

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

RAZISKOVALNA NALOGA
MERJENJE OGLJIKOVEGA DIOKSIDA V NOTRANJIH PROSTORIH

Tematsko področje: FIZIKA

Avtorica:

Taja Sovič, 8. razred

Mentor:

Peter Brglez, prof.

Velenje, 2025

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Osnovni šoli Gorica Velenje.

Mentor: Peter Brglez, prof.

Datum predstavitve: 12. 3. 2025

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD OŠ Gorica Velenje, šolsko leto 2024/2025

KG merjenje/ogljikov dioksid/prezračevanje

AV SOVIČ, Taja

SA BRGLEZ, Peter

KZ 3320 Velenje, SLO, Goriška cesta 48

ZA OŠ Gorica Velenje

LI 2025

IN **MERJENJE OGLJIKOVEGA DIOKSIDA V NOTRANJIH PROSTORIH**

TD Raziskovalna naloga

OP XI, 33 str., 4 pregl., 6 graf., 15 sl., 0 pril., 26 vir.

IJ SL

JI sl / en

AI Ogljikov dioksid (v nadaljevanju CO₂) je brezbarven plin, ki je v majhnih količinah prisoten v Zemljinem ozračju. V notranjih prostorih pa lahko koncentracije CO₂ nad 1300 ppm negativno vplivajo na zdravje in počutje ljudi. Večina osnovnih šol v Sloveniji nima aktivnega prezračevalnega sistema, zato učilnice običajno zračijo z odpiranjem oken med odmori, kar velja tudi za našo šolo. Vendar se pojavljajo vprašanja, kdaj in kako pogosto je treba prostor prezračiti, da bi ohranili svež zrak v učilnici. V tej raziskovalni nalogi so bile opravljene meritve vrednosti CO₂ z namenom ugotoviti, kateri način prezračevanja je najučinkovitejši za zagotavljanje dobre kakovosti zraka. Prezračevali smo na tri različne načine: prezračevanje samo med odmori s popolnoma odprtimi okni, prezračevanje ves čas med poukom in med odmori z zgoraj priprtimi okni, prezračevanje med odmori in enkrat med uro za 5 minut s popolnoma odprtimi okni. Meritve so bile izvedene ob torkih s preprostim merilcem CO₂, vrednosti pa so bile vsakih 5 minut zapisane v tabelo. Podatki so bili nato preneseni v računalniški program za analizo. Rezultati so pokazali, da je najboljši način prezračevanja s popolnoma odprtimi okni med odmori in enkrat med uro za 5 minut, saj je bila pri tej metodi povprečna vrednost CO₂ najnižja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND OŠ Gorica Velenje, šolsko leto 2024/2025

CX measurement/carbon dioxide/ventilation

AU SOVIČ, Taja

AA BRGLEZ, Peter

PP 3320 Velenje, SLO, Goriška cesta 48

PB OŠ Gorica Velenje

PY 2025

TI **INDOOR CARBON DIOXIDE MEASUREMENT**

DT Research work

NO XI, 33 p., 4 tab., 6 graf., 15 fig., 0 ann., 26 ref.

LA sl

AL sl / en

AB Carbon dioxide (CO₂) is a colorless gas present in small amounts in the Earth's atmosphere. High CO₂ concentrations indoors can harm humans, particularly when levels exceed 1300 ppm, which can impact wellbeing. Most elementary schools in Slovenia lack an active ventilation system, so classrooms are ventilated by opening windows during breaks, including our school. This raises questions about when and how long to ventilate the room to maintain fresh air.

In my research, I measured CO₂ levels in the classroom to determine which ventilation method is most effective for ensuring good air quality. I tested three ventilation methods: windows open only during breaks, windows slightly open at all times, windows open during breaks and once during class.

I used a CO₂ meter to record measurements every 5 minutes and analyzed the data with a computer program. The results showed that the most effective method was to open windows fully during breaks and once during class for 5 minutes, as this kept CO₂ levels the lowest.

KAZALO VSEBINE

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. HIPOTEZE | 2 |
| 2. PREGLED OBJAV | 3 |
| 2.1. KAKOVOST ZRAKA..... | 3 |
| 2.2. PREZRAČEVANJE | 4 |
| 2.2.1. NARAVNO PREZRAČEVANJE | 4 |
| 2.2.2. MEHANSKO ALI AKTIVNO PREZRAČEVANJE..... | 4 |
| 2.3. OGLJIKOV DIOKSID | 5 |
| 2.4. STANDARDI KAKOVOSTI ZRAKA | 6 |
| 2.4.1. STANDARD ANSI/ASHARAE 62.1 | 7 |
| 2.4.2. NACIONALNA ZAKONODAJA | 8 |
| 2.5. OBSTOJEČE RAZISKAVE..... | 9 |
| 2.5.1. VPLIV KONCENTRACIJE CO ₂ NA ODLOČANJE LJUDI | 9 |
| 2.5.2. VPLIV CO ₂ NA AKTIVNOSTI UČENCEV V RAZREDU | 9 |
| 2.5.3. VPLIV KONCENTRACIJE CO ₂ NA PRISOTNOST PRI POUKU | 10 |
| 2.6. FAKTORJI VPLIVA NA VREDNOST CO ₂ | 10 |
| 2.6.1. PREZRAČEVANJE | 11 |
| 2.6.2. ZUNANJI POGOJI | 11 |
| 2.6.3. LJUDJE V PROSTORU..... | 11 |
| 2.6.4. PROSTOR | 11 |
| 3. MATERIALI IN METODE DE LA | 12 |
| 3.1. OPIS METOD RAZISKOVANJA | 12 |
| 3.1.1. METODA MERJENJA VREDNOSTI CO ₂ | 12 |
| 3.1.2. METODA OBDELAVE PODATKOV | 12 |
| 3.2. MERILEC | 12 |

| | | |
|--------|--------------------------------|----|
| 3.2.1. | POSKUS ODZIVNOSTI MERILCA..... | 14 |
| 3.3. | IZVAJANJE MERITEV | 15 |
| 3.3.1. | OKOLIŠČINE | 16 |
| 3.3.2. | ZAPISOVANJE MERITEV | 17 |
| 3.3.3. | IZVEDBA..... | 17 |
| 3.4. | ANALIZA PODATKOV | 19 |
| 4. | REZULTATI IN DISKUSIJA | 21 |
| 4.1. | 10. DECEMBER 2024..... | 21 |
| 4.2. | 17. DECEMBER 2024..... | 22 |
| 4.3. | 21. JANUAR 2025..... | 23 |
| 4.4. | PRIMERJAVA | 24 |
| 4.5. | ZADNJA URA | 26 |
| 4.6. | POTRJEVANJE HIPOTEZ | 27 |
| 5. | ZAKLJUČEK..... | 28 |
| 6. | POVZETEK | 29 |
| 7. | SUMMARY | 30 |
| 8. | VIRI IN LITERATURA | 31 |

KAZALO SLIK

| | |
|--|----|
| Slika 1: Sestava zraka [4] | 3 |
| Slika 2: Kroženje CO ₂ [10] | 5 |
| Slika 3: Delež plinov pri vdihu [26] | 5 |
| Slika 4: Delež plinov pri izdihu [26] | 5 |
| Slika 5: Običajne vrednosti CO ₂ in vpliv na človeka [12] | 6 |
| Slika 6: Logo ANSI [13] | 7 |
| Slika 7: Logo ASHRAE [14]..... | 8 |
| Slika 8: Merilec vrednosti CO ₂ | 13 |
| Slika 9: Zelen indikator | 13 |
| Slika 10: Rumen indikator..... | 13 |
| Slika 11: Rdeč indikator | 13 |
| Slika 12: Mobilna aplikacija Smart home [25]..... | 14 |
| Slika 13: Mobilna aplikacija Tuya smart [25]..... | 14 |
| Slika 14: Učilnica fizike | 16 |
| Slika 15: Učilnica fizike z označenim mestom merilca | 16 |

KAZALO TABEL

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Šolski urnik..... | 18 |
| Tabela 2: Število učencev..... | 18 |
| Tabela 3: Spremembe vrednosti CO ₂ v razredu. | 19 |
| Tabela 4: Razlika vrednosti CO ₂ pri zračenju. | 20 |

KAZALO GRAFOV

| | |
|--|----|
| Graf 1: Poskus odzivnosti merilca..... | 15 |
| Graf 2: Vrednosti CO ₂ 10. decembra 2024..... | 21 |
| Graf 3: Vrednosti CO ₂ 17. decembra 2024..... | 22 |
| Graf 4: Vrednosti CO ₂ 21. januarja 2025..... | 23 |
| Graf 5: Vrednosti CO ₂ - primerjava | 24 |
| Graf 6: Vrednosti CO ₂ s popolnoma odprtimi okni..... | 26 |

SEZNAM KRATIC

ppm – delci na milijon (ang. parts per million)

ANSI – Ameriški nacionalni inštitut za standarde (angl. American National Standards Institute)

ASHRAE – Ameriško društvo inženirjev za ogrevanje, hlajenje in klimatizacijo (angl. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

1. UVOD

Kakovost zraka ima ključno vlogo pri zdravju in dobrem počutju ljudi, tako na prostem kot v zaprtih prostorih. Na to vplivajo različni dejavniki, kot so industrijski izpusti plinov, promet, kurjenje fosilnih goriv in prezračevanje. V notranjih prostorih, kot so učilnice v osnovnih šolah, se lahko kopičijo različna onesnaževala, med njimi tudi ogljikov dioksid, katerega previsoke vrednosti lahko vplivajo na zbranost in počutje učencev. Redno spremljanje kakovosti zraka ter učinkoviti ukrepi, kot so ustrezno prezračevanje in sodobni prezračevalni sistemi, so ključni za zagotavljanje zdravega okolja in dobre kakovosti zraka.

V Sloveniji večina osnovnih šol nima sodobnega prezračevalnega sistema, zato učilnice običajno zračijo z odpiranjem oken. Ta metoda prezračevanja, čeprav enostavna, včasih ni dovolj učinkovita za ohranjanje primerne kakovosti zraka, zlasti v večjih učilnicah ali v primerih, ko ni možnosti za pogosto odpiranje oken. Tudi na naši šoli učilnice niso opremljene s sodobnim prezračevalnim sistemom, zato med odmori učilnice zračimo z odpiranjem oken.

Ta način prezračevanja pa ni vedno dober. Pozimi v učilnicah zaradi odprtih oken ni neprijetno le učencem in učiteljem, ampak se takrat zaradi nizkih zunanjih temperatur zvišajo stroški ogrevanja, saj je potrebno vzdrževati toploto v učilnicah, ko so okna odprta. To predstavlja izziv za zagotavljanje udobnega in prijetnega okolja v učilnicah.

