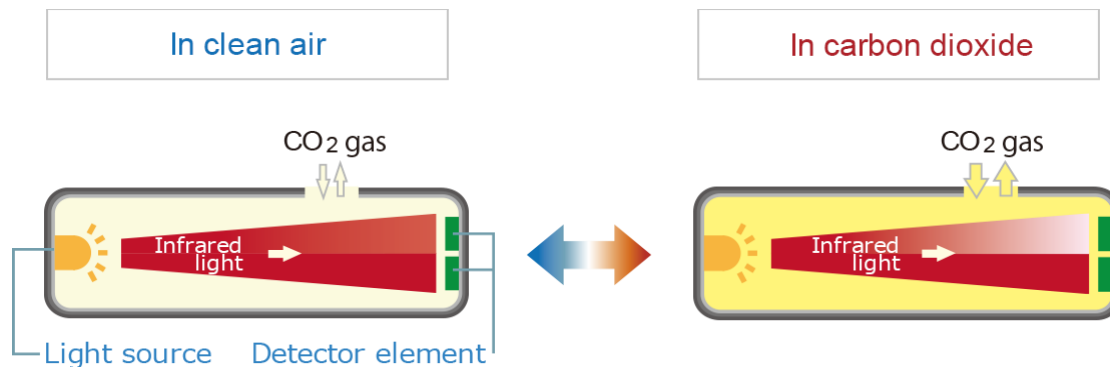
Merjenje koncentracije ogljikovega dioksida v zraku je možno izvajati s pomočjo elektronskih senzorjev, ki zaznavajo prisotnost plina in jo pretvorijo v električni signal.

2.2.1. NEDISPERZIVNI INFRARDEČI SENZORJI

Najpogosteje uporabljena tehnologija za merjenje CO₂ je tako imenovana NDIR. Ta metoda temelji na fizikalni lastnosti ogljikovega dioksida, da absorbira infrardečo svetlobo določene valovne dolžine. V praksi so zelo razširjeni, saj omogočajo natančne in stabilne meritve. Njihova prednost je tudi v tem, da so manj občutljivi na druge pline, zato ne reagirajo tako hitro na snovi, ki niso ogljikov dioksid [3].

V notranjosti NDIR senzorja se nahaja vir infrardeče svetlobe, ki oddaja žarke skozi majhno merilno komoro, napolnjeno z zrakom iz prostora. Molekule CO₂ del svetlobe absorbirajo, detektor na drugi strani komore pa zazna, kolikšen delež oddane svetlobe je do njega prišlo. Na podlagi razlike med oddano in prejeto svetlobo senzor izračuna

koncentracijo ogljikovega dioksida v zraku. Večja kot je koncentracija CO₂ v zraku, več svetlobe se absorbira in izračunana vrednost je višja [3].



Slika 1: Princip delovanja NDIR senzorja

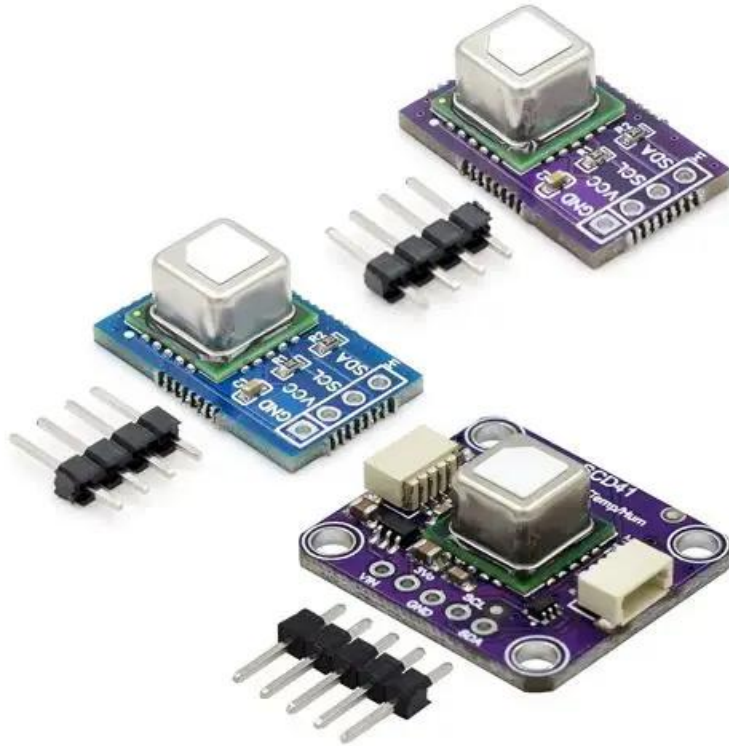
Slika 1 prikazuje princip delovanja NDIR senzorja. Na njej so dve shemi: na levi s čistim zrakom in na desni z zrakom, ki vsebuje višjo koncentracijo CO₂. V notranjosti senzorja vidimo vir infrardeče svetlobe, ki oddaja žarke skozi merilno komoro. V primeru čistega zraka svetloba prosto prehaja do detektorja, kar predstavlja referenčno stanje. Ko je v zraku prisoten CO₂, molekule plina absorbirajo del svetlobe določene valovne dolžine. Detektor zazna zmanjšano intenziteto svetlobe, senzor pa izračuna koncentracijo plina na podlagi razlike med oddano in prejeto svetlobo [3].

SCD41

SCD41 je digitalni senzor ogljikovega dioksida, ki ga proizvaja švicarsko podjetje Sensirion. Temelji na NDIR tehnologiji, poleg koncentracije CO₂ pa meri tudi relativno vlago v zraku in pa temperaturo. Njegovo merilno območje znaša od približno 400 ppm do 5000 ppm, kar pokriva običajne koncentracije v notranjih prostorih. Natančnost merjenja je $\pm(40 \text{ ppm} + 5 \% \text{ izmerjene vrednosti})$, odvisno od pogojev delovanja. Senzor podpira samodejno kalibracijo (ASC), ki dolgoročno izboljšuje stabilnost meritev [4].

Posebnost SCD41 je zelo nizka poraba energije, zaradi česar je primeren za baterijsko napajane naprave. Deluje pri napajalni napetosti od 2,4 V do 5,5 V in komunicira preko digitalnega vmesnika I²C (kar je komunikacijski protokol, za katerega sta potrebni samo

dve povezavi poleg napajanja). Senzor je tovarniško kalibriran, zato ne zahteva dodatne kalibracije pred prvo uporabo [5] [6].

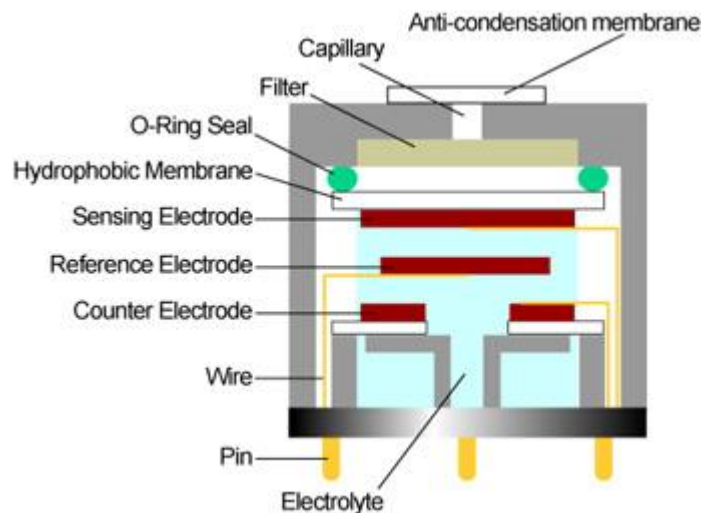


Slika 2: SCD41 senzori na različnih ploščah [7]

Na Slika 2 so prikazani senzori SCD41 na različnih ploščah, ki omogočajo različne načine uporabe sensorja.

2.2.2. ELEKTROKEMIČNI PLINSKI SENZORJI

Elektrokemični plinski senzori delujejo na osnovi kemijske reakcije plina z elektrodami v celici, kar povzroči električni signal, sorazmeren s koncentracijo plina.



Slika 3: Elektrokemični plinski senzor

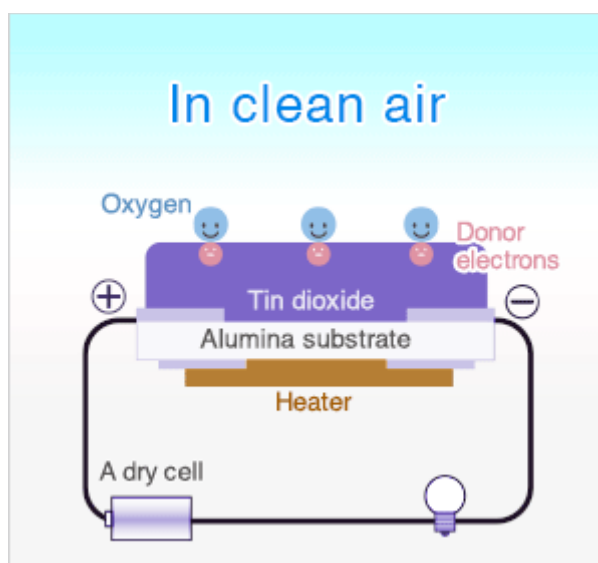
Slika 3 prikazuje elektrokemični plinski senzor, kjer zrak vstopi skozi membrano, ki prepušča plin. Za tem gre skozi zaščitne filtre do notranjosti senzorja. Notranjost senzorja sestavljajo zaznavna elektroda (angl. sensing electrode), protielektroda (angl. counter electrode) in referenčna elektroda (angl. reference electrode), ki je obdana z elektrolitom.

Ko molekule plina dosežejo zaznavno elektrodo, te oddajo ali sprejmejo elektrone. Elektroni tečejo skozi zunanji električni krog, tok pa poteka tudi med zaznavno elektrodo in protielektrodo v elektrolitu. Električni tok, ki ga senzor generira, je sorazmeren s koncentracijo plina - več plina kot je v zraku, večji je tok.

Takšni senzorje uporabljamo za merjenje nizkih koncentracij strupenih plinov v okolju, saj so občutljivi in natančni, obenem pa so zaradi principa delovanja stabilni za dolgoročno spremljanje [8].

2.2.3. PLINSKI SENZORJI NA OSNOVI KOVINSKEGA OKSIDA

Plinski senzorji na osnovi kovinskega oksida, z drugim imenom MOS, uporabijo polprevodniška materiala, običajno oksid kositra (SnO_2), ki deluje kot senzor plina, saj spremeni svojo električno upornost ob prisotnosti plina.



