

Sustav za mjerenje i prikaz co2 u stambenim i poslovnim prostorima

Krivačić, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:447021>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

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



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Mehatronike

Nikolina Krivačić

**SUSTAV ZA MJERENJE I
PRIKAZ CO₂ U STAMBENIM I
POSLOVNIM PROSTORIMA**

Završni rad

Karlovac, 2015.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Mehatronike

Nikolina Krivačić

**SUSTAV ZA MJERENJE I
PRIKAZ CO₂ U STAMBENIM I
POSLOVNIM PROSTORIMA**

Završni rad

Mentor: dr.sc.Vladimir Tudić, viši pred.

Karlovac, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru, dr. sc. Vladimiru Tudiću na stručnoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovog završnog rada.

Posebno se želim zahvaliti svojoj obitelji na pruženoj potpori tijekom cijelog studija.

Nikolina Krivačić



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
ODJEL STROJARSTVA
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

Usmjerenje: Mehatronika

Karlovac, 2015.08.26.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: NIKOLINA KRIVAČIĆ

Naslov: SUSTAV ZA MJERENJE I PRIKAZ CO₂ U STAMBENIM I POSLOVNIM PROSTORIMA

Opis zadatka:

Za potrebe izrade Završnog rada potrebno je opisati sustav za mjerenje i prikaz CO₂ u stambenim i poslovnim prostorima.

U tu svrhu potrebno je provesti mjerenje koncentracije CO₂ u nekoliko različitih slučajeva – u manjem i većem volumenu, s i bez prisutnosti ljudi.

Objasniti pojam unutarnje kvalitete zraka (IAQ), te opisati metode i postupke utvrđivanja parametara IAQ.

Iz provedenog eksperimenta izvesti zaključke.

Završni rad izraditi u skladu sa pravilnikom VUKA-e.

Zadatak zadan:
10.06.2015.

Rok predaje rada:
10.09.2015.

Predviđeni datum obrane:
16.09.2015.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

dr. sc. Vladimir Tudić, viši pred.

Marijan Brozović, viši pred.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	II
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
1. UVOD.....	1
2. UNUTARNJA KVALITETA ZRAKA.....	2
3. SINDROM BOLESNIH ZGRADA	3
3.1. Izvori unutarnjeg onečišćenja	4
4. ISPITNE METODE KVALITETE ZRAKA.....	5
4.1. Temperatura sobnog zraka	6
4.1.1. Mjerenje temperature pomoću globus termometra	7
4.1.2. Mjerenje temperature pomoću IC termometra.....	8
4.1.3. Mjerenje temperature pomoću digitalnog termometra	9
4.2. Vlažnost sobnog zraka	10
4.2.1. Mjerenje vlažnosti dielektričnom i mikrovalnom sondom	12
4.2.2. Mjerenje temperature IC kamerom.....	13
4.3. Gibanje zraka ili strujanje	14
4.3.1. Anemometar.....	14
4.4. Ispitivanje prisutnosti VOC-a (Volatile organic compounds)	15
4.4.1. Senzor za VOC	16
4.4.2. Analizatori plinova.....	16
4.5. Osobni detektor zračenja.....	18
4.6. Prašina.....	19
4.6.1. Mjerenje onečišćenja laserskim brojačem čestica	19
4.7. Mjerila ugodnosti, termička ugodnost	21
4.8. Mjera za CO ₂ prema M.J.Pettenkoferu	22
4.8.1. Mjerenje CO ₂	22
5. HRVATSKE NORME I STANDARDI	24
6. MJERENJE CO ₂ , TEMPERATURE I VLAGE U PROSTORU	27
6.1. Specifikacije Green Eye CO ₂ dataloggera.....	28
6.2. Mjerenje CO ₂ Green Eye CO ₂ dataloggerom	29
6.2.1. Mjerenje parametara zraka za vrijeme radnog vremena	29
6.2.2. Mjerenje parametara zraka u praznom uredu.....	33
6.2.3. Mjerenje količine CO ₂ koju stvaraju ljudi disanjem	36
7. ZAKLJUČAK.....	42
PRILOZI.....	43
LITERATURA.....	44

POPIS SLIKA

Slika 1.	Predodžba izvora unutarnjeg onečišćenja zraka.....	4
Slika 2.	Predodžba globus termometra	7
Slika 3.	Predodžba infracrvenog termometra	8
Slika 4.	Predodžba digitalnog termometra	9
Slika 5.	Predodžba grafa ovisnosti maksimalne moguće zasićenosti	11
Slika 6.	Predodžba dielektrične i mikrovalne sonde.....	12
Slika 7.	Predodžba termograma.....	13
Slika 8.	Predodžba termo-anemometra.....	15
Slika 9.	Predodžba fotoionizacijskog senzora	16
Slika 10.	Predodžba ručnog analizatora plina	17
Slika 11.	Predodžba prijenosnog analizatora plina.....	18
Slika 12.	Predodžba osobnog detektora zračenja	19
Slika 13.	Predodžba laserskog brojača čestica (LPC)	20
Slika 14.	Predodžba mjerača CO ₂	23
Slika 15.	Predodžba Green Eye CO2 mjerača.....	27
Slika 16.	Predodžba izmjerenih vrijednosti CO2 za vrijeme radnog vremena.....	30
Slika 17.	Predodžba izmjerene temperature za vrijeme radnog vremena.....	31
Slika 18.	Predodžba izmjerene vlažnosti za vrijeme radnog vremena	31
Slika 19.	Predodžba dijagrama svih vrijednosti za vrijeme radnog vremena.....	32
Slika 20.	Predodžba izmjerene vrijednosti CO2 u praznom uredu.....	33
Slika 21.	Predodžba izmjerene temperature u praznom uredu	34
Slika 22.	Predodžba izmjerene vlažnosti u praznom uredu.....	34
Slika 23.	Predodžba dijagram svih vrijednosti u praznom uredu	35
Slika 24.	Predodžba usporedbe CO2 vrijednosti	36
Slika 25.	Predodžba izmjerene količine CO2 koje ljudi stvaraju disanjem.....	37
Slika 26.	Predodžba izmjerene brzine zasićenja CO2 u prostoru.....	39

POPIS TABLICA

Tablica 1. Maksimalno zasićenje vodenom parom	11
Tablica 2. Kategorizacija zraka u gradskim središtima.....	24
Tablica 3. Kategorizacija zraka u unutarnjim prostorima	24
Tablica 4. Količina izmjenjenog zraka po površini.....	25
Tablica 5. Potrebne količine vanjskog zraka.....	25
Tablica 6. Izmjerene vrijednosti za vrijeme radnog vremena	32
Tablica 7. Izmjerene vrijednosti u praznom uredu.....	35
Tablica 8. Izmjerene vrijednosti zasićenja CO ₂ u prostoru	39

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je ukazati na moguću štetnost onečišćenog zraka u unutarnjim prostorima. Unutarnji zrak može biti onečišćen iz raznih izvora, unutarnjih i vanjskih. Onečišćeni zrak može izazvati razne smetnje u radu čovjeka.

Kako bi otkrili eventualna onečišćenja zraka, provode se razna mjerenja poput mjerenja temperature zraka, vlage zraka, koncentracije i prisutnosti raznih plinova kao što su ugljični dioksid, ugljični monoksid, dušikov monoksid i itd., količinu prašine, strujanje zraka.

U Republici Hrvatskoj postoje određeni standardi koji se moraju poštivati i koje zrak unutarnjih prostora mora zadovoljavati.

SUMMARY

The aim of this final paper is to point out the possible harmful effects of air pollution indoors. Indoor air can be contaminated from various sources like internal and external. Polluted air can cause a variety of malfunction in human health.

To detect any possible contamination of air, by various measurements, such as measurement of air temperature, humidity, and the presence of various concentrations of gases such as carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen monoxide and etc., the amount of dust, the air flow.

In Croatia, there are certain standards that should be respected according indoor air quality. As a consequence of standard fulfilment the interior air causes less damage to human health.

1. UVOD

U vrijeme kada i do 90% svog vremena provodimo u zatvorenim prostorima, bilo kod kuće, u školi, na poslu ili u javnom prijevozu, moramo biti svjesni kvalitete zraka koji nas okružuje. Riječ je o Indoor Air Quality (IAQ). Do danas, veću pozornost stručnjaka privlačila su onečišćenja zraka na otvorenom, dok kvaliteti zraka u zatvorenom prostoru uglavnom nisu posvećivali preveliku pažnju.

Kvaliteta zraka u neindustrijskim unutarnjim prostorima nije se smatrala značajnom prijetnjom za zdravlje ljudi. Problemi sa radonom i formaldehidom u kasnim šezdesetim i ranim sedamdesetim godinama prošlog stoljeća, problemi sa prašinskim grinjama i pojavom alergija, te sindromom bolesnih zgrada u kasnim sedamdesetim godinama okarakterizirani su kao zdravstveni poremećaji povezani sa unutarnjim okolišem. S obzirom da većina ljudi provodi dosta vremena u zatvorenim prostorima, posljednjih se godina, sve veća pažnja posvećuje kvaliteti zraka u njima.

Ustanovljeno je da neadekvatna i neizbalansirana ventilacija izaziva otprilike 50% svih problema sa lošom kvalitetom zraka u unutarnjim prostorima. Ventilacija je vrlo važan čimbenik u zgradama zbog svojeg utjecaja kako na grijanje i hlađenje tj. na energetske troškove grijanja i hlađenja objekta, tako i zbog higijenskih uvjeta i uvjeta unutarnje kvalitete zraka (IAQ), što je čini jednim od najvažnijih čimbenika na zdravlje i udobnost ljudi. Stvaranja osjećaja ugone ljudima, jedan je od glavnih razloga klimatiziranja zatvorenih prostora. Porastom broja klimatiziranih prostora porastao je i interes ljudi za kvalitetu zraka u njima.

2. UNUTARNJA KVALITETA ZRAKA

Unutarnja kvaliteta zraka (engl. Indoor Air Quality) je pojam koji se odnosi na kvalitetu zraka unutar i oko zgrada i objekata, posebno se odnosi na zdravlje i udobnost stanara zgrade. IAQ je dio unutarnje kvalitete okoliša (IEQ), koji uključuje IAQ kao i druge fizičke i psihološke aspekte života u zatvorenom prostoru (npr. rasvjeta, vizualne kvalitete, akustika i toplinska udobnost).

Cilj IAQ uključuje uzimanje uzoraka zraka, praćenje ljudske izloženosti zagađivačima, uzimanje uzoraka na građevinskim površinama, te računalno modeliranje strujanja zraka unutar zgrade. Kontrola izvora, filtriracija i primjena ventilacije da se razrijeđe zagađivači su primarni načini za poboljšanje kvalitete zraka u većini zgrada.

Zagađenje zraka u zemljama u razvoju je od daleko najveće smrtonosne opasnosti na globalnoj razini. Glavni izvor unutarnjeg zagađenja zraka u zemljama u razvoju je spaljivanje biomase (npr. drvo, ugljen) za grijanje i kuhanje, što je rezultiralo izloženosti visokim razinama čestica. Posljedica toga je između 1,5 milijuna i 2 milijuna smrtnih slučajeva u 2000. godini.

EPA - američka državna organizacija za zaštitu okoliša procjenjuje da je razina mnogih tvari koje zagađuju zrak u zatvorenim prostorima dva do pet puta veća, ponekad i sto puta veća, od njihove razine na otvorenom prostoru. Upravo zbog toga EPA smatra kvalitetu zraka u zatvorenim prostorima jednom od pet glavnih prijetnji koje okoliš predstavlja ljudskom zdravlju. Prema nekim procjenama jedna trećina ljudi koji rade u zatvorenom prostoru borave u zgradama koje su pogodne za razmnožavanje plijesni, bakterija i hlapivih organskih spojeva.

3. SINDROM BOLESNIH ZGRADA

Sindrom bolesne zgrade (eng. *Sick building syndrome*) podrazumijeva skup simptoma koji su povezani s boravkom u određenoj zgradi, odnosno prostoriji, a povezani su s kvalitetom unutarnjeg zraka. Postojanost niskih koncentracija kemijskih zagađivača, mikroorganizama, ili jednostavno nedostatak svježeg zraka, dovoljni su razlozi za razvoj sindroma koji su povezani s lošijom kvalitetom zraka. Poteškoće koje se javljaju u suvremenim administrativnim i upravnim zgradama.

Najčešći simptomi koji se pojavljuju kod ljudi:

- zamor
- slaba koncentracija
- ošamućenost
- glavobolja
- svrab ili peckanje očiju
- nadražaj očiju
- suho grlo, promuklost, nadražaj na kašljanje

Najčešći uzroci pojave „Sindroma bolesne zgrade“ su: neispravna ventilacija, klimatizacija, kemijske štetnosti iz unutrašnjih izvora (ugljični monoksid, organske komponente koje su posljedice rada fotokopirnih uređaja, isparavanja sredstava za čišćenje, formaldehid, dim cigareta i sl.), kemijske štetnosti iz vanjskog izvora (ispušni plinovi automobila i sl.), biološke štetnosti (bakterije, kvasci, plijesni, virusi i sl.), te fizikalne štetnosti (temperatura, vlaga, buka, rasvjeta i dr.). Sve nabrojano može utjecati na pojavu lošije kvalitete unutarnjeg zraka u odnosu na kvalitetu vanjskog zraka.