V okviru svoje raziskovalne naloge sem se osredotočila na ugotavljanje učinkovitosti različnih načinov prezračevanja z odpiranjem oken. To sem naredila z merjenjem vrednosti CO₂ v učilnici. Vrednosti tega plina so dober pokazatelj kakovosti zraka, saj visoka koncentracija CO₂ lahko slabo vpliva na počutje učencev, zmanjša njihovo koncentracijo in povzroči utrujenost [1].

Namen te raziskovalne naloge je ugotoviti, kako različni načini prezračevanja vplivajo na vrednosti CO₂ ter kateri način je najprimernejši za zagotavljanje dobre kakovosti zraka v učilnicah. Z analizo zbranih podatkov želim podati priporočila za izboljšanje kakovosti zraka v učilnicah, kar bi pripomoglo k boljšemu učnemu okolju ter večji zbranosti in dobremu počutju učencev med poukom.

1.1. HIPOTEZE

Pred začetkom raziskovanja sem si zadala naslednje hipoteze.

1. Po petih minutah zračenja se vrednost CO₂ zmanjša.
2. Na začetku šolske ure je vrednost CO₂ nižja kot na koncu ure, če ni vmesnega prezračevanja.
3. Prezračevanje učilnice ves čas pouka s tehniko zračenja z zgoraj priprtimi okni vodi do nižje povprečne vrednosti CO₂ v zraku, kot prezračevanje s popolnoma odprtimi okni samo med odmori.
4. Prezračevanje s popolnoma odprtimi okni samo med odmori dovolj zniža vrednost CO₂ v učilnici, da ta ne preseže maksimalne vrednosti, predpisane po zakonodaji.

Ker na naši šoli večinoma zračimo učilnice s popolnoma odprtimi okni samo med odmori, me je zanimalo, kakšne so razlike v primerjavi z ostalimi načini zračenja, zato sem tudi v hipotezah večkrat omenila to tehniko.

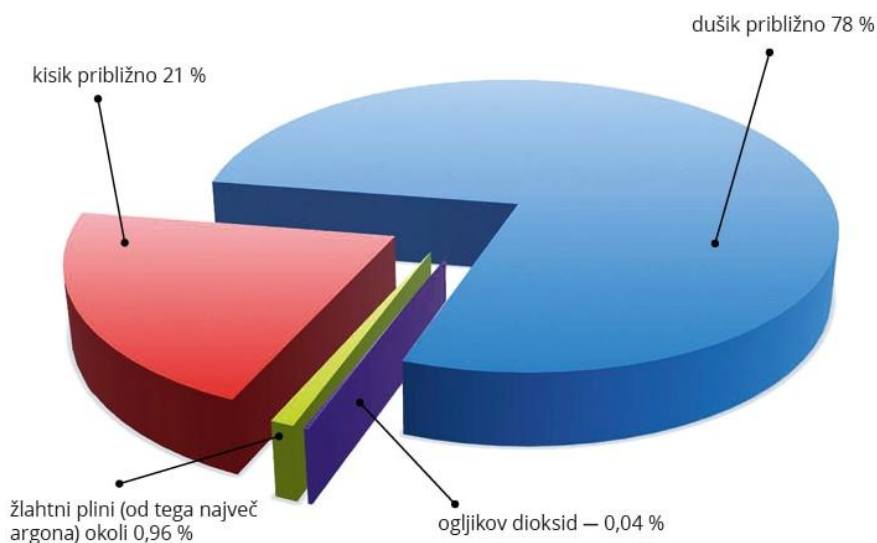
2. PREGLED OBJAV

V tem poglavju bom podrobneje predstavila teoretične osnove, na katerih temelji ta raziskovalna naloga. Prav tako bom predstavila tri obstoječe raziskave, ki se med drugim ukvarjajo z analizo vpliva CO₂ na človeka na podlagi različnih poskusov.

2.1. KAKOVOST ZRAKA

Kakovost zraka se nanaša na koncentracijo onesnaževal v zraku, ki lahko negativno vplivajo na zdravje ljudi, na okolje in na podnebje. Onesnaževala zraka vključujejo pline, kot so dušikovi in žveplovi oksidi, hlapni ogljikovodiki, amonijak ter prizemni ozon, pa tudi delce, ki lebdi v zraku in so različnih velikosti, sestav ter agregatnih stanj [2].

Zrak sestavlja dušik – 78 %, kisik – 21 % in drugi plini – 1 % (približno 0,04 % ogljikovega dioksida, ostalo predvsem argon). V zraku je tudi vodna para – od 0,1 % do 4 %, je spremenljiva in odvisna od vlage v zraku (Slika 1) [3].



Slika 1: Sestava zraka [4].

Pomembno je vedeti, da kakovost zraka v prostoru ni stalna, saj nanjo vplivajo različni dejavniki. To so na primer delovanje prezračevalnih sistemov v objektu, aktivnosti prisotnih oseb in kakovost zraka v okolici objekta. Na kakovost zraka vplivajo tudi temperatura zraka, vlažnost zraka, hitrost gibanja zraka, koncentracija CO₂ in drugi.

2.2. PREZRAČEVANJE

Prezračevanje je postopek, pri katerem se zrak v notranjih prostorih zamenja z zrakom iz zunanosti. Prostor prezračimo, da bi izboljšali kakovost zraka in zagotovili primerne pogoje za bivanje, delo ali učenje [5].

Ena od ključnih prednosti prezračevanja je, da pomaga uravnati raven CO₂ v prostoru. Z uravnoteženim prezračevanjem se prepreči nabiranje prevelikih količin CO₂ v zraku. Prezračevanje je pomembno tudi za ohranjanje primerne vlažnosti zraka, normalna je nekje med 55 % in 65 %. Previsoka ali prenizka vlažnost lahko negativno vpliva na zdravje in povzroči draženje dihal, suho kožo ali kašljanje in kihanje [6].

Poznamo več načinov prezračevanja.

2.2.1. NARAVNO PREZRAČEVANJE

Ta način prezračevanja izkorišča naravne fizikalne lastnosti zraka, brez uporabe mehanskih naprav. Takšno prezračevanje poteka s pomočjo večjih odprtih, kot so okna in vrata ter prezračevalni jaški. Naravno prezračevanje je enostavno, vendar ni vedno dovolj učinkovito, predvsem v prostorih z veliko ljudmi. Odvisno je tudi od vremenskih pogojev [7].

Pri tem načinu prezračevanja je vredno upoštevati tudi vidik, da se pri izmenjavi zraka posledično notranji prostor tudi hladi oziroma greje odvisno od zunanje temperature.

Metoda priprtega okna je pozimi lahko bolj škodljiva kot koristna. Zrak v prostoru se čez ožjo režo menja počasneje kot pri popolnoma odprtem oknu, zato mora biti odprto dlje časa, kar povzroči ohlajanje sten ob oknu. Hladne stene in topel zrak v prostoru povzročajo kondenzacijo, ki je glavni razlog za nastanek hišne plesni [8].

2.2.2. MEHANSKO ALI AKTIVNO PREZRAČEVANJE

Ta način prezračevanja poteka s pomočjo mehanske naprave, ki zagotavlja ustrezno velik pretok zraka, neodvisno od zunanjih pogojev. Pri tem se uporabljajo naprave, kot so prezračevalni sistemi z ventilatorji, ki omogočajo nadzorovano izmenjavo zraka [7].

2.3. OGLJIKOV DIOKSID

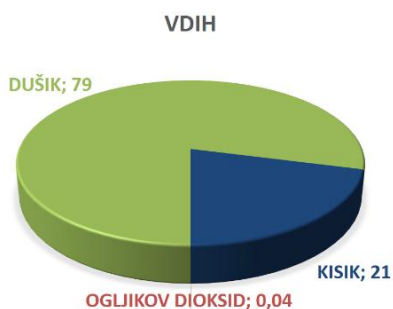
Ogljikov dioksid (CO_2) je toplogredni plin brez barve in brez vonja ter je kiselkastega okusa. Je 1,5-krat težji od zraka, zato se nabira na tleh. Je sestavni del osnovnega naravnega življenjskega cikla, saj ga ljudje in živali izdihavamo, rastline pa ga uporabljajo za fotosintezo, ki ustvarja energijo (Slika 2). Nastaja tudi pri zgorevanju organskih snovi, kar povzroči v Zemljinem ozračju večanje količine CO_2 [9].

Zaradi njegovih posebnih lastnosti, kot sta na primer njegova nereaktivnost in visoka topnost v vodi, je idealen za uporabo na številnih področjih našega vsakdanjega življenja. Uporabljamo ga pri gašenju, lahko ga uživamo s pijačami in s hrano, v teh primerih za nas ni nevaren. Nevaren je, če izpodrine kisik v zraku, kar lahko pripelje do človeku nevarnih posledic. 3 % CO_2 povzroči občutek zadušljivosti, pri 8 % CO_2 je ozračje že nevarno, pri 25 % CO_2 lahko povzroči smrt [1].

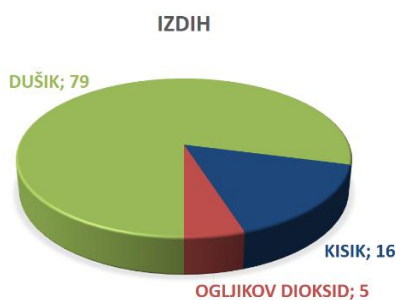


Slika 2: Kroženje CO_2 [10].

Količina vdihanega zraka je odvisna od aktivnosti, ki jo izvajamo. Mirujoč človek povprečno vdihne $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$, pri napornem delu ali telovadbi pa se ta količina poveča odvisno od vrste aktivnosti. Pri dihanju se v pljučih koncentracija kisika v zraku zniža iz



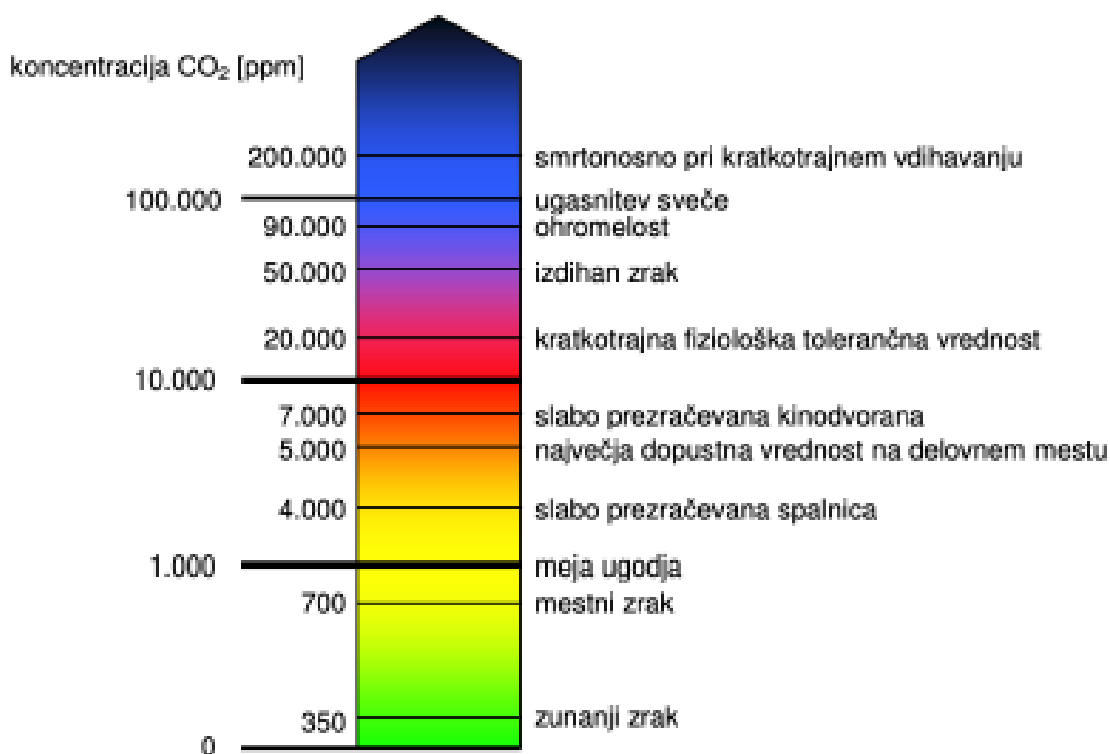
Slika 3: Delež plinov pri vdihu [26].