Slika 4: Senzor na podlagi kovinskega oksida

Slika 4 prikazuje senzor na podlagi aluminijevega oksida, prekrit s kositrovim dioksidom. Na površini se adsorbira kisik, ki veže proste elektrone iz materiala (označene kot “donor electrons”). Ta adsorpcija tvori plast, ki zmanjšuje prevodnost in omejuje pretok električnega toka skozi senzor, kar se kaže kot višja upornost v vezju. To elektronika pretvori v vrednost koncentracije plina. Več plina povzroči večjo upornost in torej višjo vrednost.

Grelec pod podlago vzdržuje optimalno temperaturo za delovanje senzorja, kar omogoča stabilno stanje, ne glede na zunanjo temperaturo, ki bi drugače vplivala na meritve.

Takšni MOS senzorji so uporabljeni za zaznavanje plinov v različne namene, na primer v varnostnih sistemih, industrijskih nadzornih napravah ali drugih merilnikih zraka. Omogočajo hitro odzivnost in so relativno poceni [3].

MQ135

MQ135 (Slika 5) je analogni senzor, namenjen zaznavanju različnih plinov, ki vplivajo na kakovost zraka. Zaznava ogljikov dioksid, amonijak, dušikove okside, benzen, alkohol in dim.



Slika 5: Senzor MQ135

Spada med plinske senzorje na podlagi kovinskega oksida. Merilno območje sensorja je odvisno od posameznega plina, za CO₂ pa velja območje od 10 do 1000 ppm, vendar senzor ni laboratorijsko natančen in zahteva kalibracijo. Natančnost je manjša kot pri NDIR senzorjih, saj je MQ135 občutljiv na več različnih plinov hkrati, kar onemogoča meritev samo CO₂. Na voljo je za nizko ceno in je široko dostopnost ter dobro dokumentiran v zvezi z ekosistemom Arduino. Uporaben je bolj za sisteme, kjer absolutna natančnost meritev ni ključnega pomena, torej bolj za približne meritve. V primerjavi z NDIR senzorji (npr. SCD41) je cenejši, vendar manj selektiven in manj natančen pri merjenju koncentracije CO₂ [9].

2.3. KALIBRACIJA IN VPLIV OKOLJA NA MERITVE

Da so meritve plinskih senzorjev zanesljive in natančne, mora biti senzor ustrezno kalibriran. Kalibracija pomeni, da meritve sensorja primerjamo z znanimi vrednostmi stanja koncentracije plina v zraku, kar omogoča pravilno pretvorbo signala v realno koncentracijo plina.

V profesionalnih laboratorijih je kalibracija postopek, ki vključuje namestitev sensorja v posebno kalibracijsko komoro, kjer je mogoče nadzorovano dovajati pline z natančno znanimi koncentracijami. Postopek običajno začnejo z ničelno kalibracijo, pri kateri senzor izpostavijo čistemu zraku, da nastavijo osnovno ničelno točko, kar pomaga odpraviti morebitne napake zaradi temperature ali drugih okoljskih vplivov. Sledi postopek kalibracije, ko senzor izpostavijo certificiranemu referenčnemu plinu z

določeno koncentracijo. Elektronski signal senzorja se med tem postopkom prilagodi tako, da se ujema s pričakovano vrednostjo, kar zagotavlja pravilno odzivanje na prisotnost plina. Za večjo natančnost se včasih izvaja tudi večtočkovna kalibracija, kjer se senzor izpostavi različnim koncentracijam na celotnem delovnem območju, kar omogoča natančnejšo kalibracijsko krivuljo in zagotavlja visoko sledljivost standardom [10].

Tudi doma je mogoče brez specializirane opreme izvesti enostavnejšo kalibracijo, kjer senzor izpostavimo zunanjemu zraku, pri čemer je koncentracija določenih plinov, na primer ogljikovega dioksida, približno znana (400–450 ppm). Na tej osnovi senzor nastavi ničelno točko in osnovno občutljivost. Če senzor ni pravilno kalibriran, lahko prikazuje previsoke ali prenizke vrednosti, kar vodi do napačnih meritev. Nekateri sodobni senzorji imajo samodejno kalibracijo, ki ob določenih pogojih ali časovnih intervalih prilagodi meritve brez uporabnikovega posega, medtem ko drugi zahtevajo ročni vnos referenčnih vrednosti ali povezavo z aplikacijo za nastavitve. Redna kalibracija pri senzorjih je pomembna, saj se ti sčasoma “odmaknejo” od prvotne nastavitve zaradi starosti ali okoljskih vplivov [10].

Na natančnost merjenja vplivajo tudi okoljski pogoji. Na primer, pri senzorju, ki temelji na NDIR tehnologiji, lahko temperatura in relativna vlažnost spremenita obnašanje infrardeče svetlobe v komori, prašni delci pa lahko motijo zaznavanje svetlobe.

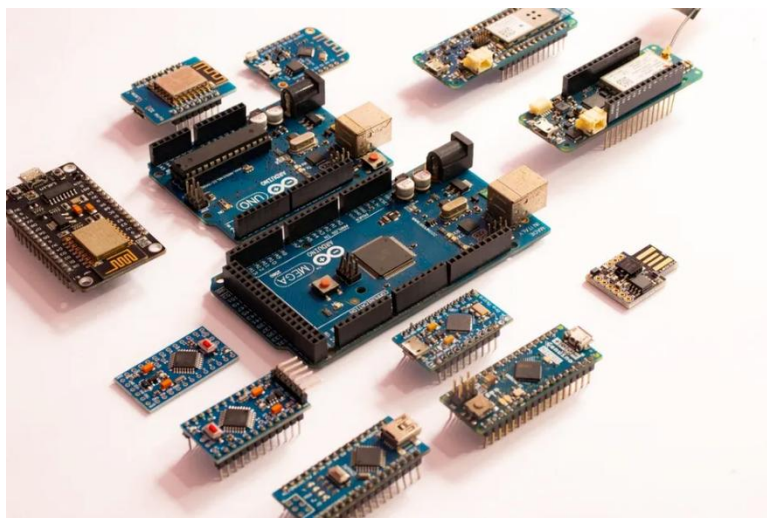
Tudi postavitve naprave je pomembna. Če je merilec nameščen neposredno ob oknu, radiatorju ali zelo blizu osebe, lahko zazna lokalne spremembe zraka in ne povprečne vrednosti prostora, zato mora biti nameščen približno na sredini prostora in na višini dihanja.

Vsak senzor ima določeno merilno napako, ki je podana kot toleranca, na primer ± 50 ppm. To pomeni, da izmerjena vrednost ni popolnoma enaka dejanski koncentraciji, vendar je razlika dovolj majhna, da lahko zanesljivo spremljamo spremembe skozi čas [3].

2.4. MIKROKRMILNIKI

Mikrokrmilnik je posebna vrsta elektronskega čipa, ki vsebuje vse komponente računalnika na enem samem elementu. Vsebuje procesor, notranji pomnilnik in različne vmesnike, ki omogočajo povezovanje z drugimi napravami, medtem ko so zunanje naprave, kot so tipke, motorji ali luči, lahko priključene nanj. Takšen čip omogoča avtomatizirano izvajanje različnih nalog in se uporablja v večini sodobnih elektronskih naprav, od mobilnih telefonov in televizorjev do gospodinjskih aparatov ter avtomobilov [11].

Najdemo jih lahko v številnih različnih izvedbah in zmogljivostih, ki se razlikujejo po velikosti pomnilnika, hitrosti delovanja in številu vmesnikov. Čeprav procesor v mikrokrmilniku običajno obdeluje podatke počasneje kot veliki računalniški procesorji, so zmogljivosti povsem zadostne za nadzor in merjenje v vsakdanjih aplikacijah, kot je zbiranje podatkov iz merilnikov [11].



Slika 6: Različni Arduino mikrokrmilniki [12]

Na Slika 6 je prikazanih več različnih Arduino plošč, ki temeljijo na mikrokrmilniku. Na njih so vidni digitalni in analogni vhodi/izhodi, USB priključek za programiranje in napajanje ter prostor za priključitev senzorjev in aktuatorjev. Takšna konfiguracija omogoča enostavno učenje, eksperimentiranje in uporabo mikrokrmilnikov v prazličnih aktivnih projektih.

2.4.1. ESP8266

ESP8266 je mikrokrmilnik, ki se lahko v nekaterih izvedbah poveže na brezžično omrežje in tako pošilja podatke na strežnik. Osnovna različica ESP8266 nima vgrajenega zaslona, a obstajajo razvojne plošče, ki vključujejo majhen OLED zaslon (približno 2,5 cm z ločljivostjo 128×64 pik). Zaslon porabi malo energije in med drugim tudi uporablja I²C komunikacijo za prenos podatkov kar omogoča takojšnji prikaz raznih podatkov neposredno na plošči [13] [14].



Slika 7: Mikrokrmilnik ESP8266 [14]

ESP8266 ima več vrst priključkov za vhod ali izhod (GPIO). To so različni digitalni priključki in en analogni, ki omogoča analogno merjenje napetosti. Digitalni priključki se uporabljajo za branje in zapis digitalnih signalov in so običajno označeni kot GPIO0 do GPIO16, odvisno od razvojne plošče. Poleg tega ima napajalne priključke (3V3, GND, VIN) za dovod električne energije ter komunikacijske priključke, kot so TX in RX za serijsko (UART) komunikacijo, ter priključke za I²C (SDA, SCL) in SPI komunikacijo. Vgrajen ima tudi Wi-Fi čip (802.11 b/g/n), ki omogoča brezžično povezavo v omrežje. [15]

ESP8266 je priljubljen predvsem zaradi nizke cene in enostavnega programiranja ker deluje tudi znotraj Arduino ekosistema, ki je namenjen učenju in raziskovanju. Kljub majhnosti omogoča dovolj procesorske moči za večino projektov.

2.4.2. ARDUINO UNO

Arduino Uno je ena najbolj priljubljenih razvojnih plošč, ki temelji na mikrokontrolniku ATmega328P. Plošča vsebuje digitalne in analogne vhode ter izhode, ki omogočajo povezovanje različnih senzorjev, LED diod, motorjev in drugih naprav [16].

Arduino Uno se programira preko programa Arduino IDE. Namenjen je začetnikom na področju elektronike in pa razvoju prototipnih projektov. Na spletu obstaja velika skupnost, ki omogoča enostavno iskanje informacij in pridobivanje pomoči v zvezi z izdelavo različnih projektov [16].

