

ŠOLSKI CENTER CELJE  
SREDNJA ŠOLA ZA STROJNIŠTVO, MEHATRONIKO IN  
MEDIJE

RAZISKOVALNA NALOGA

# IZBOLJŠANJE KAKOVOSTI BIVANJA Z ENERGETSKO SANACIJO STAVBE

NA PRIMERU VGRADNJE LOKALNEGA  
PREZRAČEVALNEGA SISTEMA MIKrovent®

Avtorja:

Timon PLIBERŠEK, S-4. a

Žan ŽELEZNIK, S-4. a

Mentorji:

Jože PREZELJ, univ. dipl. inž. str.

Jasmina BRČINA, dipl. ekon.

Rok LAH, dipl. inž. str.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, marec 2019

## IZJAVA

Mentor Jože Prezelj v skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom Izboljšanje kakovosti bivanja z energetske sanacije stavbe, katere avtorja sta Timon Pliberšek in Žan Železnik:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, \_\_\_\_\_ –

žig šole

Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

## POVZETEK

Raziskovalna naloga z naslovom Izboljšanje kakovosti bivanja z energetske sanacije stavbe na primeru vgradnje lokalnega prezračevalnega sistema MIKrovent je osredotočena na energetske učinkovitost stavb in energetske sanacije na področju prezračevanja. Poudarjeno pozornost daje primerjavi prezračevanja z oknom ali z MIKroventom.

V prvem, teoretičnem delu naloge, smo predstavili energetske sanacije in energetske učinkovitost ter ukrepe, s katerimi le-to izboljšamo. Na kratko smo predstavili načine prezračevanja, nato pa podrobno opisali tudi faktorje, ki diktirajo udobje bivanja v prostoru.

V drugem, empiričnem delu, smo izvedli eksperiment. Najprej smo predstavili vse pomembne podatke, kot so način izvajanja meritev, tipi opreme in podatki komore. Nato smo določili, po katerem postopku bomo obdelali dobljene podatke. Po analizi faktorjev udobnosti smo izvedli eksperiment, nato pa uredili surove podatke in jih prikazali v obliki grafov. Na koncu smo komentirali vsak graf in zapisali skupne ugotovitve iz vsake merjene vrednosti.

**Ključne besede:** prezračevanje, energetska učinkovitost, energetska sanacija, udobje bivanja

## SUMMARY

The research paper entitled Improving housing quality with energy-efficient renovation based on the installation of a local ventilation system, specifically MIKrovent, is focused on energy efficiency of buildings and energetic renovation in the field of ventilation. It emphasizes comparing ventilation via a window and ventilation with MIKrovent.

In the first, theoretical part of the paper, we introduced energetic renovation and energy efficiency and listed actions we can take to improve them. We briefly went over the different types of ventilation, then we described the factors that dictate the living comfort in a room in detail.

In the second, empirical part, we carried out the experiment. First, we went over all the important data like the manner of conducting the experiments, types of equipment used and the specifications of the test chamber. Then, we determined how we would process the acquired data. After we had analyzed the factors of comfort, we carried out the experiment itself. Then we sorted the given data and displayed it in the form of graphs. In the end, we commented on every graph and composed the conclusions for each measured value.

**Keywords:** ventilation, energy efficiency, energetic renovation, living comfort

## ZAHVALA

S prvimi besedami se iskreno zahvaljujemo Jasmini Brčina, ki nam je bila v veliko pomoč pri pisanju in oblikovanju raziskovalne naloge, saj brez nje dvomimo, da bi nam uspelo končati. Bila nam je vedno na voljo in nas skrbno vodila skozi vso nalogo.

Zahvalili bi se radi oddelku in ekipi MIKrovent, ki so nam bili vedno na voljo in v veliko pomoč. Še posebej se zahvaljujemo Jasmini Brčina, vodji oddelka Roku Lahu in Dušanu Živkoviču. Hvala za navdih in spodbudo.

Zahvaljujemo se tudi podjetju MIK Celje, ki je verjelo v nas in nam omogočilo vsa sredstva, ki smo jih potrebovali, njihovo testno komoro, prostor za delo in zaposlene, ki so nam bili vedno na voljo.

V zahvalo vključujemo tudi našega mentorja naloge, Jožeta Prezelj, ki je verjel v nas, nam dajal vzpodbudo, ideje in nas vodil skozi proces raziskovanja.

Še posebej se zahvaljujemo naši profesorici slovenskega jezika, Brigiti Renner, ki je bila pripravljena nalogo lektorirati.

## KAZALO VSEBINE

1	Uvod.....	1
1.1	Opredelevitev problema.....	1
1.2	Opredelevitev raziskave.....	2
1.3	Hipoteze raziskave.....	2
1.4	Metode dela.....	3
1.5	Omejitve.....	3
2	Energetska učinkovitost.....	4
2.1	Tipi energetske učinkovitih stavb.....	6
2.2	Energetska sanacija stavb.....	7
2.2.1	Ukrepi za energetske učinkovitost stavbe.....	8
2.2.1.1	Tesnjenje oken.....	9
2.2.1.2	Zamenjava oken.....	9
2.2.1.3	Toplotna izolacija zunanjih sten.....	10
2.2.1.4	Toplotna izolacija podstrešja.....	10
2.3	Vpliv prezračevanja na energetske učinkovitost.....	11
2.3.1	Načini prezračevanja.....	11
2.4	Dejavniki udobnega bivanja.....	14
2.4.1	Faktorji udobnega bivanja.....	15
2.4.1.1	Vlažnost.....	15
2.4.1.2	Hrup.....	18
2.4.1.3	Delci PM <sub>2,5</sub> in PM <sub>10</sub> .....	19
3	Empirični del.....	22
3.1	Opis meritev.....	22
3.2	Opis komore.....	23
3.3	Opis opreme.....	24
3.3.1	MIKrovent® Office 60.....	24

3.3.2	Merilnik za CO <sub>2</sub> .....	25
3.3.3	Merilnik za PM <sub>10</sub> in PM <sub>2,5</sub> .....	26
3.3.4	Merilnik za vlago in temperaturo .....	27
3.3.5	Merilnik hrupa .....	28
3.3.6	Zvočnik .....	28
3.4	Postopek obdelave podatkov .....	29
3.5	Analiza faktorjev udobnega bivanja .....	29
3.6	Izvedba eksperimenta .....	30
3.7	Rezultati eksperimentov .....	32
3.7.1	Prvi eksperiment .....	32
3.7.2	Drugi eksperiment .....	35
3.7.3	Tretji eksperiment .....	38
3.7.4	Četrti eksperiment .....	41
3.7.5	Peti eksperiment .....	44
3.7.6	Ugotovitve vseh eksperimentov .....	46
3.7.6.1	Vlaga .....	46
3.7.6.2	CO <sub>2</sub> .....	46
3.7.6.3	Hrup .....	47
3.7.6.4	PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> .....	47
3.8	Vrednotenje hipotez .....	48
4	Zaključek .....	50
5	Seznam uporabljenih virov .....	52
6	Viri slik, grafov in tabel .....	54

## KAZALO SLIK

Slika 1: Primer povprečne energetske bilance za enodružinsko hišo .....	8
Slika 2: Učinkovitost nizkoemisijskega nanosa .....	9
Slika 3: Prikaz razlike med dvoslojno in troslojno zasteklitvijo, z nizkoemisijskim nanosom in brez njega .....	10
Slika 4: Delovanje prenosnika toplote pozimi .....	13
Slika 5: Toplotni indeks oz. humidex .....	16
Slika 6: Stopnje koncentracije CO <sub>2</sub> in njeni vplivi .....	17
Slika 7: Vpliv CO <sub>2</sub> na sposobnost sprejemanja odločitev .....	18
Slika 8: Primeri glasnosti po dBa .....	19
Slika 9: Kategorije kakovosti zraka po vsebnosti delcev PM <sub>10</sub> .....	20
Slika 10: Mejne vrednosti in sprejemljivo preseganje za PM <sub>10</sub> .....	20
Slika 11: Skica in legenda komore .....	23
Slika 12: MIKrovent® Office 60.....	24
Slika 13: Merilnik za CO <sub>2</sub> .....	25
Slika 14: Merilnik za PM <sub>10</sub> in PM <sub>2,5</sub> .....	26
Slika 15: Merilni inštrument ALMEMO .....	27
Slika 16: Merilnik vlage in temperature .....	27
Slika 17: Merilnik hrupa.....	28
Slika 18: Zvočnik.....	28



## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Slovenska populacija, izpostavljena delcem PM <sub>2,5</sub> (v %) .....	20
Graf 2: Stopnja mortalitete kot posledica izpostavljenosti delcem PM <sub>2,5</sub> v zraku (na milijon prebivalcev) .....	21
Graf 3: Vlaga in temperatura 1. meritev .....	32
Graf 4: CO <sub>2</sub> 1. meritev .....	33
Graf 5: Delci PM 1. meritev .....	34
Graf 6: Vlaga in temperatura 2. meritev .....	35
Graf 7: CO <sub>2</sub> 2. meritev .....	36
Graf 8: Delci PM 2. meritev .....	37
Graf 9: Vlaga in temperatura 3. meritev .....	38
Graf 10: CO <sub>2</sub> 3. meritev .....	39
Graf 11: Delci PM 3. meritev .....	40
Graf 12: Vlaga in temperatura 4. meritev .....	41
Graf 13: CO <sub>2</sub> 4. meritev .....	42
Graf 14: Delci PM 4. meritev .....	43
Graf 15: Vlaga in temperatura 5. meritev .....	44
Graf 16: CO <sub>2</sub> 5. meritev .....	45
Graf 17: Delci PM 5. meritev .....	45

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Tipi energetsko učinkovitih stavb.....	6
--	---

## KAZALO PRILOG

Slika priloge 1: Razvojni center prof. Dr. Petra Novaka .....	XI
Slika priloge 2: Topla komora .....	XI
Slika priloge 3: Postavitev MIKroventa .....	XII
Slika priloge 4: MIKrovent.....	XII
Slika priloge 5: Okenski sklop in MIKrovent.....	XIII
Slika priloge 6: Hladna komora .....	XIII
Slika priloge 7: Krmilnik komore.....	XIV
Slika priloge 8: MIKrovent® Office 60 na steni [24] .....	XIV

## KRATICE, SIMBOLI

CO<sub>2</sub> – ogljikov dioksid

dB – decibel

MV60 – MIKrovent 60

MZI RS – Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije

toe – tona ekvivalentne nafte, izraža količino sproščene toplote pri izgorevanju ene tone nafte

OVE – obnovljivi viri energije

BDP – bruto domači proizvod

MZI – ministrstvo za infrastrukturo

PM – particulate matter

PM<sub>10</sub> – PM delci velikosti do 10 µm

PM<sub>2,5</sub> – PM delci velikosti do 2,5 µm

ppm – parts per million

TGP – toplogredni plini

# 1 UVOD

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Zadnja leta veliko pozornosti posvečamo energetske učinkovitim zgradbam in učinkovitim stilom življenja. Za energetske učinkovite zgradbe se štejejo tisti objekti, ki ustrezajo standardom energetske učinkovite in okolju prijazne gradnje. Slednja ne predvideva zgolj uporabe materialov, ki so bili pridobljeni na okolju prijazen način, temveč predvsem uporabo materialov in sistemov, ki bodo na dolgi rok pozitivno vplivali na energetske izkaznice zgradbe.

Kljub dejstvu, da se vse več ljudi odloča za gradnjo energetske učinkovite stavbe, je število starih, energetske potratnih objektov še vedno visoko. Takšne stavbe imajo nameščeno zastarelo opremo, okna s slabo tesnitvijo, vprašljiv je tudi način ogrevanja, ki ga uporabljajo. Rešitev za takšne zgradbe je temeljita energetska sanacija, pri kateri obnovimo oz. zamenjamo izbrane dele stavb (npr. toplotni ovoj stavbe, vgradnja novih, energetske učinkovite oken, vpeljava okolju prijaznejšega načina ogrevanja ipd.). Pri energetskih sanacijah se vse bolj pogosto postavlja tudi vprašanje prezračevanja – vgradnja energetske učinkovitega stavbnega pohošstva je sicer priporočljiva z vidika toplotnih izgub, a paralelno negativno vpliva na kakovost zraka v bivalnih prostorih. S tem ko stavbno pohošstvo »zapre« prostor, onemogoča vstop svežega zraka vanj, kar ima negativne posledice za zdravje. V kolikor se, energetske učinkovitemu stavbnemu pohoštvu navkljub, še vedno poslužujemo prezračevanja s pomočjo odpiranja oken, smo zagotovo izboljšali tesnitev tega pohošstva, a toplotne izgube so še vedno prisotne. Za nameček v prostor spuščamo zrak, ki je neprečiščen, napolnjen z ogljikovim dioksidom in ostalimi nevarnimi delci, ki lahko pronicajo v človekov kardiovaskularni sistem.