Slika 4: Delež plinov pri izdihu [26].

21 % na 16 % (Slika 3 in Slika 4). Koncentracija CO₂ v izdihanem zraku je 5 %. To je približno 100-krat več kot pri vdihanem zraku. Povprečna koncentracija CO₂ v Zemljinem ozračju je 0,04 %, kadar je ta vrednost presežena, govorimo o slabi kakovosti zraka [1].

Vpliv CO₂ na počutje človeka je znan že od leta 1858, ko je Nемеc Max von Pettenkoffer raziskal povezavo med koncentracijo CO₂ in počutjem ljudi. Ugotovil je, da naj bi bila koncentracija CO₂ v notranjih prostorih, kjer se zadržujejo ljudje, manjša od 1000 ppm. Pri vrednosti pod 1000 ppm (0,1 %) so se ljudje namreč počutili ugodno, pri vrednosti nad 2000 ppm (0,2 %) pa neugodno. Slika 5 prikazuje različne vrednosti CO₂ v enotah ppm in vplivi na zdravje in počutje ljudi [11].



Slika 5: Običajne vrednosti CO₂ in vpliv na človeka [12].

2.4. STANDARDI KAKOVOSTI ZRAKA

Ker je tema kakovosti zraka prisotna v šolah in delovnih okoljih vsak dan, obstajajo standardi, ki določajo mejne vrednosti CO₂ v zraku. Nekateri govorijo o priporočenih

vrednostih, nekateri pa določajo najvišje dovoljene vrednosti. V nadaljevanju bom predstavila dve takšni mejni vrednosti.

2.4.1. STANDARD ANSI/ASHRAE 62.1

ANSI (Slika 6) je ameriška organizacija za standardizacijo, ki razvija, potrjuje in usklajuje standarde za različne panoge, vključno s prezračevanjem in kakovostjo zraka v zaprtih prostorih. Ključna naloga organizacije je zagotavljanje enotnih smernic, ki izboljšujejo varnost, energetska učinkovitost in zdravje ljudi v različnih okoljih – od industrijskih objektov do poslovnih prostorov in stanovanjskih stavb [13].



Slika 6: Logo ANSI [13].

ASHRAE (Slika 7) je strokovna organizacija, ki se osredotoča na razvoj in uvajanje standardov ter smernic za ogrevanje, hlajenje, klimatizacijo in prezračevanje. ASHRAE izvaja obsežne raziskave, izobraževalne programe in objavlja tehnične standarde, ki jih uporabljajo inženirji, arhitekti ter načrtovalci prezračevalnih sistemov po vsem svetu. Organizacija igra ključno vlogo pri oblikovanju smernic za nadzor koncentracije CO₂, nadzor vlažnosti, filtracijo zraka in druge dejavnike, ki vplivajo na zdravje in udobje ljudi [14].



Slika 7: Logo ASHRAE [14].

Skupni standard ANSI/ASHRAE 62.1 je eden najpomembnejših standardov za prezračevanje in zagotavljanje kakovosti zraka v zaprtih prostorih. Določa minimalne zahteve za dovod zunanjega zraka, nadzor onesnaževal in vzdrževanje primerne kakovosti zraka v nestanovanjskih stavbah, kot so pisarne, šole, nakupovalni centri in druge javne zgradbe. Standard temelji na znanstvenih raziskavah in določa specifične vrednosti prezračevanja glede na vrsto prostora in število ljudi v njem. Za pisarne je priporočen minimalni dovod zunanjega zraka 2,5 l/s na osebo (približno 9 m³/h na osebo), za učilnice pa 3,5 l/s na osebo (približno 12,6 m³/h na osebo). Standard vključuje tudi smernice za filtracijo zraka, nadzor vlage ter uporabo naravnega prezračevanja, s čimer prispeva k zdravemu in energetsko učinkovitemu notranjemu okolju [15].

Po ANSI/ASHRAE Standardu 62.1 je zadovoljiva raven koncentracije CO₂ odvisna od zunanje koncentracije CO₂. V tem standardu ne priporočajo, da se notranja vrednost od zunanje razlikuje za več kot 700 ppm. V zunanjem zraku so vrednosti CO₂ med 300 do 500 ppm. To pomeni, da bi naj bile vrednosti CO₂ v notranjem okolju med 1000 in 1200 ppm [15].

2.4.2. NACIONALNA ZAKONODAJA

V Uradnem listu Republike Slovenije, številka 42/02, ki je bil objavljen 15. maja 2002, so določene mejne vrednosti za osnovne onesnaževalce zraka v notranjih prostorih. V tabeli 7 tega dokumenta so navedeni različni onesnaževalci, med katerimi je tudi CO₂.

Najvišja dovoljena vrednost CO₂ v notranjih nestanovanjskih prostorih je določena na 1667 ppm. Ta vrednost predstavlja zgornjo mejo sprejemljive kakovosti zraka in je pomembna predvsem za zagotavljanje zdravja ter udobja v zaprtih prostorih [16].

2.5. OBSTOJEČE RAZISKAVE

Do danes je bilo narejenih že mnogo raziskav na temo vpliva CO₂ na človeka, v tem poglavju pa bom predstavila tri raziskave, ki se dotikajo področja, ki me zanima v raziskovalni nalogi.

2.5.1. VPLIV KONCENTRACIJE CO₂ NA ODLOČANJE LJUDI

Raziskava »Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance« (Ali je CO₂ onesnaževalo v zaprtih prostorih? Neposredni učinki nizkih do zmernih koncentracij CO₂ na učinkovitost človekovega odločanja) preučuje, kako različne ravni CO₂ v zaprtih prostorih vplivajo na človekove sposobnosti odločanja.

Dvaindvajset udeležencev je bilo izpostavljenih koncentracijam CO₂ 600 ppm, 1000 ppm in 2500 ppm. V okoliščinah različnih koncentracij CO₂ so reševali preizkuse, s katerimi so ocenili njihove sposobnosti odločanja in s tem ugotovili, kakšen imajo vpliv na odločanje različne koncentracije CO₂.

Raziskava je pokazala zmanjšanje uspešnosti odločanja pri vrednostih 1000 ppm in 2500 ppm v primerjavi s 600 ppm. Zlasti pri 1000 ppm je bilo glede na 600 ppm opaženo zmanjšanje uspešnosti na šestih od devetih lestvic uspešnosti odločanja, pri 2500 ppm pa je bilo zmanjšanje še večje. Te ugotovitve kažejo, da lahko povišane vrednosti CO₂ v notranjih prostorih poslabšajo učinkovitosti odločanja in vplivajo na sposobnosti ljudi v delovnem okolju, kot so pisarne, šole ali tovarne [17].

2.5.2. VPLIV CO₂ NA AKTIVNOSTI UČENCEV V RAZREDU

Raziskava »A Study of CO₂ Influence on Student Activity in Classroom« (Vpliv CO₂ na aktivnost učencev v razredu) preučuje vpliv koncentracije CO₂ v prostoru na dobro počutje in uspešnost učencev. Raziskava je bila izvedena na šoli v Timișvaru (Romunija) in se je osredotočila na toplotno udobje ter kakovost zraka v učilnici.

Raziskava je pokazala, da lahko povišana raven CO₂ v učilnicah negativno vpliva na udobje in uspešnost učencev. Visoke vrednosti CO₂ so bile povezane z večjim nelagodjem in morebitnim upadom kognitivnih funkcij. Raziskava poudarja pomen ustreznega prezračevanja in zagotavljanja kakovosti zraka v izobraževalnih ustanovah za vzdrževanje optimalnih ravni CO₂, s čimer se posledično izboljšata počutje in učna uspešnost učencev [18].

2.5.3. VPLIV KONCENTRACIJE CO₂ NA PRISOTNOST PRI POUKU

Raziskava »Classroom Carbon Dioxide Concentration, School Attendance, and Educational Attainment« (Koncentracija ogljikovega dioksida v učilnicah, prisotnost v šoli in dosežki pri izobraževanju) raziskuje povezavo med notranjimi ravnmi CO₂ v učilnicah in njihovim vplivom na prisotnost učencev in učno uspešnost. Raziskava je bila izvedena v 60 naravno prezračevanih osnovnošolskih učilnicah na Škotskem in je merila koncentracije CO₂ v obdobju 3-5 dni.

V raziskavi so bile višje koncentracije CO₂ povezane z zmanjšano prisotnostjo učencev. Povečanje koncentracije CO₂ za 100 ppm je pomenilo 0,2 % zmanjšanje letnega obiska, kar pomeni približno pol šolskega dneva na leto.

Ugotovili so tudi, da med povišano koncentracijo CO₂ in doseganjem nacionalnih standardov pri branju, pisanju ali računanju s strani učencev ni pomembne povezave.

Notranja temperatura in vlažnost zraka nista bili povezani niti z obiskovanjem pouka niti z ucnim uspehom.

Raziskava poudarja, da je neustrezno prezračevanje učilnic, v katerih je vrednost CO₂ višja od 1000 ppm, povezana z večjo odsotnostjo pri pouku. Te ugotovitve kažejo na morebitno povezavo med slabim prezračevanjem in škodljivimi zdravstvenimi rezultati pri učencih, kar spodbuja nadaljnje raziskave [19].

2.6. FAKTORJI VPLIVA NA VREDNOST CO₂

Količina CO₂ v notranjih prostorih je odvisna od različnih dejavnikov, ki vplivajo na koncentracijo tega plina in na kakovost zraka.