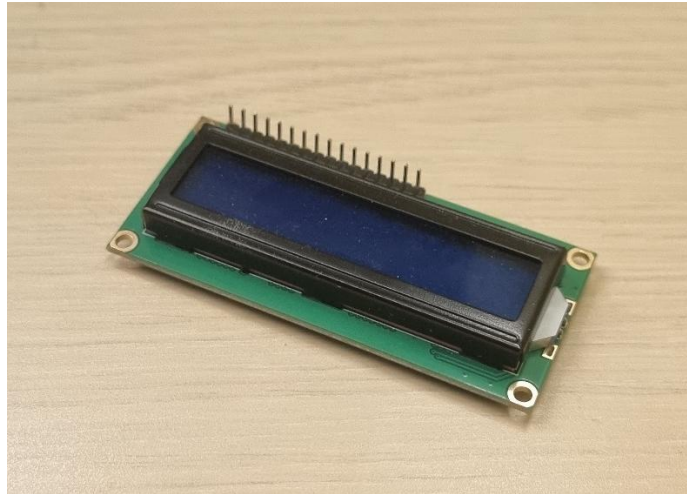


Slika 8: Arduino Uno (Vir: lasten)

2.5. ZASLON LCD1602

LCD1602 zaslon je LCD zaslon (zaslon s tekočimi kristali, angl. Liquid Crystal Display), ki omogoča prikaz 2 vrstic po 16 znakov, pri čemer je vsak znak sestavljen iz 5×8 pik, kar omogoča pregleden prikaz črk, števil in osnovnih simbolov. Na Slika 9 je prikazan LCD1602 zaslon. Zaslon uporablja HD44780 ali združljiv krmilnik ter podpira 4-bitni ali 8-bitni prenos podatkov, kar omogoča enostavno komunikacijo in upravljanje. [17]

Običajno Ee napaja z napetostjo 5 V, signalni priključki pa služijo prenosu podatkov, nadzoru in izbiri med ukazi ali podatki, kontrast pa se nastavlja s potenciometrom [18].



Slika 9: LCD1602 zaslon (Vir: lasten)

2.6. ARDUINO CLOUD

Arduino Cloud je spletna platforma, namenjena enostavnemu ustvarjanju, upravljanju in spremljanju projektov, povezanih z IoT. Omogoča povezavo mikrokrmilnikov in drugih naprav z internetom ter shranjevanje, vizualizacijo in nadzor podatkov preko spletnega vmesnika ali mobilne aplikacije. Platforma deluje na principu Cloud Variables, kar pomeni, da senzorji in naprave pošiljajo vrednosti ali različne podatke v oblak, kjer se ti samodejno sinhronizirajo, shranjujejo in lahko prikazujejo na raznovrstnih nadzornih ploščah (angl. dashboards). Uporabnik lahko takšne nadzorne plošče oblikuje s preprostim urejevalnikom, ne da bi moral programirati kompleksen sistem za prikaz podatkov. Platforma omogoča tudi shranjevanje zgodovine podatkov za nadaljno obdelavo, kar je posebej uporabno pri spremljanju dolgoročnih trendov [19] [20].

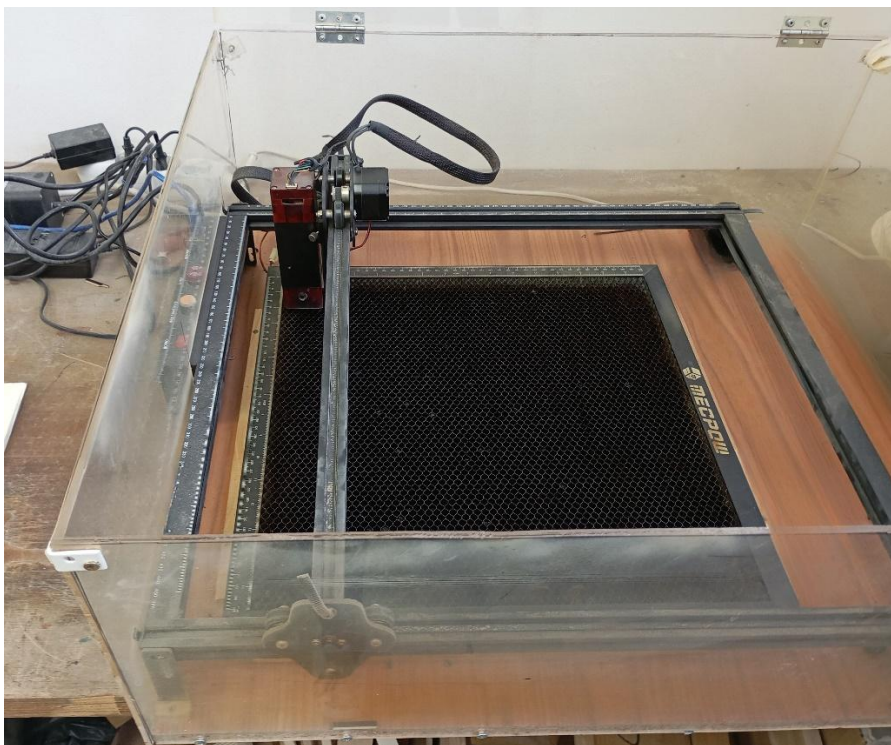
Poleg upravljanja podatkov Arduino Cloud podpira brezžične posodobitve programske opreme, kar omogoča, da se mikrokrmilnik programira in posodablja na daljavo, brez

fizične povezave s računalnikom preko kabla. Platforma je združljiva z različnimi mikrokrmilniki, vključno z Arduino ploščami z Wi-Fi-Fi povezljivostjo ter priljubljenimi in cenovno ugodnimi moduli, kot sta ESP8266 in ESP32. Zaradi enostavne integracije in

obstojećih knjižnic se Arduino Cloud pogosto uporablja za hitre prototipe, domače IoT projekte, pametne naprave za dom in učne projekte [20].

2.7. LASERSKI REZALNIK MECPOW X3 PRO 10W

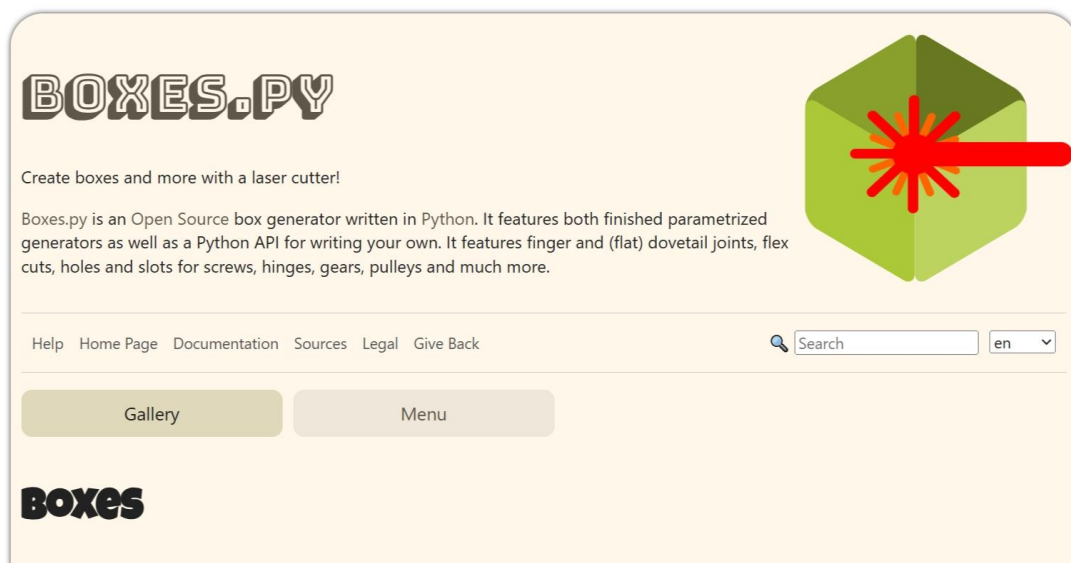
Laserski rezalnik Mecpow X3 Pro 10W (Slika 10) je kompaktna naprava za graviranje in rezanje različnih materialov, kot so les, akril, bambus, usnje, tekstil ali plastika. Opremljen je z 10 vatnim diodnim laserjem, ki ima natančnost graviranja do 0,01 mm, kar omogoča ustvarjanje vzorcev in napisov. Ima delovno površino 400×400 mm in omogoča do 1000 cm graviranja na minuto. Naprava vključuje varnostne funkcije, kot so zaščita za oči, senzor plamena, alarm pri nagibu ter stop gumb in ključavnico. Vgrajena črpalka odvaja dim in delce ter zagotavlja čiste reze. Rezalnik je združljiv s programsko opremo Laser GRBL in LightBurn, kar omogoča uvažanje slikovnih in vektorskih datotek ter nadzor nad graviranjem in rezanjem [21].



Slika 10: Laserski rezalnik Mecpow X3 pro 10W (Vir: lasten)

2.7.1. BOXES.PY

Boxes.py (Slika 11) je spletna stran za izdelavo načrtov škatel za lasersko rezanje. Omogoča izbiro vrste škatle in vnos mer (širine, višine in debeline materiala). Program nato ustvari načrt kot SVG datoteko, ki se lahko uporabi za rezanje lesa ali drugega materiala [22].



Slika 11: Spletna stran Boxes.py

2.7.2. LIGHTBURN

LightBurn (Slika 12) je specializirana programska oprema za laserske rezalnike in gravirne stroje, ki uporabniku omogoča načrtovanje, urejanje in neposredno upravljanje laserskih naprav. Omogoča uvoz grafičnih datotek kot so JPG, PNG in drugi formati, urejanje in oblikovanje objektov ter določanje parametrov laserskega rezanja ali graviranja, kot je moč, hitrost in vrstni red obdelave. LightBurn rezultat pošlje neposredno na rezalnik. Lightburn je mogoče uporabljati na več operacijskih sistemih, vključno z Windows, macOS in Linux [23].



Slika 12: LightBurn logo [23]

3. MATERIALI IN METODE DELA

V tem poglavju je predstavljen potek izdelave in načrtovanja merilnika in način izvedbe meritev v učilnici. Opisani so uporabljeni materiali, postopek sestave naprave, način programiranja mikrokrmilnika in metoda zbiranja ter obdelave izmerjenih podatkov.

3.1. OPIS METOD RAZISKOVANJA

Pri svoji raziskovalni nalogi sem se odločila uporabiti različne raziskovalne metode, da bi pridobila čim bolj natančne in koristne rezultate. V raziskavi sem uporabila pet glavnih metod dela, ki so mi pomagale pri zbiranju, analiziranju in obdelavi podatkov.

3.1.1. METODA IZBIRE KOMPONENT

Za izdelavo merilnikov sem najprej izbrala ustrezne elektronske komponente, predvsem SCD41 in mikrokrmilnik ESP8266, pri tem pa sem upoštevala predvsem njihovo uporabnost za merjenje in pošiljanje vrednosti prek Wi-Fi na računalnik. To mi je omogočilo začetek izdelave.

3.1.2. METODA NAČRTOVANJA VEZJA

Komponente sem povezala z žicami in jih spajkala. Pri tem sem pazila na pravilno povezavo, trdnost spojev in varnost delovanja. Ta metoda je bila ključna za izdelavo merilnikov.