Da se neracionalnemu prezračevanju izognemo, na trgu ponujajo več načinov mehanskega, umetnega prezračevanja. Z vgradnjo prezračevalnih sistemov zagotovimo dovod svežega in čistega zraka v prostor, ne da bi za to bilo potrebno odpirati okna.

## 1.2 OPREDELITEV RAZISKAVE

V raziskovalni nalogi se v prvi vrsti posvečamo pregledu področja energetske učinkovite gradnje in sanacije ter kaj slednja sploh obsega. Ker se energetske učinkovite gradnje dotika več različnih področij gradnje, izmed katerih ima vsako področje še svoje razčlenjene metode, smo se odločili fokusirati zgolj na enega, in sicer na področje prezračevanja.

Raziskavo smo zastavili tako, da smo predvideli vpeljevanje lokalnega prezračevalnega sistema MIKrovent® in se posvetili spremembam energetskih faktorjev s tem, ko smo primerjali prezračevanje z omenjeno napravo in brez nje. Zanimalo nas je predvsem:

- Kaj dejansko pomeni kakovost bivanja in na katere načine jo lahko izboljšamo?
- Katere faktorje kakovosti bivanja sploh poznamo? Kakšen doprinos h kakovostnemu bivanju imajo energetske učinkovite stavbe?
- Kaj je mišljeno z energetsko učinkovitostjo stavb?
- Ali je vsakršno mehansko prezračevanje enako zdravo in učinkovito ali pa obstajajo razlike med njimi? Če da, kakšne?
- Kaj se dogaja s škodljivimi delci v zraku, medtem ko prezračujemo?

## 1.3 HIPOTEZE RAZISKAVE

V sklopu empiričnega dela smo si zastavili hipoteze, ki smo jih z eksperimentom želeli preveriti:

1. hipoteza: Prezračevanje z MIKroventom očisti več ogljikovega dioksida iz zraka kot prezračevanje z oknom.
2. hipoteza: MIKrovent povzroča manj hrupa kot zračenje z odprtim oknom.
3. hipoteza: Delci PM pri prezračevanju z odprtim oknom ostanejo na enaki ravni vsebnosti v zraku.
4. hipoteza: Višja kot je stopnja prezračevanja z MIKroventom, bolj očisti notranji zrak.

## **1.4 METODE DELA**

Naloga je v osnovi razdeljena na teoretični in praktični del.

V sklopu teoretičnega dela smo se fokusirali predvsem na relevantno literaturo in vire. Posluževali smo se uradnih dokumentov, diplomskih in magistrskih nalog s sorodnih področij, pa tudi pravnih aktov in direktiv Evropske unije (EU).

Za potrebe empiričnega dela smo opravljali različne meritve v testni komori, kjer smo simulirali izbrane okoliščine ter snemali dogajanje s pomočjo različnih merilnih naprav in inštrumentov. Pridobljene podatke smo na primeren način zbrali in analizirali ter jih s pomočjo grafov in tabel predstavili ter komentirali.

## **1.5 OMEJITVE**

Pri raziskavi smo se omejili krajevno, vsebinsko in časovno:

- Krajevno – da bi dosegli ponovljivost in zanesljivost rezultatov, smo meritve opravljali v komori in laboratoriju in ne na terenu v dejanskih okoliščinah.
- Časovno – meritve smo opravljali izven delovnega časa proizvodnje, za najbolj realne rezultate.
- Vsebinsko – energetska sanacijo smo omejili na področje prezračevanja, saj je energetska najpotratnejši del stavbnega ovoja.

## 2 ENERGETSKA UČINKOVITOST

O energetske učinkovitosti se v javnosti govori že vrsto let. Na nek način jo lahko tretiramo kot doseganja okoljskih standardov in ciljev ter sovпада s strategijo zelenega planeta – čim nižje emisije in izpusti v atmosfero, racionalnejša poraba energentov, promocija uporabe obnovljivih virov energije (OVE). EU je na temo varovanja okolja izdala že vrsto direktiv in priporočil, na voljo pa so tudi različni skladi in fondi za črpanje nepovratnih sredstev, v kolikor se odločimo za energetske investicije. [16]

Dejstvo je, da prebivalstvo Zemlje za različne namene porablja preveč energentov, kar ima negativno posledico na že tako onesnažen planet. Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije (MZI RS) učinkovito rabo energije definira kot uporabo sodobnih tehnologij in ukrepov, ki zahtevajo manj energije za doseganje enakih ciljev in ima pomembno vlogo pri energetske prihodnosti prebivalstva. Opredeljuje jo kot ključno v boju proti podnebnim spremembam in pri razvoju v trajnostno in nizkoogljično družbo. Ministrstvo sočasno predvideva, da bomo na ta način potrebovali manj energije in hkrati ustvarili nova delovna mesta, uporabljali proizvode v pretežni meri domače proizvodnje, zaradi česar se učinkovita raba energije definira tudi kot največji generator rasti bruto domačega proizvoda (BDP). [16]

V skladu s prenovljeno Direktivo 2010/31/EU Evropskega parlamenta in sveta z dne 19. 5. 2010 o energetske učinkovitosti stavb slednjo definiramo kot »/.../ izračunano ali izmerjeno količino energije, potrebno za zadovoljevanje potreb po energiji, povezanih z običajno uporabo stavbe, ki med drugim vključuje energijo za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, toplo vodo in razsvetljavo /.../« (Direktiva 2010/31/EU z dne 19. 5. 2010, str. 3). [4]

MZI RS navaja, da je energetska učinkovitost med stroškovno najučinkovitejšimi ukrepi za doseganje ciljev zmanjševanja emisij toplogrednih plinov (TGP) in doseganja večjega deleža obnovljivih virov energije (OVE) v rabi bruto končne energije<sup>1</sup>. Skladno z zahtevami Direktive o energetske učinkovitosti (2012/27/EU) ima Slovenija zastavljen nacionalni cilj zmanjšanja celotne porabe energije za 20 % do leta 2020 – raba primarne

---

<sup>1</sup> Bruto končna energija - predstavlja količino potrebne energije, da zadosti potrebam porabe pri končnih odjemalcih, to so gospodinjstva, industrija, kmetijstvo. Izključuje energijo, ki jo porabi energetske sektor sam.

energije v letu 2020 naj ne bi preseгла 7,125 mio toe (82,86 TWh) in se tako glede na leto 2012 ne bi povečala za več kot 2 %. [5]

MZI kot pomembno področje energetske učinkovitosti med drugim navaja tudi gradnjo. V stavbah porabimo 40 % vse energije, pri čemer stavbe v lasti in rabi javnih organov predstavljajo kar okrog 10 % celotnega stavbnega fonda. Te stavbe naj bi bile, tako kot stavbe v zasebni lasti, energetske učinkovite, za kar pa ima vodilno vlogo javni sektor. Za doseganje krovne cilja energetske učinkovitosti bo potrebno četrtno obstoječega stavbnega fonda do leta 2020 energetske obnoviti, kar predstavlja okrog 22 mio m<sup>2</sup> stavbnih površin. S tem se bo, tako ministrstvo, raba energije v stavbah zmanjšala skoraj za 10 %. Potrebo po celoviti, predvsem energetske prenovi stavb (torej trajnostni gradnji), je prepoznala tudi vlada in omenjeno aktivnost postavila za najpomembnejši strateški projekt. Cilj vlade in ministrstva je sprejeti ukrepe, s katerimi bomo v Sloveniji povečali delež energetske saniranih javnih in zasebnih objektov. [5]



## 2.1 TIPI ENERGETSKO UČINKOVITIH STAVB

Poznamo več tipov energetske učinkovitih zgradb, ki segajo od stavb z nizko porabo energentov, do stavb, ki proizvajajo več energije kot je potrebujejo. Ti tipi energetske učinkovitih stavb so predstavljeni v spodnji tabeli.

*Tabela 1: Tipi energetske učinkovitih stavb [29]*

<u>Tipi energetske učinkovitih stavb</u>	
<u>Nizkoenergetska zgradba</u>	<ul style="list-style-type: none"><li>- porabi med 50 % in 60 % energije manj kot »normalna« stavba;</li><li>- kompaktna, dobro izolirana z zrakotesnim ovojem stavbe in</li><li>- dobro zasnovana stavba, s kakovostnimi okni.</li></ul>
<u>Pasivna zgradba</u>	<ul style="list-style-type: none"><li>- porabi skoraj nič energije (za gretje, hlajenje, aparate itd.);</li><li>- kompaktna, optimalno izolirana z izjemno zrakotesnim ovojem stavbe;</li><li>- okna so na sončni strani stavbe (pasivno zbiranje energije);</li><li>- dobro uravnoteženo prezračevanje z grelci, kjer so le-ti potrebni;</li><li>- električno energijo pridobi z izkoriščanjem sončne energije in</li><li>- izkorišča sončno toploto za znižanje stroškov ogrevanja.</li></ul>
<u>Ničenergijska zgradba</u>	<ul style="list-style-type: none"><li>- pasivna zgradba, ki hkrati zadovoljuje svoje energetske zahteve in</li><li>- potrebno energijo proizvede preko sončnih celic ali drugih podobnih načinov.</li></ul>
<u>Skoraj ničenergijska zgradba</u>	<ul style="list-style-type: none"><li>- pasivna zgradba, ki proizvaja svojo energijo za ogrevanje in hlajenje. Po navadi ima nameščene sončne kolektorje in sončne celice.</li></ul>
<u>Aktivna zgradba</u>	<ul style="list-style-type: none"><li>- ničenergijska zgradba, ki proizvede več energije kot je porabi;</li><li>- električni strošek je ničeln in</li><li>- odvečna energija se odvaja v omrežje. [18]</li></ul>

Energetske učinkovitost stavbe prikažemo z energetske izkaznico, ki poleg razreda energetske učinkovitosti vsebuje tudi priporočila za večjo energijsko varčnost in potrošnikom preko informacije o porabi energije omogoča primerjavo cene in najemnine za stanovanjske objekte.

## 2.2 ENERGETSKA SANACIJA STAVB

Obnova stavbe predstavlja za lastnika visoke stroške, zato mora biti v vseh pogledih zasnovana in izvedena optimalno. Med ukrepi za izboljšanje energetske učinkovitosti stavb prispevajo največ prav "gradbeni" ukrepi na ovoju stavbe, ki so žal povezani z velikimi stroški. Možnosti za prihranke pri energiji in stroških v stavbah so velike, a smo jih v preteklosti velikokrat zanemarili.

Ogrevanje predstavlja pri stanovanjskih stavbah glavnino (preko 70 %) rabe energije, preostanek predstavlja energija za pripravo tople vode, kuhanje, razsvetljavo in druge električne aparate. Z energetske obnovo starejših stavb, grajenih pred letom 1980, je tehnično mogoče, s poznanimi, tržno uveljavljenimi ukrepi (toplotna izolacija zunanjih sten in streh, menjava oken ali zasteklitve, posegi na ogrevalnem sistemu) prihraniti preko 60 % potrebne energije za ogrevanje. Energetski prihranki so odvisni od starosti stavbe, tehnologije gradnje, kakovosti izvedbe in vzdrževanja.