2.6.1. PREZRAČEVANJE

Učinkovito prezračevanje omogoča izmenjavo notranjega zraka z zunanjim, kar zmanjšuje vrednosti CO₂ in izboljšuje kakovost zraka v prostoru. Pomanjkljivo prezračevanje lahko vodi do povišanih vrednosti CO₂, kar negativno vpliva na zdravje in počutje ljudi ter povečuje tveganje za zdravstvene težave in druge zaplete. Pomembni niso le sama pogostost prezračevanja, temveč tudi trajanje, površina oken in način zračenja. Poleg tega imajo ključno vlogo tudi prezračevalni sistemi, katerih moč in zmogljivost lahko dodatno vplivata na kakovost zraka v prostoru [20].

2.6.2. ZUNANJI POGOJI

Kakovost zunanjega zraka vpliva na notranjo koncentracijo CO₂. V primeru, da je zunanja koncentracija CO₂ visoka, kot je v mestih z večjim prometom ali v obdobjih s slabo kakovostjo zraka, lahko prezračevanje povzroči višje vrednosti CO₂ v notranjih prostorih. V nasprotju s tem pa so v manjših vaseh ali območjih z manj onesnaženja zunanje koncentracije CO₂ običajno nižje. Poleg tega lahko vremenski vplivi (močni vetrovi ali dež) izboljšajo kakovost zunanjega zraka [21].

2.6.3. LJUDJE V PROSTORU

Vsaka oseba pri dihanju sprošča CO₂, ki nastaja kot produkt dihalnega procesa. Ko je več ljudi v zaprtem prostoru, se količina sproščenega CO₂ povečuje, kar povzroči hitrejši dvig koncentracije tega plina, kadar ni ustreznega prezračevanja. Količina sproščenega CO₂ je odvisna tudi od dejavnosti ljudi v prostoru. Med telesnim naporom se povečuje potreba po kisiku, kar pomeni večje sproščanje CO₂ [22].

2.6.4. PROSTOR

Na vrednost CO₂ vpliva tudi velikost prostora. Večji prostori imajo večji volumen, kar pomeni, da vsebujejo več zraka. To pripomore k počasnejšemu spreminjanju koncentracije CO₂. V manjših prostorih z manjšim volumenom zraka, kjer ni ustreznega prezračevanja, se CO₂ kopiči hitreje, saj je količina zraka, ki lahko sprejme CO₂, omejena. To je še posebej pomembno v prostorih z večjim številom ljudi, kot so učilnice, pisarne ali konferenčne sobe, kjer se CO₂ sprošča hitreje in v večjih količinah, kar vpliva na kakovost zraka [23].

3. MATERIALI IN METODE DELA

V tem poglavju bom bolj podrobno predstavila postopek mojega raziskovalnega dela.

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 dve glavni metodi dela, ki sta mi pomagali pri zbiranju, analiziranju in obdelavi podatkov.

3.1.1. METODA MERJENJA VREDNOSTI CO₂

Za zbiranje podatkov sem se odločila uporabiti preprost merilnik CO₂, s katerim sem merila vrednosti CO₂ v učilnici ob različnih časovnih obdobjih in načinih prezračevanja. Ta metoda mi je omogočila spremljanje vpliva različnih načinov prezračevanja na kakovost zraka.

3.1.2. METODA OBDELAVE PODATKOV

Po zbiranju podatkov sem te obdelala in analizirala v programu Excel, kjer sem izdelala tudi grafe. To mi je omogočilo enostavno prikazovanje sprememb vsebnosti CO₂ in učinkovitosti različnih pristopov za izboljšanje kakovosti zraka v učilnici.

3.2. MERILEC

Vrednosti CO₂ sem merila s preprostim merilcem, znanim kot SC0117 CO₂. Ta naprava je zasnovana za enostavno spremljanje ravni CO₂, temperature in vlažnosti v prostoru. Merilnik ima velik LCD zaslon, ki omogoča jasno in pregledno prikazovanje podatkov. Merilec omogoča merjenje vrednosti CO₂ med 400 in 5000 ppm [24].



Slika 8: Merilec vrednosti CO₂ (foto: T. Sovič).

Skozi reže na zadnji strani v napravo prihaja zrak iz prostora (Slika 8). Ko merilec izmeri vrednost CO₂, se to prikaže na zaslonu. Na zadnji strani naprave sta magnetna stena, ki omogoča pritrditev na kovinske površine, ter stojalo, ki omogoča postavitev merilca na ravno podlago. Merilnik je opremljen z gumbi na dotik, ki omogočajo vklop, izklop ter nastavitev glasnosti alarma. Zelo pomemben del merilnika je tristopenjski barvni sistem, ki prikazuje kakovost zraka. Ta se lahko obarva zeleno, rumeno ali rdeče.



*Slika 9: Zelen indikator
(foto: T. Sovič).*



*Slika 10: Rumena indikator
(foto: T. Sovič).*



*Slika 11: Rdeč indikator
(foto: T. Sovič).*

Če je koncentracija CO₂ v prostoru med 400 (ali manj, saj merilec prikazuje le vrednosti CO₂ nad 400 ppm) in 800 ppm, se indikator obarva zeleno (Slika 9). Tak prostor ima dobro kakovost zraka in je primeren za bivanje. Ko je vrednost CO₂ med 800 in

1600 ppm, se indikator obarva rumeno (Slika 10). To pomeni, da je v prostoru slabši zrak, prostor moramo prezračiti, da bi preprečili nadaljnje kopičenje CO₂. Kadar vrednost CO₂ preseže 1600 ppm, se indikator obarva rdeče (Slika 11). V tem primeru se sproži zvočni alarm.

Merilec se lahko prek brezžične povezave poveže z mobilnima aplikacijama na telefonu (Slika 12 in Slika 13). Ti omogočata shranjevanje in analizo podatkov. Enkrat na uro lahko aplikaciji shranita trenutno temperaturo, vlažnost ter vrednost CO₂ in te kasneje prikažeta na grafu. Problem je, da tega shranjevanja ni mogoče izvajati pogosteje.



Slika 12: Mobilna aplikacija Smart home [25].

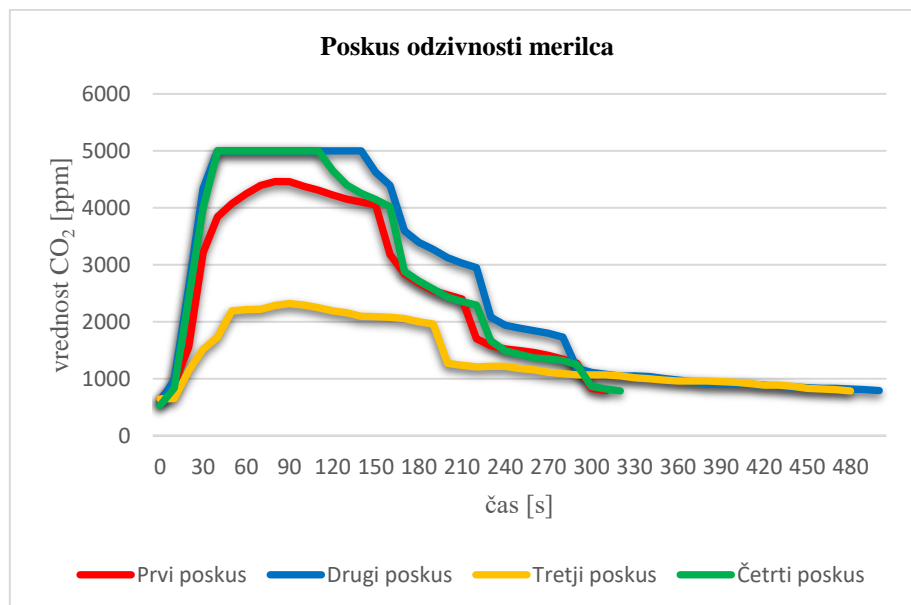


Slika 13: Mobilna aplikacija Tuya smart [25].

3.2.1. POSKUS ODZIVNOSTI MERILCA

Kot sem že omenila, ima merilec na zadnji strani reže, skozi katere vanj prihaja zrak iz prostora. Pri merjenju sem opazila, da merilec potrebuje nekaj časa, da se zrak v njem zamenja in da izmeri trenutno vrednost, zato sem se odločila narediti kratek poskus.

V zadnjo stran merilca, torej v reže, sem izdihnila zrak in si nato v program Excel na deset sekund zapisovala vrednosti izpisane na merilcu. Ko je bila vrednost CO₂ najvišja, sem sklepala, da prikazuje dejansko vrednost CO₂ v izdihanem zraku. Naredila sem več poskusov, meritve sem predstavila v grafu 1. Začetno vrednost sem zapisala, preden sem pihnila v merilec. Z zapisovanjem sem zaključila, ko se je indikator prvič obarval zeleno. Takrat je vrednost CO₂ padla pod 800 ppm.



Graf 1: Poskus odzivnosti merilca.

Kot lahko razberemo z grafa 1, je bila pri vseh meritvah najvišja vrednost CO₂ dosežena po približno 90 sekundah. Prva po točno 90 sekundah, tretja prav tako, za drugo in četrto pa ne moremo natančno določiti, kajti presegli sta vrednost 5000 ppm. To je namreč največja možna vrednost CO₂, ki jo merilec lahko izmeri. Če predpostavimo, da je bila najvišja vrednost CO₂ nekje na polovici trajanja prikazane vrednosti 5000 ppm, je bila pri drugi meritvi vrednost prav tako najvišja po 90 sekundah. Pri četrtem merjenju je bila najvišja vrednost CO₂ dosežena po 85 sekundah.

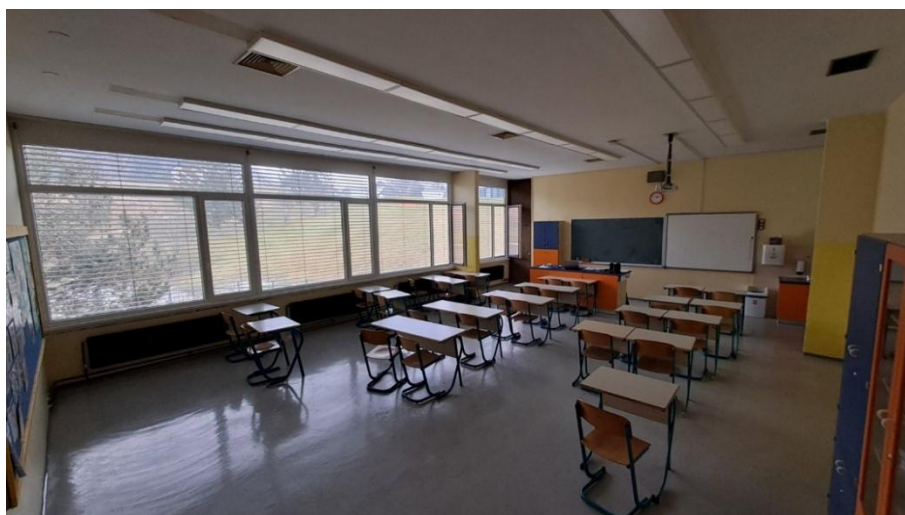
Torej lahko, glede na merjenja, predpostavimo, da ima merilec pri merjenju vrednosti CO₂ približno 90 sekund zamika. Ugotovila sem, da je odzivnost merilca za namen moje raziskave primerna, saj bom v glavnem poskusu raziskovalne naloge zapisovala meritve vsakih pet minut.