3.1. Izvori unutarnjeg onečišćenja

Mnogi biološki i kemijski agensi kontaminiraju zrak u zatvorenim prostorima. Prisutnost onečišćenja u zraku zatvorenih prostora rezultat je oslobađanja aerosola (prašina, dimova i magle) i plinova iz uobičajenih predmeta koji nas okružuju kao što su: namještaj, tepih, papir, boja, pa čak i plastične vrećice.

Štetne tvari iz spomenutih predmeta koriste se kao izolatori, ljepila, otapala, vezivna sredstva i slično. Isto tako izvor onečišćenja može biti i kontaminiran zrak koji se kroz ventilaciju dovodi u prostor ili ulazi u prostor kroz loše postavljene prozore i druge otvore.

Zagađivače unutarnje atmosfere prema izvoru dijelimo u četiri skupine [Slika 1]:

- zagađivači koji se oslobađaju iz namještaja i građevinskog materijala (hlapivi organski spojevi, azbest, formaldehid, radon, različite čestice),
- zagađivači koji su rezultat aktivnosti ljudi koji borave u prostorijama (duhanski dim, pesticidi, bakterije, plijesni, grinje),
- proizvodi izgaranja (ugljični monoksid, dušikovi oksidi, čestice)
- zagađivači koji ulaze u unutarnju atmosferu iz vanjskog okoliša (ugljični monoksid, dušikovi oksidi, čestice i dr.)



Slika 1. Predodžba izvora unutarnjeg onečišćenja zraka

4. ISPITNE METODE KVALITETE ZRAKA

Današnje društvo je usmjereno na energetska učinkovitost i smanjenje globalnih troškova u pogledu grijanja i hlađenja tj. svih energetskih troškova koja uključuju i ventilaciju. Rezultat toga je smanjenje broja izmjena zraka uz manje redovite izmjene filtera u ventilacijskim postrojenjima što dovodi do rezultata povećanja koncentracija prašina i povećanja kontaminacije prostora česticama.

Lošu kvalitetu zraka vrlo često nije nimalo lako odrediti samim mjerenjem. Ne smatra se dobrom kvalitetom zraka ako se vrši ispitivanje mikroklimatskih parametara, kao temperature, relativne vlage i brzine strujanja zraka, koje su kao zakonska osnova propisane da se mjere svake dvije godine u radnim prostorima i ako ti parametri pokažu da u skladu sa projektiranim.

Ispitne metode:

- ispitivanje relativne vlage zraka
- ispitivanje brzina strujanja zraka
- ispitivanje operativne sobne temperature – globe termometar
- proračun ekvivalentne temperature (obuhvaća kretanje zraka)
- proračun efektivne temperature
- određivanje PMV/PPD indexa
- izračun IVGT indexa i ‘Heat Stress’ indeksa
- ispitivanje koncentracije ugljičnog dioksida u zraku – kontrola Petenkoferovog broja
- ispitivanje koncentracije ukupne i respirabilne prašine u zraku uz prikaz veličine čestica izmjerene prašine PM1, PM 2.5, PM 5 i PM 10
- ispitivanje VOC-a u zraku (Volatile Organic Compounds)
- ispitivanje alergena u zraku
- impaktno mikrobiološko uzorkovanje površina
- uzimanje briseva površina
- ispitivanje osvijetljenosti

4.1. Temperatura sobnog zraka

Bitna je jednakost temperature u prostoriji. Kada se temperatura od 20 do 22°C navodi kao najpovoljnija, onda se smatra da je pri tome srednja temperatura zida ista ili približno ista kao temperatura zraka. Ako je temperatura zida znatno niža od temperature zraka, kao što je zimi slučaj prilikom zagrijavanja prostorija, onda će se sobna temperatura od 20°C smatrati suviše niskom i morat će se povisiti kako bi se osjetila ista ugodnost.

Srednja vrijednost temperature zraka i zida naziva se operativna sobna temperatura; mjerenje se vrši pomoću termometra sa kuglom tzv. globus termometar. Od velikog značenja za utjecaj temperature zida pri slaboj toplinskoj izolaciji je položaj grijaćih tijela i položaj čovjeka u prostoriji. Ako se npr. grijače tijelo na unutrašnjem zidu, a čovjek neposredno ispred prozora na vanjskom zidu, onda će odzračivanje topline prema van uvijek izazivati osjećaj neugodnosti (propuh zračenjem). Osim toga, hladni zrak sa prozora uzrokuje pojavu propuha.

Pri plafonskom grijanju dozračivanje topline na glavu čovjeka pri temperaturi sobnog zraka od 20°C ne bi trebalo prijeći 12 W/m², jer se u tom slučaju ne bi postizalo dovoljno hlađenje glave, što izaziva nelagodnost, pri visini prostorije od 3 m, maksimalno 35°C može biti temperatura tavanice.

Pri zidnom grijanju sa grijanim površinama ispod prozora, dopuštene su i više temperature pošto grijano tijelo odzrači istovremeno toplinu kroz prozor van.

Mjerodavno za ugodnost je da temperature zraka i srednja temperatura svih obuhvatnih površina što manje odstupaju jedna od druge, i da se što više približe prosječnoj vrijednosti od 20 do 22°C, tada je odavanje topline čovjeka ravnomjernije. Razlika ne bi smjela iznositi više od 3 K.

4.1.1. Mjerenje temperature pomoću globus termometra

Globus termometar uveo je Vernon 1930. kao sredstvo procjene kombiniranih učinaka zračenja, temperature zraka i brzine kretanja zraka na ljudsku udobnost.

Sastoji se od šuplje bakrene kugle crne boje kako bi se apsorbirala zračenja topline, sa senzorom temperature u sredini. Kada dosegne stabilno stanje (otprilike nakon 15 minuta mjerenja, ovisno o veličini kugle i uvjetima okoline) toplinske promjene i zračenje će biti u ravnoteži, a temperatura koju je zabilježio senzor biti će negdje između temperature zraka i zračenja. Standardna kugla ima promjer od 150 mm. Postoje i ostale veličine, ali manji promjer kugle, znači i veći učinak na zabilježenu temperaturu. [Slika 2]

Od zabilježene temperature, srednja temperatura zračenja (MRT) se može izračunati formulom (1):

$$\text{MRT} = \text{izmjerena temperatura} + 2.42 \times \text{brzina zraka u cm/s} \quad (1)$$

Srednja temperatura zračenja je mjera prosječne temperature površine koje okružuju tijelo.



Slika 2. Predodžba globus termometra

4.1.2. Mjerenje temperature pomoću IC termometra

Infracrveni termometri su beskontaktni uređaji za mjerenje temperature. Prenosivi infracrveni termometri sadrže lasersku zraku za bolju orijentaciju i viziranje mjernog objekta. Beskontaktno mjerenje temperature koristi se tamo gdje je potrebno brzo i točno izmjeriti temperaturu kao i kod pokretnih objekata te objekata pod naponom i teško dostupnih mjesta. Termometri mjere površinsku temperaturu slijedeće vidljive površine, dakle ne kroz npr. staklo. Neki modeli posjeduju nepromjenjiv faktor emisije (epsilon faktor), dok je kod drugih ovaj faktor podesiv u ovisnosti o materijalu mjernog objekta (papir, drvo, metal...). U radu s uređajem korisnik mora voditi računa o odnosu D:S (Distance to Spot). [Slika 3]



Slika 3. Predodžba infracrvenog termometra

4.1.3. Mjerenje temperature pomoću digitalnog termometra

Digitalni termostati nemaju pokretne dijelove za mjerenje temperature i umjesto toga oslanjaju se na osjetilne elemente u mjernim pretvornicima koji mogu biti termistori ili drugi poluvodički uređaji, kao što je otpornički termometar. Obično je za rad potrebna jedna ili više baterija, iako neki digitalni termostati koriste uobičajene 12-24 DC sklopove kao izvor energije. Imaju LCD zaslon koji prikazuje trenutnu temperaturu i trenutne postavke. Neki napredni modeli imaju touch screen, te sposobnost za rad sa sustavima za automatizaciju kuća ili automatizaciju zgrada, serijski port, USB priključak i sl.

Digitalni termostati koriste ili relej ili poluvodički element da djeluje kao prekidač za kontrolu HVAC (Heat Ventilation Air Condition) jedinica. [Slika 4]



Slika 4. Predodžba digitalnog termometra

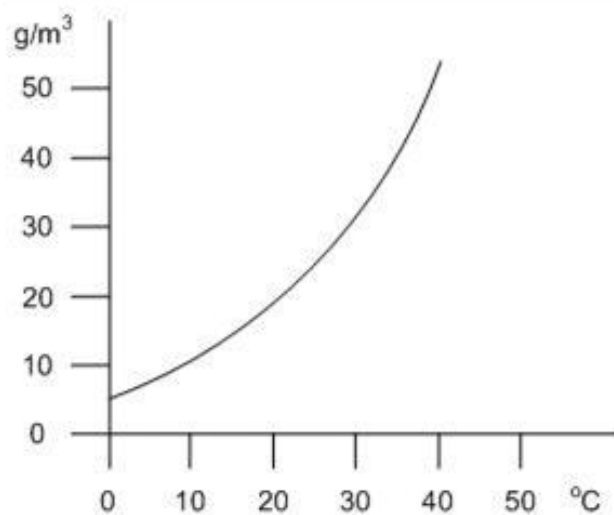
4.2. Vlažnost sobnog zraka

Svakoj temperaturi zraka odgovara maksimalna moguća količina vodene pare koju zrak pri toj temperaturi može sadržavati. Pri toj maksimalnoj vlazi kažemo da je zrak zasićen vodenom parom. Ako bi u zrak ubacili dodatnu količinu vodene pare došlo bi do kondenzacije. [Tablica 1]

Vlaga je povoljna za stvaranje i razmnožavanje mikroorganizama. Može se manifestirati kao pljesan ili gljivice na zidovima koji nisu dovoljno toplinski izolirani ili u drvu. U klima tehnici se pretpostavlja 35% kao donja i 70% kao gornja granica vlažnosti zraka. Optimalni postotak relativne vlažnosti zraka kreće se od 40 – 60 %.

Pri vlažnosti ispod 35% koja zimi u zagrijanim prostorijama lako može nastati, pokazalo se da se zbog sušenja odjeće, tepiha, namještaja itd, lakše stvara prašina i da tinjanjem ove prašine na grijućim tijelima nastaju amonijak i drugi plinovi koji nadražuju dišne organe. Sve vrste sintetike na suhom zraku se električno pune i skupljaju čestice prašine. Osim toga, nastaje i sušenje sluzokože gornjih dišnih putova koji će time biti ograničeni u svojoj funkciji. Druga ispitivanja su pokazala da povećana vlažnost zraka smanjuje opasnost od prehlade.

Pri vlažnosti zraka preko 70%, odaje se miris stvaranja plijesni, a vlaga oštećuje materijal. Pri vlažnosti zraka od 60% znojenje počinje na 25°C, a pri vlažnosti od 50% tek na 28°C. Pri normalnoj temperaturi od 20 do 22°C vlažnost treba biti u granicama od 35 do 65%, dok pri višim temperaturama od 26°C vlažnost treba smanjiti. [Slika 5]



Slika 5. Predodžba grafa ovisnosti maksimalne moguće zasićenosti zraka vodenom parom o temperaturi

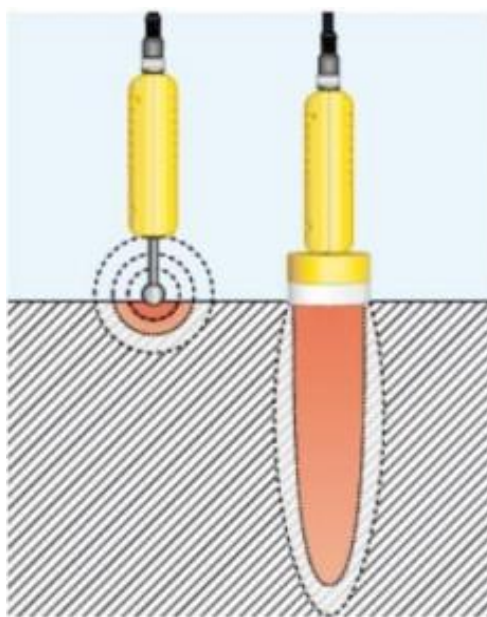
Tablica 1. Maksimalno zasićenje vodenom parom

Temperatura zraka	Maksimalno zasićenje vodenom parom
0°C	4.8 g/m ³
5°C	6.8 g/m ³
10°C	9.4 g/m ³
15°C	12.8 g/m ³
20°C	17.3 g/m ³
25°C	23.1 g/m ³
30°C	30.3 g/m ³
35°C	39.6 g/m ³
40°C	51.1 g/m ³

4.2.1. Mjerenje vlažnosti dielektričnom i mikrovalnom sondom

U svrhu dokazivanja učinaka vlage koristimo se nerazornom metodom mjerenja površinske vlage dielektričnom sondom i dubinske vlage mikrovalnom sondom. [Slika 6] Mjerenje vlage ovim metodama je kvalitativno, odnosno bazira se na usporedbi izmjerenih vrijednosti.