3.1.3. METODA PROGRAMIRANJA MIKROKRMILNIKA

Mikrokrmilnik sem preko Arduino Clouda programirala za branje podatkov s senzorja in brezžičen prenos na računalnik. To je omogočilo sprotno spremljanje vrednosti ogljikovega dioksida, relativne vlažnosti in temperature.

3.1.4. METODA TESTIRANJA NAPRAVE

Izdelana merilnika sem preizkusila v učilnici. Pri tem sem bila pozorna na pravilno delovanje naprav in delovanje internetne povezave ter prenosa podatkov na računalnik.

3.1.5. METODA OBDELAVE IN PRIKAZA PODATKOV

Zbrane meritve ogljikovega dioksida, temperature in relativne vlažnosti, sem prenesla iz Arduino Cloud ter jih analizirala v programu Excel ter iz njih izdelala naredila grafe in tabele.

3.2. IZBOR IN TESTIRANJE SESTAVNIH DELOV

Za izdelavo naprave je bilo potrebno izbrati primeren senzor CO₂ in ustrezen mikrokrmilnik. V začetni fazi sem se odločila testirati in primerjati dva različna senzorja: MQ135 in SCD41. Oba senzorja sem preizkusila z uporabo mikrokrmilnika Arduino Uno, kar mi je omogočilo analizo njunega delovanja in lastnosti v enakih pogojih.

Prvo sem preizkusila MQ135. Kalibracijo senzorja sem izvedla tako, da sem najprej izmerila upornost pri izključenem senzorju (9.98 kΩ) in jo zapisala v kodo. Za tem sem, kot je prikazano na Slika 14, senzor izpostavila zunanjemu zraku za približno 4 ure. Po tem sem v kodo zapisala tudi referenčno vrednost, kar je bila upornost po tej kalibraciji, ki jo je senzor poročal (21.1 kΩ). Koda po kalibraciji je vidna na Slika 13.

```
1  #include "MQ135.h"
2
3  #define PIN_MQ135 A0 // Analogni pin, na katerem je senzor
4  #define RZERO 21.1 // Upornost na 400 ppm
5  #define RLOAD 9.98 // Izmerjena upornost med A0 in GND pri izključenem senzorju
6
7  MQ13T gasSensor(PIN_MQ135, RZERO, RLOAD);
8
```

Slika 13: Koda kalibracije MQ135



Slika 14: Kalibracija senzorja MQ135

Senzor SCD41 je bil že tovarniško kalibriran in za osnovno uporabo ni bila potrebna dodatna kalibracija. Če bi želela doseči še bolj natančne meritve, bi bilo priporočljivo izvesti dodatno kalibracijo v okolju in zraku, kjer se bodo meritve dejansko izvajale. Na rezultate meritev CO₂ vplivajo tudi okoljski dejavniki, kot so nadmorska višina in zračni tlak. Senzor omogoča nastavljanje teh parametrov v kodi, kar izboljša njegovo natančnost, ko so pravilno nastavljeni (Slika 15).

```
55  {
56      scd41.wakeUp();
57      scd41.stopPeriodicMeasurement();
58      scd41.reinit();
59
60      scd41.setSensorAltitude(400);
61      scd41.setAmbientPressure(101300);
62
63      scd41.startPeriodicMeasurement();
64  }
```

Slika 15: Koda za nastavljanje vrednosti okolja

Na podlagi primerjave principa delovanja, natančnosti meritev ter zahtevnosti kalibracije sem se odločila, da bom v nadaljevanju raziskovalne naloge uporabljala senzor SCD41, saj je primernejši za natančno merjenje koncentracije CO₂ v zaprtih prostorih in meri samo vrednosti CO₂ ne pa samo kakovosti zraka na podlagi prisotnosti različnih plinov.

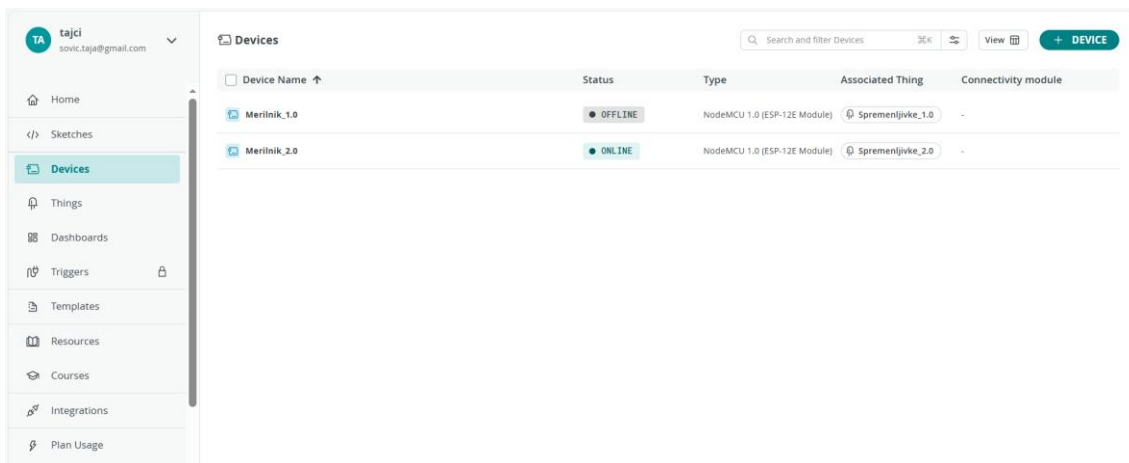
V začetni fazi sem za testiranje senzorjev uporabila Arduino Uno, saj je plošča enostavna za programiranje in omogoča hitro preverjanje delovanja komponent. Za vizualni prikaz meritev sem na Arduino Uno priključila LCD1602 zaslon (Slika 9). Najprej sem preverila delovanje s klasičnim primerom »Hello word!« (Slika 8), nato pa sem na zaslon prikazovala meritve CO₂, temperature in relativne vlažnosti iz senzorjev MQ135 in SCD41 v realnem času. Ta postopek je omogočil vizualno spremljanje podatkov med preizkusi in preverjanje pravilnosti meritev senzorjev.

Arduino Uno je sicer odličen za osnovne preizkuse in preproste naprave, ampak nima vgrajene Wi-Fi povezljivosti, kar omejuje možnosti za brezžično spremljanje in prikaz meritev v realnem času. Iz tega razloga sem za končno izvedbo merilnika izbrala ESP8266. Ta mikrokrmilnik namreč združuje dovolj procesorske moči za obdelavo podatkov in omogoča brezžični prenos podatkov prek Wi-Fi povezave na Arduino Cloud. To pa omogoča hkratno spremljanje, beleženje in vizualizacijo meritev, kar je bilo ključno za praktični del naloge.

Ker ESP8266 v osnovi na ploščo nima vgrajenega OLED zaslona, sem za namen neposrednega prikaza vrednosti CO₂, temperature in relativne vlage poiskala poseben model, ki ima zaslon že integriran na plošči.

3.3. TESTIRANJE ARDUINO CLOUD

Po izbiri mikrokrmilnika ESP8266 sem preizkusila še delovanje brezžičnega pošiljanja podatkov na Arduino Cloud. Najprej sem vzpostavila Wi-Fi povezavo ter v Arduino Cloudu ustvarila novo napravo (Slika 16) in spremenljivke za spremljanje koncentracije CO₂, temperature in relativne vlažnosti. V programu sem nato nastavila samodejno pošiljanje izmerjenih vrednosti v določenih časovnih intervalih.



Slika 16: Spletna stran Arduino Cloud, prikaz naprav

Med testiranjem sem spremljala, ali se podatki pravilno osvežujejo na nadzorni plošči (angl. dashboard) in ali prihaja do morebitnih zamikov ali prekinitev povezave. Ugotovila sem, da je prenos podatkov stabilen in konstanten, če je Wi-Fi signal dovolj močan, vrednosti pa so se v realnem času prikazovale tako v serijskem monitorju kot tudi na nazorni plošči v Arduino Cloudu.

S tem preizkusom sem potrdila, da sistem omogoča zanesljivo oddaljeno spremljanje meritev, kar predstavlja pomembno nadgradnjo v primerjavi z lokalnim prikazom na LCD zaslonu.

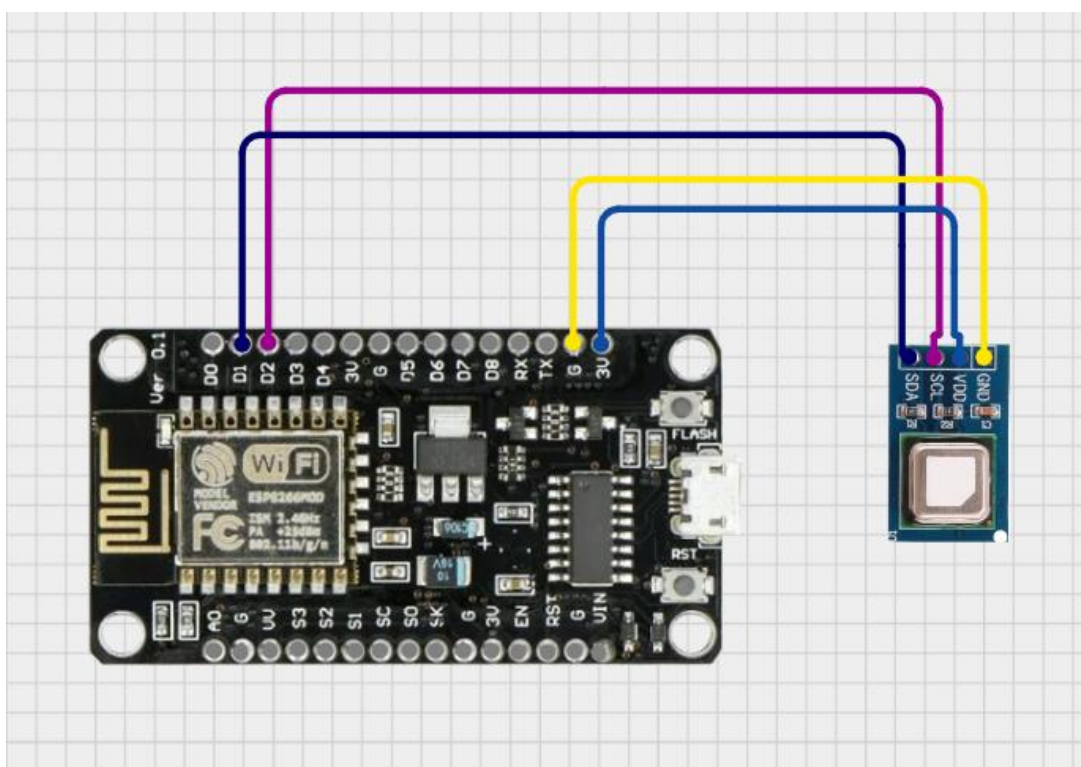
3.4. IZDELAVA MERILNIKA

V tem poglavju bom predstavila postopek načrtovanja in izdelave vezja, ohišja ter končne sestave merilne naprave.