3.3. IZVAJANJE MERITEV

Zdaj je napočil čas za izvajanje dejanskih meritev v praksi, s katerimi sem želela meriti vrednosti CO₂ v razredu pri različnih načinih prezračevanja.

3.3.1. OKOLIŠČINE

Meritve sem izvajala v učilnici fizike na Osnovni šoli Gorica Velenje (Slika 14). Ta učilnica ima 4 okna, ki se lahko popolnoma odprejo ali na zgoraj priprt način (po domače znano tudi kot »na kip«). Površina posameznega okna je $0,95 \text{ m}^2$. Skupna površina oken je $3,8 \text{ m}^2$.



Slika 14: Učilnica fizike (foto: T. Sovič).

Na sliki je z rdečo piko označeno mesto meritev (Slika 15). Merilec je bil postavljen blizu okna, kar bi lahko vplivalo na meritve zaradi zunanjega zraka, ki je tja prišel hitreje.



Slika 15: Učilnica fizike z označenim mestom merilca (foto: T. Sovič).

Pomemben dejavnik, ki vpliva na spreminjanje vrednosti CO_2 , je tudi prostornina prostora, v katerem jo merimo. Ker sem izvajala vse meritve v istem prostoru, je v

primeru te raziskovalne naloge ostala ta spremenljivka stalna, vseeno pa sem izračunala prostornino učilnice in koliko zraka je v njej.

Dolžina učilnice meri 10,09 m, širina 8,05 m, višina pa 3,44 m. Prostornina prostora je enaka zmnožku njegove dolžine, širine in višine. Prostornina učilnice je 279,41 m³. Če želimo izračunati, koliko litrov zraka je v učilnici, moramo odšteti vse omare in stene, ki so v njej. Če seštejemo vse njihove prostornine, dobimo 6,92 m³. Ker so v učilnici še mize in stoli, je ta vrednost zgolj približna. Odštejemo jo od celotne prostornine učilnice in dobimo 272,48 m³. V učilnici je torej 272480 litrov zraka.

3.3.2. ZAPISOVANJE MERITEV

Za lažje beleženje vrednosti CO₂ sem v Wordu naredila tabelo, vanjo sem vsakih pet minut zapisala vrednost CO₂. Podatke sem prepisala v računalniški program Excel, v katerem sem naredila tudi grafe.

3.3.3. IZVEDBA

Pri izvajanju meritev sem bila omejena na torke, saj sva z mentorjem na ta dan imela največ ur pouka v učilnici, ki sem jo izbrala za merjenje. To je omogočilo lažje in bolj dosledno izvajanje meritev. Meritve so potekale tri dni: 10. decembra 2024, 17. decembra 2024 in 21. januarja 2025. Vsak dan sem preizkusila drugačen način prezračevanja, da bi ugotovila, kateri način zagotavlja najboljšo kakovost zraka.

- **Prvi način, 10. december 2024:** Prezračevanje s popolnoma odprtimi okni med petminutnimi odmori in med odmorom za malico za 15 minut.
- **Drugi način, 17. december 2024:** Prezračevanje ves čas pouka z zgoraj priprtimi okni. Ker enega od štirih oken ni mogoče odpreti na način, da je zgoraj priprto, so bila ta dan na ta način odprta le tri okna, četrto okno je bilo zaprto.
- **Tretji način, 21. januar 2025:** Prezračevanje s popolnoma odprtimi okni med petminutnimi odmori in med odmorom za malico za 15 minut ter enkrat med uro za 5 minut. Dodatno sem ta dan izvajala meritve tudi šesto šolsko uro, ko so bila okna popolnoma odprta celo uro, saj sem želela videti, kaj se bo v tem primeru zgodilo z vrednostmi CO₂.

Merila sem od prve do pete šolske ure, torej od 8:20 do 12:45. V tabeli 1 sem prikazala začetke in konce šolskih ur ter odmor za malico, ki traja 25 minut. Razvidni so tudi petminutni odmori med urami.

Tabela 1: Šolski urnik.

| URA | ČAS |
|------------|---------------|
| 1. | 8.20 – 9.05 |
| 2. | 9.10 – 9.55 |
| MALICA | 9.55 – 10.20 |
| 3. | 10.20 – 11.05 |
| 4. | 11.10 – 11.55 |
| 5. | 12.00 – 12.45 |
| 6. | 12.50 – 13.35 |

Meritve sem ročno zapisovala v preglednico vsakih 5 minut. Ko so bile izvedene vse meritve, sem jih nato prenesla v računalniški program Excel. Na podlagi teh podatkov sem pozneje ustvarila grafe, ki prikazujejo vrednosti CO₂ v prvih petih urah pouka za posamezen dan.

V tabeli 2 je za vsako uro posameznega dneva merjenja navedeno število učencev, ki so bili takrat prisotni pri pouku. Tudi to je pomemben dejavnik, ki vpliva na vrednost CO₂ v prostoru.

Tabela 2: Število učencev.

| URA | 10. December 2024 | 17. december 2024 | 21. januar 2025 |
|------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 19 | 17 | 18 |
| 2 | 23 | 25 | 21 |
| 3 | 21 | 21 | 20 |
| 4 | 19 | 17 | 18 |
| 5 | 19 | 20 | 23 |
| 6 | 18 | 17 | 17 |

3.4. ANALIZA PODATKOV

Kot sem že omenila, sem izmerjene vrednosti prepisala v program Excel. Tam sem potem opravila izračune, saj sem želela določiti, za koliko v povprečju ena oseba zviša vrednost CO₂ v eni minuti.

Za izračun tega sem vzela vrednosti, ki so bile izmerjene v urah, ko okna niso bila odprta. To je bilo 10. decembra 2024 vseh pet šolskih ur. V tabeli 3 so prikazane razlike (vrednost ob začetku ure, odšteta od vrednosti ob koncu ure) za vsako šolsko uro na ta dan, prav tako pa število učencev, ki so bili prisotni pri tej uri. V zadnjem stolpcu je izračunana razlika vrednosti CO₂ na enega učenca (razlika vrednosti CO₂ deljena s številom prisotnih učencev).

Tabela 3: Spremembe vrednosti CO₂ v razredu.

| Šolska ura | Razlika v 45 min (ppm) | Število učencev | Razlika na učenca (ppm) |
|------------|------------------------|-----------------|-------------------------|
| 1 | 598 | 19 | 31,47 |
| 2 | 596 | 23 | 25,91 |
| 3 | 723 | 21 | 34,42 |
| 4 | 939 | 19 | 49,42 |
| 5 | 542 | 19 | 28,52 |

Izračunamo, da je povprečna razlika vrednosti CO₂ v zraku na učenca na eno šolsko uro (45 minut) enaka 33,95 ppm. Iz tega izračunamo, da v povprečju en učenec v tej učilnici vsako minuto pouka zviša vrednost CO₂ v zraku za približno 0,75 ppm.

Želela sem izračunati tudi, za koliko se zviša vrednost CO₂ v zraku v eni minuti glede na površino oken, ki so odprta. S kombinacijo te in prej izračunane vrednosti bi nato lahko ocenila, koliko časa je potrebno zračiti učilnico za določeno število učencev v razredu.

Za ta namen sem ustvarila tabelo 4, v kateri sem iz izmerjenih vrednosti 10. decembra 2024 izračunala razlike vrednosti CO₂, ki so nastale med petminutnimi odmori s prezračevanjem s popolnoma odprtimi okni. Upoštevati sem želela tudi povečanje vrednosti CO₂, ki so jo ustvarili učenci s svojim dihanjem. Uporabila sem zgoraj izračunano vrednost CO₂, ki jo izdiha učenec, ter jo množila s številom učencev in petimi minutami. Dobila sem približno vrednost, koliko CO₂ so izdihali učenci v tem času.

Dejanska razlika pri prezračevanju je za toliko večja od izmerjene, kot je izračunana izdihana vrednost CO₂, kar je prikazano v zadnjem stolpcu.

Tabela 4: Razlika vrednosti CO₂ pri zračenju.

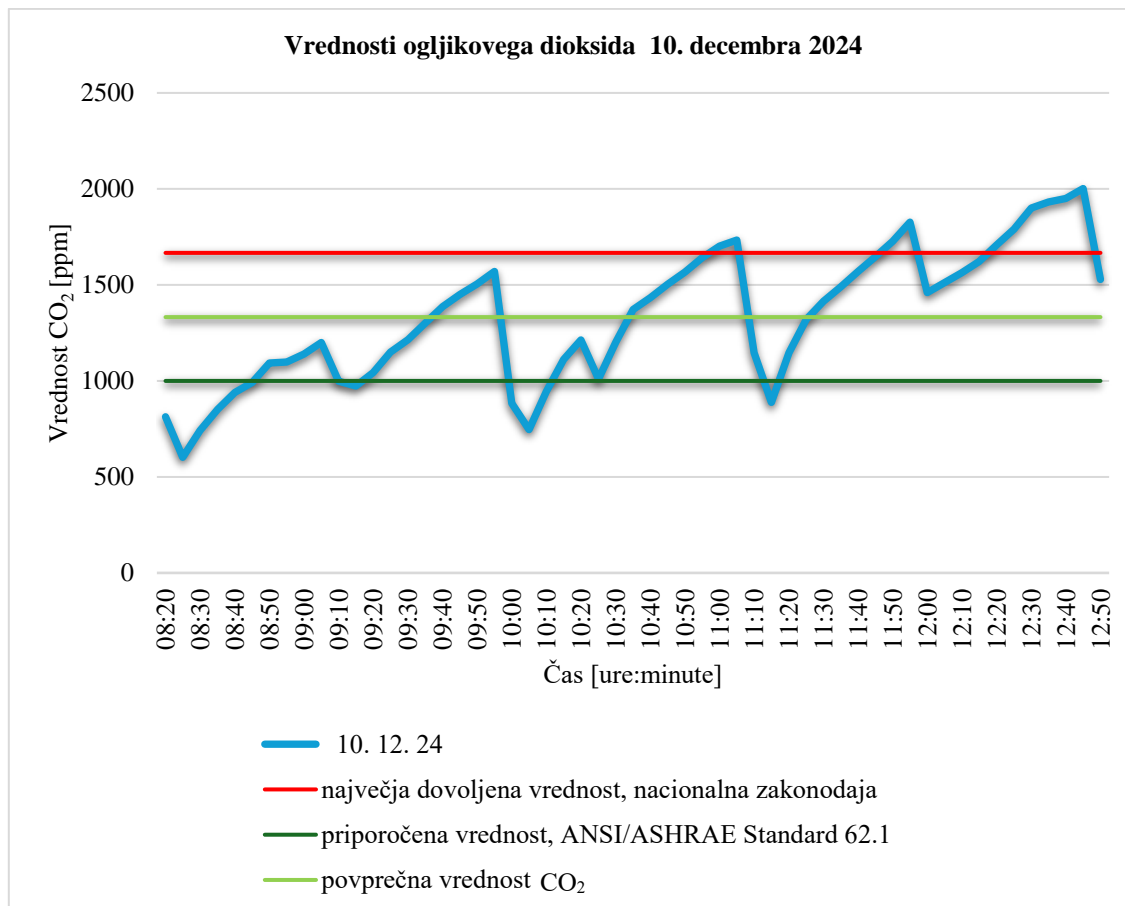
| Ura | Izmerjena razlika v minutah (ppm) | Število učencev | Izdihano (ppm) | Dejanska razlika (ppm) |
|-----|-----------------------------------|-----------------|----------------|------------------------|
| 1 | -202 | 19 | 71,67 | -273,67 |
| 2 | -686 | 23 | 86,76 | -772,76 |
| 3 | -586 | 21 | 79,22 | -665,22 |
| 4 | -367 | 19 | 71,67 | -438,67 |
| 5 | -473 | 19 | 71,67 | -544,67 |