Analize so pokazale, da vračilni roki naložb v energetske sanacije zgradb v povprečju presegajo 25 let, če kot naložbo vrednotimo gradbeni ukrep v celoti. Tako se zdijo ekonomski učinki energetske obnove ovoja stavbe, ob trenutnih nizkih cenah energije, na prvi pogled neugodni. [6]

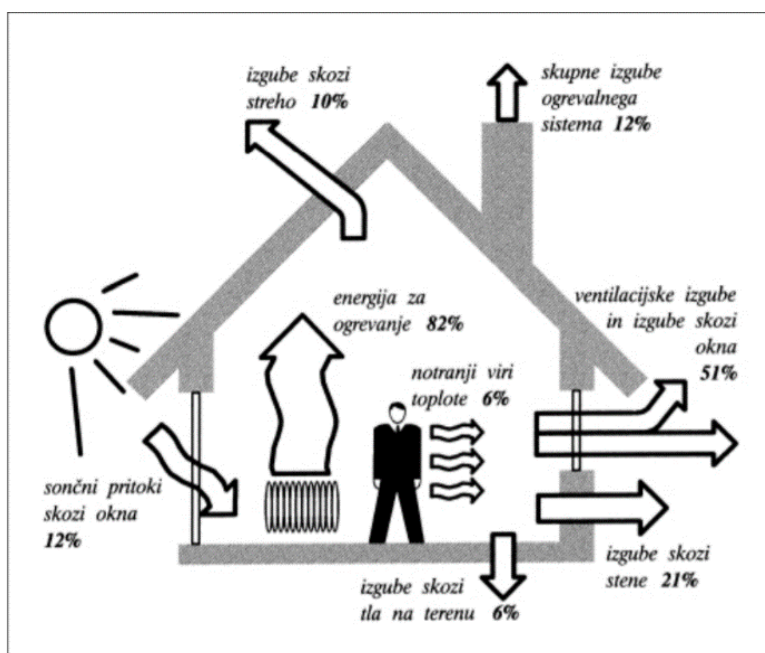
Da stavbo naredimo energetske učinkovitejšo, lahko izvedemo izboljšave na več področjih, kot so:

- zasnova (orientacija, možnost prihodnjih izboljšav ...),
- stene (neprekinjen sloj izolacije),
- streha (bela prevleka za odboj svetlobe),
- steklene površine (energetsko učinkovita okna),
- ventilacija (prezračevalna naprava),
- sistemi ogrevanja in hlajenja (učinkovito centralno ogrevanje in klima),
- ogrevanje vode (učinkovita toplotna črpalka),
- viri obnovljive energije (sončna celica, mala vetrna elektrarna),
- razsvetljava (LED-žarnice, senzorji gibanja),
- okolica (drevesa poleti senčijo, pozimi pa prepuščajo toploto do stavbe) ipd. [1]

## 2.2.1 Ukrepi za energetska učinkovitost stavbe

Stavbo lahko definiramo kot »krito konstrukcijo s stenami, v kateri se uporablja energija za zagotavljanje notranjih klimatskih pogojev« (Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in sveta z dne 19. 5. 2010, str. 2). Uporabniku mora nuditi občutek varnosti in zasebnosti, zavetje pred vremenskimi in drugimi zunanjimi vplivi ter ustrezne bivalne in delovne razmere, medtem ko mora po drugi strani s svojo zasnovo omogočati nemoten stik z okolico in zagotavljati možnost uravnave toplotnih, svetlobnih in zvočnih tokov med zunanjim in notranjim okoljem. [17]

Agencija za učinkovito rabo energije Republike Slovenije navaja, da 50 % snovi, ki jih vzamemo iz narave, uporabimo v stavbah, in več kot 50 % odpadkov izvira iz uporabe stavb. Ekološki problemi so tako vplivali tudi na arhitekturo in gradbeništvo, saj je bilo potrebno najti ukrep za zmanjšanje ali vsaj upočasnitev rasti potreb po energiji, predvsem pa najti način za njeno učinkovitejšo rabo. Stavba je sistem, katerega delovanje je odvisno od pretoka energije, zaradi česar slednjega ne moremo zmanjšati pod določeno mejo ali celo povsem ukiniti. Lahko pa s pravilnim in premišljenim načrtovanjem zmanjšamo količino energije, potrebne za nemoteno obratovanje in uporabo stavbe v njeni celotni življenjski dobi. Tako je potrebno med načrtovanjem pravilno določiti zasnovo stavbe, izbrati njene elemente in servisne sisteme, ki bodo omogočali učinkovito rabo energije, ter doprinesle k ustvarjanju zadovoljivih bivalnih in delovnih razmer. [17]



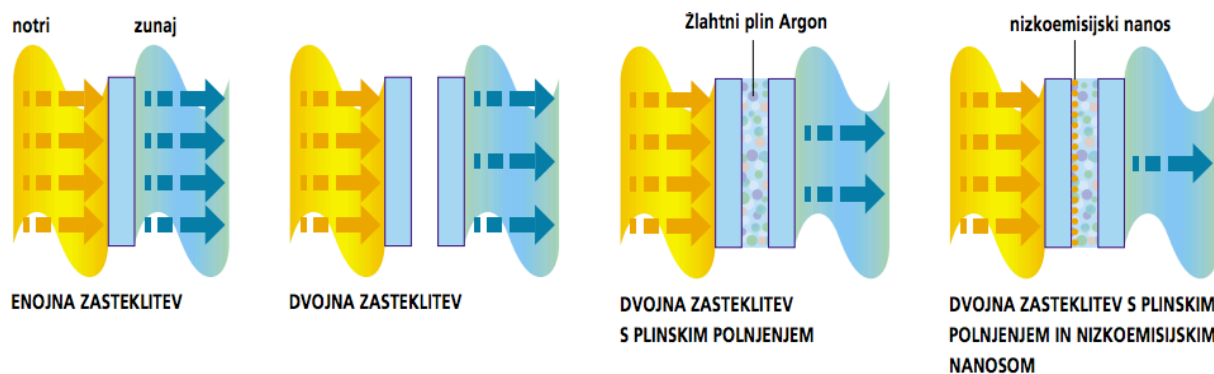
Slika 1: Primer povprečne energetske bilance za enodružinsko hišo [17]

### 2.2.1.1 Tesnjenje oken

Pri starejših stavbah lahko prihranimo od 10 % do 15 % potrebne energije za ogrevanje, če imamo dobro in pravilno izvedeno tesnjenje oken. Za kakovostna tesnila je strošek nabave nizek in se povrne v povprečno dveh letih. Pri slabo toplotno izoliranih stavbah okoli 1/3 vse potrebne energije za ogrevanje stavbe predstavljajo toplotne izgube zaradi prezračevanja. Delež toplotnih izgub zaradi prezračevanja pa dosega že polovico toplotnih potreb, če je ovoj stavbe primerno toplotno zaščiten. Smiselno je opozorilo, da je pri oknih z dobro tesnitvijo priporočeno aktivno prezračevanje z ventilatorji ali skrbnim odpiranjem oken, da zadostimo higiensko tehničnim zahtevam. [6]

### 2.2.1.2 Zamenjava oken

Odločitev za vgradnjo kakovostnih energetsko učinkovitih oken s toplotnoizolacijskimi okenskimi okviri in energetsko učinkovito zasteklitvijo se nam bo zagotovo pozitivno obrestovala. Tu govorimo o zasteklitvi z dvema stekloma, ki imata nizkoemisijski nanos in plinsko polnjenje v medstekelnem prostoru, ki ima toplotno prehodnost  $U_g = 1.1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . V primerjavi z navadno termopan zasteklitvijo ( $U_g = 2.9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ) so pri tej zasteklitvi toplotne izgube skoraj trikrat manjše. Zadnjih 10 let se na trgu pojavljajo stekla s trojno zasteklitvijo, ki imajo toplotno prehodnost tudi do  $U_g = 0.6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Pri menjavi starih oken z energetsko učinkovitejšimi prihranimo do 20 % energije, potrebne za ogrevanje. Odločitev za zamenjavo oken z energetsko učinkovito zasteklitvijo z  $U_g = 1.1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  je gledano na dolgi rok smiselna, saj se nam razlika v ceni povrne v približno 3 letih. [6]



Slika 2: Učinkovitost nizkoemisijskega nanosa [6]



Slika 3: Prikaz razlike med dvoslojno in troslojno zasteklitvijo, z nizkoemisijским nanosom in brez njega [21]

### 2.2.1.3 Toplotna izolacija zunanjih sten

Ob odločitvi za prenovo zgradbe je smiselno razmisliti o ustrezni dodatni toplotni zaščiti, saj je v tem primeru ekonomska upravičenost ukrepa največja. Vsekakor je toplotna izolacija zunanjih sten drag ukrep, a v primeru, ko se je življenjska doba fasade praktično že izteka, je obnova nujno potrebna. Na tak način se strošek na račun energetske sanacije lahko več kot prepolovi. Doba poplačila nastalih stroškov pa je zaradi ukrepa sorazmerno krajša. Pri starejših stavbah, ki so toplotno neizolirane, lahko pričakujemo prihranek pri energiji tudi do okoli 20 %. Na osnovi analiz je razvidno, da se odločitev za naložbo v energetske obnovo zunanjih sten, ob sočasni obnovi stavbe, lahko poplača že v 10 letih. Pomembna komponenta, na katero je potrebno biti pozoren, je debelina izbrane toplotne zaščite, ta namreč določa rabo energije v prihajajoči življenjski dobi obnovljenih fasade. Pri kalkulaciji celotne naložbe cena toplotnoizolacijskega materiala v celotni ceni vgrajene toplotnoizolacijske obloge zajema le nekaj več kot desetino te cene. Iz analiz je razvidno, da je pri vgradnji dodatne toplotnoizolacijske obloge zunanjih sten smiselno uporabiti vsaj 8 cm toplotne izolacije. [6]

### 2.2.1.4 Toplotna izolacija podstrešja

Da bi dosegli prihranke od 7 % do 12 % pri rabi energije za ogrevanje povprečne stavbe, je zelo pomembna dobra toplotna izolacija podstrešja. Izvedba toplotne izolacije stropa proti podstrešju, ki je nepohodna, se povrne v 3 do 4 letih. Primernost rešitve z notranjo toplotno izolacijo je potrebno vedno znova gradbeno fizikalno preveriti. Stiki stropa z zunanjo steno so detajli, ki se jim je potrebno posebno posvetiti, saj zaradi nepravilne izvedbe nastajajo toplotni mostovi, ki jih je zelo težko rešiti z rešitvami, ki so vizualno sprejemljive. Mesta, kjer se nahajajo toplotni mostovi, lahko privedejo tudi do površinske kondenzacije vodne pare, kar ustvarja idealne pogoje za razvoj plesni. [6]

## **2.3 VPLIV PREZRAČEVANJA NA ENERGETSKO UČINKOVITOST**

Prezračevanje ima poleg vpliva na kakovost bivanja občuten vpliv na rabo energije za ogrevanje objekta. Z ogrevanjem objekta dovajamo v prostore toploto, enakovredno velikosti toplotnih izgub. Slednje sestavljajo transmisijske toplotne izgube (zaradi prehoda toplote skozi ovoj zgradbe) in ventilacijske toplotne izgube (zaradi naravnega ter prisilnega prezračevanja). [15]

Pri dobro toplotno zaščitenih stavbah imajo lahko ventilacijske izgube celo največji delež v skupnih izgubah toplotne energije, zato je smiselno načrtovati kontrolirano prezračevanje z izmenjevalniki toplote. Slednje je predvsem pomembno pri sodobnih zrakotesnih stavbah, kjer je nekontrolirana izmenjava zraka skozi netesna mesta v ovoju stavbe zmanjšana na minimum. S pomočjo toplote izrabljenega zraka, ki ga vodimo iz prostorov, segrevamo sveži zunanji zrak, ki vstopa v prostor. [17]

Toplotne izgube zaradi prezračevanja lahko zmanjšamo s primernim načinom ročnega prezračevanja (kratkotrajno intenzivno odpiranje oken) ali s sistemi rekuperacije oziroma regeneracije zraka, kjer se toplota izhajajočega zraka uporabi za delno ogrevanje vstopajočega zraka. [7]

### **2.3.1 Načini prezračevanja**

V praksi razlikujemo med tremi načini prezračevanja:

- naravno prezračevanje,
- prisilno prezračevanje, in
- kanalsko prezračevanje.

#### Naravno prezračevanje

Različna netesna mesta v stavbi (npr. okenske in vratne pripire, špranje pri roletnih omaricah, netesno vgrajeno stavbno pohoštvo) omogočajo nekontrolirano vdiranje zraka v bivalne prostore. Količine zraka in število izmenjav zraka pri takih razmerah zelo težko določimo. To prezračevanje je odvisno od temperaturne razlike, jakosti in smeri vetra ter se iz teh razlogov neprestano spreminja.