3.4.1. NAČRTOVANJE VEZJA

Pri načrtovanju vezja sem najprej določila glavne komponente sistema. Ključna elementa sta bila mikrokrmilnik ESP8266 ter senzor SCD41 za merjenje koncentracije ogljikovega dioksida v zraku. Pomembno je bilo zagotoviti pravilno napajanje, ustrezno povezavo komunikacijskih priključkov ter ustrezno delovanje celotnega sistema.

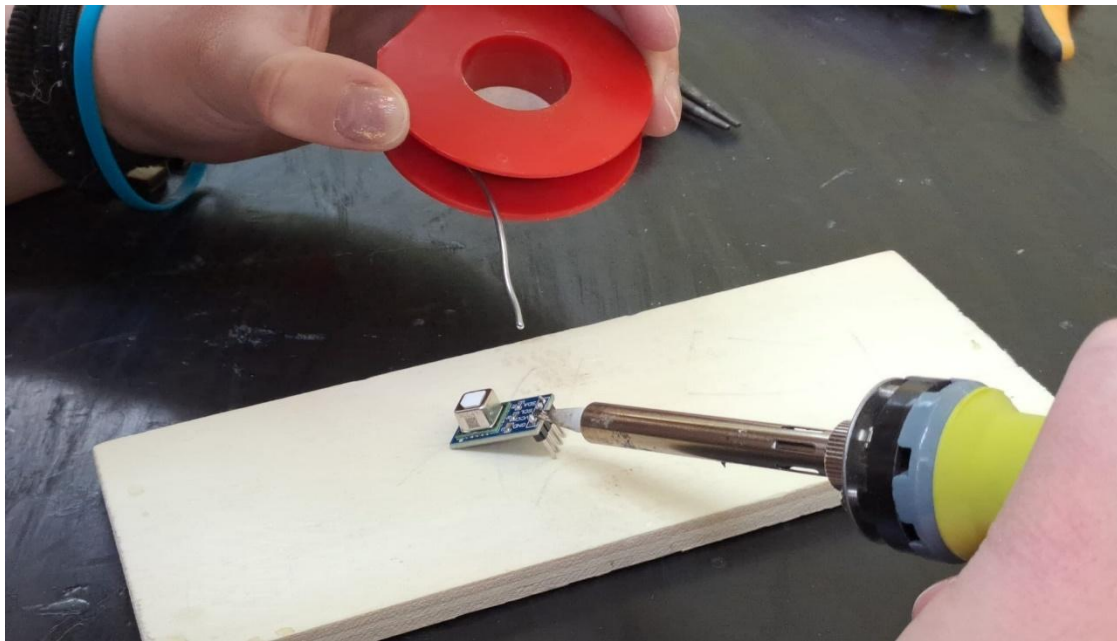
Najprej sem preučila tehnično dokumentacijo (angl. datasheet) obeh komponent in preverila napajalne napetosti ter komunikacijski protokol. Senzor SCD41 uporablja I²C komunikacijo, ki temelji na dveh linijah: SDA in SCL. Shemo sem narisala v programu Circuit Designer (Slika 17).



Slika 17: Shema vezja med SCD41 in ESP8266

Pri načrtovanju sem upoštevala tudi ustrezno napajanje. Mikrokrmilnik sem napajala preko USB-priključka, senzor pa preko ustreznega napajalnega priključka na razvojni ploščici (GND in 3,3V).

Pred končno sestavo sem vezje najprej preizkusila na poskusni ploščici (angl. breadboard), kjer sem preverila pravilnost povezav in delovanje programske kode. Po uspešnem testiranju sem priključke spajkala na senzor SCD41 (Slika 17) ter ga z žicami povezala z mikrokrmilnikom.



Slika 18: Spajkanje senzorja SCD41 s priključki

3.4.2. PROGRAMIRANJE MERILNIKA

Za merilnik je bilo potrebno napisati kodo, kompatibilno za Arduino Cloud. Združila sem kodo iz testiranja s kodo, ki jo ustvari Arduino Cloud.

Na Slika 19 je programska koda za testiranje povezave in prenosa podatkov med SCD41 in ESP8266 in omogoča komunikacijo med njima preko I²C vodila. Za njeno vzpostavitev sta uporabljeni sistemska knjižnica za I²C komunikacijo (wire.h) ter proizvajalčeva knjižnica (SensirionI2cScd4x.h), ki omogoča enostavno upravljanje merilnika.

```
1  #include <Wire.h>
2  #include <SensirionI2cScd4x.h>
3
4  SensirionI2cScd4x scd41;
5
6  static int16_t error;
7
8  void setup() {
9
10     Serial.begin(115200);
11
12     Wire.begin(5, 4); // SDA=D2(GPI04), SCL=D1(GPI05)
13
14     scd41.begin(Wire, SCD41_I2C_ADDR_62);
15
16     scd41.wakeUp();
17     scd41.stopPeriodicMeasurement();
18     scd41.reinit();
19
20     scd41.setSensorAltitude(400);
21
22     scd41.startPeriodicMeasurement();
23 }
24
25 void loop() {
26     bool dataReady = false;
27
28     unsigned int co2_read = 0;
29     float temp_read = 0;
30     float rh_read = 0;
31
32     error = scd41.getDataReadyStatus(dataReady);
33
34     if (error == 0 && dataReady) {
35         if (scd41.readMeasurement(co2_read, temp_read, rh_read) == 0) {
36             // prebrane vrednosti so v spremenljivkah co2_read, temp_read, rh_read
37         }
38     }
39 }
40
```

Slika 19: Koda za povezavo med ESP8266 in SCD41

V začetnem delu programa se ustvari objekt, preko katerega poteka komunikacija s senzorjem. V nastavitveni funkciji (setup) se določita komunikacijska priključka za I²C povezavo (SDA in SCL), nato pa se senzor inicializira na njegovem privzetem I²C naslovu 0x62. S tem mikrokrmilnik vzpostavi povezavo s senzorjem in pripravi sistem na izvajanje meritev.

Pred začetkom merjenja se senzor najprej prebudi, ustavi morebitne prejšnje meritve in ponovno inicializira. Ta postopek zagotavlja, da je senzor na začetku vedno v istem stanju. Nato se nastavi nadmorska višina (v tem primeru 400 m), kar je pomembno za izboljšanje natančnosti meritev CO₂, saj zračni tlak z nadmorsko višino vpliva na

koncentracijo plinov v zraku. Po končani konfiguraciji se zažene periodično merjenje, ki poteka samodejno v določenih časovnih intervalih (približno vsakih pet sekund).

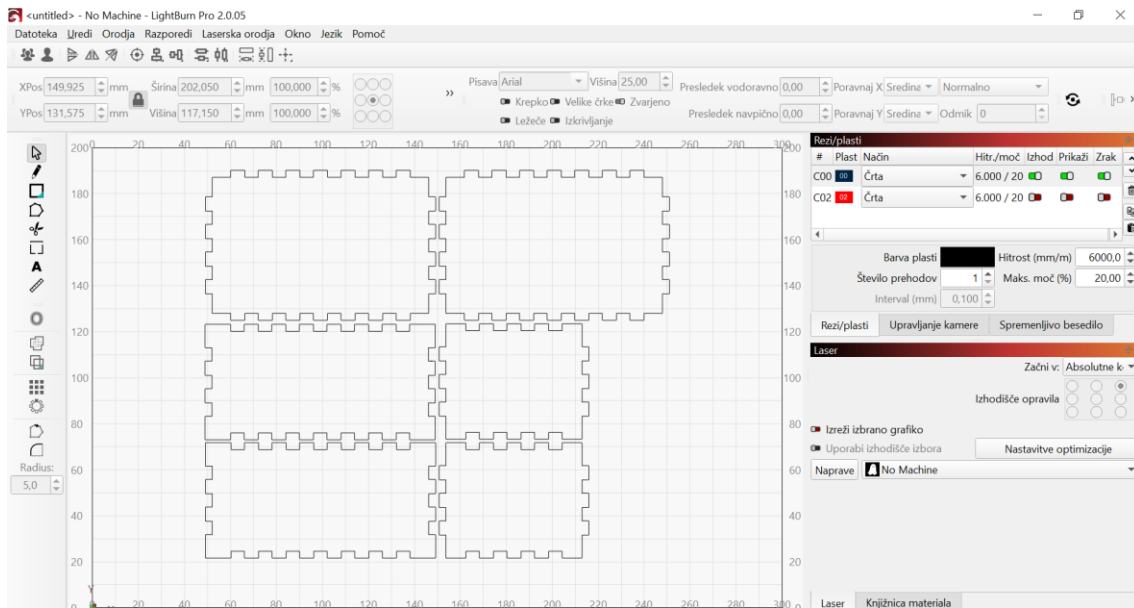
V glavni zanki programa se preverja, ali so novi merilni podatki že pripravljene. Ko senzor sporoči, da so podatki na voljo, mikrokrmilnik prebere izmerjene vrednosti koncentracije CO₂ (v ppm), temperature (v °C) in relativne zračne vlage (v %). Te vrednosti se nato prikažejo na ekran ter shranijo v spremenljivke, ki so potem avtomatsko poslane na Arduino Cloud (ta del je izpuščen v zgornji kodi zaradi jedrnatosti).

3.4.3. IZDELAVA NAČRTA OHIŠJA

Ohišje sem izdelala iz lesa s pomočjo laserskega rezalnika Mecpow X3 pro 10 W. Pri načrtovanju sem uporabila generator Boxes.py, s katerim sem določila vse parametre ohišja, kot so dimenzije, debelina materiala in tip zarez, za kar sem izbrala prstne spoje (angl. finger joint). Načrt ohišja sem nato izvozila v program LightBurn.