Iz vrednosti v zgornji tabeli lahko v kombinaciji s površino oken v učilnici izračunamo, za koliko se na minuto zmanjša vrednost CO₂ za vsak kvadratni meter odprtega okna. Imamo 4 okna površine 0,95 m². Površina vseh odprtih oken je 3,80 m². Izračunamo povprečje dejanskih razlik vrednosti CO₂, ga delimo s 5 (čas odmora) in nato še s 3,8 (površina oken). Dobimo končno vrednost znižanja CO₂ na minuto na vsak kvadratni meter odprtega okna, kar znaša 28,37 ppm.

4. REZULTATI IN DISKUSIJA

V nadaljevanju bom predstavila rezultate opravljenih meritev.

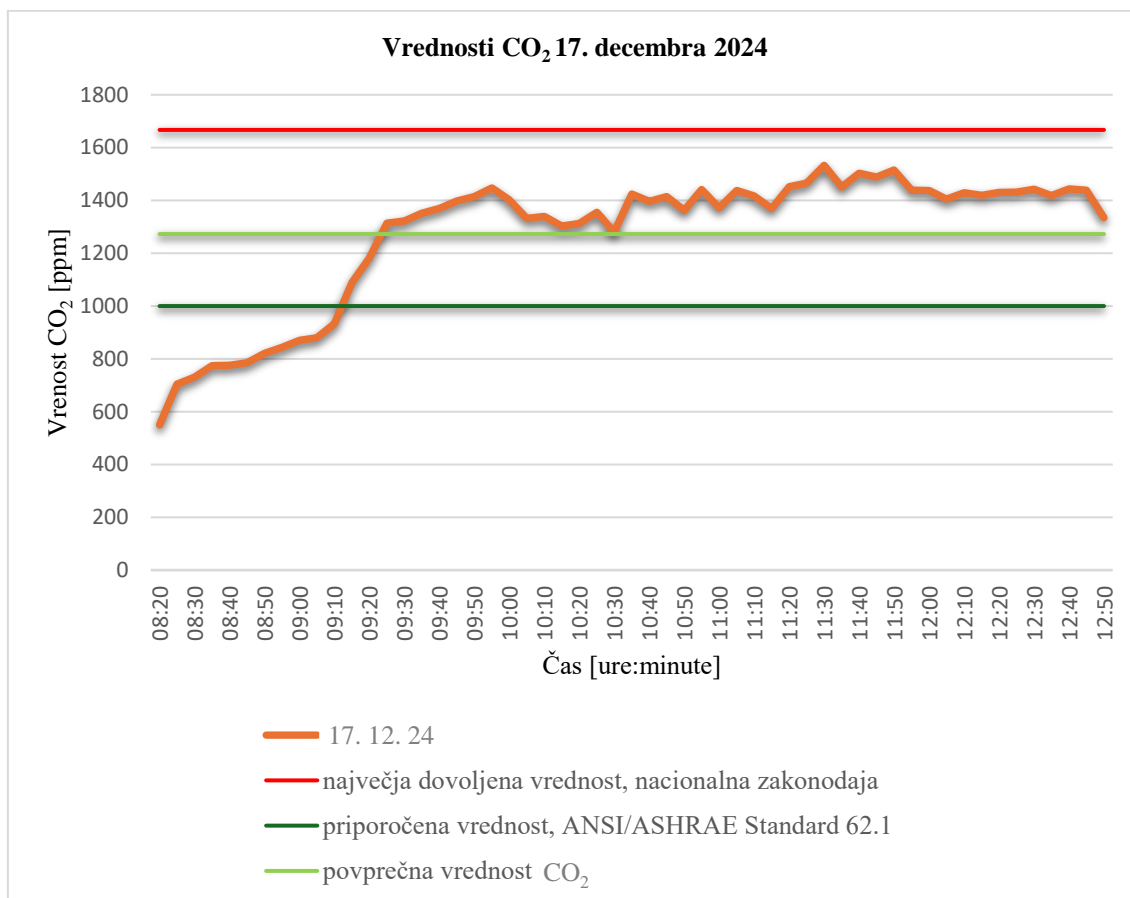
4.1. 10. DECEMBER 2024



Graf 2: Vrednosti CO₂ 10. decembra 2024.

Ta dan smo zračili tako, da smo med vsemi odmori popolnoma odprli vsa štiri okna za 5 minut, med glavnim odmorom za malico pa za 15 minut. Na grafu 2 opazimo, da se je pri tem načinu prezračevanja vrednost CO₂ močno spreminjala. Na začetku in pri nekaterih zračitvah je bila vrednost pod priporočeno vrednostjo po ANSI/ASHRAE. Vsako nadaljnjo uro se je čas prekoračitve podaljševal, vrednosti CO₂ pa so naraščale. To pomeni, da je zrak postajal vedno slabše kakovosti. Nekajkrat je bila presežena največja dovoljena vrednost CO₂ po nacionalni zakonodaji. To kaže na pomanjkljivo in prekratko prezračevanje. Peto šolsko uro je bila najvišja vrednost CO₂ 2002 ppm. Povprečna vrednost CO₂ tega dne je bila 1332 ppm, kar je med največjo dovoljeno vrednostjo nacionalne zakonodaje ter priporočeno vrednostjo ANSI/ASHARA Standard 62.1.

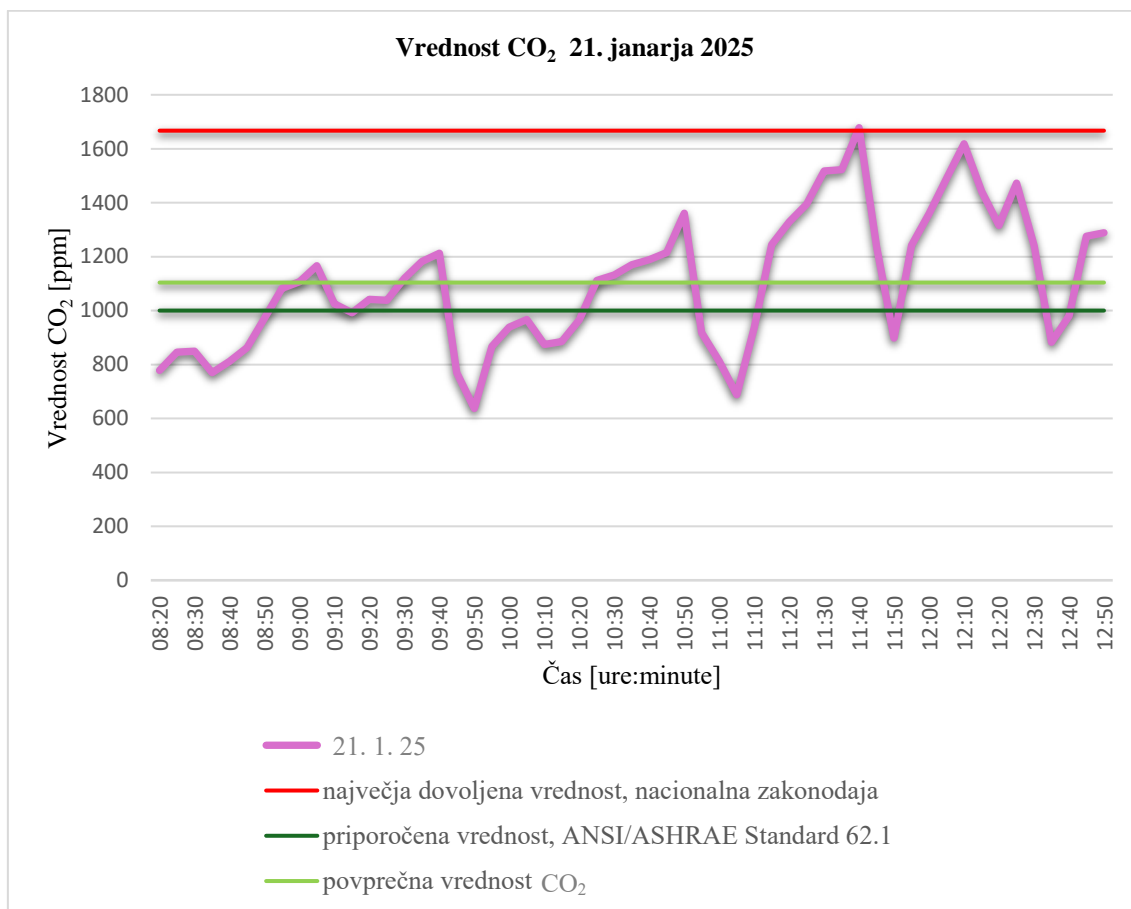
4.2. 17. DECEMBER 2024



Graf 3: Vrednosti CO₂ 17. decembra 2024.

17. decembra 2024 se je vrednost CO₂ počasi zviševala in čez dan ni bilo opaznih večjih nihanj. Okna so bila takrat zgoraj priprta ves čas pouka, kar je omogočalo stalno izmenjavo zraka v učilnici. Največja dovoljena vrednost nacionalne zakonodaje nikoli ni bila presežena, kar kaže na kvalitetno in učinkovito prezračevanje. V času prve šolske ure od 8:20 do 9:05 ni nikoli presegla priporočene vrednosti po ANSI/ASHRAE. Največja izmerjena vrednost CO₂ je ta dan znašala 1518 ppm. To enakomerno naraščanje vrednosti CO₂ pomeni, da so bila okna dovolj odprta, da je zrak lahko krožil. Če bi želeli, da vrednost CO₂ počasneje narašča, bi morali okna bolj odpreti, da bi zrak v prostor prihajal v večjih količinah. Povprečna vrednost CO₂ tega dne je bila 1273 ppm. Kot lahko razberemo z grafa 3, je povprečna vrednost CO₂ bližje priporočeni vrednosti ANSI/ASHRAE Standarda 62.1 kot največji dovoljeni vrednosti po nacionalni zakonodaji.