Zadostne količine zraka moramo zatorej zagotoviti na druge, čimbolj kontrolirane načine. Najbolj razširjena metoda je zračenje z odpiranjem oken, pri katerem ločimo med dolgotrajnim in kratkotrajnim zračenjem. Kot dolgotrajno zračenje lahko označimo odpiranje oken z zvrčanjem v polvertikalni položaj (»skipana okna«), ki ostanejo priprta

večino dneva ali noči. Kratkotrajno naravno prezračevanje je po drugi strani veliko primernejše in intenzivnejše, opravimo pa ga z odpiranjem oken. V enakomernih časovnih intervalih (npr. vsake tri ure) odpremo za kratek čas (5 do 10 minut) okna na stežaj.

#### Kanalsko prezračevanje

Za zagotavljanje zračenja v večstanovanjskih stavbah so speljani prezračevalni kanali, posebej za zračenje kopalnic in sanitarij, ki nimajo vgrajenih oken. Zrak za zračenje doteka iz okoliških prostorov in odteka skozi kanale na strehi. Pri tem zračenju je izjemno pomembna temperaturna razlika, ki zagotavlja potrebno tlačno razliko med vstopom v kanal in izstopom na prosto.

#### Prisilno prezračevanje

Prisilno prezračevanje zagotavlja dobro delujoče in energijsko učinkovito zračenje bivalnih prostorov. Je tudi edini način, da lahko zagotovimo zadostno oziroma načrtovano število izmenjav zraka v bivalnih prostorih. Predpogoj za takšno prezračevanje je učinkovito tesnjenje oken v zgradbi. V nizkoenergijskih hišah je prisilno prezračevanje edini učinkovit način prezračevanja. [15]

V sklopu prisilnega prezračevanja se pojavljata dve splošni vrsti prezračevalnih naprav:

- centralne prezračevalne naprave

*Centralno prezračevanje je najbolje imeti v mislih že pri načrtovanju hiše oz. objekta in strošek investicije ter lokacije razpeljanih cevi vključiti v samo planiranje. Centralni sistemi imajo dober toplotni izkoristek in jih običajno odlikuje tišje delovanje, a je po drugi strani potrebnega več prostora za napeljavo, hkrati pa je višji denarni vložek. Njihova ključna slabost je ta, da tako vstopni kot izstopni zrak potujeta po dolgih ceveh, kar zviša strošek distribucije zraka.*

- lokalne prezračevalne naprave

*Prezračevanje z lokalnimi napravami je bolj zdravo in racionalno od tistega s centralnim sistemom, bolj pa mu je naklonjena tudi stroka. Te naprave lahko načeloma namestimo kjerkoli, v vsakem posamičnem prostoru. Zrak potuje po bistveno krajših ceveh, zaradi česar je strošek distribucije zraka nižji. Zaradi enostavne vgradnje, vzdrževanja in čiščenja ter primernosti za različne velikosti stanovanj in objektov lokalni prezračevalni sistemi danes po priljubljenosti celo prehitevajo centralne sisteme.*

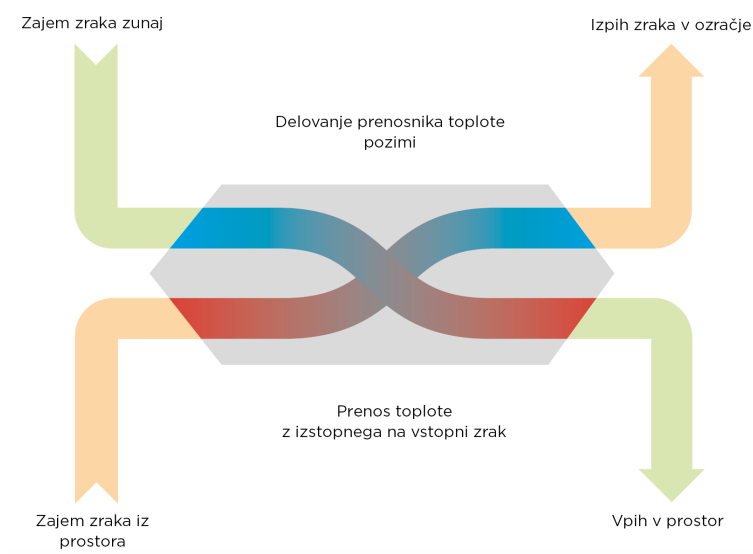
Lokalne prezračevalne naprave pa lahko ponovno delimo na enocevne in dvocevne:

- enocevne lokalne prezračevalne naprave

*Enocevni sistemi (kakršnih je večina na trgu) so zasnovani na principu ustvarjanja nadtlaka/podtlaka in veljajo za regenerativne sisteme. Poslužujejo se principa regeneracije energije (regenerirati – narediti, da kaj spet dobi ustrezne, zaželeno lastnosti), pri katerem naprava iz prostora najprej izpihuje zrak, ki je pozimi topel, poleti pa hladen. Energija in toplota, ki ju oddaja izstopni zrak, se shranjujeta v keramičnem satju (ploščici), vse dokler ventilator ne obrne smeri delovanja in v prostor začne dovajati svež zrak iz okolice. Slednji se v keramičnem satju nekoliko segreje oz. ohladi, a kakor hitro so temperaturne razlike visoke, so večje tudi toplotne izgube. Popularnost tovrstnih naprav na trgu pada, saj se dvocevne prezračevalne naprave ponujajo kot učinkovitejša in bolj zdrava alternativa.*

- dvocevne lokalne prezračevalne naprave

*Dvocevni sistemi delujejo na principu konstantne izmenjave zraka – sistem deluje protitočno. Tokova vstopnega in izstopnega zraka po napravi kontinuirano potujeta, srečujeta pa se v prenosniku toplote (rekuperatorju), kjer izstopni zrak vstopnemu oddaja lastnosti, kot sta toplota in/ali vlaga. Ker oba tokova zraka potujeta po ločenih ceveh, preprečimo, da bi umazan in čist zrak kadarkoli dejansko stopila v kontakt drug z drugim. Zaradi vsega navedenega je EU naklonjena dvocevnim prezračevalnim sistemom, kakršnih je le 15 % v evropski ponudbi. Mednje spada tudi MIKrovent®.*



Slika 4: Delovanje prenosnika toplote pozimi



## **2.4 DEJAVNIKI UDOBNEGA BIVANJA**

Ugodno počutje in sposobnost koncentracije za delo v prostoru, pa naj bo to bivalni ali delovni prostor, sta odvisna od vrste dejavnikov, kot so temperatura, osvetljenost, gibanje zraka, hrup ipd., med njimi pa je eden najpomembnejših dejavnikov kakovost zraka. V zraku mora biti zadosten delež kisika, primerna zračna vlaga, nemoteča količina vonjav in tako majhna količina zdravju škodljivih snovi, da naše zdravje ni ogroženo. [15]

Kakovost življenja oziroma dobrega življenjskega standarda že dolgo ne enačimo več z visoko rabo energije. Velja se zavedati, da večja učinkovitost rabe energije sama po sebi ne pomeni nujno tudi manjših potreb po energiji. Stavba, ki jo sicer odlikuje nizka raba energije, ne zagotavlja nujno tudi najboljših bivalnih in delovnih razmer. Oblikovanje bivalnega in delovnega okolja je inženirski proces, ki vodi do zagotavljanja visoke kakovosti bivanja ob sozvočju naravnega in grajenega okolja. Povedano drugače – stavba, ki ob učinkoviti rabi energije in rabi razpoložljivih obnovljivih virov zagotavlja uporabniku zeleno raven toplotnega, svetlobnega in zvočnega ugodja ob minimalnih škodljivih vplivih na okolje v vseh življenjskih fazah objekta. Pozitivni učinki se izražajo v zdravju, varnosti, blaginji in udobju uporabnika ob zmanjšanih obratovalnih in vzdrževalnih stroških. [17]

V raziskovalni nalogi udobno bivanje pomeni dolgotrajno zadrževanje v prostoru, brez občutka nelagodja in brez zunanjih motenj. Pri udobnem bivanju se osebam z obolenji, na katere lahko vpliva slab zrak oz. slabi bivalni pogoji, ne pojavijo dodatni simptomi ali poslabšanje počutja ter zdravstvenega stanja iz razlogov, povezanih s prostorom in zrakom v njem.

## 2.4.1 Faktorji udobnega bivanja

Faktorji udobnega bivanja so zahteve, ki jih postavi naše telo, da se v prostoru počutimo prijetno. Pri ugodnih razmerah se oseba lažje osredotoči in sprosti, na dolgi rok pa to pripomore tudi k zdravju. Udobno počutje in sposobnost koncentracije za delo sta odvisna od vrste dejavnikov, kot so temperatura, osvetljenost, gibanje zraka, hrup ipd. Najpomembnejši med njimi je kakovost zraka – v zraku mora biti zadosten delež kisika, primerna zračna vlaga, nemoteča količina vonjav in tako majhna količina zdravju škodljivih snovi, da naše zdravje ni ogroženo.

### 2.4.1.1 Vlažnost

Vlažnost je izraz, ki nam pove, kolikšna je količina vodne pare v zraku. Vlažnost nakazuje verjetnost padavin, megle in rose. Količina vodne pare, ki se nahaja v neki količini zraka, je lahko različna, spreminja pa se tudi s temperaturo. Npr. neka prostornina zraka lahko vsebuje 28 g vode na m<sup>3</sup> pri 30 °C in le 8 g vode pri 8 °C. [8]

Vlažnost merimo na tri glavne načine: absolutni, relativni in specifični. Po navadi za izražanje vlage uporabljamo relativni način, ki ga izražamo v procentih. Ta način merjenja prikazuje trenutno absolutno vlažnost v primerjavi z največjo možno vlažnostjo pri isti temperaturi. Absolutno vlažnost pa pridobimo tako, da izmerimo, koliko gramov vode je v enem kubičnem metru zraka. [8]

Vlažnost igra pomembno vlogo v življenju toplokrvnih organizmov, ki se zanašajo na znojenje kot regulacijo telesne temperature. Visoka vlažnost povzroča motnje pri učinkovitosti izmenjave toplote tako, da zniža hitrost izparevanja vlage iz površine kože. Ta učinek lahko izračunamo s pomočjo tabele toplotnega indeksa oziroma humidexa. [8]

		Temperature (°C, for range 15 - 43°C)																												
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Dew point (°C)	10	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
	11	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	12	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	13	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
	14	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
	15	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
	16	-	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	17	-	-	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	18	-	-	-	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
	19	-	-	-	-	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	20	-	-	-	-	-	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
	21	-	-	-	-	-	-	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
	22	-	-	-	-	-	-	-	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	23	-	-	-	-	-	-	-	-	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59

Slika 5: Toplotni indeks oz. humidex [22]

16 do 29: Prijetno

30 do 39: Rahlo neprijetno

40 do 45: Močno neprijetno

Nad 45: Nevarno, možna vročinska kap

Višje kot je rosišče (dew point), višja je vlažnost v zraku. Rosišče predstavlja temperaturo, pri kateri zrak postane nasičen z vodno paro. Ko se ta zrak dotakne površine z nižjo temperaturo, voda v zraku kondenzira na površini in nastane rosa oz. vodne kapljice. [3]

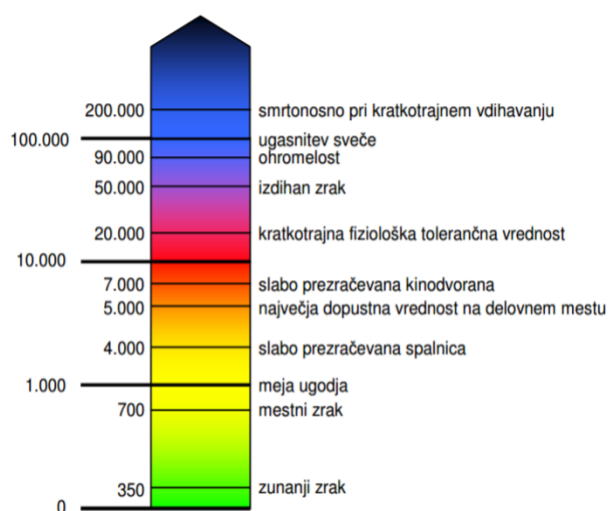
Ljudje iz različnih klimatov se prilagodijo na razmere okolice, zato udobne vlažnosti ni mogoče natančno določiti. Lahko pa ocenimo, da je relativna vlažnost, pri kateri se počutimo najboljše, nekje med 40–50 %. [9]