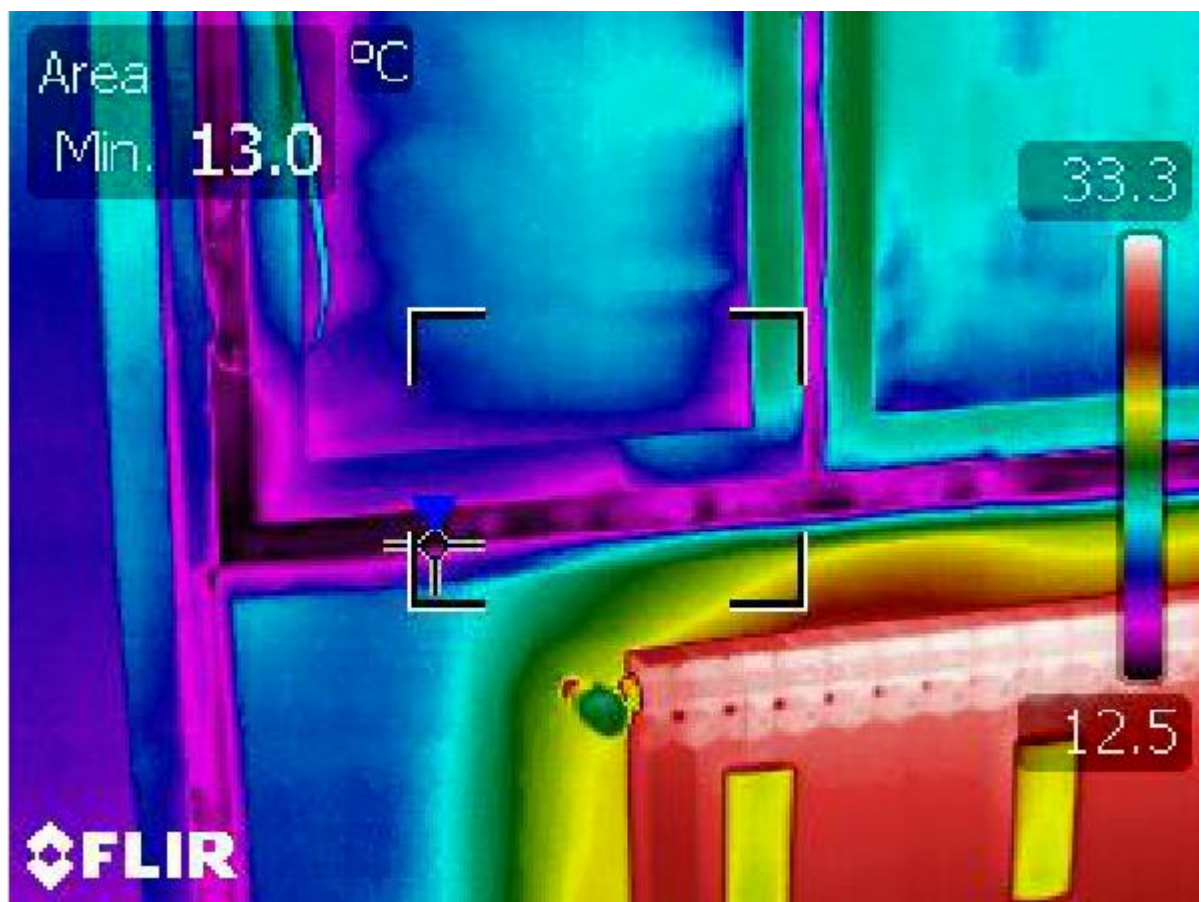
Dubina mjerenja (prodiranja sonde) površinske vlage je 2 - 4 cm, a mjerenja dubinske vlage do 30 cm ovisno o gustoći i vlazi materijala kojeg mjerimo. Ove dvije metode mjerenja vlage uspješno se kombiniraju s IC kamerom te se određuje rasprostiranje i koncentracija vlage unutar građevne konstrukcije.



Slika 6. Predodžba dielektrične i mikrovalne sonde

4.2.2. Mjerenje temperature IC kamerom

Infracrvena termografija – beskontaktna metoda mjerenja i bilježenja temperature i njezine raspodjele na površini tijela (građevina). Svako tijelo na temperaturi iznad apsolutne nule emitira elektromagnetske valove (Wienov zakon). Ovo svojstvo infracrvene termografije korisno je pri energetske pregledima za brzo kvalitativno mjerenje stanja građevine. IC termografija u zgradarstvu je prije svega namijenjena za kontrolu i nadzor novih zgrada ili provjeru nakon sanacije starih zgrada. U industriji služi za preventivno i predikativno održanje sustava. [Slika 7]



Slika 7. Predodžba termograma

4.3. Gibanje zraka ili strujanje

U ventilacijskim kanalima i kroz otvore za dovod ili odvod zraka to je omjer volumnog protoka zraka i površine poprečnog presjeka kanala, odnosno otvora kroz koji struji taj zrak.

Unutar prostorija zrak se giba u određenom smjeru ili vrtložno i zbog razlika u temperaturi pojedinih slojeva zraka. Brzina strujanja zraka najčešće izražava se u m/s, a za mjerenje se koriste anemometri (kada se zrak giba u određenom smjeru) i katatermometri (kada je prisutno vrtložno strujanje zraka).

Brzina kretanja zraka u radnim prostorijama ne smije biti veća od 0,5 m/s u zimskom razdoblju, 0,6 m/s u prijelaznom razdoblju, odnosno 0,8 m/s u toplom razdoblju. Ukoliko se koriste uređaji za klimatizaciju brzina strujanja zraka na stalnom radnom mjestu ne smije biti veća od 0,2 m/s.

4.3.1. Anemometar

Anemometar je mjerni instrument za mjerenje brzine strujanja zraka. [Slika 8]

Uloga anemometra je mjerenje nekoliko ili svih komponenata vektora strujanja zraka. Idealni mjerni davač (senzor) vjetra bi trebao reagirati na najmanje strujanje zraka. Termo-anemometar s vanjskom teleskop sondom koristi se za male brzine do 25 m/s. U pravilu takav instrument se koristi za mjerenje brzine strujanja zraka veće od 0.5 m/s, jer je ispod te granice mjerenje onemogućeno.



Slika 8. Predodžba termo-anemometra

4.4. Ispitivanje prisutnosti VOC-a (Volatile organic compounds)

U stambenim prostorijama, osim ranije navedenih lebdećih čestica, ponekad se mogu naći i druge primjese u zraku. Na primjer, iz iverice i karbamdnih izolacijskih pjena izlazi plin formaldehid. Formaldehid je bezbojan otrovan plin oštra mirisa, topljiv u vodi. U stanovima se može tolerirati $0,12 \text{ mg/m}^3 = 0,1 \text{ ppm}$. Osim toga se nalazi i pentaklorfenol (PCP), porijeklom iz boje drveta.

U nekoliko zemalja u kućama su ustanovljene radioaktivne čestice u zraku. Izvori su radioaktivni plemeniti plinovi radon i toron, koji nastaju kao proizvod razlaganja urana/radijuma, odnosno torijuma koji se nalaze svuda u prirodi. Radon i toron nastaju iz zemlje, građevinskog materijala ili vode, a u zraku se pretvaraju u olovo i polonijum, koji se talože na česticama prašine u zraku i inhlacijom dopijevaju u pluća. Radon se nalazi u velikim koncentracijama u sivom granitu od kojih se izrađuju podrumi i temelji kuća.

Po svom utjecaju radon je na drugom mjestu, poslije pušenja, kao uzročnik raka pluća. Izmjerena srednja vrijednost radona sobnog zraka je 50 Bq/m^3 , ali sa širokim spektrom. Kritična vrijednost smatra se 500 Bq/m^3 . Glavni izvor radona je zemlja, pa se provjetravanjem podrumskih i prizemnih prostorija postiže njegovo odstranjivanje.

4.4.1. Senzor za VOC

Fotoionizacijski senzor (piD) je broadband senzor, prvenstveno dizajniran za otkrivanje hlapivih organske spojeva (VOC), tj. kemijskih spojeva s ugljikom koji su u plinovitom stanju na sobnoj temperaturi. Minimalne razine detekcije do ppb (parts-per-billion). Ugrađuju se u analizatore plinova. [Slika 9]



Slika 9. Predodžba fotoionizacijskog senzora

4.4.2. Analizatori plinova

Analizator plinova prisutnih u zraku je dizajniran posebno za servisere i tehničko osoblje zaposleno u mnogim granama industrije, a posebno na mjerenju emisija te prilagodbi rada kotlovnih postrojenja i ostale grijače opreme. Koristi se u elektranama, spalionicama otpada, rafinerijama nafte, kotlovskim postrojenjima, kontroli plinskih turbina, motora i peći. Primjenjiv je kod mjerenja učinkovitosti izgaranja, kontroli zagađenja, ispitivanju emisija, auditima okoliša itd.

Ručni analizator dizajniran je za kratkoročno mjerenje dvije ili tri komponente plina (O_2 , CO i eventualno NO_2). U njega su ugrađeni elektrokemijski senzori za kisik, ugljični monoksid i kao opcija senzor za dušikov(II)-oksid, dakle max. 3 senzora.

Uz navedeno uređaj kalkuliра volumetrijsku koncentraciju ugljičnog dioksida CO₂, mjeri ambijentalnu koncentraciju za CO s rezolucijom od 0,1 ppm, temperaturu plina i ambijentalnu temperaturu, tlaka, podtlak i diferencijalni tlak, daje izračun svih relevantnih parametara izgaranja kao što su indeks toksičnosti (CO/CO₂-Toxic Index), višak zraka Lambda (λ), gubitke sagorijevanja (qA) i učinkovitost (Eta). Opcionalno mjeri brzinu protoka putem Pitot cijevi te relativnu vlažnost rH. Kao atraktivana alternativa u usporedbi sa drugim, većim analizatorima, posebno je pogodan za brza mjerenja kod instalatalacije grijanja, regulacije ili popravka peći te kotlova koji koriste različite tipove goriva za grijanje. [Slika 10]



Slika 10. Predodžba ručnog analizatora plina

Prijenosni analizator je uređaj koji sadrži maksimalno 9 senzora za plin, 7 elektrokemijskih i 2 NDIR infracrvena senzora. Osnovni uređaj je opremljen s 2 elektrokemijska senzora za O₂ i CO₂, uz mogućnost ugradnje pet dodatnih senzora za plinove: NO, NO₂, SO₂, H₂S, vodik H₂, ili amonijak NH₃. Također moguća je instalacija i dodatnih 2 infracrvena NDIR senzora za CO₂ i/ili C_xH_y. Uređajem je moguće izračunavanje CO₂, mjerenje čađnog broja po Bacharachu, mjerenje tlaka i potlaka, qA gubitaka, Eta efikasnosti, λ Lambde i svih ostalih relevantnih parametara izgaranja. [Slika 11]

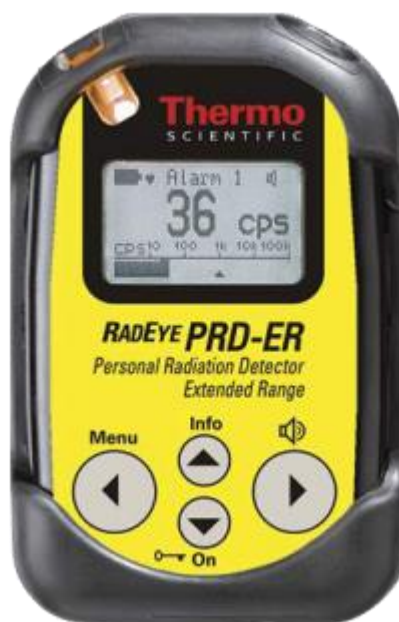


Slika 11. Predodžba prijenosnog analizatora plina

4.5. Osobni detektor zračenja

Osobni detektor zračenja (engl. High-Sensitivity Personal Radiation Detector) je jedan od mnogih uređaja koji se koriste za povećanje osobne sigurnosti. Izloženost radijaciji kroz kontaminaciju ili zračenje može biti značajan rizik. Čak i male količine tijekom dugog vremena mogu povećati rizik od raka. Osobni detektor zračenja prati okruženje i upozorava korisnika na prisutnost radioaktivnog materijala. Ovakav uređaj od osobite je koristi prilikom duljeg boravka ljudi u manjim zatvorenim podrumskim prostorima kao i prostorima gdje

postoji vjerojatnost prirodne ili sekundarnog isparavanja i prisutnost radioaktivnog materijala odnosno plinovitog ili čestičnog agregatnog stanja. [Slika 12]



Slika 12. Predodžba osobnog detektora zračenja

4.6. Prašina

Pod prašinom se smatraju u zraku raspoređene disperzne čvrste čestice materije bilo kakvog oblika, strukture i gustoće, koje se mogu podijeliti prema finoći: gruba, fina i vrlo fina prašina. Fina prašina, pri kretanju zraka ne prati zakone o slobodnom padu (lebdeće čestice), tako da se lagano taloži. Čestice ispod $0,1 \mu\text{m}$ nazivaju se koloidna prašina; njihovo kretanje je slično kretanju molekula (Braunovo kretanje) i ne podleže zakonu Stoksa. Vidljive su samo čestice $> 20 \dots 30 \mu\text{m}$.