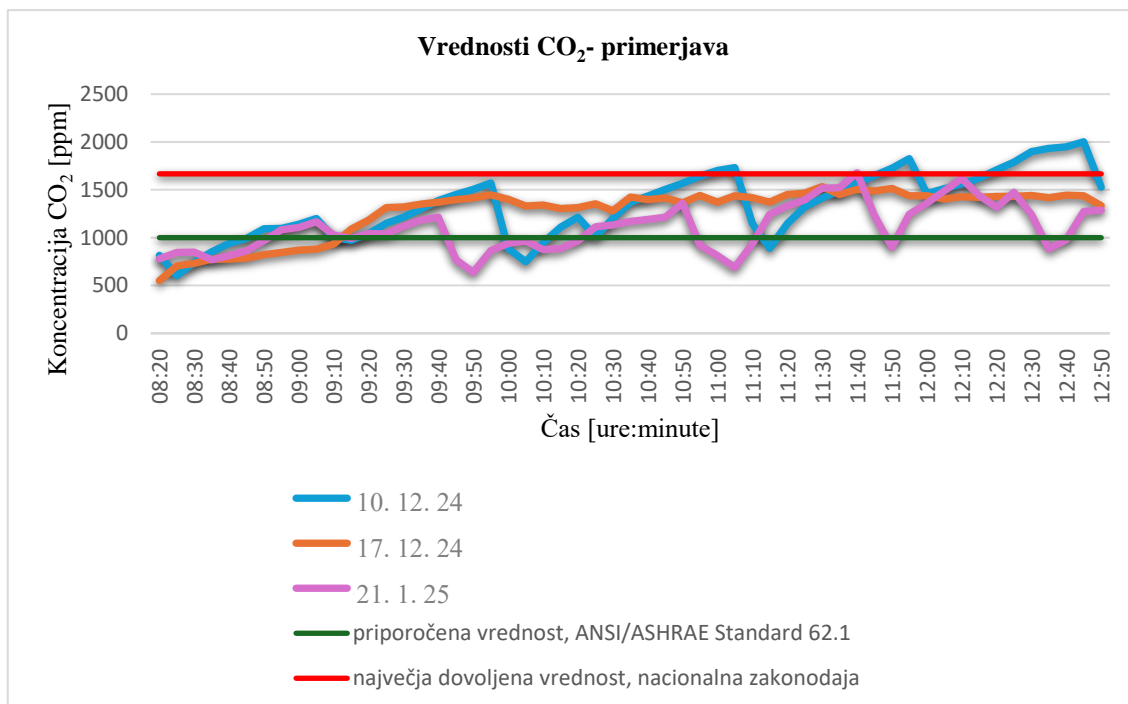
4.3. 21. JANUAR 2025



Graf 4: Vrednosti CO₂ 21. januarja 2025.

21. januarja 2025 so bila okna popolnoma odprta med petminutnimi odmori, 15 minut med malico in med vsako uro enkrat 5 minut. Na grafu 4 opazimo, da je bila vrednost CO₂ ves čas med 600 in 1700 ppm. Ko smo učilnico zračili, je vrednost CO₂ padala, vendar je po tem spet začela naraščati. Na začetku, med prvo in tretjo uro, je bila večino časa pod priporočeno vrednostjo po ANSI/ASHRAE, kasneje pa je bila večino časa nad njo. Enkrat je vrednost celo preseгла največjo dovoljeno vrednost po nacionalni zakonodaji. Povprečna vrednost CO₂ tega dne je bila 1104 ppm. Razvidno je, da je povprečna vrednost CO₂ blizu priporočeni vrednosti ANSI/ASHRAE Standarda 62.1.

4.4. PRIMERJAVA



Graf 5: Vrednosti CO₂ – primerjava.

Če pogledamo graf 5, lahko opazimo, da je vrednost CO₂ 17. decembra 2024 počasi naraščala in se ni bistveno spreminjala, medtem ko je druga dneva precej nihala. To enakomerno naraščanje je bilo posledica prezračevanja ves čas z zgoraj priprtimi okni, kar je omogočalo neprekinjeno izmenjavo zraka med notranjostjo učilnice in zunanjim okoljem. S tem načinom prezračevanja se ohranjajo razmeroma nizke in nadzorovane vrednosti CO₂.

Vrednosti CO₂ so bile 10. decembra 2024 in 21. januarja 2025 precej bolj spremenljive, močno so nihale. Ta nihanja so bila posledica načina prezračevanja, ki je temeljil na odpiranju in zapiranju oken. Ko so bila okna popolnoma odprta, so vrednosti CO₂ padle, vendar so vrednosti CO₂ začele znova naraščati takoj, ko so bila okna zaprta. Zaradi teh nihanj se je CO₂ postopoma kopičil, kar je na koncu dneva povzročilo višje vrednosti CO₂ kot pri stalnem, a manj intenzivnem zračenju.

Skupna značilnost vseh treh dni je, da je bila vrednost CO₂ na koncu pouka vedno višja kot na začetku pouka. To kaže na dejstvo, da se je povprečna vrednost CO₂ v učilnici čez dan zvišala neodvisno od izbranega načina prezračevanja.

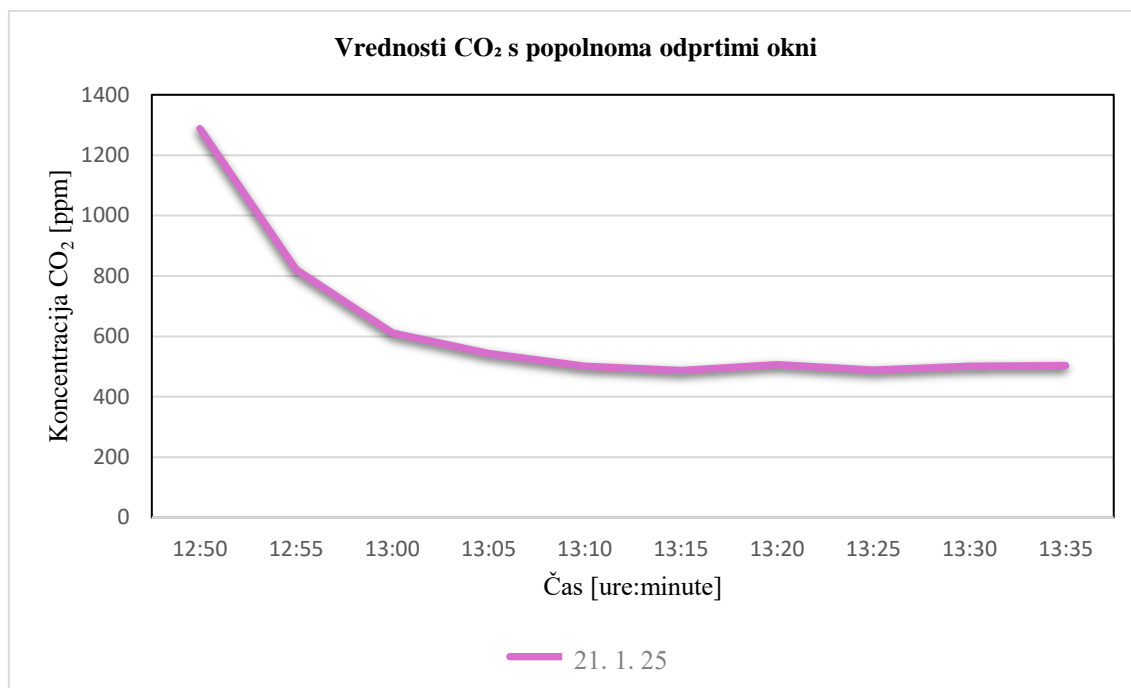
Vrednosti CO₂ niso bile nikoli tako visoke, da bi bistveno vplivale na počutje človeka. Od vseh treh dni je le 10. decembra 2024 vrednost CO₂ enkrat preseгла 2000 ppm. To se je zgodilo na koncu ure, tik pred zračenjem. Z zračenjem je vrednost takoj padla.

17. decembra 2024 so bile vrednosti CO₂ ves čas pod najvišjo dovoljeno vrednostjo po nacionalni zakonodaji, a so bile večino časa nekoliko nad priporočeno vrednostjo po ANSI/ASHRAE Standardu 62.1.

Na podlagi teh rezultatov lahko sklepamo, da imajo različni načini prezračevanja različen vpliv na kakovost zraka in vrednosti CO₂ v učilnici. Stalno zračenje z zgoraj priprtimi okni (17. december 2024) zagotavlja stabilne in enakomerne vrednosti CO₂, vendar se pojavlja vprašanje, če je dovolj učinkovito pri večjem številu ljudi v učilnici. Zračenje s popolnoma odprtimi okni samo med odmori (10. december 2024) ni bilo dovolj učinkovito, saj so se vrednosti CO₂ med zračenjem premalo znižale in so kmalu po zaprtju oken dosegle visoke vrednosti.

Izkazalo se je, da je kombinacija popolnoma odprtih oken med odmori in dodatnim zračenjem za 5 minut med urami (21. januar 2025) najučinkovitejši način prezračevanja, saj je zagotovila najnižjo povprečno vrednost CO₂ v teh treh dneh. To kaže, da je za zagotavljanje dobre kakovosti zraka v učilnici najboljša rešitev dovolj pogost in intenziven dotok svežega zraka, ki ga dosežemo s prezračevanjem s popolnoma odprtimi okni.

4.5. ZADNJA URA



Graf 6: Vrednosti CO₂ s popolnoma odprtimi okni.

Na grafu 6 sem ločeno od ostalih ur prikazala spreminjanje vrednosti CO₂ 21. januarja 2025 za eno šolsko uro od 12:50 do 13:35. To uro so bila okna ves čas popolnoma odprta.

Z grafa je razvidno, da se je vrednost CO₂ močno zmanjšala. Vrednost CO₂ se je ustalila pri okoli 500 ppm. To kaže na neprekinjeno učinkovito izmenjavo zraka. Takšno prezračevanje izboljša kakovost zraka v učilnici. Tak način prezračevanja preprečuje kopičenje CO₂, kar ugodno vpliva na počutje, zbranost in učne sposobnosti prisotnih v učilnici. Nenaden in izrazit padec vrednosti CO₂ to uro je jasen dokaz, da je stalno prezračevanje učinkovito pri zmanjšanju ravni CO₂.

Vendar je potrebno poudariti, da je tak način zračenja težko izvedljiv skozi celo leto. V poletnih mesecih lahko popolnoma odprta okna povzročijo visoke temperature v učilnici in precejšnje segrevanje prostora, medtem ko v zimskem času vodijo do izrazitega ohlajanja in nizkih temperatur, kar lahko negativno vpliva na toplotno udobje učencev in učiteljev. Poleg tega takšno zračenje ni energetskega dobro, saj zahteva več energije za ponovno ogrevanje ali hlajenje prostora. Čeprav je z vidika kakovosti zraka izjemno uspešno, ni najbolj praktična niti ekonomska rešitev za vsakodnevno uporabo, zato bi bilo

smiselno poiskati uravnotežen pristop, ki združuje učinkovito prezračevanje in energetska varčnost.