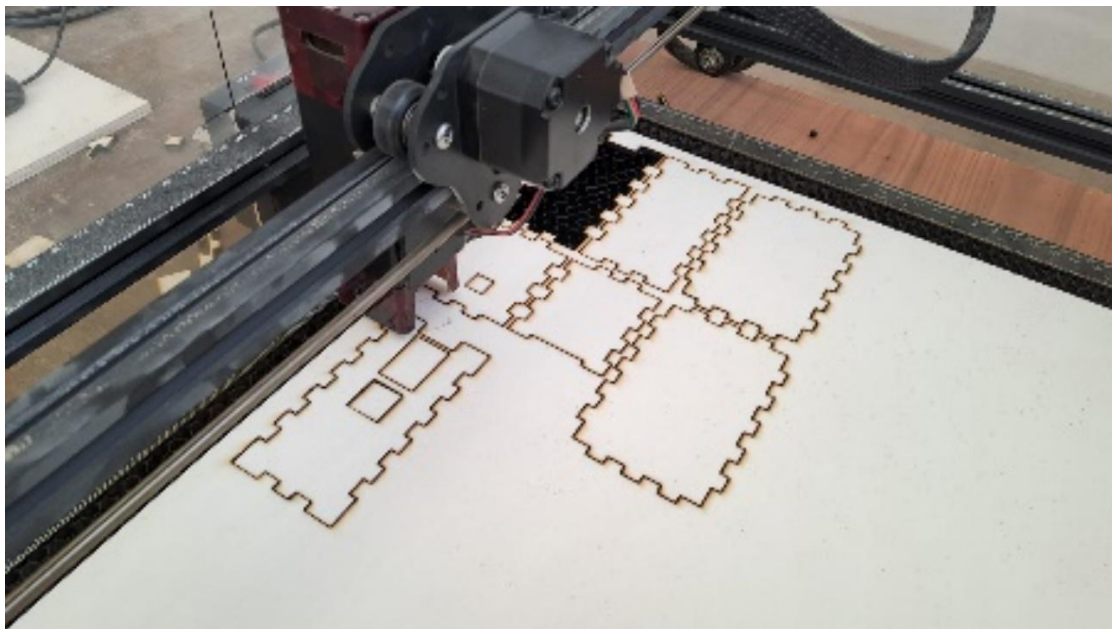
Na sprednjo stran ohišja sem v LightBurn dodala še luknjo za procesor z Wi-Fi čipom, luknjo za zaslon in luknjo skozi katero napajamo ESP8266 z kablom, ki vodi do prenosne baterije na vrhu merilnika. Na strani ohišja sem dodala še odprtino za senzor SCD41, postavljeno čim bolj stran od mikrokrmilnika, da njegovo segrevanje ne bi vplivalo na natančnost meritev temperature senzorja.

Na Slika 20 je prikazan načrt ohišja merilnika v LightBurn pred dodajanjem lukenj.



Slika 20: Načrt ohišja v LightBurn

Ko sem dele do konca izrisala, sem jih izrezala z laserskim rezalnikom (Slika 21) ter pripravila na sestavljanje in lepljenje.

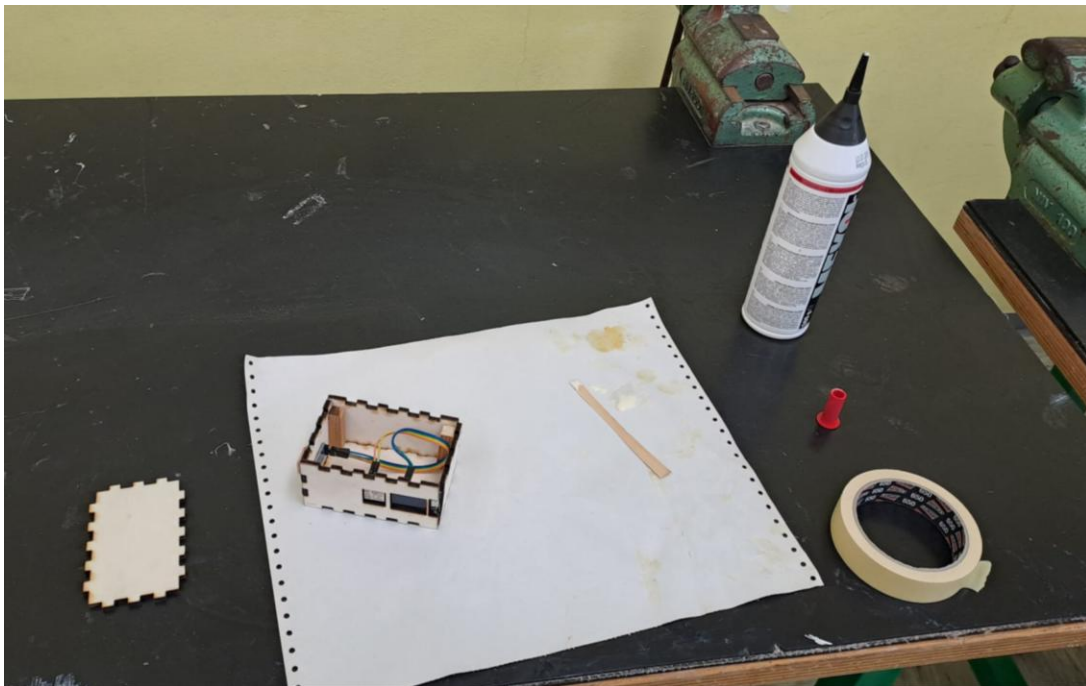


Slika 21: Lasersko rezanje ohišja merilnika

3.4.4. SESTAVLJANJE OHIŠJA

Mikrokrmilnik ESP8266 sem z vijaki in lesenimi podložkami pritrdila na notranjo stran ohišja, s čimer sem zagotovila stabilno namestitev ter preprečila neposreden stik z leseno površino. Senzor SCD41 sem na nasprotni strani merilnika pritrdila z manjšo količino vročega lepila, saj tak način omogoča dovolj trdno pritrditev, hkrati pa senzor ostane izpostavljen zraku za natančne meritve.

Posamezne dele ohišja sem po laserskem rezanju očistila in jih nato sestavila ter zalepila z lesnim lepilom (Slika 22). Ta postopek je zagotovil natančno prileganje vseh elementov ter stabilno in trdno konstrukcijo.



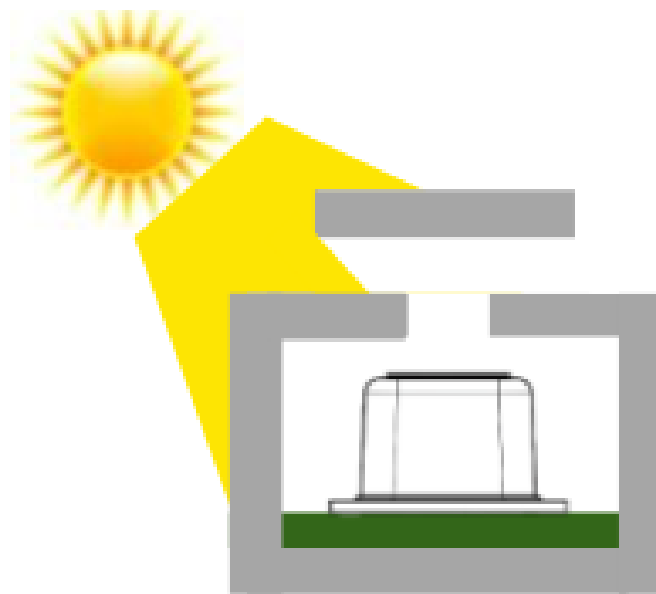
Slika 22: Lepljenje ohišja merilnika

Zadnje stranice nisem zalepila, temveč sem jo z dvema vijakoma pritrdila na preostali del ohišja. Na ta način je omogočeno enostavno odpiranje merilnika v primeru nepravilnosti ali potrebe po vzdrževanju.

Pri končani sestavi merilnika sem upoštevala tudi pogoje, ki lahko vplivajo na natančnost meritev. Senzor SCD41 ne sme biti neposredno izpostavljen sončni svetlobi, saj bi se

zaradi segrevanja lahko spremenile izmerjene vrednosti temperature in koncentracije CO₂. Neposredna sončna svetloba bi namreč povzročila dodatno segrevanje senzorja in s tem netočnost meritev. [6]

Iz tega razloga sem izdelala manjšo zaščito pred soncem iz lesa, oblikovano kot odprta škatlica brez dveh stranskih robov. Takšna zasnova omogoča nemoten pretok zraka do senzorja, hkrati pa ga ščiti pred neposrednim vplivom sončnih žarkov. Skica postavitve zaščite in senzorja je prikazana na Slika 23.



Slika 23: Prikaz zaščite senzorja pred soncem [6]

3.5. MERJENJE

Za konec je bilo potrebno izdelana merilnika še preizkusiti v praksi. V tem poglavju opisujem potek meritev, način postavitve naprav ter pogoje, v katerih je merjenje potekalo.

3.5.1. MERJENJE V UČILNICI

Meritve sem izvedla v sredo, 11.02.2026, med poukom v učilnici na OŠ Gorica Velenje. Za preizkus delovanja merilnikov sem uporabila oba: enega sem postavila približno en meter stran od okna, v višini pasu, drugega pa ob drugo steno učilnice, vzporedno z okni.

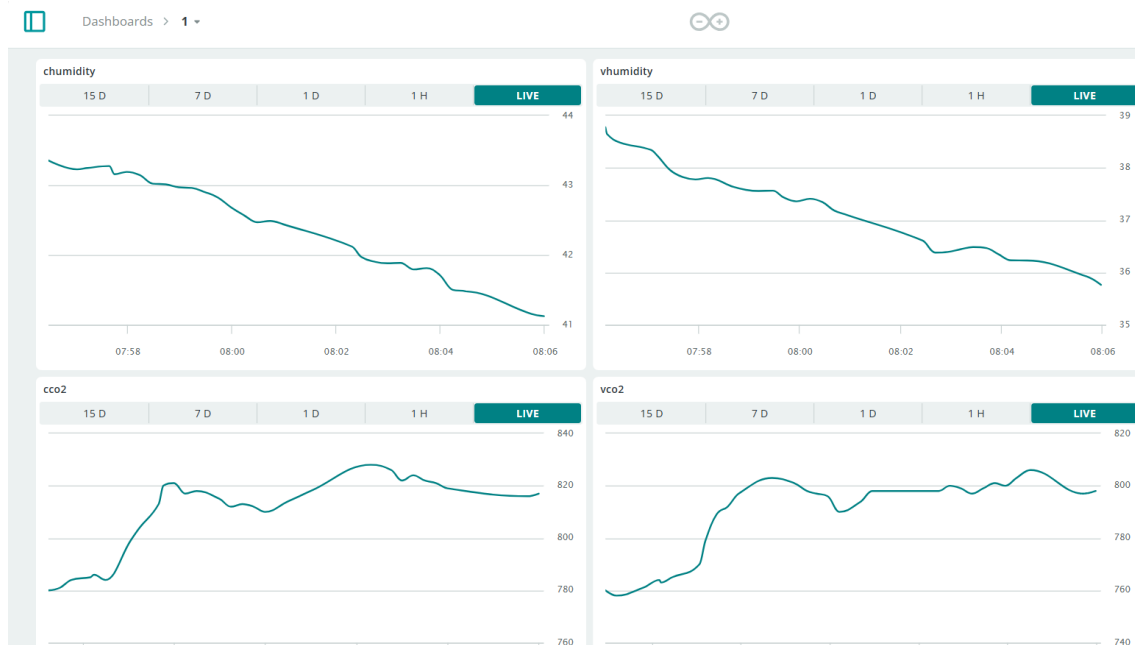
Namen merjenja ni bilo samo zbiranje podatkov o vrednostih CO₂, ampak predvsem testiranje pravilnega delovanja naprav v realnih pogojih, spremljanje odzivnosti senzorjev na spremembe zraka in primerjava, kako lokacija vpliva na izmerjene vrednosti.