4.6.1. Mjerenje onečišćenja laserskim brojačem čestica

Brojač čestica, tzv. LPC (Laser Particle Counter) je instrument koji detektira i broji čestice. Po svojoj prirodi, brojač čestica je jednostruki brojač, što znači da broji česticu po česticu. Temelji se na raspršenju svjetlosti, zatamnjenju svjetlosti ili izravnom snimanju. Izvor visokog intenziteta svjetla se koristi za osvjetljavanje čestica koje prolaze kroz komoru za

detektiranje. Čestica prolazi kroz izvor svjetla (obično laserskog svjetla ili halogenog), te ako se koristi raspršenje svjetla, tada se preusmjerena svjetlost detektira pomoću foto detektora. Ako se koristi izravno snimanje, halogeno svjetlo osvjetljava čestice, dok kamera visoke razlučivosti bilježi čestice koje prolaze. Snimljeni video onda se analizira od strane računalnog softvera za mjerenje svojstava čestica. Ako se koristi pomračenje svjetlosti, detektira se gubitak svjetlosti. Amplituda raspršene svjetlosti ili zamračenja se mjeri, čestice se broje i smještaju se u posebna mjesta. [Slika 13]



Slika 13. Predodžba laserskog brojača čestica (LPC)

4.7. Mjerila ugodnosti, termička ugodnost

Ekvivalentna temperatura za razliku od operativne temperature, osim utjecaja temperature zraka i obuhvatnih površina na toplinski učinak zagrijanog tijela (čovjeka), uzima se u obzir i utjecaj kretanja zraka unutar prostorije.

Efektivna temperatura ili temperatura potpuno mirnog zraka (zrak brzine strujanja $v=0$), potpuno zasićenog vodenom parom (zrak relativne vlage $r_H = 100\%$), koja kod prosječnog čovjeka izaziva isti osjet topline, kao i aktualna kombinacija temperature zraka, brzine strujanja zraka i vlažnosti zraka na konkretnom radnom mjestu.

4.8. Mjera za CO₂ prema M.J.Pettenkoferu

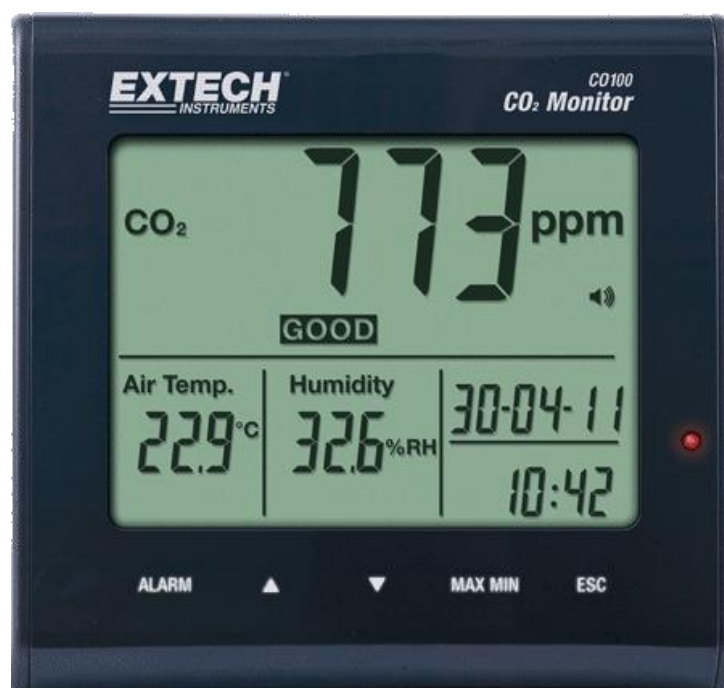
Još u 19 stoljeću Bavarski kemičar i higijeničar Max Jozef Pettenkofer (1818.-1901.) izveo je zaključak da je najupotrebljiviji kriterij za dobar sobni zrak količina od 0,1 vol.% udjela CO₂. Ova vrijednost od 0,1 vol.% ili 1000 ppm CO₂ poznata je kao „Pettenkoferov broj“. Današnji kriteriji za čistim i zdravstveno ispravnim zrakom temelje se na propisanim standardima koji određuju potrebnu količinu volumnih izmjena zraka u prostoriji s obzirom na broj ljudi koji borave u takvom prostoru, volumen prostora općenito, ali i s obzirom na količinu vlage, alergena i ostalih nečistoća u zraku.

Obzirom na dva propisana kriterija u Zakonu o zaštiti na radu potrebna količina svježeg zraka po zaposleniku u uredskim prostorijama treba biti minimalno oko 30 m³/h odnosno, potrebno je minimalno izmijeniti zrak dvostrukog volumena prostorije u sat vremena. Taj se propis mora poštivati u svim javnim prostorijama i zgradama.

4.8.1. Mjerenje CO₂

Količina CO₂ može se mjeriti pomoću raznih za tu namjenu izrađenih uređaja zadovoljavajuće kvalitete i točnosti. Riječ je o uređajima za kontrolu količine CO₂ u zatvorenim prostorima kao što su uredi, škole, bolnice, tvornice i sl. [Slika 14]

Obzirom da naznačeni uređaj ima ugrađenih nekoliko mjernih osjetilnih elemenata uređaj istovremeno može mjeriti i prikazati vrijednosti CO₂, sobne temperature T, relativne vlažnosti r_H , vremena i datuma. Također ima i alarm upozorenja na visoku količinu ugljičnog dioksida i biranje graničnih vrijednosti, te veliki, LCD zaslon jednostavan za čitanje mjernih vrijednosti.

Slika 14. Predodžba mjerača CO₂

5. HRVATSKE NORME I STANDARDI

U slijedećem poglavlju biti će riječ o propisanoj zakonskoj regulativi u RH.

Zakonom o gradnji (NN 153/13) i Tehničkim propisom o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 3/07) u okviru ispunjavanja bitnih zahtjeva za zgradu propisuju se tehnička svojstva i zahtjevi za projektiranje, izvođenje sustava, uporabljivost, održavanje i drugi zahtjevi za sustave.

Važeća norma HRN EN 13779 fokusirana je na postizanje ugodnog i zdravog boravišnog okoliša, kojom se vanjski zrak kategorizira u tri stupnja. ODA1 predstavlja čisti zrak (s česticama peludi), a s kategorijom ODA3 kategorizirana su gradska središta. [Tablica 2]

Tablica 2. Kategorizacija zraka u gradskim središtima

Kategorije	CO ₂	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀
ODA1	<350 ppm	5-35 µg/m ³	<5 µg/m ³	<20 µg/m ³
ODA2	350-450 ppm	15-40 µg/m ³	5-15 µg/m ³	10-30 µg/m ³
ODA3	>450 ppm	30-80 µg/m ³	10-50 µg/m ³	<50 µg/m ³

Kategorizacija unutarnjeg zraka izvršena je u četiri stupnja. [Tablica 3]

Tablica 3. Kategorizacija zraka u unutarnjim prostorima

KATEGORIJE	OPIS	VRIJEDNOST KONCENTRACIJA CO ₂	SATNE IZMJENA ZRAKA PO OSOBI
IDA1	Visoki IAQ	<400 ppm	> 54 m ³ /h
IDA2	Srednji IAQ	400-600 ppm	36-54 m ³ /h
IDA3	Promjenjiv IAQ	600-1000 ppm	22-36 m ³ /h
IDA4	Nizak IAQ	>1000 ppm	<22 m ³ /h

Komparacijom ODA i IDA kategorija dobivaju se potrebni zahtjevi za određenim stupnjem obrade zraka filtracijom.

Količine vanjskog zraka po tlocrtnoj površini poda za zatvorene prostore bez stalne nazočnosti osoba prikazane su u Tablica 4.

Tablica 4. Količina izmjenjenog zraka po površini

Klasifikacija	Količina vanjskog/izmijenjenog zraka po tlocrtnoj jedinici površine poda (m^3/h , m^2)	
	Vrijednost	Vrijednost koja se uobičajeno koristi pri projektiranju
IDA 1	-	-
IDA 2	> 2,5	3
IDA 3	1,3 – 2,5	2
IDA 4	< 1,3	1

Potrebne količine vanjskog zraka po osobi koja boravi u zatvorenom prostoru prikazane su u Tablica 5.

Tablica 5. Potrebne količine vanjskog zraka

Klasifikacija	Količina vanjskog zraka po nazočnoj osobi (m^3/h , osoba)			
	Prostori sa zabranom pušenja		Prostori u kojima borave i pušači	
	Vrijednosti	Uobičajeno	Vrijednosti	Uobičajeno
IDA 1	> 54	72	> 108	144
IDA 2	36-54	45	72-108	90
IDA 3	22-36	29	43-72	58
IDA 4	< 22	18	< 43	36

Važeća hrvatska norma HRN EN 779:2012. donesena je sa svrhom klasifikacije zračnih filtara prema najnižem stupnju filtrabilnosti (minimalna efikasnost (ME)) za čestice veličine 0,4 μm . Gotovo 96% ukupnog broja čestica u zraku su promjera manjeg od 1 μm . ME vrijednost za fine filtre deklarirane klase F7 (EU7) iznosi minimalno 35% (uz prosječnu propisanu vrijednost odvajanja 80 do 90%). Norma zasigurno predstavlja korak naprijed u osiguranju boljih uvjeta okoliša zatvorenih prostora.

6. MJERENJE CO₂, TEMPERATURE I VLAGE U PROSTORU

U sljedećem poglavlju biti će opisan uređaj pomoću kojeg su provedena mjerenja za potrebe završnog rada.

Za pokusno mjerenje količine ugljičnog dioksida u prostoriji odabran je Green Eye uređaj. Uređaj (datalogger) mjeri razinu ugljičnog dioksida, temperaturu, vlažnost, uz zapisivanje izmjerenih podataka, te je idealan instrument za dijagnozu unutarnje kvalitete zraka (IAQ).

Glavne karakteristike Green Eye uređaja su:

- LCD ekran od 10 cm
- nagnutost kućišta od 15°
- prikaz kvalitete zraka (dobra-GOOD, normalna-, loša-)
- stabilan NDIR senzor za CO₂ detekciju
- alarm za prekomjerne količine CO₂

Sa uređajem u pakiranju dolazi i univerzalni adapter za napajanje 5V/0,5A, USB kabel, CD sa softverom, priručnik za korištenje. Ekran prikazuje koncentraciju CO₂ u ppm (particle per million), relativnu vlažnost u %, temperaturu zraka iskazana u C ili F, datum i sat, kao što se može vidjeti na slici 15. [Slika 15]



Slika 15. Predodžba Green Eye CO₂ mjerača

6.1. Specifikacije Green Eye CO2 dataloggera

Specifikacije mjerača:

- raspon mjerenja:

CO2	0 – 9999 ppm
temperature zraka	-10 do 60 °C
vlažnosti	5% RH – 95% RH
- rezolucija:

CO2	1 ppm
temperatura zraka	0.1 °C/0.1°F
vlažnost	0.1% RH
- točnost:

CO2	50 ppm ± 5% očitavanja
temperatura	±0.6 °C
vlažnosti	±3% RH (za 25°C, 10 – 90% RH)
	±5% RH (za 25°C, <10% i >90% RH)
- brzina odgovora:

CO2	< 2 min
temperatura zraka	< 2 min
vlažnost	< 10 min
- kvaliteta zraka:

dobra	<700 ppm
normalna	700 – 1000 ppm
loša	>1000 ppm
- alarm:

	>1000 ppm
--	-----------
- vrijeme uzimanja uzoraka:

	1 sec – 04:59:59
--	------------------

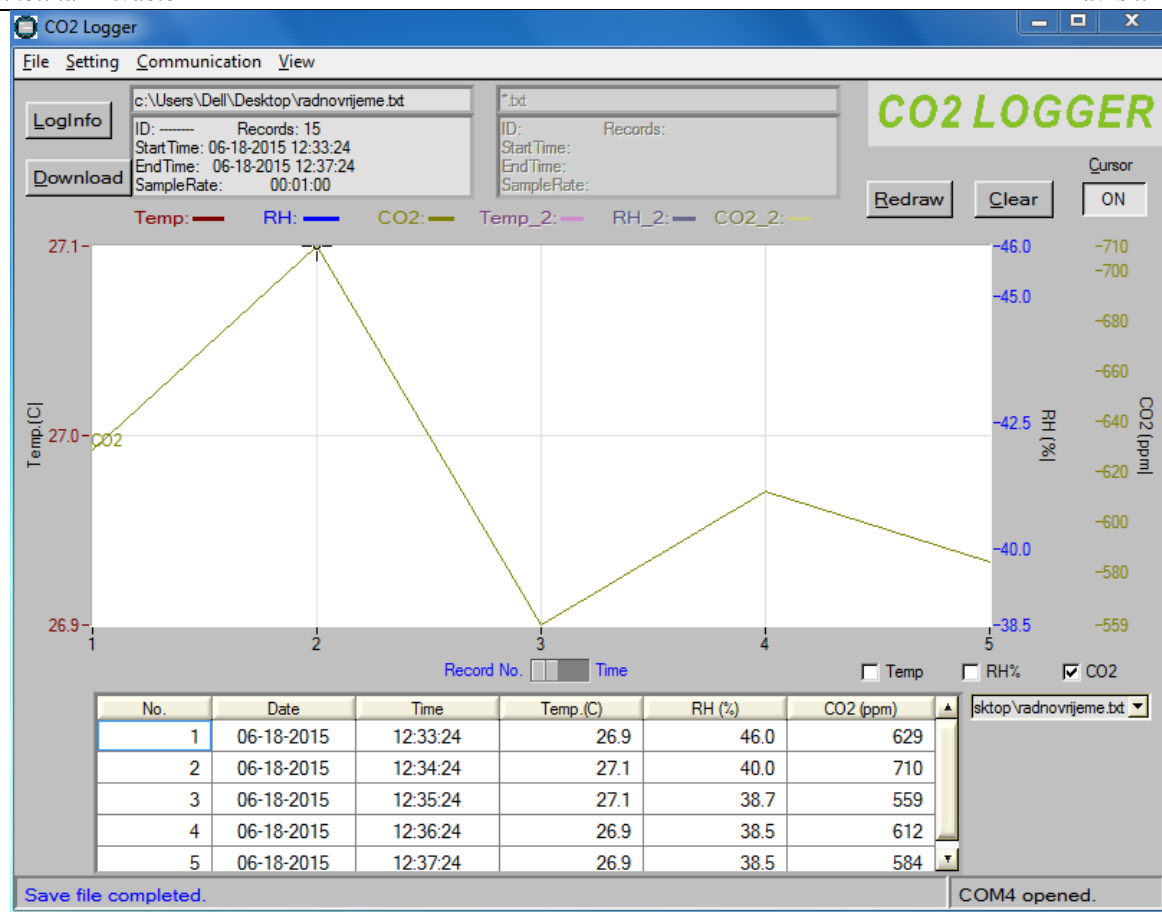
6.2. Mjerenje CO2 Green Eye CO2 dataloggerom

U sklopu ovog završnog rada provedeno je mjerenje ugljičnog dioksida, te vlažnosti i temperature zraka u nekoliko različitih režima i volumena prostora. Svrha mjerenja naznačenih parametara bila je spoznaja koliku količinu CO2 stvara pojedinac u svojoj neposrednoj okolini i neposredno u prostoru u kojem se nalazi. Mjesto ispitivanja koncentracije obavljeno je u mjesecu lipnju u jednom uredu volumena 45m³ Veleučilišta u Karlovcu, na adresi Ivana Meštrovića 10, Karlovac i to u dva različita vremena. Prvo mjerenje obavljeno je za vrijeme radnog vremena s boravkom dvije osobe u naznačenom uredu s zatvorenim prozorima, te drugo u praznom uredu. Kod mjerenja naznačenih parametara najprije je potrebno odabrati interval prema kojem će se uzimati uzorci na temelju kojih će biti izrađen dijagram. U mjerenjima je odabran interval od 1 minute.

6.2.1. Mjerenje parametara zraka za vrijeme radnog vremena

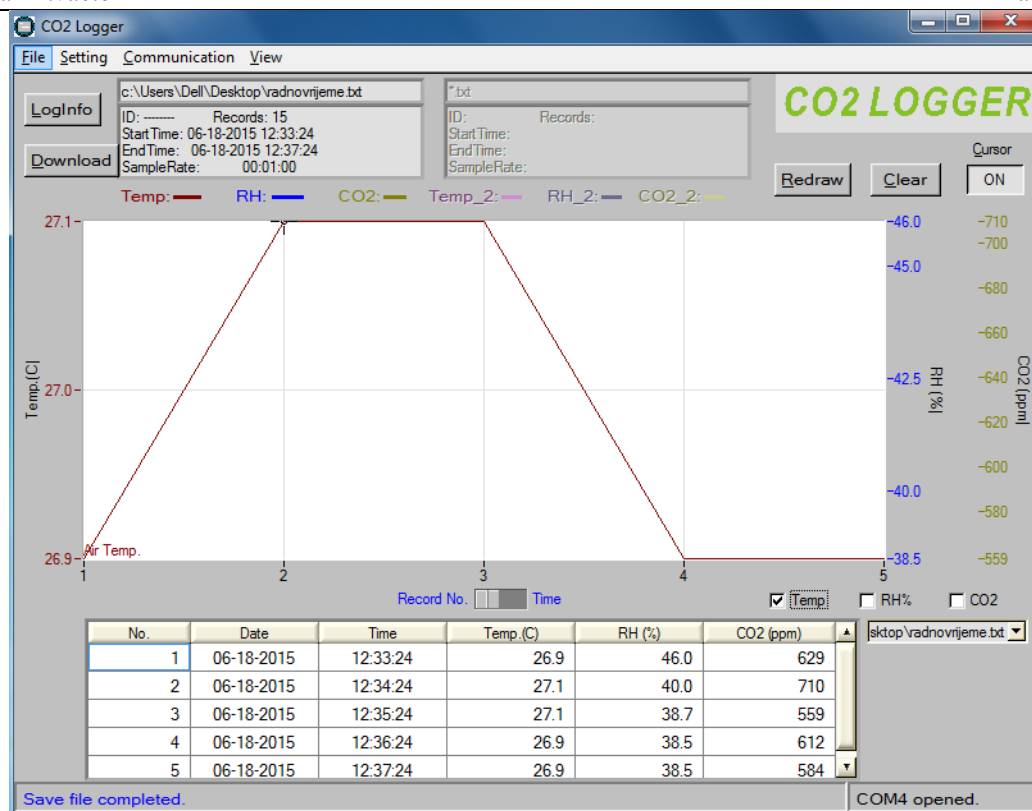
Mjerenje obavljeno u uredu za vrijeme radnog vremena s boravkom dvije osobe u prostoru pokazuje povišene vrijednosti ugljičnog dioksida koji je rezultat prisutnosti ljudi koji borave u tom uredu. Parametri su prikazani u tablici [Tablica 6].

Prvi dijagram prikazuje izmjerene vrijednosti CO2 u intervalu od 1 minute. [Slika 16]



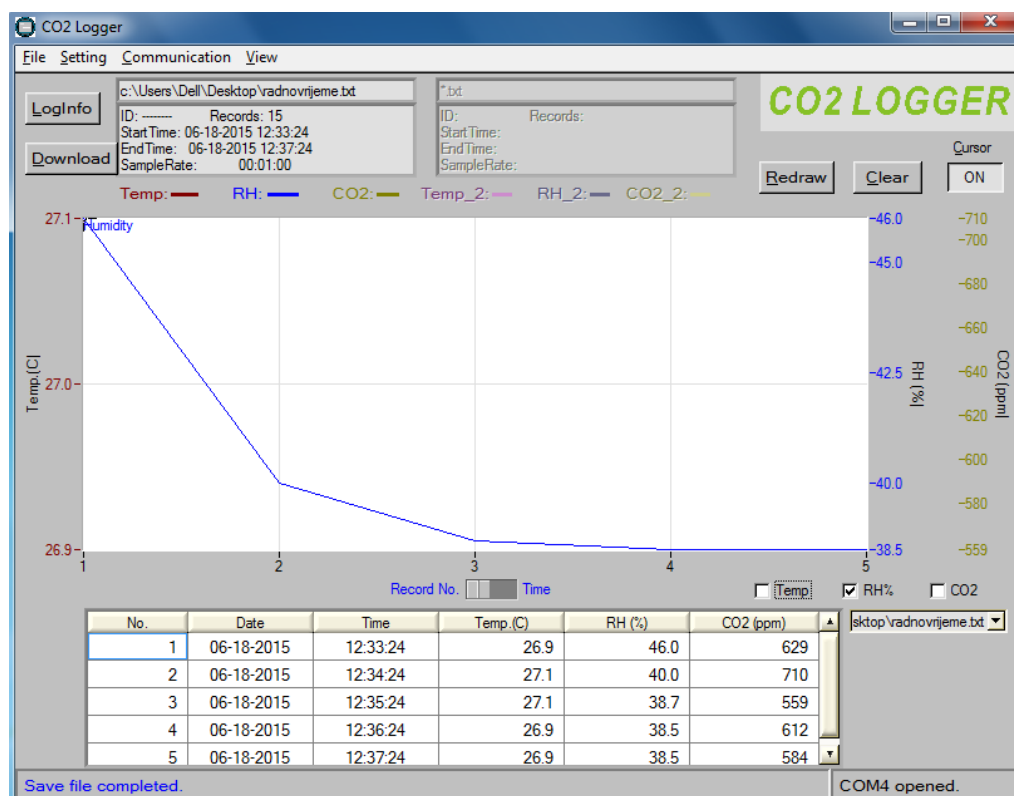
Slika 16. Predodžba izmjerenih vrijednosti CO2 za vrijeme radnog vremena

Drugi dijagram prikazuje izmjerene vrijednosti temperature. [Slika 17]



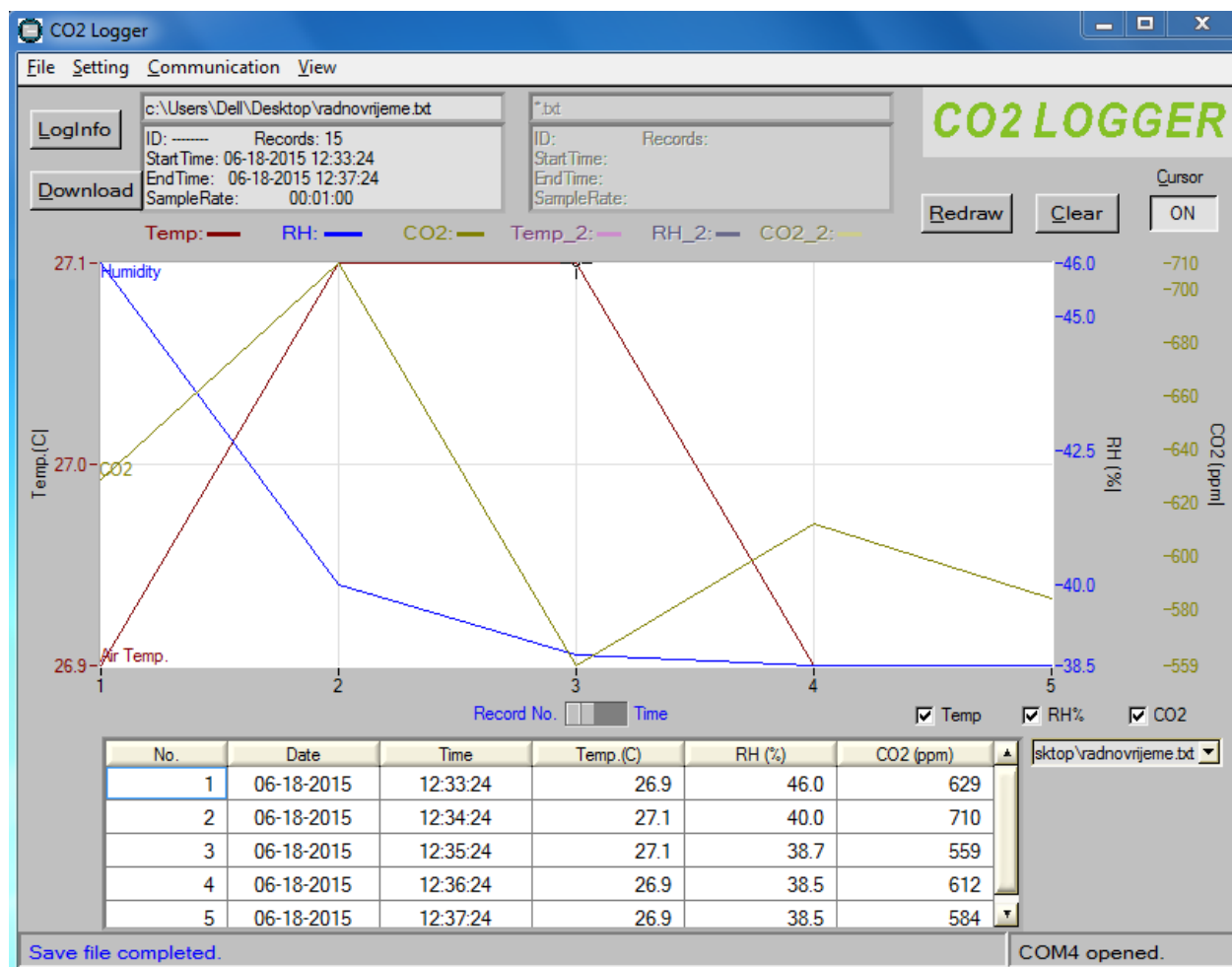
Slika 17. Predodžba izmjerene temperature za vrijeme radnog vremena