Neprimerna raven vlage ni le škodljiva človeku, ampak tudi sami stavbi. Pri prekomerno vlažnem zraku se lahko pojavi plesen, opazni madeži kondenzacije, odstopanje stenske barve, nabrekanje lesenega pohištva itd. Pozimi pa mora vlaga pasti tudi 30–40 %, da se izognemo kondenzaciji. [9]

## Ogljikov dioksid – CO<sub>2</sub>

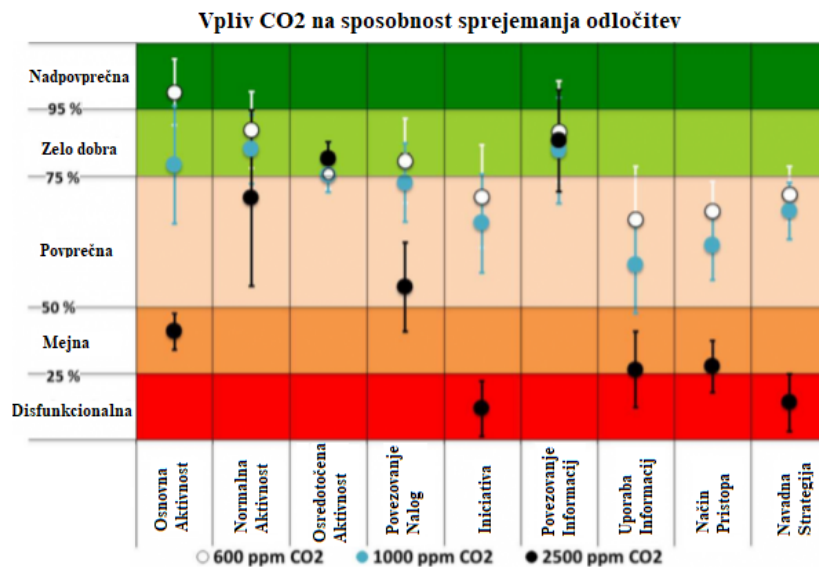
Ogljikov dioksid je brezbarven plin brez vonja, ki ga najdemo povsod v naši okolici. V zraku se nahaja v majhnih količinah (od 0.036 % do 0.041 % odvisno od lokacije). Je eden izmed primarnih toplogrednih plinov. Nastaja pri dihanju, gorenju ogljikovih spojin in ostalih kemijskih reakcijah. [4]

Merimo ga v ppm oz. številu delcev v milijonu, kar lahko izrazimo tudi v mg/l. Pri normalnih ravneh okrog 400 ppm oz. 0.04 % je ogljikov dioksid neškodljiv, v večjih koncentracijah pa lahko vpliva na počutje ali celo na zdravje. V ekstremnih količinah je lahko smrtonosen. [4]



Slika 6: Stopnje koncentracije CO<sub>2</sub> in njeni vplivi [2]

Pri 1000 ppm oz. 0.1 % vsebnosti CO<sub>2</sub> v zraku se pojavi nelagodje, nad 1 % pa se že počutimo utrujeno.



Slika 7: Vpliv CO<sub>2</sub> na sposobnost sprejemanja odločitev [2]

Če raven CO<sub>2</sub> v zraku doseže 2500 ppm, se močno zmanjša sposobnost opravljanja različnih dejavnosti.

Človeško telo na dan proizvede približno 1 kg ogljikovega dioksida, kar lahko pri dolgotrajnem zadrževanju v neprežračenih prostorih privede do znižanja koncentracije in produktivnosti. [4]

#### 2.4.1.2 Hrup

Hrup iz zunanosti najlažje prodre v notranjost takrat, ko zračimo z odprtimi okni oz. v stavbah s slabim tesnjenjem in izolacijo ter zastarelimi okni. Na podeželju to ni tako velika težava, saj je zunanji hrup nizek ali pa ga sploh ni. Mestna območja pa so izjemo ranljiva na tem področju zaradi neprestanega prometa, industrijskih zvokov in ostalih motenj, ki se pojavljajo v gosto naseljenih območjih.

Zvočno onesnaženje je najpogosteje posledica strojev, prometa in ostalih sistemov, ki jih uporablja človek, v osrednjih predelih mest se pojavlja tudi glasna glasba ob poznih urah.

Visoke ravni hrupa imajo lahko na daljša časovna obdobja tudi zdravstvene posledice, kot so stres, višji krvni tlak, tinitus (šumenje v ušesih), motnje spanja, izguba sluha (pojavi se pri dolgotrajni izpostavitvi nad 85 dB) itd. [10]

Nezaželeni zvoki lahko privedejo do iritacije in nelagodja. Zvok postane nezaželen takrat, ko posega v naše pogovore, spanje ali pa nasploh moti naš način življenja. V nekaterih primerih lahko nezaželen zvok privede do depresije ali paničnih napadov. [10]

dBa	Primer
0	Meja sluha
10	Dihanje
20	Šumenje listja
30	Šepetanje
40	Rahel dež
50	Tiha pisarna
60	Pogovor
70	Tuš
75	Straniščna školjka
80	Budilka
85	Tovornjak
90	Kosilnica
95	Podzemna železnica
100	Vožnja motorja
105	Športni dogodek
110	Koncert v živo
115	Sirena rešilca
120	Grom
130	Stadion (max.)
140	Reaktivno letalo pri vzletu
145	Petarda
150	Vojaško letalo
160	Šibrovka
165	Revolver
180	Izstrelitev rakete

Slika 8: Primeri glasnosti po dBa [19]

#### 2.4.1.3 Delci PM<sub>2,5</sub> in PM<sub>10</sub>

PM<sub>10</sub> so trdni delci, ki plujejo po atmosferi Zemlje. Merimo jih v mikrometrih. Vsi delci, manjši od 10 µm oz. 0.01 mm, spadajo med delce PM<sub>10</sub>. [13] Vsi delci, manjši od 2,5 µm, pa spadajo med delce PM<sub>2,5</sub>. [14]

V prevelikih količinah so škodljivi zdravju in lahko povzročajo draženje oči in grla, ljudem s težavami srca ali pljuč pa se lahko pojavijo simptomi, kot so tesnoba v prsnem košu, hropenje in težave z dihanjem. [13] Delci PM<sub>2,5</sub> zaradi svoje velikosti lažje prodrejo globlje v pljuča in še hitreje povzročijo zgoraj navedene zdravstvene težave. [14]

Viri delcev PM<sub>10</sub> so procesi izgorevanja, npr. motorna vozila in industrijski procesi. Lahko se pojavijo tudi v obliki cvetnega prahu ali cestnega prahu. [13] Viri delcev PM<sub>2,5</sub> so gorenje organskih snovi, kot sta trava in les, izgorevanje fosilnih goriv ter gorenje plastike in gume. [14]

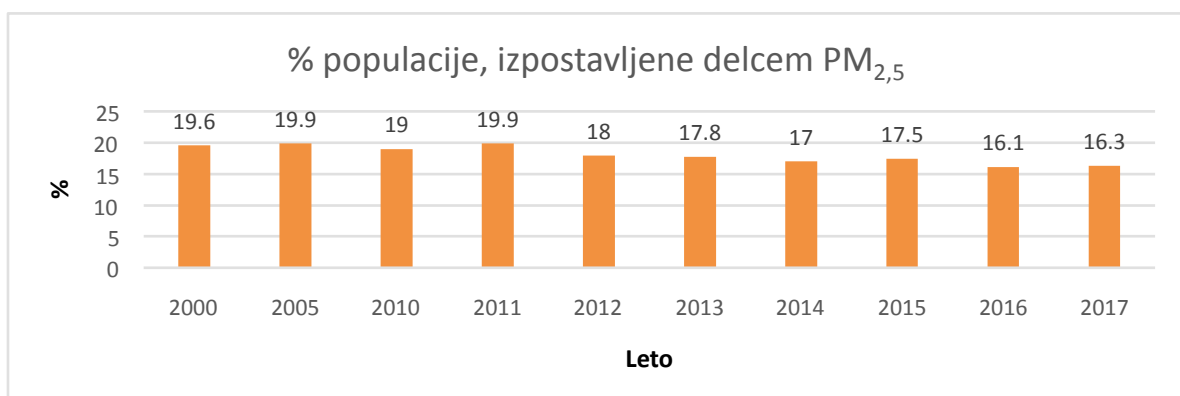
Kategorija kvalitete zraka	24-urni PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	Eno-urni PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>
Zelo dobra	0–16.4	0–26.3
Dobra	16.5–32.9	26.4–52.7
Srednja	33–49.9	52.8–79.9
Slaba	50–74.9	80–119.9
Zelo slaba	75 ali več	120 ali več

Slika 9: Kategorije kakovosti zraka po vsebnosti delcev PM<sub>10</sub> [13]

Čas povprečenja	Mejna vrednost [µg/m <sup>3</sup> ]	Sprejemljivo preseganje [µg/m <sup>3</sup> ] <sup>[1]</sup>
<b>PM<sub>10</sub></b>		
1 dan	50, ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu	25
Koledarsko leto	40	10

Slika 10: Mejne vrednosti in sprejemljivo preseganje za PM<sub>10</sub> [13]

Mejna vrednost zabeleženih delcev PM<sub>10</sub> v enem dnevu ne sme presegati 50 µg/m<sup>3</sup> oz. je preseganje sprejemljivo, dokler je manjše od 25 µg/m<sup>3</sup> in se ne pojavi več kot 35-krat v koledarskem letu. Na celoletni ravni pa ne sme presegati 40 µg/m<sup>3</sup> oz. je sprejemljivo, če ne presega za več kot 10 µg/m<sup>3</sup>.



Graf 1: Slovenska populacija, izpostavljena delcem PM<sub>2,5</sub> (v %) [11]



*Graf 2: Stopnja mortalitete kot posledica izpostavljenosti delcem PM<sub>2,5</sub> v zraku (na milijon prebivalcev) [12]*

Z zgornjih grafov je razvidno, da je velik procent ljudi v Sloveniji izpostavljenih delcem PM. Število smrti, ki so s tem povezane, pa je zaskrbljujoče.



### **3 EMPIRIČNI DEL**

#### **3.1 OPIS MERITEV**

V empiričnem delu raziskovalne naloge smo se posvetili izvajanju meritev v petih različnih okoliščinah, ki smo jih simulirali v toplotni komori. Na ta način smo najlažje vsakič dosegli identične izhodiščne pogoje za opravljanje meritev, poleg tega pa je prostor zrakotesen. Omeniti je vredno, da med eksperimenti proizvodni obrat ni deloval, zato je zrak čistejši, kot bi bil v primeru delovanja proizvodnje.

Poskus temelji na opravljanju meritev v petih različnih situacijah. Pred začetkom vsakega poskusa smo testno komoro nastavili na približno enake izhodiščne pogoje, to so:

- Temperatura: 21 °C,
- Relativna vlažnost: 45 %
- Vsebnost CO<sub>2</sub>: 550 ppm

Konstante pri poskusih so bile sledeče:

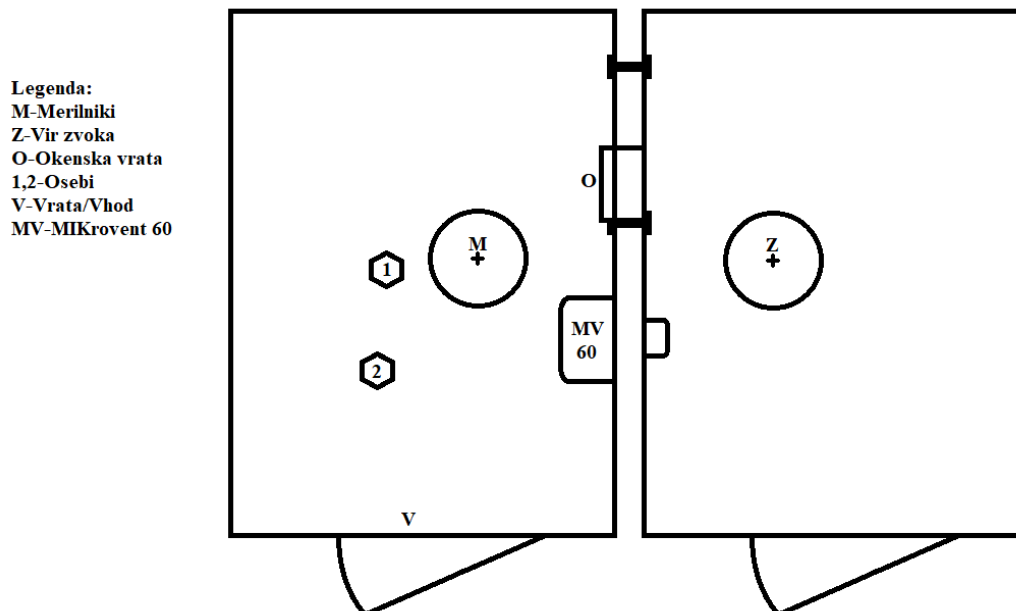
- Čas merjenja: 40 minut (30 + 10)
- Število oseb v sobi: 2
- Lokacija opravljanja meritev
- Lokacija merilnih naprav in oseb

Vsak eksperiment je trajal skupno 40 minut – prvih 30 minut sta bili osebi v toplotni komori, vrata so bila vseskozi zaprta. Po 30 minutah sta osebi odprli vrata, zapustili komoro in jo pustili, da se prezračí. Po 10 minutah zračenja sta se vrnili v komoro, ustavili izvajanje meritev in pripravili merilno opremo na nove meritve. Nato sta izvedli naslednjo meritev.