Merilnika sta meritve izvajala samodejno v enakomernih časovnih intervalih. Pri tem sem spremljala način odpiranje oken in vpliv prezračevanja na vrednosti CO₂. Med 5 minutnimi odmori smo popolnoma odprli vsa štiri okna.

Zbrane meritve so bile po koncu seje izvožene za nadaljnjo obdelavo in vizualizacijo, kar je prikazano v naslednjem poglavju.

3.6. OBDELAVA IZMERJENIH PODATKOV

Po končanem merjenju sem zbrane podatke najprej pregledala na nadzorni plošči v Arduino Cloud (**Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**), kjer sem preverila, ali sta oba merilnika skozi celotno obdobje pravilno beležila vrednosti. Pozorna sem bila predvsem na časovni zapis meritev ter preverjanju če je prišlo do morebitnih prekinitev povezave ali nenavadnih odstopanj.

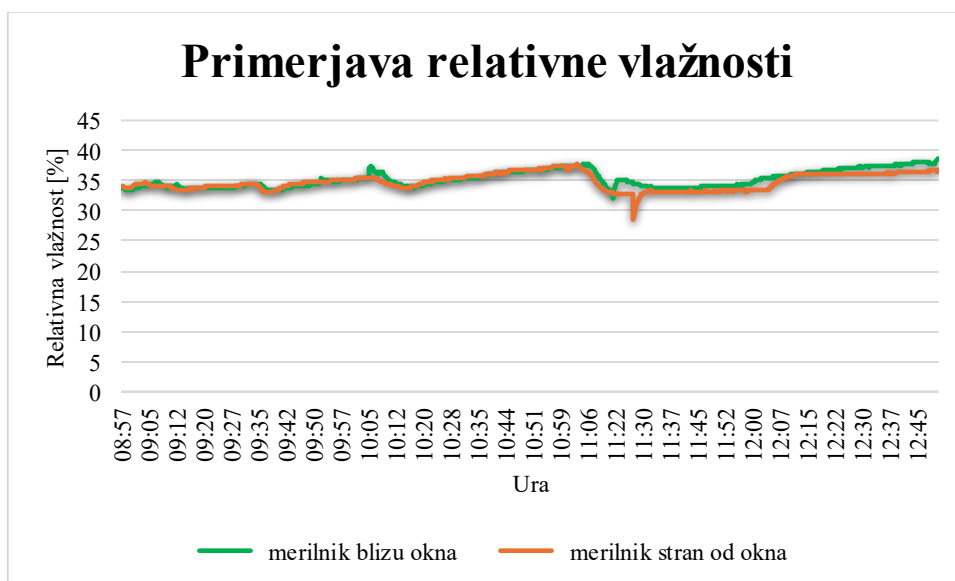


Slika 24: Arduino Cloud nadzorna plošča

Za nadaljnjo analizo sem podatke izvozila iz Arduino Cloud. V zavihku za pregled zgodovine podatkov (angl. data history) sem izbrala časovno obdobje merjenja ter uporabila možnost izvoza podatkov v obliki CSV datoteke. Ta datoteka omogoča enostaven uvoz podatkov za nadaljnjo obdelavo v različne programe.

Nato sem izvoženo datoteko odprla v programu Excel, kjer sem primerjala vrednosti obeh merilnikov ter analizirala gibanje vrednosti CO₂ skozi celoten čas merjenja. Posebej sem opazovala, kako hitro so vrednosti naraščale med poukom ter kako hitro so se znižale med odmori, ko so bila okna odprta. Primerjala sem tudi razlike med merilnikom, postavljenim ob oknu, in merilnikom, nameščenim bolj oddaljeno od vira prezračevanja.

Primer grafa, ki je nastal, vidimo na Graf 1.



Graf 1: Relativna vlažnost

Za prikaz rezultatov sem izdelala grafa, ki prikazujeta spreminjanje vrednosti CO₂ skozi čas. Grafični prikaz je omogočil lažjo primerjavo odziva zraka na prezračevanje ter boljše razlago rezultatov, katere bom predstavila v naslednjem poglavju.

4. REZULTATI IN DISKUSIJA

V nadaljevanju bom predstavila rezultate, dobljene tekom te raziskovalne naloge.

4.1. HIPOTEZA 1

Merilca, ki sem ju izdelala z mikrokrmilnikom ESP8266, zaslonom in senzorjem SCD41, sta omogočila stabilno merjenje koncentracije CO₂ ter zanesljivo beleženje in prikaz podatkov o kakovosti zraka. Pri izvajanju meritev nisem naletela na večje težave glede stabilnosti, naprava je delovala nemoteno, brez prekinitev povezave ali nenavadnih odstopanj v izmerjenih vrednostih.

Na podlagi teh rezultatov sem prvo hipotezo (Kombinacija mikrokrmilnika ESP8266 z zaslonom in senzorja SCD41 je primerna za merjenje koncentracije CO₂ ter zajem in prikaz podatkov o kakovosti zraka.) **potrdila**.

4.2. HIPOTEZA 2

Drugo hipotezo (Osnovnošolec je sposoben izdelati merilec koncentracije CO₂ z uporabo mikrokrmilnika ESP8266 in senzorja SCD41.) sem **potrdila**, saj sem sama, kot osnovnošolka, uspela izdelati merilec koncentracije CO₂ z uporabo mikrokrmilnika ESP8266 in senzorja SCD41. Napravo sem sestavila, spajkala povezave in programirala mikrokrmilnik ter vzpostavila brezžični prenos podatkov na Arduino Cloud, pri čemer sta mi mentorja nudila pomoč pri programiranju in nekaterih tehničnih delih izdelave. Celoten projekt je bil izvedljiv in sem se pri njem naučila osnovnih veščin sestavljanja merilnih naprav ter uporabe senzorjev, kar potrjuje, da je takšen projekt izvedljiv tudi za učence osnovne šole.

4.3. HIPOTEZA 3

Med testiranjem Arduino Cloud sem spremljala, kako so se izmerjene vrednosti CO₂, temperature in relativne vlažnosti samodejno pošiljale na nadzorno ploščo. Podatki so se osveževali sproti, brez opaznih zamikov ali prekinitev povezave, kar je omogočalo stalni pregled nad kakovostjo zraka v učilnici.

Vsaka sprememba meritev je bila vidna v realnem času tako v serijskem monitorju kot tudi na vizualni plošči v Arduino Cloudu, kar je omogočalo enostavno spremljanje in beleženje trendov skozi celoten čas merjenja.

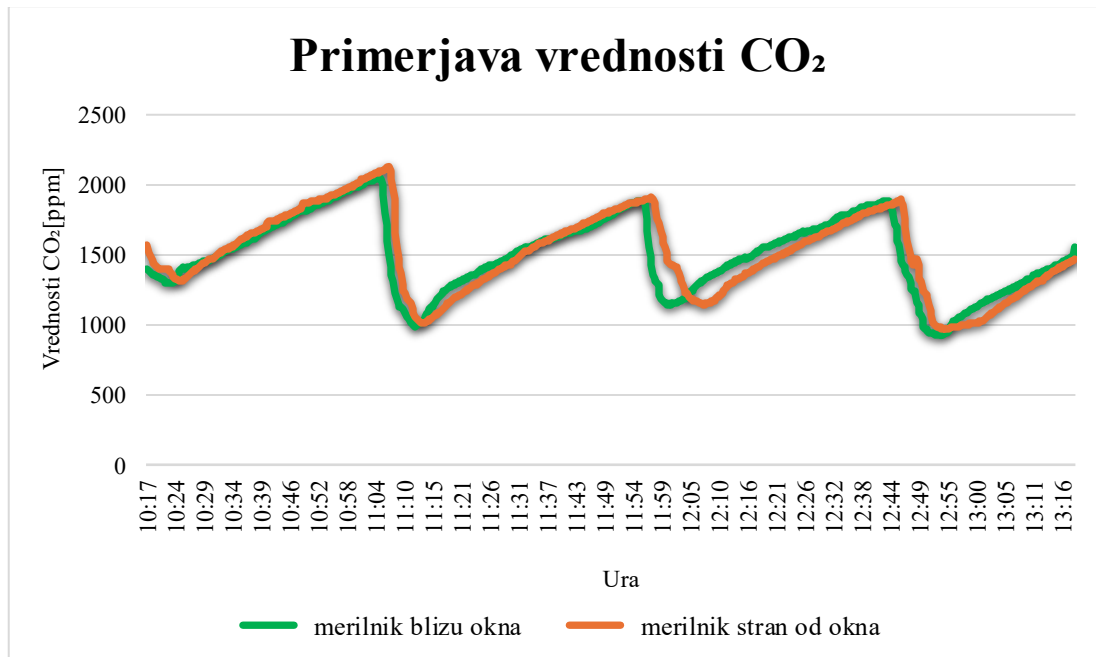
Na podlagi teh rezultatov sem tretjo hipotezo (Arduino Cloud omogoča samodejno pošiljanje izmerjenih podatkov preko interneta ter njihovo spremljanje na daljavo.) **potrdila**.

4.4. HIPOTEZA 4

Pri meritvah sem uporabila senzor SCD41, ki omogoča samodejno in neprekinjeno beleženje vrednosti CO₂, temperature in relativne vlažnosti zraka. Merilnik je podatke pošiljala v Arduino Cloud v rednih časovnih intervalih (na vsake 15 sekund), kar je omogočilo spremljanje sprememb koncentracije plina skozi cel dan pouka. S tem sem lahko opazovala, kako se vrednosti CO₂ spreminjajo ne da bi bilo potrebno vsakič ročno zapisovati meritve. Ta način beleženja je poenostavil obdelavo podatkov in omogočil pregledno primerjavo med različnimi časovnimi obdobji.