4.6. POTRJEVANJE HIPOTEZ

Prvo hipotezo (Po petih minutah zračenja se raven CO₂ zmanjša.) sem potrdila. Z grafov je razvidno zmanjšanje ravni CO₂ med odmori, ko smo učilnico zračili.

Drugo hipotezo (Na začetku šolske ure je vrednost CO₂ nižja kot na koncu ure, če ni vmesnega prezračevanja.) sem prav tako potrdila, saj na grafu za 10. december 2024 opazimo, da so vrednosti CO₂ med uro brez prezračevanja naraščale.

Tretjo hipotezo (Prezračevanje učilnice ves čas pouka s tehniko zračenja z zgoraj priprtimi okni vodi do nižje povprečne vrednosti CO₂ v zraku, kot prezračevanje s popolnoma odprtimi okni samo med odmori.) sem potrdila, saj je bila razlika povprečnih vrednosti CO₂ med tema dvema načinoma prezračevanja približno 140 ppm.

Zadnje hipoteze (Prezračevanje s popolnoma odprtimi okni samo med odmori dovolj zniža vrednost CO₂ v učilnici, da ta ne preseže maksimalne vrednosti, predpisane po zakonodaji.) nisem potrdila, saj je vrednost pri tem načinu prezračevanja med poukom na dan, 10. december 2024, trikrat preseгла predpisano vrednost po zakonodaji.

5. ZAKLJUČEK

Med izdelavo te raziskovalne naloge sem se veliko naučila, največ s področja raziskovalnega dela, prav tako pa uporabe programa Excel ter analize podatkov v njem.

V prihodnosti bi rada bolj podrobno raziskala, kako drugi načini prezračevanja vplivajo na vrednost CO₂ (na primer samo eno okno odprto ali samo dve zgoraj priprti). Prav tako bi bilo boljše, če bi v učilnici imela več merilcev naenkrat, da bi lahko izračunala, kako hitro se prezrači celoten prostor (na primer enega bi dala čim dlje od oken, drugega bližje oknom, tretjega nekam vmes).

Prav tako bi lahko meritve izvajala v različnih učilnicah z različnimi prostorninami, da bi videla, kako se vrednosti CO₂ v teh primerih spreminjajo. Rada bi videla tudi, kako različno število učencev vpliva na spreminjanje vrednosti CO₂.

Upoštevala bi lahko tudi razlike temperature prostora in zunanosti, saj bi ti podatki pomagali analizirati učinkovitost različnih metod prezračevanja.

Dodatna možnost izboljšave te raziskave bi bilo pogostejše zapisovanje meritev. S tem bi bolj natančno videla, kako hitro se prostor prezrači. Za to bi lahko uporabila drugačen merilec z avtomatskim zapisovanjem meritev. Tak merilec bi lahko izdelala sama z uporabo mikrokontrolerja Arduino.

6. POVZETEK

Ogljikov dioksid (CO₂) je brezbarven plin, ki je v majhnih količinah prisoten v Zemljinem ozračju. V notranjih prostorih lahko vrednosti CO₂ nad 1300 ppm negativno vplivajo na zdravje in počutje ljudi. Večina osnovnih šol v Sloveniji nima aktivnega prezračevalnega sistema, zato učilnice običajno zračijo z odpiranjem oken med odmori, kar velja tudi za našo šolo. Vendar se pojavljajo vprašanja, kdaj in kako pogosto je treba prostor prezračiti za zagotavljanje dobre kakovosti zraka v učilnici. V tej raziskovalni nalogi sem merila vrednost CO₂, da bi ugotovila, kateri način prezračevanja je najučinkovitejši. Prezračevali smo na tri različne načine:

- popolnoma odprta okna samo med odmori,
- zgoraj priprta okna ves čas med poukom,
- popolnoma odprta okna med odmori in enkrat med uro za 5 minut.

Meritve sem izvajala ob torkih s preprostim merilcem vrednosti CO₂, ki sem jih vsakih 5 minut zapisovala v tabelo. Podatke sem nato prenesla v računalniški program za analizo. Rezultati so pokazali, da je najboljši način prezračevanja ta, da so okna popolnoma odprta med odmori in enkrat med uro za 5 minut, saj je bila pri tej metodi povprečna vrednost CO₂ najnižja.

7. SUMMARY

Carbon dioxide (CO₂) is a colourless gas present in small amounts in the Earth's atmosphere. High CO₂ concentrations indoors can harm humans, particularly when levels exceed 1300 ppm, which can impact wellbeing. Most elementary schools in Slovenia lack an active ventilation system, so classrooms are ventilated by opening windows during breaks, including our school. This raises questions about when and how long to ventilate the room to maintain fresh air.

In my research, I measured CO₂ levels in the classroom to determine which ventilation method is most effective for ensuring good air quality. I tested three ventilation methods:

- windows open only during breaks,
- windows slightly open all time,
- windows open during breaks and once during class.

I used a CO₂ meter to record measurements every 5 minutes and analyzed the data with a computer program. The results showed that the most effective method was to open windows fully during breaks and once during class for 5 minutes, as this method resulted in the lowest average CO₂ concentration.

8. VIRI IN LITERATURA

- [1] V. Čujež, N. Rojc in T. Galeša Čoklc, „VPLIV KAKOVOSTI ZRAKA NA OSNOVNOŠOLCE V ČASU ŠOLANJA NA DALJAVO,“ [Elektronski]. Available: <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4202104612.pdf>. [15. 2. 2025].
- [2] „Kakovost zraka,“ [Elektronski]. Available: <https://www.gov.si/teme/kakovost-zraka/>. [15. 2. 2025].
- [3] A. Kukec, „KAKOVOST ZRAKA V NOTRANJIH PROSTORIH,“ [Elektronski]. Available: https://www.inoveks.si/images/inOVEinURE/strokovniprispevki/09_Kakovost_zraka_v_prostoru.pdf. [15. 2. 2025].
- [4] „Različnost snovi v okolju,“ [Elektronski]. Available: https://naravoslovjevidem.splet.arnes.si/files/2020/11/Uvod-v-snov_Delitev-snovi.pdf. [20. 2. 2025].
- [5] „Improving Indoor Air Quality,“ [Elektronski]. Available: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/improving-indoor-air-quality>. [18. 2. 2025].
- [6] S. Prislán, „Vlaga v prostoru in vpliv na zdravje,“ [Elektronski]. Available: <https://www.ecopulse.eu/vlaga-v-prostoru-in-vpliv-na-zdravje/>. [18. 2. 2025].
- [7] N. Šelekar, „VPLIV STOPNJE PREZRAČEVANJA NA KAKOVOST NOTRANJEGA ZRAKA V IZOBRAŽEVALNIH USTANOVAH IN PISARNAH,“ [Elektronski]. Available: <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=126402&lang=slv>. [15. 2. 2025].
- [8] „Kako pozimi zračiti stanovanje?,“ [Elektronski]. Available: <https://www.bivanjudajemoutrip.si/novice/68/kako-pozimi-zraciti-stanovanje>. [16. 2. 2025].
- [9] „CO₂,“ [Elektronski]. Available: <https://www.messer.si/ogljikov-dioksid>. [15. 2. 2025].
- [10] „Zrak je zmes plinov,“ [Elektronski]. Available: <https://etorba.sio.si/etorba/sl/files/epubs/20/page-08.xhtml>. [17. 2. 2025].
- [11] „Max von Pettenkoffer,“ [Elektronski]. Available: https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/track/pdf/10.1007/BF02898030.pdf?utm_source=chatgpt.com. [17. 2. 2025].
- [12] D. Kravanja, „UDOBJE IN ENERGIJA,“ [Elektronski]. Available: <https://arhiv.ekosola.si/uploads/2010-08/KONFERENCA%20EKO%20SOL%20BRDO%2023%209%202013.pdf>. [16. 2. 2025].

-
- [13] „ANSI,“ [Elektronski]. Available: <https://www.ansi.org/>. [18. 2. 2025].
- [14] „ASHARE,“ [Elektronski]. Available: <https://www.ashrae.org/>. [17. 2. 2025].
- [15] „Standard 62.1 in 62.2,“ [Elektronski]. Available: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>. [18. 2. 2025].
- [16] „Uradni list RS številka 42/02, Tabela 7,“ [Elektronski]. Available: https://www.uradni-list.si/_pdf/2002/Ur/u2002042.pdf. [26. 2. 2025].
- [17] M. J. M. K. S. T. H. D. S. S. S. i. W. J. F. Usha Satish, „Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance,“ [Elektronski]. Available: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.1104789>. [15. 2. 2025].
- [18] „A study of CO₂ influence on student activity in classroom,“ [Elektronski]. Available: https://rric.ro/articole/vol4_nr2_art3.pdf. [17. 2. 2025].
- [19] J. Miller, S. Semple, S. Turner in S. Fielding, „Classroom Carbon Dioxide Concentration, School Attendance, and Educational Attainment,“ *School Health*, Izv. 84, št. 9.
- [20] „Ne le prostore, prezračiti moramo tudi predpise,“ [Elektronski]. Available: <https://www.delo.si/novice/slovenija/ne-le-prostore-prezraciti-moramo-tudi-predpise?utm>. [18. 2. 2025].
- [21] „Pomen prezračevanja za naše zdravje,“ [Elektronski]. Available: <https://nijz.si/moje-okolje/zrak/pomen-prezracevanja-za-nase-zdravje/?utm>. [17. 2. 2025].
- [22] „Kakovost zraka v zaprtih prostorih,“ [Elektronski]. Available: <https://www.solveralynx.com/sl/kakovost-zraka-v-zaprtih-prostorih/?utm>. [15. 2. 2025].
- [23] „Kakovost zraka v prostoru,“ [Elektronski]. Available: https://www.inoveks.si/images/inOVEinURE/strokovniprispevki/09_Kakovost_zraka_v_prostoru.pdf. [15. 2. 2025].
- [24] „Merilec CO₂,“ [Elektronski]. Available: <https://amzn.eu/d/5SuMIhS>. [15. 2. 2025].
- [25] „Smart Life APP,“ [Elektronski]. Available: <https://4zone.nl/smart-life-app/>. [16. 2. 2025].
- [26] „Vdihan zrak,“ [Elektronski]. Available: <https://eucbeniki.sio.si/nit4/1317/index3.html>. [18. 2. 2025].

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi raziskovalne naloge se zahvaljujem:

- mentorju g. Petru Brglezu za osnovno idejo, nasvete in pomoč pri izdelavi raziskovalne naloge,
- družini za vso podporo in zamisli pri izdelavi raziskovalne naloge,
- Anžetu Maju Blagusu za pomoč pri analizi podatkov.