Med potekom vsakega eksperimenta smo izvajali meritve za temperaturo, vlago, količino CO<sub>2</sub> v zraku, količino delcev PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub> ter zvočno prepustnost sten. Meritve smo izvajali na mizi, ki je bila oddaljena en meter od okna in en meter od prezračevalne naprave MIKrovent Office 60 (MV60).

Meritve tesnjenja zvoka smo izvedli tako, da smo v hladno komoro, en meter od okna in en meter od zračnika MV60 postavili zvočnik, ki je 20 sekund oddajal zvok 700 Hz z glasnostjo 70 dB, ki smo ga merili v topli sobi na mizi.

Meritve delcev PM so se izvajale ročno, zato za zadnjih 10 minut eksperimenta, ko se je komora zračila, ni rezultatov. Postavitev komore je predstavljena na spodnji skici.



Slika 11: Skica in legenda komore

(Osebni arhiv)

### 3.2 OPIS KOMORE

Testna komora podjetja MIK Celje, v kateri smo izvajali eksperimente, je produkt proizvajalca IZR, d. o. o. Celoten sistem je razdeljen na hladno in toplo komoro. Komori loči izolirana predelna stena, debeline 200 mm. Del predelne stene je namenjen demontažnemu panelu, na katerega je vgrajena enota MV60, drugi del pa je namenjen oknu z balkonskimi vrati. Obe komori imata enote za hlajenje, gretje, vlaženje, razvlaževanje in za dovod ter odvod zraka. S pomočjo teh enot smo lahko ustvarili umetno okolje v topli komori, kar nam je omogočilo skorajda identične izhodiščne pogoje za vsak eksperiment. Eksperimente smo izvajali v topli komori, medtem pa je bila hladna komora odprta za boljše zračenje. Topla komora je visoka 3 m, široka 2,95 m in globoka 5,6 m. Njena prostornina znaša 49,56 m<sup>3</sup>. Hladna komora pa je 5 cm nižja, torej je njena višina 2,95 m. Njena prostornina znaša 48,73 m<sup>3</sup>.

### 3.3 OPIS OPREME

#### 3.3.1 MIKrovent® Office 60

Uporabili smo dvocevno lokalno prezračevalno napravo z rekuperacijo<sup>2</sup>, MIKrovent Office 60. Naprava ima pet stopenj delovanja. S svojim maksimalnim pretokom zraka 60 m<sup>3</sup>/h, kar je primerno za večje prostore, kjer se nahaja veliko ljudi, kot je na primer sejna soba, srednje velike pisarne, manjši vrtci, bolniške sobe itd. Naprava je dvocevna, zaradi česar zrak po njej potuje po ločenih prekatih ali t.i. “ceveh”, da se čist in umazan zrak ne pomešata, zato lahko deluje kontinuirano brez prekinitve. MIKrovent ima sistem rekuperacije. Njegov izkoristek prenosa toplote lahko znaša do 91%. Upravljanje same naprave je možno s pomočjo daljinca, preko WiFi-ja ali pa komunikacijskega sistema ModBus, ki pomaga pri serijski komunikaciji večih naprav. Območje delovanja same naprave obsega od -25 °C do 50 °C, kar pomeni, da je primerna za skoraj vsa naseljena območja Sveta.



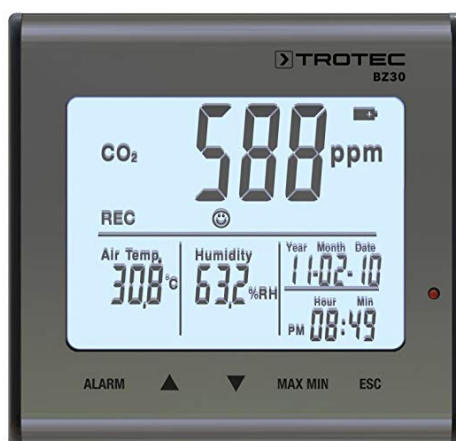
*Slika 12: MIKrovent® Office 60 [24]*

---

<sup>2</sup> Rekuperacija- Prenosnik toplote ali rekuperator omogoča prenos toplote odpadnega zraka zraku, ki vstopa v prostor.

### 3.3.2 Merilnik za CO<sub>2</sub>

Za merjenje CO<sub>2</sub> smo uporabili merilnik Trotec BZ30, ki predstavlja CO<sub>2</sub> v enoti ppm (kratica ppm iz angleškega izraza *parts per million* – število delcev na milijon) in je enota za merjenje koncentracije delcev CO<sub>2</sub>. Ta merilnik omogoča funkcijo beleženja podatkov, s čimer smo lahko tekoče podatke zabeležili vsakih 10 sekund.



Slika 13: Merilnik za CO<sub>2</sub> [25]

### 3.3.3 Merilnik za PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub>

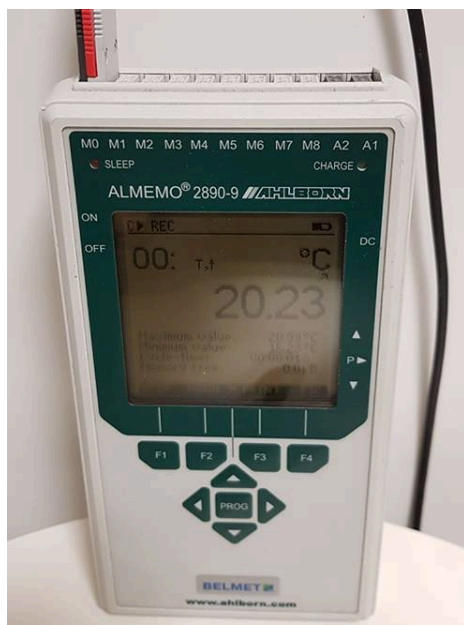
Za meritve delcev PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub> smo uporabili laserski merilnik Holdpeak HP-5800D. Naprava je meritve predstavljala v enoti  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kar pomeni, koliko mikrogramov delcev je prisotnih v prostoru na en kubični meter. Ker merilnik nima funkcije beleženja podatkov, smo vrednosti delcev PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub> izmerili ročno. Delce smo merili prvih 30 minut vsakega eksperimenta, v 5-minutnem časovnem intervalu. Zadnjih 10 minut eksperimenta meritve delcev PM nismo izvajali, ker smo zapustili komoro.



Slika 14: Merilnik za PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub> [20]

### 3.3.4 Merilnik za vlago in temperaturo

Za beleženje vlage in temperature smo uporabili precizni večnamenski merilnik Ahlborn ALMEMO 2890-9, ki je podatke beležil na vsakih 10 sekund. Za zaznavanje dejanskih vrednosti temperature in vlage v zraku smo uporabili digitalni merilnik temperature, vlage in zračnega tlaka FHAD 46-C2.



Slika 15: Merilni inštrument ALMEMO

(Osebni arhiv)



Slika 16: Merilnik vlage in temperature

(Osebni arhiv)

### 3.3.5 Merilnik hrupa

Za merjenje hrupa smo uporabili merilnik šumnosti Optimus Sound Level Meter proizvajalca Cirrus.



*Slika 17: Merilnik hrupa*

*(Osebni arhiv)*

### 3.3.6 Zvočnik

Poleg instrumentov za merjenje smo potrebovali še zvočnik, s katerim smo imitirati zvok kosilnice, ki bi bila v delovanju zunaj (torej v hladni komori). Uporabili smo zvočnik JBL Charge 3.



*Slika 18: Zvočnik [23]*

### **3.4 POSTOPEK OBDELAVE PODATKOV**

Podatke, ki smo jih dobili znotraj eksperimentov, smo z merilnih naprav prenesli v Excelove preglednice. Tam smo jih obdelali, uredili in skrajšali na preglednejšo velikost, in uporabno obliko. Za vsako 40-minutno meritev smo imeli rezultate merilnih naprav, ki so beležile podatke vsakih 10 sekund. Da bi se izognili zmešnjavi in nepreglednosti, smo vse podatke skrčili na 5-minutne intervale, kar se je tudi ujemalo s 5-minutnim intervalom ročnih meritev delcev PM. To smo dosegli tako, da smo izračunali povprečje vsakih 30 vrednosti posamezne meritve in nato s povprečnimi vrednostmi operirali naprej. S tem smo dobili pregledne rezultate, ki jih je bilo enostavno umestiti v grafe. Grafi so posledično izgledali boljše (gladka črta) in bili enostavnejši za primerjavo. Za izhodiščno vrednost vsakega grafa (0 minut) smo vzeli prvo zabeleženo meritev vsakega merilca, torej za izhodišče nismo računali povprečja.

### **3.5 ANALIZA FAKTORJEV UDOBNEGA BIVANJA**

Pred izvedbo meritev smo pregledali vse faktorje udobnega bivanja in ugotovili njihove vrednosti, da dosežemo najudobnejše stanje v komori.

#### **Vlaga**

Vlaga v prostoru je direktno povezana s temperaturo komore. Priporočena sobna temperatura se nahaja nekje med 20 °C in 22 °C, medtem ko je priporočena relativna vlažnost 40 %. Ker sta v komori 2 osebi, obstaja možnost, da bo znotraj 30 minut relativna vlaga v zraku rahlo narasla. Idealni rezultat eksperimentov, kjer zračimo, bi bil, da vlažnost ne naraste oz. da je sprememba minimalna. Za vlažnost je bilo pričakovano, da bo po določenem časa zrasla ali padla na vlažnost zraka v proizvodnem obratu, saj smo v času med posameznimi eksperimenti zračili z odprtimi vrati, ponovno nastavljanje vlage na željeno vrednost pa je dolgotrajen proces.

#### **CO<sub>2</sub>**

V zaprtem prostoru za CO<sub>2</sub> velja pravilo “manj je bolje”, torej nižja je raven CO<sub>2</sub> v zraku, boljše bo naše počutje v tem prostoru. Zunanji zrak na podeželju naj bi imel okrog 350 ppm, medtem ko se zrak v mestih giblje pri približno 700 ppm (Slika 6). Ker se komora nahaja v proizvodnem delu tovarne, pričakujemo, da bo raven ppm bližja mestnemu zraku kot podeželskemu. Zaradi velikosti komore in dveh oseb, ki se v njej nahajata, se bo vsebnost CO<sub>2</sub> v zraku najverjetneje dvignila blizu ravni ppm v mestu, torej blizu 700 ppm.



## **Hrup**

Najudobnejša raven zvočnosti v dB je težko določljiva, a je pod 60 dB v večini nemoteča, sicer pa je to odvisno tudi od posameznika. Ker je poleg komore postavljena proizvodnja, je največja skrb, da bi hrup iz okolice vdiral v komoro. Hrup v proizvodnji zagotovo presega raven udobnega, idealno pa bi bilo, da bi v komori ambienten zvok znašal 30 dB ali manj.

## **Delci PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub>**

Delci PM so najnevarnejši od vseh merjenih faktorjev, zato je zelo pomembno, da je vsebnost le-teh v zraku čim manjša. Ciljamo na vsebnost pod 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Predvidevamo, da bo največji padec delcev pri eksperimentu, kjer bo MV60 na peti stopnji, saj bo v primerjavi z vsemi eksperimenti izmenjal največ zraka skozi filter.