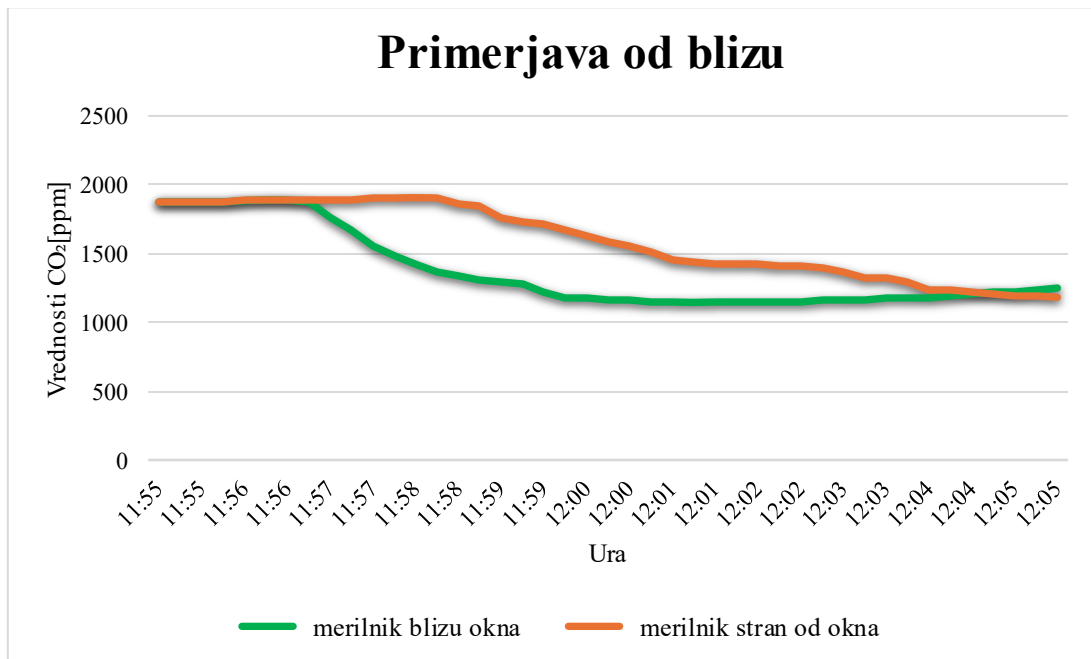
Na podlagi teh rezultatov sem četrto hipotezo (Uporaba senzorja, ki omogoča samodejno in neprekinjeno beleženje meritev, bistveno poenostavi analizo kakovosti zraka v učilnicah ter omogoča bolj objektivno primerjavo podatkov.) **potrdila**.

4.5. HIPOTEZA 5



Graf 2:Primerjava vrednosti CO₂ čez dan

Graf 2 prikazuje spremembe koncentracije CO₂ v večurnem obdobju med poukom za oba merilnika, enega ob oknu in drugega stran od okna. Vidimo, da se vrednosti na merilniku ob oknu po vsakem prezračevanju učilnice hitro znižajo, kar pomeni, da svež zrak hitro vpliva na ta del prostora. Nasprotno pa merilnik stran od okna beleži počasnejše zmanjševanje CO₂, kar kaže, da zrak na tej strani počasneje kroži in se koncentracija CO₂ počasneje uravnava.



Graf 3: Primerjava vrednosti CO₂ od blizu

Graf 3 prikazuje bolj podrobno primerjavo vrednosti v krajšem časovnem obdobju (10 minut) ter podrobneje prikazuje hitrost spremembe CO₂ v tem obdobju. Razlika med obema merilnikoma je še bolj vidna – merilnik ob oknu hitro beleži padec CO₂, medtem ko vrednosti na merilniku stran od okna padajo veliko počasneje. Graf jasno prikazuje vpliv prezračevanja in naravno kroženje zraka v prostoru, saj se učinek prezračevanja hitreje pozna pri kakovosti zraka ob oknu kot stran od njega.

Peto hipotezo (Pri meritvah koncentracije CO₂ v učilnici je zaznavna razlika med vrednostmi na strani prostora ob oknu in na strani, ki je bolj oddaljena od okna, zaradi vpliva prezračevanja in kroženja zraka.) sem torej **potrdila**.

5. ZAKLJUČEK

Ta raziskovalna naloga se je začela kot ideja že med izdelavo moje lanske raziskovalne naloge, ki se je osredotočala na metode zračenja učilnic v šoli. Pred začetkom izdelave nisem vedela nič o senzorjih, mikrokrmilnikih, programiranju teh, laserskih rezalnikih in njihovi uporabi, toda izziv se mi je zdel zanimiv. Skozi izdelavo sem s podporo mentorje v pridobila dovolj znanja na vseh teh področjih, da mi je na uspelo izdelati dva merilca, ki sta uporabna za merjenje ne samo kokoncentracije ogljikovega dioksida v zraku temveč tudi temperature ter relativne vlažnosti. Ob prvih prototipih se je vedno bolj pokazala vsakodnevna uporabnost izdelka, kar na nek način kaže na uspešnost te raziskovalne naloge.

Konec te raziskovalne naloge pa ne pomeni konec izdelave merilcev, saj si želim nadgraditi obstoječa merilca tako, da baterija vgrajena v ohišje in pa izdelati še kak dodaten merilec, saj se je izkazalo da je v družini in širše nekaj interesa za njihovo uporabo.

6. POVZETEK

Kakovost zraka v zaprtih prostorih ima pomemben vpliv na počutje, zbranost in zdravje ljudi. Eden najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo nanjo, je ogljikov dioksid (CO₂), ki je brezbarven plin in nastaja pri dihanju. V zaprtih prostorih se hitro kopiči, povišane vrednosti v zraku pa negativno vplivajo na učenje in splošno počutje, predvsem v učilnicah in bivalnih prostorih.

V raziskovalni nalogi sem se ukvarjala z načrtovanjem in izdelavo naprave za merjenje vrednosti CO₂ v zraku. Cilj naloge je bil izdelati preprost brezžični in cenovno dostopen CO₂ merilec, ki omogoča učinkovito spremljanje kakovosti zraka. Najprej sem pregledala obstoječe naprave za merjenje kakovosti zraka, nato sem na podlagi tega izbrala ustrezne elektronske komponente, predvsem senzor za merjenje CO₂ in mikrokontroler ESP8266, ki omogoča povezavo z brezžičnim omrežjem Wi-Fi.

V praktičnem delu sem povezala senzor na merilec z zaslonom in ga sprogramirala. Izdelani merilec omogoča sprotno spremljanje vrednosti CO₂ na računalniku preko Arduino Cloud. Napravo sem preizkusila v različnih učilnicah in ugotovila, da deluje zanesljivo ter je primerna za osnovno spremljanje kakovosti zraka.

7. SUMMARY

Indoor air quality has a significant impact on people's well-being, concentration, and health. One of the most important factors affecting it is carbon dioxide (CO₂), a colorless gas produced by human breathing. It accumulates quickly in enclosed spaces, and elevated levels in the air have a negative impact on learning and general well-being, especially in classrooms and living spaces.

In my research project, I worked on designing and building a device for measuring CO₂ levels in the air. The aim of the project was to create a simple, wireless, and affordable CO₂ meter that enables effective monitoring of air quality. First, I reviewed existing devices for measuring air quality. Based on my research, I selected the appropriate electronic components, primarily a CO₂ sensor and an ESP8266 microcontroller that can connect to a network using Wi-Fi.

After that, I assembled the circuit and connected the sensor. The meter enables real-time monitoring of CO₂ levels on a computer using Arduino Cloud. I tested the device in various classrooms and found that it works reliably and is suitable for basic air quality monitoring.

8. VIRI IN LITERATURA

- [1] GOV.SI, „Zrak,“ [Elektronski]. Available: <https://www.gov.si/podrocja/okolje-in-prostor/okolje/zrak/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [2] T. Sovič, „Merjenje ogljikovega dioksida v notranjih prostorih,“ 2025.
- [3] F. engineering, „Technology,“ [Elektronski]. Available: <https://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [4] Sensirion, „SCD4x Data Sheet,“ [Elektronski]. Available: https://sensirion.com/media/documents/E0F04247/631EF271/CD_DS_SCD40_SCD41_Datasheet_D1.pdf. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [5] „SCD40, SCD41 Sensors“.
- [6] Sensirion, „SCD4x Design Guide,“ [Elektronski]. Available: https://sensirion.com/media/documents/0D0C9129/623B1183/Sensirion_CO2_Sensors_SCD4x_design-in_guide.pdf. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [7] Aliexpress, „SCD41 product image,“ [Elektronski]. Available: <https://www.aliexpress.com/item/1005007039565950.html>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [8] Membrapor, „Electrochemical gas sensors,“ [Elektronski]. Available: <https://www.membrapor.ch/en/electrochemical-gas-sensors/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [9] Olimex, „MQ135 Datasheet,“ [Elektronski]. Available: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [10] Alicat, „Gas Sensor Calibration,“ [Elektronski]. Available: <https://www.alicat.com/articles/gas-sensor-calibration/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [11] Infineon, „What is a microcontroller?,“ [Elektronski]. Available: <https://www.infineon.com/technology/what-is-microcontroller>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [12] „Types of Arduino Boards Explained,“ [Elektronski]. Available: <https://www.globalwellpcb.com/types-of-arduino-boards/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].

-
- [13] Espressif, „ESP8266,“ [Elektronski]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [14] Hobbyelectronica, „Display, ESP8266 with OLED,“ [Elektronski]. Available: <https://www.hobbyelectronica.nl/en/product/nodemcu-esp8266-bord-met-oled-display/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [15] „NodemCU pinout,“ [Elektronski]. Available: <https://www.etechnophiles.com/nodemcu-esp8266-pinout-specs-board-layout/>. [Poskus dostopa 18 02 2026].
- [16] Arduino, „Arduino Uno,“ [Elektronski]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [17] Arduino, „LCDs with Arduino,“ [Elektronski]. Available: <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/lcd-displays/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [18] Sparkfun, „Light,“ [Elektronski]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/light>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [19] TME, „Arduino Cloud - What is it and how to get started?,“ [Elektronski]. Available: <https://www.tme.com/in/en/news/library-articles/page/73296/arduino-cloud-what-is-it-and-how-to-get-started-examples-features-iot-integrations/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [20] Arduino, „Arduino Cloud,“ [Elektronski]. Available: <https://cloud.arduino.cc/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [21] Mecpow, „Mecpow X3 pro 10W,“ [Elektronski]. Available: <https://mecpow.com/products/mecpow-x3-pro-10w-laser-engraver>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [22] Hackaday, „Boxes.py,“ [Elektronski]. Available: <https://boxes.hackerspace-bamberg.de/>. [Poskus dostopa 18 2 2026].
- [23] Lightburn, „What is Lightburn?,“ [Elektronski]. Available: <https://docs.lightburnsoftware.com/legacy/WhatIsLightBurn>. [Poskus dostopa 18 2 2026].

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi raziskovalne naloge se zahvaljujem:

- mentorju g. Petru Brglezu za znanje in podporo pri izdelavi ohišja in sestavi merilca,
- mentorju Anžetu Maju Blagusu za znanje in podporo pri tehničnem delu raziskovalne naloge,
- družini za vso podporo in ideje pri izdelavi raziskovalne naloge.