Treći dijagram prikazuje postotak relativne vlažnosti zraka. [Slika 18]



Slika 18. Predodžba izmjerene vlažnosti za vrijeme radnog vremena

Četvrti dijagram je prikaz svih vrijednosti zajedno. [Slika 19]



Slika 19. Predodžba dijagrama svih vrijednosti za vrijeme radnog vremena

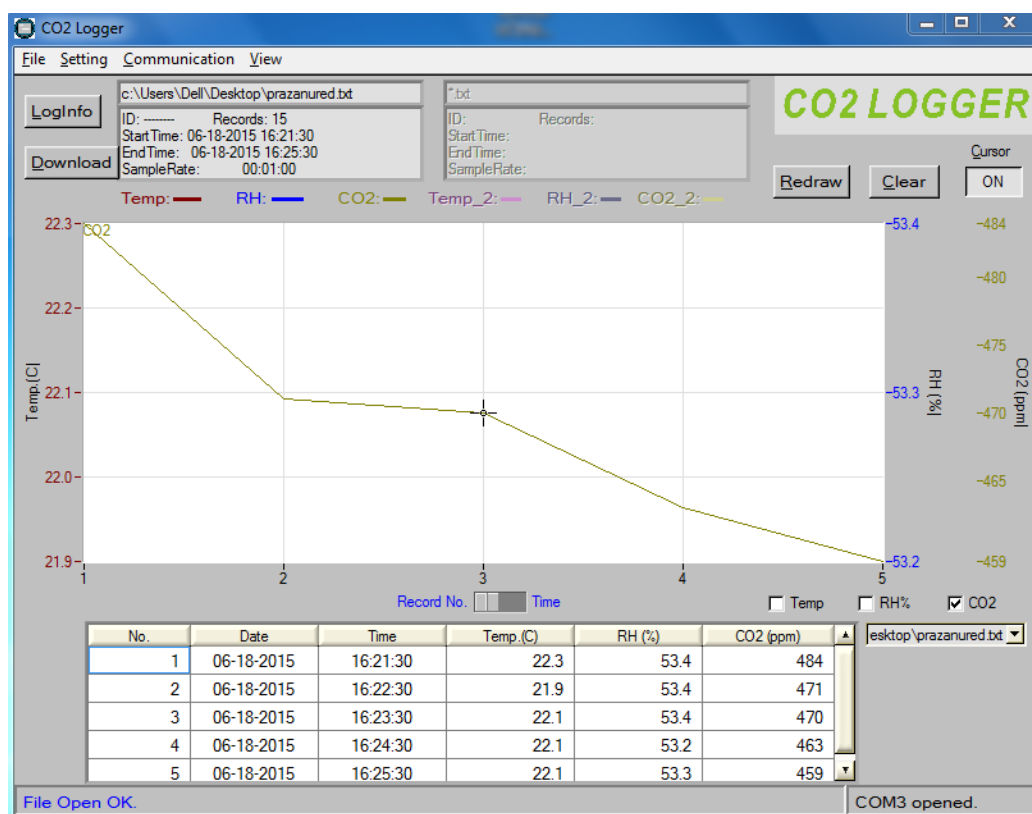
Tablica 6. Izmjerene vrijednosti za vrijeme radnog vremena

Broj uzorka	Datum mjerenja	Sati	Temperatura	Postotak vlažnosti	Količina CO2 u ppm
1	06-18-2015	12:33:24	26.9	46.0	629
2	06-18-2015	12:34:24	27.1	40.0	710
3	06-18-2015	12:35:24	27.1	38.7	559
4	06-18-2015	12:36:24	26.9	38.5	612
5	06-18-2015	12:37:24	26.9	38.5	584

6.2.2. Mjerenje parametara zraka u praznom uredu

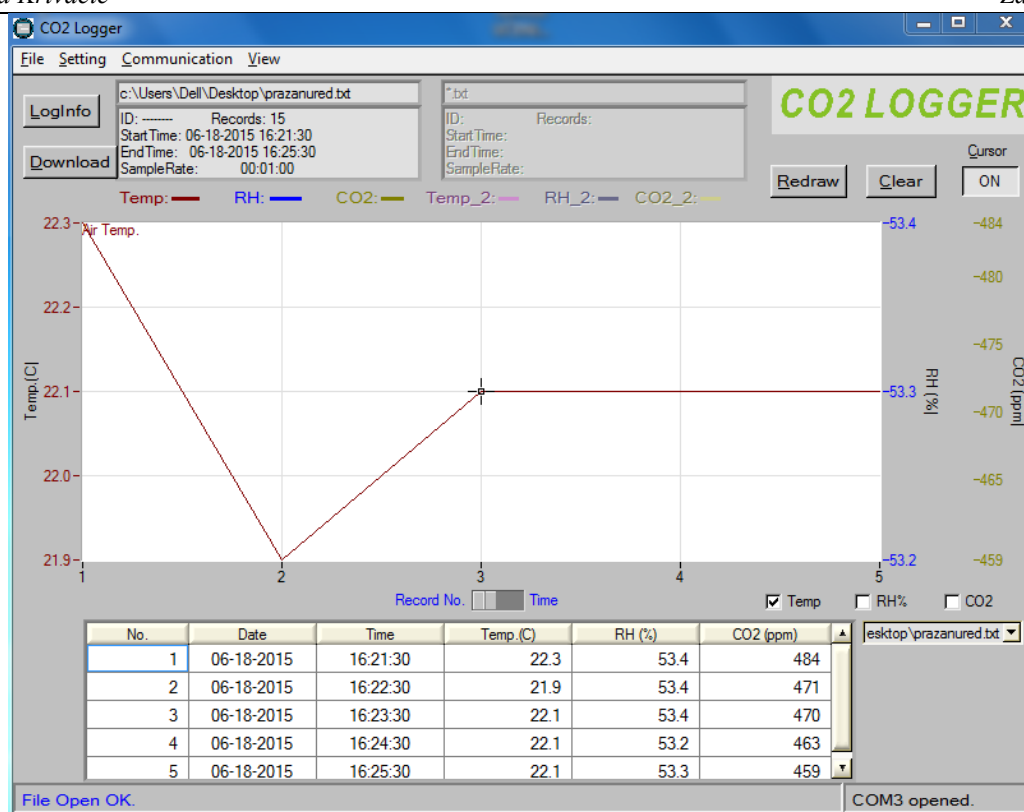
Mjerenje obavljeno u praznom uredu pokazalo je nešto manje vrijednosti CO₂ u zraku. Vrijednosti parametara dobivene u tom slučaju prikazane su u tablici [Tablica 7].

Slijedeći dijagram prikazuje vrijednosti CO₂. [Slika 20]



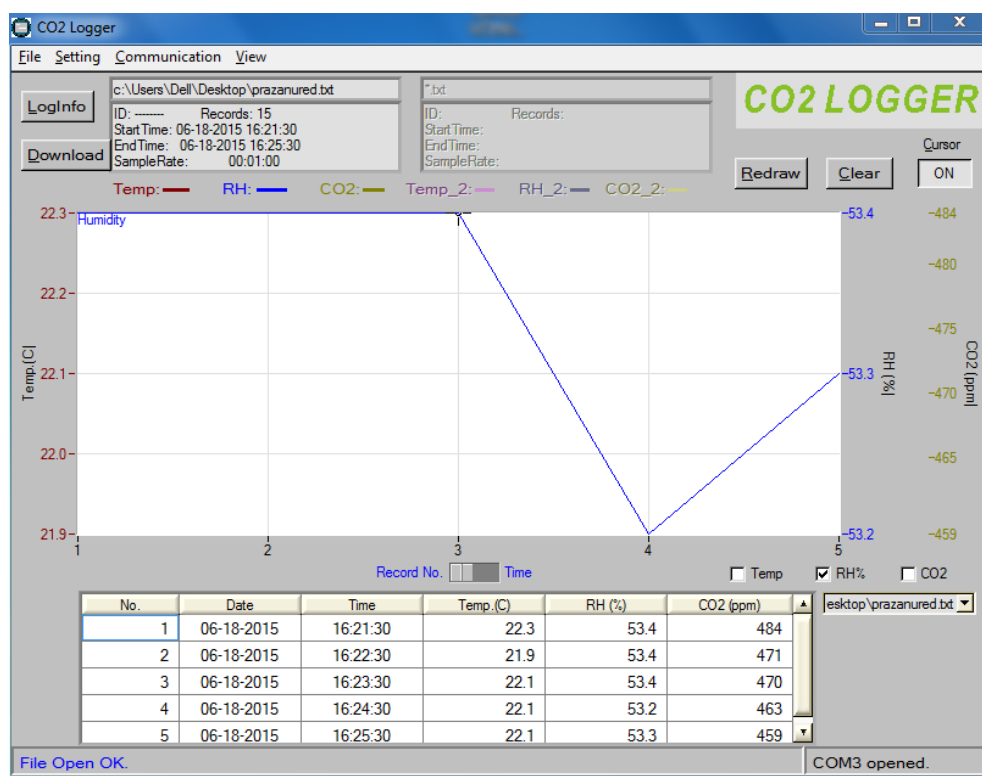
Slika 20. Predodžba izmjerene vrijednosti CO₂ u praznom uredu

Dijagram prikazuje izmjerenu temperaturu. [Slika 21]



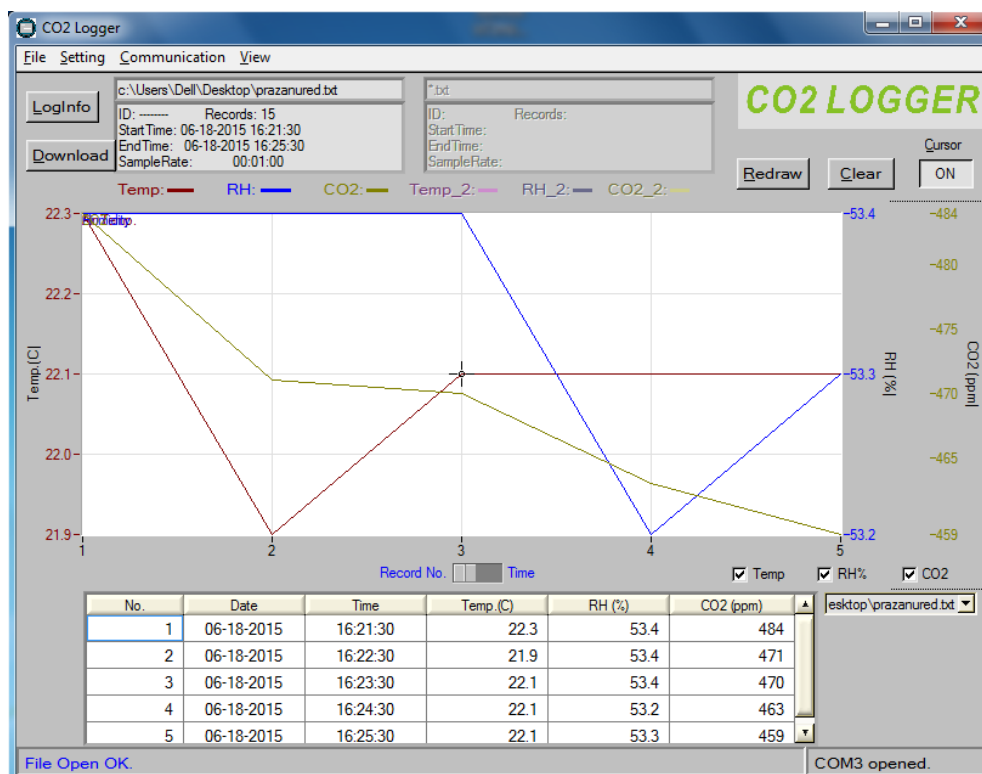
Slika 21. Predodžba izmjerene temperature u praznom uredu

Dijagram prikazuje izmjerenu vlažnost. [Slika 22]



Slika 22. Predodžba izmjerene vlažnosti u praznom uredu

Dijagram prikazuje sve vrijednosti zajedno.[Slika 23]