## **3.6 IZVEDBA EKSPERIMENTA**

Eksperiment je sestavljen iz petih različnih eksperimentov oz. simulacij v testni komori.

- 1) V prvem eksperimentu smo v komori v izhodiščnem stanju zaprli okno in izključili MV60, nato sta vanjo vstopili dve osebi, ki sta se 30 minut med seboj pogovarjali. Med celotnim eksperimentom okna nismo odpirali, MV60 je ostal izključen. Celotnih 30 minut smo izvajali meritve temperature, vlage in CO<sub>2</sub>. Meritve delcev PM smo izvajali vsakih 5 minut. Po 30 minutah sta osebi komoro zapustili za 10 minut, da se prezračí in ponastavi na osnovne pogoje. Vse meritve, razen tistih za delce PM, so še dalje potekale. Zadnji 2 minuti zračenja smo komoro zaprli in vključili, da se je temperatura vrnila za željeno vrednost. Meritve zvoka smo izvajali posebej.
- 2) V drugem eksperimentu so bili v komori zopet vzpostavljeni izhodiščni pogoji. MV60 je ostal nedelujoč, okno je bilo priprto (»na kip«). Preostale meritve so se izvajale na enak način kot pri prvem eksperimentu.
- 3) V tretjem eksperimentu je bilo ob izhodiščnih pogojih okno zaprto, MV60 pa vklopljen in delujoč na prvi stopnji, v kateri je pretok zraka enak 20 m<sup>3</sup>/h. MV60 je deloval celotnih 30 minut, medtem ko sta bili osebi v komori. Po 30 minutah sta osebi zapustili prostor, da se prezračí, MV60 je ostal vključen. Po 10 minutah zračenja smo meritve ustavili in pripravili za naslednji eksperiment.
- 4) V četrtem eksperimentu smo v komori v izhodiščnem stanju z zaprtim oknom vključili MV60 in ga nastavili na tretjo stopnjo, v kateri je njegov pretok enak 40 m<sup>3</sup>/h. Naprava je

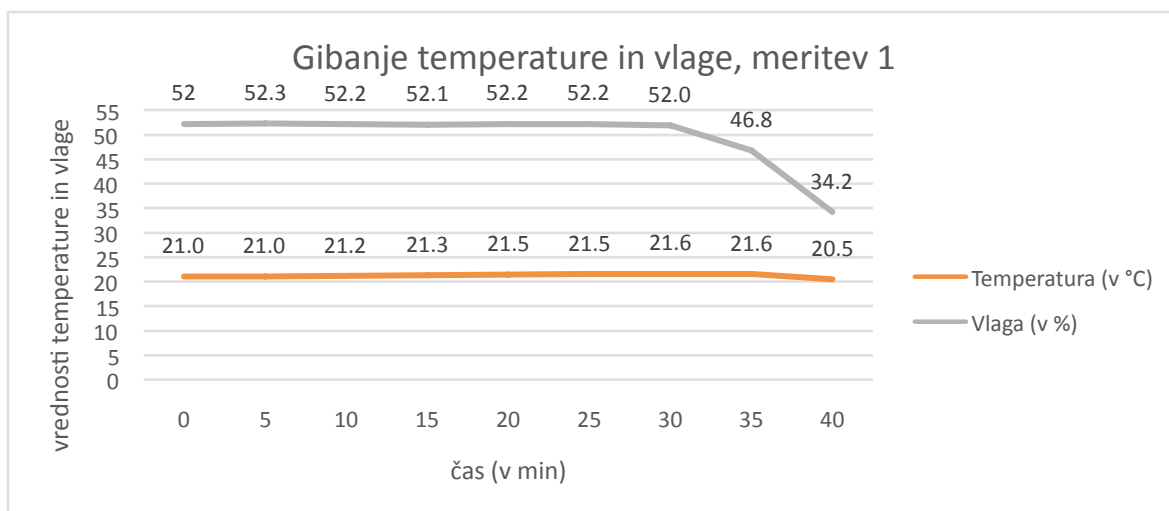
ponovno delovala za čas trajanja celotnega poskusa, vključno z 10-minutnim zračenjem. Po končanem poskusu in zračenju smo izvedli še zadnji poskus.

- 5) V petem eksperimentu smo v komori v izhodiščnem stanju z zaprtim oknom vključili MV60 in ga nastavili na peto stopnjo, v kateri je njegov pretok zraka 60 m<sup>3</sup>/h. Tudi tokrat smo 30 minut izvajali potrebne meritve, nato pa komoro prezračili.

Meritve hrupa smo vseskozi izvajali posebej zaradi nerazpoložljivosti merilnika hrupa. Ostale meritve so potekale ob mirujoči proizvodnji, zato so ravni delcev PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub> zelo nizke. Meritve zvoka so potekale ob delujoči proizvodnji, zato je hrup nekoliko vdiral skozi stene komore in rahlo vplival na naše meritve. Hrup smo merili pod enakimi pogoji kot ostale meritve. V prvem eksperimentu smo merili hrup z izključenim MV60 in zaprtim oknom, v drugem eksperimentu s priprtim oknom in izključenim MV60, v tretjem eksperimentu z zaprtim oknom in MV60 na prvi stopnji, v četrtem eksperimentu z zaprtim oknom in MV60 na tretji stopnji in v petem eksperimentu z zaprtim oknom in MV60 na peti stopnji. Analize hrupa smo izvajali tako, da smo en meter od okna in MV60 postavili vir zvoka z glasnostjo 70 dB, kar je primerljivo z glasnostjo kosilnice 10 m stran od okna v hiši ali pa s popoldanskim hruščem mestnega prometa. Najprej smo izmerili samo šumnost proizvodnje skozi stene komore; rezultat je znašal 45 dB. Ta komora ni narejena za meritve zvoka, ampak za meritve zraka, zato so meritve v kategoriji hrupa višje, kot bi bile v t. i. gluhi komori.

### 3.7 REZULTATI EKSPERIMENTOV

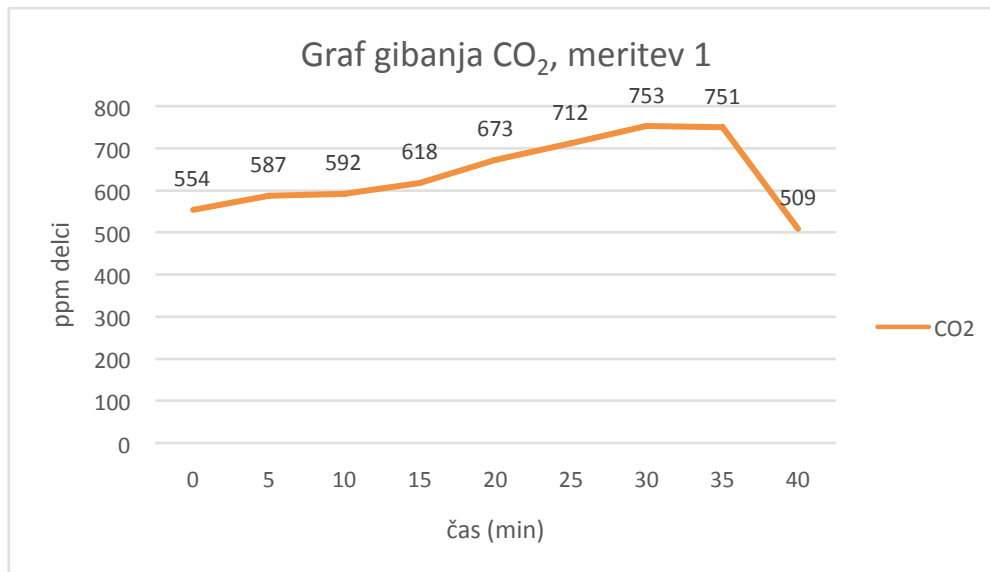
#### 3.7.1 Prvi eksperiment



Graf 3: Graf gibanja temperature in vlage, 1. meritev

(Osebni arhiv)

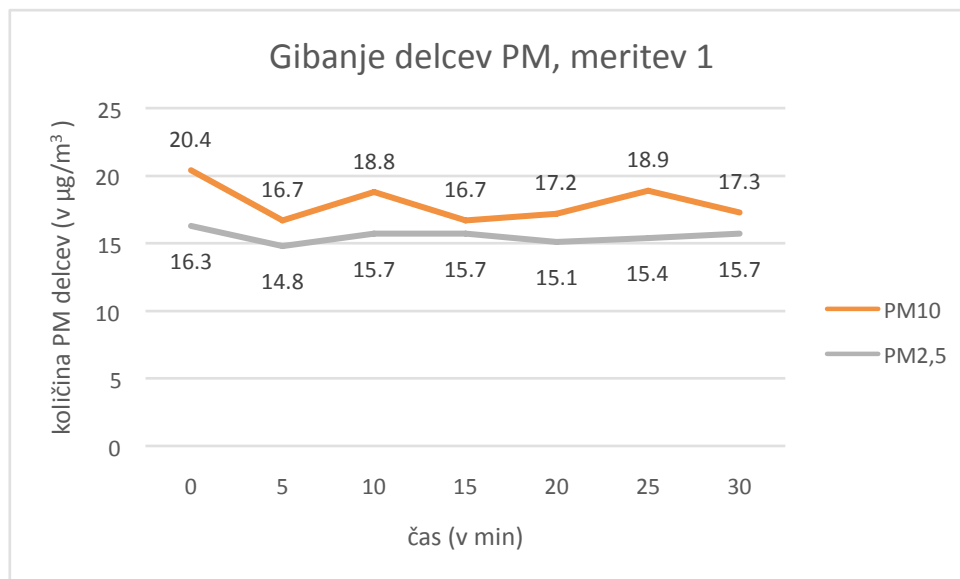
Prvi eksperiment smo pričeli pri 21°C in 52 % relativne vlažnosti zraka v komori. Zaradi popolnoma zaprte komore se notranji zrak ni mogel mešati z zunanjim, zato je temperatura počasi naraščala, in sicer je v 30 minutah bivanja dveh oseb v prostoru zrasla za 0,6 °C, kar je v tako kratkem časovnem obdobju sorazmerno veliko. Vlažnost je rahlo nihala, a vseeno ostajala v začetnem nivoju pri 52 % relativne vlažnosti. Po označbi 30 minut, ko sta osebi zapustili komoro in se je pričelo 10-minutno prezračevanje komore, je viden oster padec nivoja vlažnosti. Do tega je prišlo predvsem zaradi mešanja notranjega zraka z zunanjim zrakom iz proizvodnje, ki je imel izrazito manjšo relativno vlažnost.



Graf 4: Graf gibanja CO<sub>2</sub>, 1. meritev

(Osebni arhiv)

Na začetku eksperimenta se je vsebnost CO<sub>2</sub> v zraku nahajala na 554 ppm, kar je identično takratni količini ppm delcev v zraku v proizvodnji. V času trajanja 30-minutnega eksperimenta je ta vrednost neprestano naraščala, tik pred odprtjem vrat za potrebe zračenje pa je dosegla nivo 753 ppm, kar je primerljivo z onesnaženim zrakom v mestu. Vsebnost ppm CO<sub>2</sub> v zraku se je spremenila za skoraj 200 ppm, iz česar lahko sklepamo, da bi se v eni uri bivanja v prostoru, vsebnost CO<sub>2</sub> v zraku skoraj podvojila. Oster padec na koncu grafa se ponovno pojavi zaradi mešanja z zrakom iz proizvodnje.