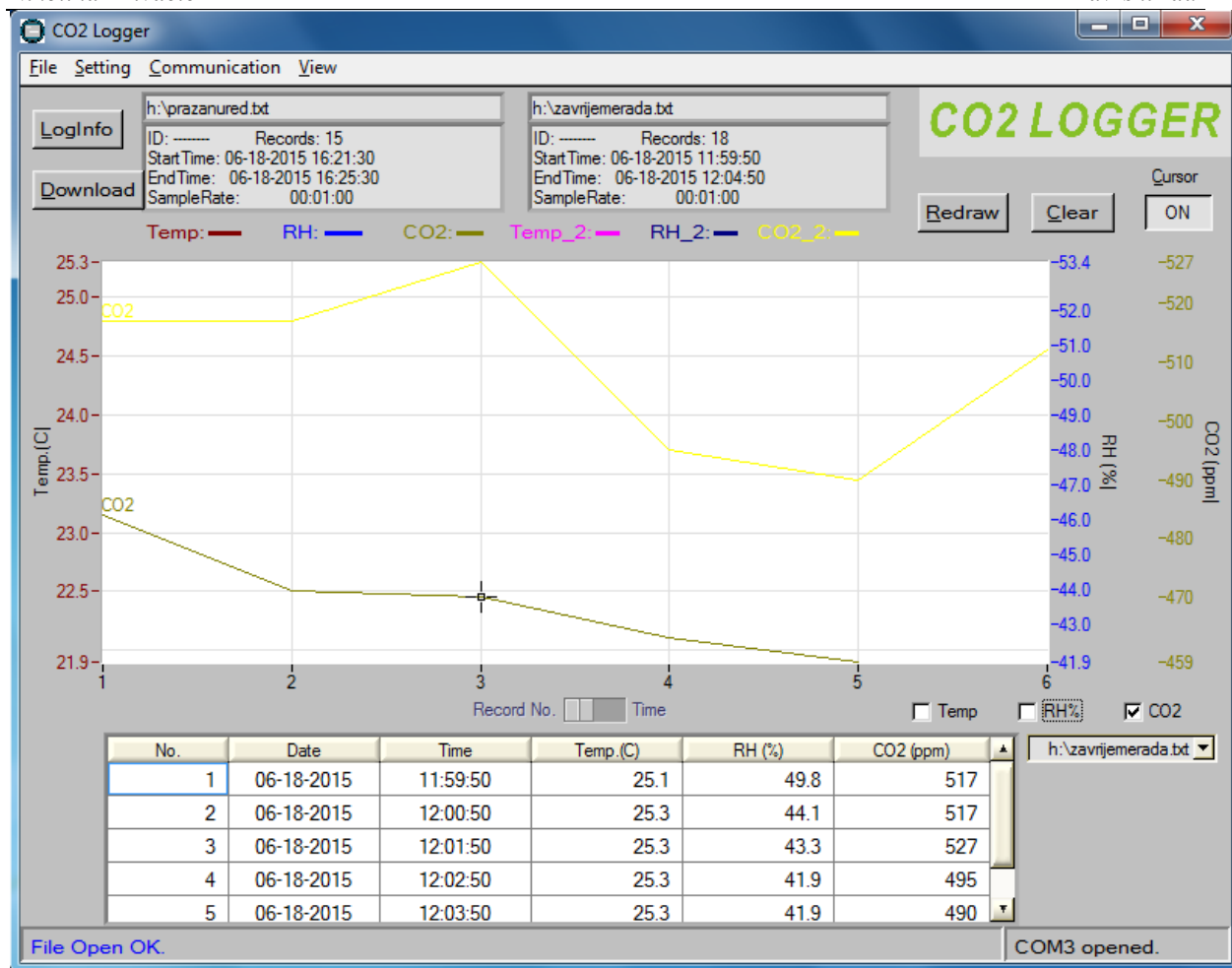


Slika 23. Predodžba dijagram svih vrijednosti u praznom uredu

Tablica 7. Izmjerene vrijednosti u praznom uredu

Broj uzorka	Datum mjerenja	Sati	Temperatura	Postotak vlažnosti	Količina CO2 u ppm
1	06-18-2015	16:21:30	22.3	53.4	484
2	06-18-2015	16:22:30	21.9	53.4	471
3	06-18-2015	16:23:30	22.1	53.4	470
4	06-18-2015	16:24:30	22.1	53.2	463
5	06-18-2015	16:25:30	22.1	53.3	459

U programu za prikaz izmjerenih vrijednosti postoji mogućnost usporednog prikaza dva mjerenja, tj. prikaz parametara na dvije vertikalne osi. Taj slučaj prikazan je na slici 24. [Slika 24]

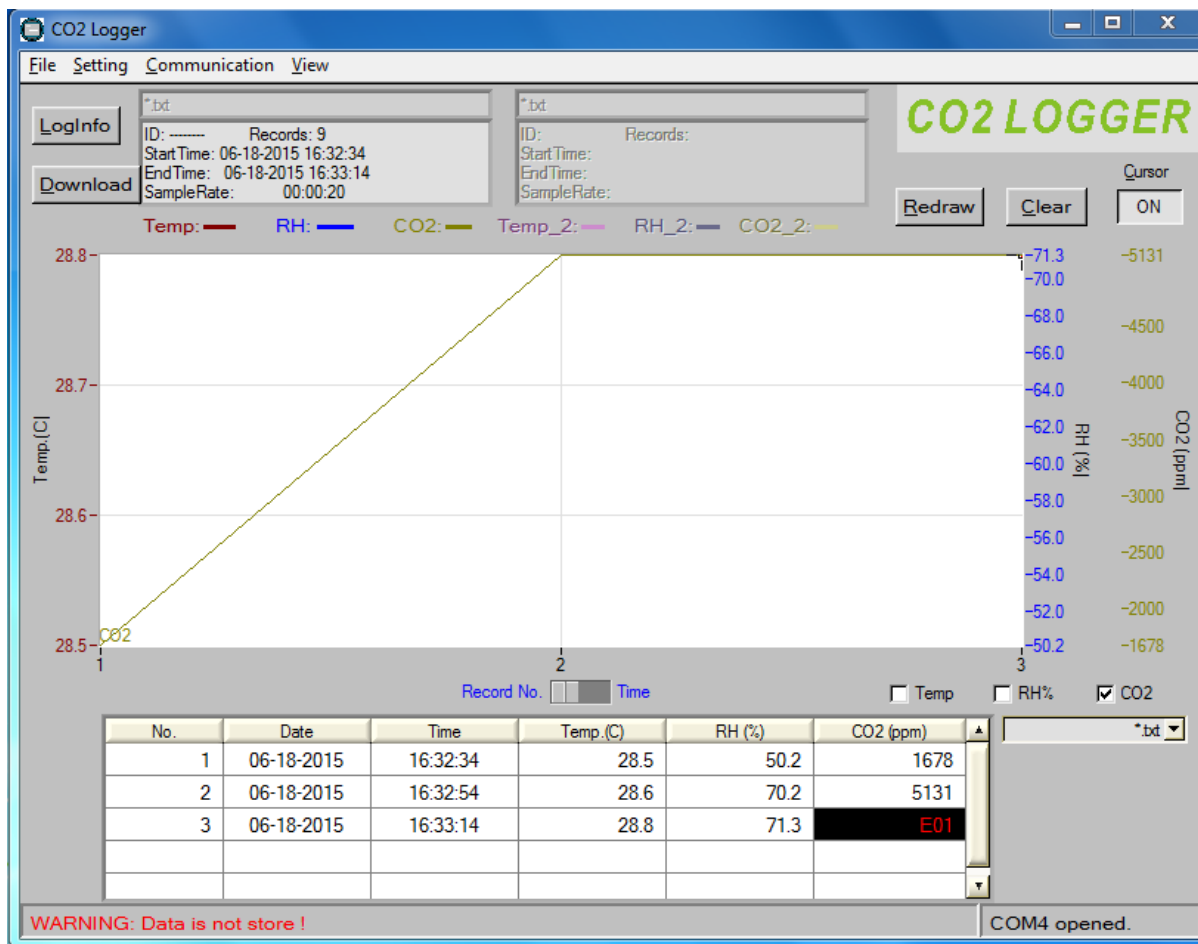


Slika 24. Predodžba usporedbe CO2 vrijednosti

6.2.3. Mjerenje količine CO2 koju stvaraju ljudi disanjem

Kao što je navedeno ranije u tekstu ovog rada, autorici je bio određen zadatak da izmjeri količinu ugljičnog dioksida koje ljudi proizvode svojim disanjem. U tu svrhu mjerenje je obavljeno naznačenim uređajem Green Eye na način da je isti umetnut u najlonsku vrećicu u koju je izvršen ispuh zraka izdisajem direktno iz pluća. Takav podatak vrlo je interesantan za ukupno razmatranje reda veličine parametra koncentracije jer se može direktno vidjeti kolika je koncentracija ugljičnog dioksida u ispuhu zraka izdisajem u volumenu od cca 2 litre zraka.

Provedeno mjerenje prikazuje velike količine ugljičnog dioksida koje ljudi ispuštaju disanjem. Razina ugljičnog dioksida je prekoračila granicu koju Green Eye uređaj može izmjeriti i prikazati (>5000ppm). [Slika 25]



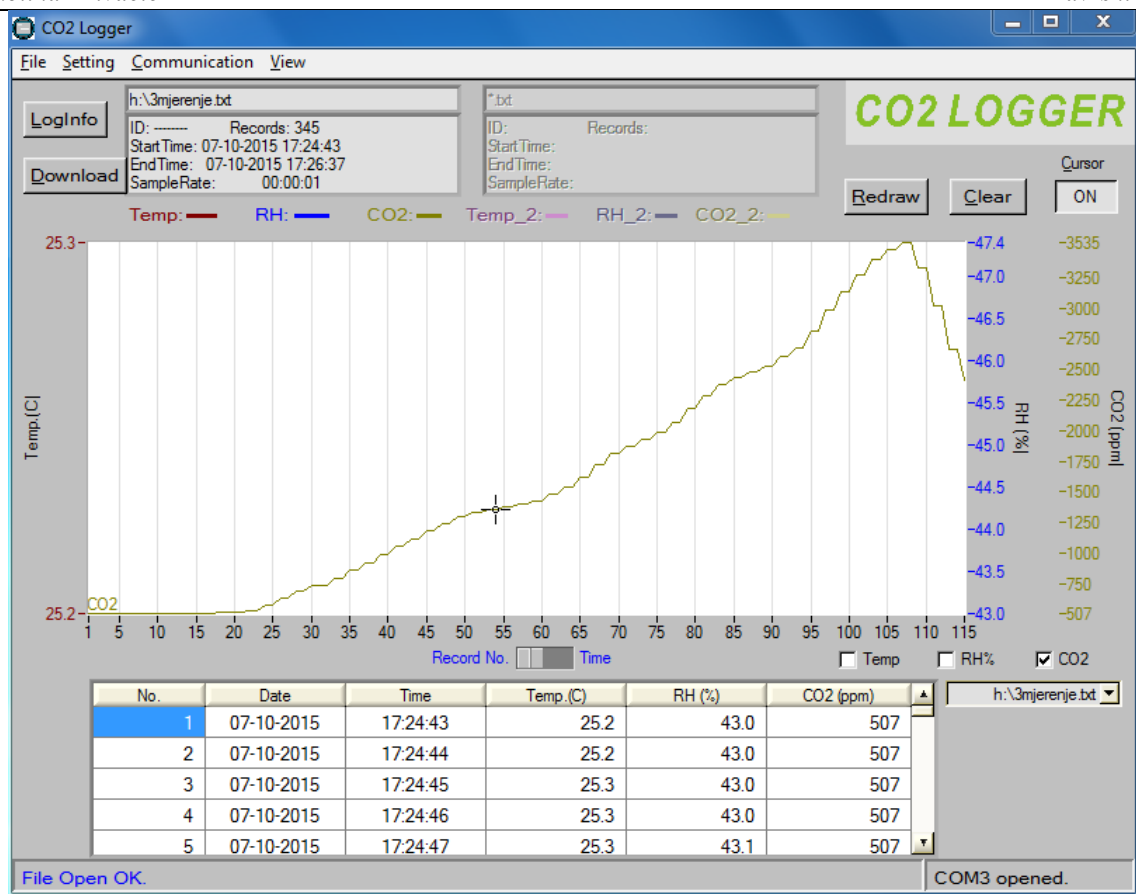
Slika 25. Predodžba izmjerene količine CO2 koje ljudi stvaraju disanjem

Nastavno na upravo objavljenu činjenicu obavljeno je mjerenje koncentracije ugljičnog dioksida u zatvorenom prostoru volumena 126 litara (kartonska kutija volumena 0,126 m³). [Slika 26]. U ovom slučaju uređaj se nalazi u kutiju u malo većem volumenu kako bi se mogla razmatrati pojava i povećanje koncentracije CO₂ u takvom prostoru. Na dijagonalnim stranama kutije izbušene su dvije manje rupice kako bi se u jednu rupicu upuhivao zrak iz pluća čovjeka jednakovremeno bi iz druge rupice višak zraka iz kutije nesmetano izlazio van kutije. Na taj način je postavljen eksperiment koji simulira na ubrzani način povećanje smrtonosne koncentracije ugljičnog dioksida u zatvorenom prostoru u kojem borave ljudi a koji se uopće ne prozračuje.

Mjerenje je pokazalo veliku brzinu zasićenja tog malog ispitnog prostora ugljičnim dioksidom. Dijagram parametara prikazan je tablicom [Tablica 8]. Provedena mjerenja prikazuju puno više nego što se može uočiti na prvi pogled. Naime, koncentracija u ispitnom volumenu počinje s 507ppm i u konstantnom je iznosu u trajanju 20 sekundi. Nakon toga perioda koncentracija počinje rasti prilično ravnomjerno ali brzo. U posljednjih nekoliko sekundi porast koncentracija je čak i s većom brzinom nego u početku eksperimenta. Diskusija vezana uz ovakav eksperiment može se pokrenuti u smislu: ako se smrtonosna koncentracija veća od 3500ppm pojavila u volumenu do 0,126m³ za samo 115 sekundi, za koliko vremena bi se ista koncentracija pojavila u uredu točno 360 puta većeg volumena (45m³)? Najjednostavnija linearna aproksimacija upućuje na vrijednost od 360x115sek=12h. Dakle, u potpuno zatvorenoj prostoriji dvoje ljudi bi svojim disanjem stvorilo smrtonosnu koncentraciju za 12 sati boravka.

Nadalje, granica neugode zraka nalazi se na vrijednosti koncentracije CO₂ od 1200ppm, nesvjestica pri koncentracijama većim od 2000ppm. Pouzdanim se smatra da je smrtonosna koncentracija veća od 3500ppm ukoliko čovjek boravi u takvom prostoru dulje od 10 minuta. U provedenom mjerenju u ispitnom prostoru granica neugode postignuta je za 45 sekundi a granica nesvjestice za 77 sekundi.

U provedenom mjerenju zamijećen je i porast vlage u ispitnom prostoru volumena 126 litara izdisajem zraka iz pluća. Vrijednost relativne vlažnosti zraka od početne vrijednosti $r_H=43\%$ povećala se za dodatnih 4,3% na ukupnu od $r_H=47,3\%$.



Slika 26. Predodžba izmjerene brzine zasićenja CO2 u prostoru

Tablica 8. Izmjerene vrijednosti zasićenja CO2 u prostoru

Broj uzorka	Datum mjerenja	Sati	Temperatura	Količina CO2 u ppm	Postotak vlažnosti
1	17:24:43	7.10.2015	25,2	507	43.0
2	17:24:44	7.10.2015	25,2	507	43.0
3	17:24:45	7.10.2015	25,3	507	43.0
4	17:24:46	7.10.2015	25,3	507	43.0
5	17:24:47	7.10.2015	25,3	507	43.1
6	17:24:48	7.10.2015	25,3	507	43.1
7	17:24:49	7.10.2015	25,3	507	43.1
8	17:24:50	7.10.2015	25,3	508	43.2
9	17:24:51	7.10.2015	25,3	508	43.2
10	17:24:52	7.10.2015	25,3	508	43.2
11	17:24:53	7.10.2015	25,3	508	43.3
12	17:24:54	7.10.2015	25,3	509	43.3
13	17:24:55	7.10.2015	25,3	509	43.3
14	17:24:56	7.10.2015	25,3	510	43.4
15	17:24:57	7.10.2015	25,3	510	43.4
16	17:24:58	7.10.2015	25,3	512	43.4
17	17:24:59	7.10.2015	25,3	512	43.4
18	17:25:00	7.10.2015	25,3	514	43.4

19	17:25:01	7.10.2015	25,3	514	43.5
20	17:25:02	7.10.2015	25,3	515	43.5
21	17:25:03	7.10.2015	25,3	515	43.6
22	17:25:04	7.10.2015	25,3	529	43.6
23	17:25:05	7.10.2015	25,3	529	43.6
24	17:25:06	7.10.2015	25,3	572	43.7
25	17:25:07	7.10.2015	25,3	572	43.7
26	17:25:08	7.10.2015	25,3	633	43.8
27	17:25:09	7.10.2015	25,3	633	43.8
28	17:25:10	7.10.2015	25,3	690	43.8
29	17:25:11	7.10.2015	25,3	690	43.9
30	17:25:12	7.10.2015	25,3	742	44.0
31	17:25:13	7.10.2015	25,3	742	44.0
32	17:25:14	7.10.2015	25,3	742	44.0
33	17:25:15	7.10.2015	25,3	797	44.1
34	17:25:16	7.10.2015	25,3	797	44.1
35	17:25:17	7.10.2015	25,3	858	44.2
36	17:25:18	7.10.2015	25,3	858	44.3
37	17:25:19	7.10.2015	25,3	924	44.4
38	17:25:20	7.10.2015	25,3	924	44.5
39	17:25:21	7.10.2015	25,3	990	44.6
40	17:25:22	7.10.2015	25,3	990	44.6
41	17:25:23	7.10.2015	25,3	1053	44.7
42	17:25:24	7.10.2015	25,2	1053	44.8
43	17:25:25	7.10.2015	25,2	1120	44.9
44	17:25:26	7.10.2015	25,2	1120	44.9
45	17:25:27	7.10.2015	25,2	1182	45.0
46	17:25:28	7.10.2015	25,2	1182	45.0
47	17:25:29	7.10.2015	25,2	1245	45.1
48	17:25:30	7.10.2015	25,2	1245	45.1
49	17:25:31	7.10.2015	25,2	1295	45.2
50	17:25:32	7.10.2015	25,2	1295	45.2
51	17:25:33	7.10.2015	25,2	1336	45.2
52	17:25:34	7.10.2015	25,2	1336	45.2
53	17:25:35	7.10.2015	25,2	1358	45.3
54	17:25:36	7.10.2015	25,2	1358	45.3
55	17:25:37	7.10.2015	25,2	1376	45.3
56	17:25:38	7.10.2015	25,2	1376	45.4
57	17:25:39	7.10.2015	25,2	1402	45.4
58	17:25:40	7.10.2015	25,2	1402	45.4
59	17:25:41	7.10.2015	25,2	1428	45.4
60	17:25:42	7.10.2015	25,2	1428	45.5
61	17:25:43	7.10.2015	25,2	1479	45.5
62	17:25:44	7.10.2015	25,2	1479	45.5
63	17:25:45	7.10.2015	25,2	1539	45.6
64	17:25:46	7.10.2015	25,2	1539	45.6
65	17:25:47	7.10.2015	25,2	1623	45.7
66	17:25:48	7.10.2015	25,2	1623	45.7
67	17:25:49	7.10.2015	25,2	1727	45.8

68	17:25:50	7.10.2015	25,2	1727	45.8
69	17:25:51	7.10.2015	25,2	1815	45.9
70	17:25:52	7.10.2015	25,2	1815	45.9
71	17:25:53	7.10.2015	25,2	1876	45.9
72	17:25:54	7.10.2015	25,2	1876	46.0
73	17:25:55	7.10.2015	25,2	1927	46.0
74	17:25:56	7.10.2015	25,2	1927	46.0
75	17:25:57	7.10.2015	25,2	1991	46.1
76	17:25:58	7.10.2015	25,2	1991	46.1
77	17:25:59	7.10.2015	25,2	2069	46.1
78	17:26:00	7.10.2015	25,2	2069	46.2
79	17:26:01	7.10.2015	25,2	2183	46.2
80	17:26:02	7.10.2015	25,2	2183	46.3
81	17:26:03	7.10.2015	25,2	2283	46.3
82	17:26:04	7.10.2015	25,2	2283	46.3
83	17:26:05	7.10.2015	25,2	2371	46.4
84	17:26:06	7.10.2015	25,2	2371	46.4
85	17:26:07	7.10.2015	25,2	2436	46.4
86	17:26:08	7.10.2015	25,2	2436	46.5
87	17:26:09	7.10.2015	25,2	2484	46.6
88	17:26:10	7.10.2015	25,2	2484	46.6
89	17:26:11	7.10.2015	25,2	2531	46.6
90	17:26:12	7.10.2015	25,2	2531	46.7
91	17:26:13	7.10.2015	25,2	2601	46.7
92	17:26:14	7.10.2015	25,2	2601	46.7
93	17:26:15	7.10.2015	25,2	2679	46.7
94	17:26:16	7.10.2015	25,2	2679	46.7
95	17:26:17	7.10.2015	25,2	2809	46.8
96	17:26:18	7.10.2015	25,2	2809	46.8
97	17:26:19	7.10.2015	25,2	2981	46.9
98	17:26:20	7.10.2015	25,2	2981	46.9
99	17:26:21	7.10.2015	25,2	3138	47.0
100	17:26:22	7.10.2015	25,2	3138	47.1
101	17:26:23	7.10.2015	25,2	3275	47.2
102	17:26:24	7.10.2015	25,2	3275	47.2
103	17:26:25	7.10.2015	25,2	3393	47.3
104	17:26:26	7.10.2015	25,2	3393	47.4
105	17:26:27	7.10.2015	25,2	3482	47.4
106	17:26:28	7.10.2015	25,2	3482	47.4
107	17:26:29	7.10.2015	25,2	3535	47.4
108	17:26:30	7.10.2015	25,2	3535	47.4
109	17:26:31	7.10.2015	25,3	3334	47.4
110	17:26:32	7.10.2015	25,3	3334	47.4
111	17:26:33	7.10.2015	25,3	3014	47.4
112	17:26:34	7.10.2015	25,3	3014	47.4
113	17:26:35	7.10.2015	25,3	2669	47.3
114	17:26:36	7.10.2015	25,3	2669	47.3
115	17:26:37	7.10.2015	25,3	2413	47.3

7. ZAKLJUČAK

Tema Završnog rada bila je opisati sustav za mjerenje koncentracije CO₂ u stambenim i radnim prostorijama i provesti mjerenje koncentracije u nekoliko različitih slučajeva – u manjem i većem volumenu s i bez prisutnosti ljudi. Također objašnjeni su općenito pojmovi kvalitete zraka unutarnjih prostora (IAQ) i opisan je sindrom bolesne zgrade, odnosno koje su moguće trajne posljedice na ljude koji borave u neadekvatno prozračenim prostorima. Za potrebe određivanja parametra IAQ opisane su sve ispitne metode i postupci koji su navedeni u referentnoj literaturi i koje preporučuju naznačeni standardi.

Iz provedenih mjerenja koncentracije CO₂ u radnom prostoru tj. u jednom uredu Veleučilišta u Karlovcu mogu se izvesti određeni zaključci. Prvo: ljudi koji rade u uredu za vrijeme svog radnog vremena stvaraju svojim disanjem znatne količine CO₂. Ukoliko nema dobre ventilacije ili dotoka svježeg zraka, u prostoru se može stvoriti nezdrava količina CO₂, koja utječe na koncentraciju i rad ljudi. Problem je osobito izražen tijekom zime kada se općenito puno manje otvaraju prozori na zgradi Veleučilišta.

Iz povedenog eksperimenta i mjerenja koncentracije CO₂ može se zaključiti da za vrijeme radnog vremena i boravka ljudi u prostoriji raste temperatura zraka, te se smanjuje vlažnost također kao posljedica ljudske aktivnosti. Suhi zrak uz minimalnu količinu relativne vlažnosti također nepovoljno djeluje na ljude koji borave u prostoru. Takvo stanje mikroklimе u prostoru također ima nedostatke u smislu pojave veće koncentracije lebdećih čestica, te na taj način negativno utječe na ljude.

Mjerenja u praznom uredu pokazala su smanjenje vrijednosti CO₂, manju temperaturu i veću vlažnost u ispitnom volumenu prostora. Takvi rezultati mogu se protumačiti prirodnom ventilacijom, ili ventilacijom zraka na prirodan način - propuhom: prolaskom hladnijeg i toplijeg zraka kroz vrata i prozore ureda uslijed vrlo lošeg brtvljenja, osobito ispod vratnog krila ureda koja su podignuta od poda gotovo 2cm.

Iz svega navedenog razvidno je kako se u svakom stambenom i radnom prostoru značajno povećava koncentracije CO₂ osobito u prostorijama s manjim volumenom i povećanim brojem ljudi. Iz tor razloga a u svrhu povećanja vrijednosti indeksa IAQ kao i povećanja zdravstvene ispravnosti zraka preporučuje se prirodno prozračivanje prostora ili ugradnja tehničkog sustava ventilacije.

PRILOZI

I. CD-R disc

LITERATURA

- [1] <http://www.ekoventinfo.hr>
- [2] <http://degenia-velebitica.com.hr>
- [3] <http://www.zdravljezasve.hr/>
- [4] <http://www.ant.hr/sindrom-bolesne-zgrade.html>
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_air_quality
- [6] <http://www.epa.gov/iaq/>
- [7] http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Globe_temperature
- [8] <http://www.ema.hr/home.html>
- [9] http://agrologistika.hr/hr_HR/mjerni-instrumenti