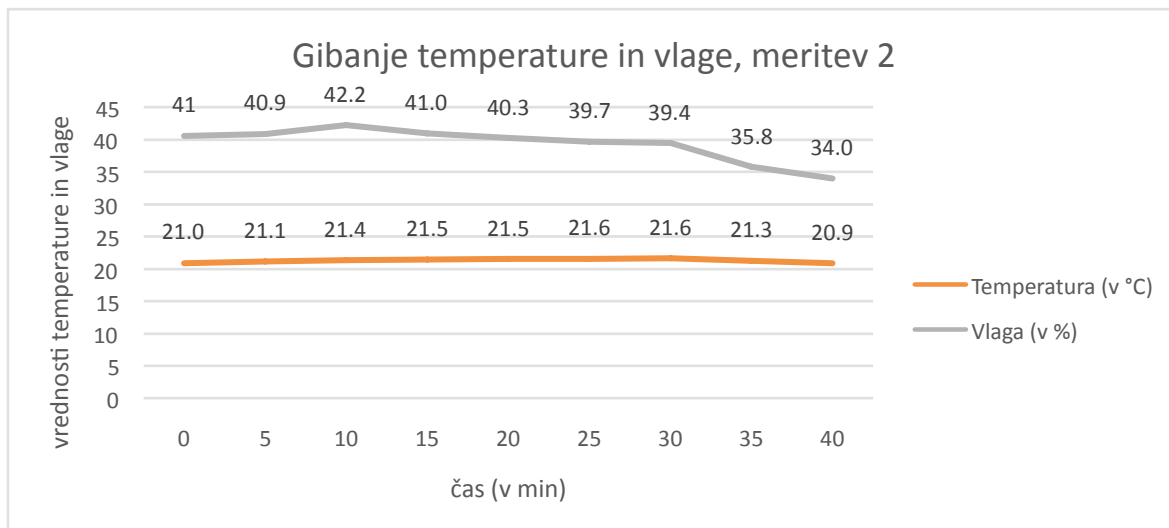
Graf 5: Graf gibanja delcev PM, 1. meritev

(Osebni arhiv)

Delci PM so bili na začetku eksperimenta na  $20,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , na koncu pa na  $17,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vendar nam to ne pove dosti, saj je nivo delcev  $\text{PM}_{10}$  skozi celoten eksperiment nihal. Predvidevamo lahko, da bi se v primeru nadaljevanja meritev to nihanje ponavljalo. Delci  $\text{PM}_{2,5}$  so bili na začetku na  $16,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , na koncu pa na  $15,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tudi tukaj se pojavi nekoliko manj opazno nihanje, iz katerega ne moremo natančno razbrati, ali je količina delcev PM v prostoru padla, narasla ali pa ostala enaka.

Hrup se je v prvem eksperimentu gibal okrog 55 dB pri zaprtem oknu, medtem ko se je v drugi komori 1 m od okna in MV60 predvajal zvok 70 dB. Takšen rezultat je pričakovan, saj je bila komora zatesnjena in je dobro dušila zvok.

### 3.7.2 Drugi eksperiment

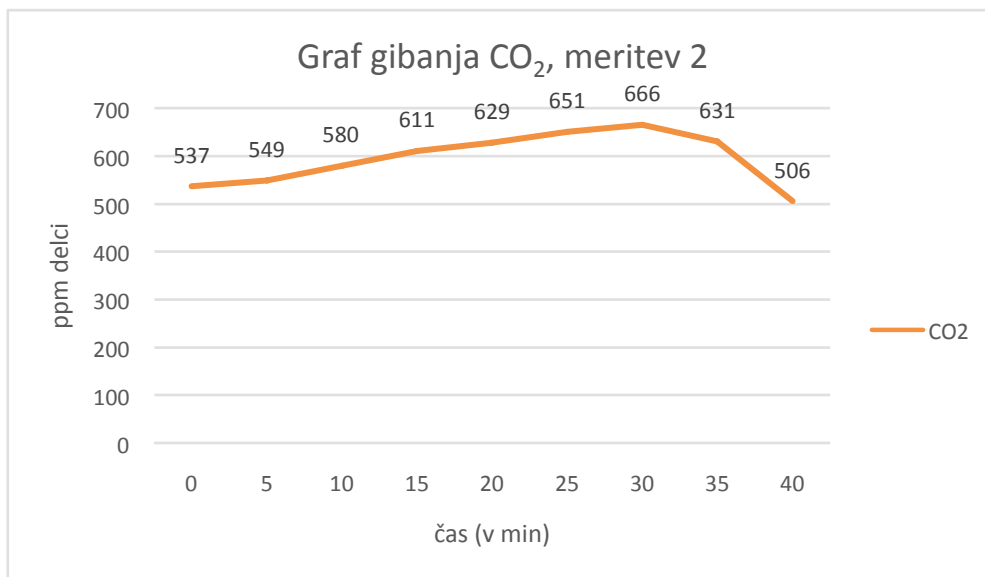


Graf 6: Graf gibanja temperature in vlage, 2. meritev

(Osebni arhiv)

Tudi pri zračenju z odprtim oknom smo pričeli pri temperaturi 21 °C, relativna vlažnost pa je bila tokrat 41 %. Temperatura je počasi naraščala – sklepamo, da je majhna razlika med temperaturo notranjega in zunanjega zraka, zaradi katere rahlo hladnejši zunanji zrak ni ravno vplival na temperaturo notranjega. Vlaga je skozi celoten eksperiment padala, saj je imel zunanji, bolj suh zrak prost vstop v komoro, kjer se je nahajal vlažnejši zrak. Sklepamo, da je razlog za višanje vlažnosti z 41 % na 42,2 % residualni vlažni zrak<sup>3</sup>, ki se je spustil iz izklopljenih dovodov zraka v komori, medtem ko so se ohlajali.

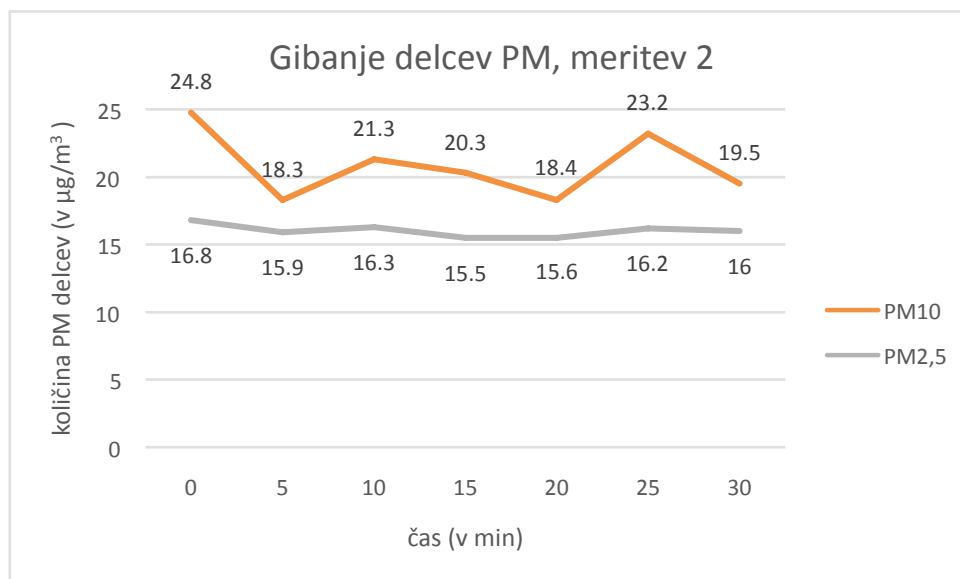
<sup>3</sup> Residualni zrak – vroč vlažen zrak, ki je ostal v grelnem in navlaževalnem sistemu komore še od njenega delovanja in se je med ohlajanjem postopoma spustil v samo komoro.



Graf 7: Graf gibanja CO<sub>2</sub>, 2. meritev

(Osebni arhiv)

Eksperiment z odprtim oknom smo pričeli pri 537 ppm, končali pa na najnižji maksimalni vrednosti od vseh eksperimentov, in sicer 666 ppm. Ob pogledu na padec vlage skozi eksperiment lahko sklepamo, da se je relativno veliko zraka izmenjalo med hladno in toplo komoro, kar pomeni, da se je posledično velika količina CO<sub>2</sub> izločila s pomočjo prezračevanja skozi okno.



Graf 8: Graf gibanja delcev PM, 2. meritev

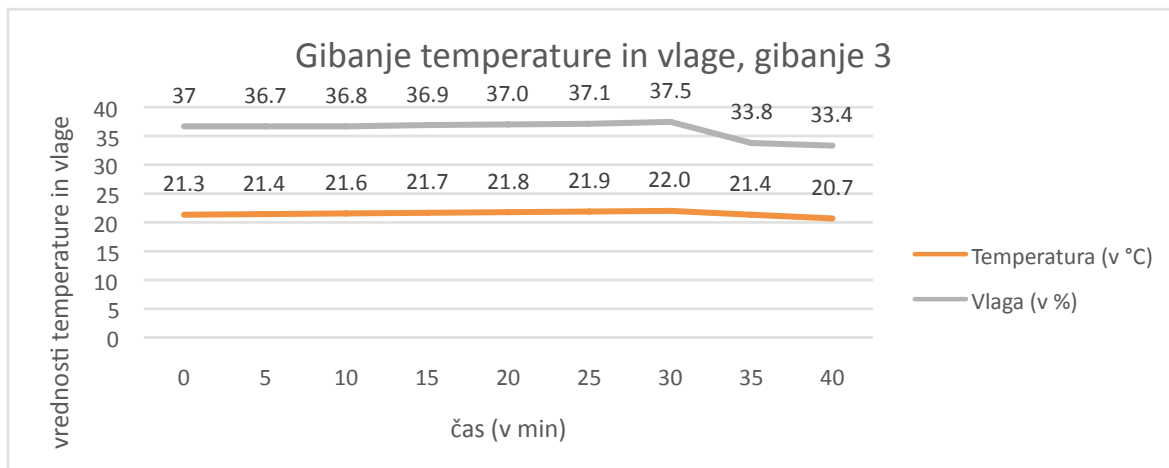
(Osebni arhiv)

Pri eksperimentu z odprtim oknom se pojavi izrazito nihanje delcev  $PM_{10}$ , in sicer je na najvišji točki vsebnost delcev  $PM_{10}$  v zraku  $24,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , na najnižji pa  $18,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Delci  $PM_{2,5}$  so prav tako v valovanju, vendar slednje ni tako izrazito. Količina delcev  $PM_{2,5}$  skozi čas trajanja eksperimenta ostane približno enaka. Možno je, da je kateri drug dejavnik oziroma motnja povzročal takšno valovanje, kot je npr. rahli preprih skozi okno, ki dviguje posedle delce PM s tal in jih pošilja nazaj v ozračje.

Pri odprtem oknu je hrup močno narasel, in sicer na  $58,5 \text{ dB}$ , saj je takrat komora najbolj občutljiva na vdor zvoka. Ta hrup je bil enako glasen, kot bi bil navaden pogovor, ki se giblje okrog  $60 \text{ dB}$ .



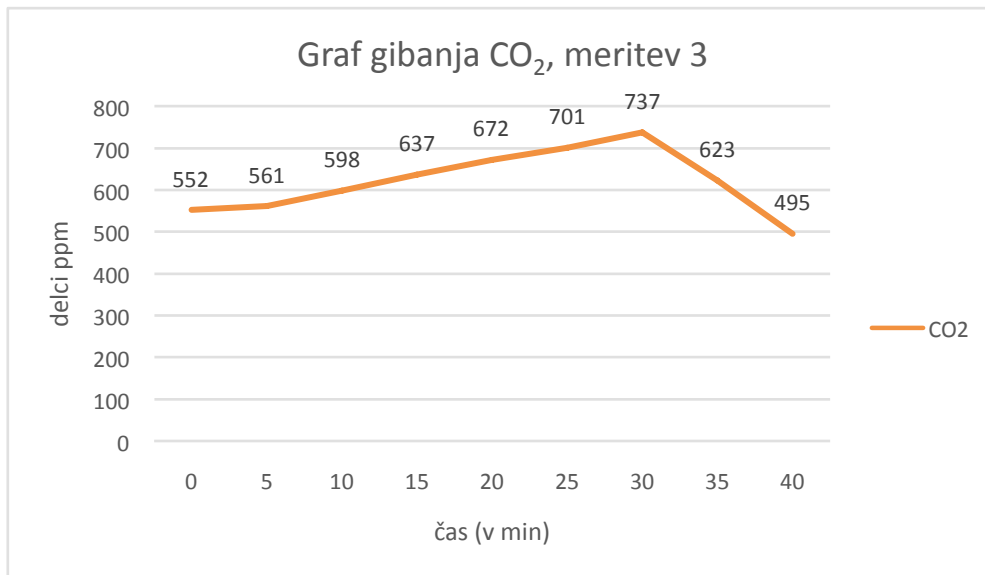
### 3.7.3 Tretji eksperiment



Graf 9: Graf gibanja temperature in vlage, 3. meritev

(Osebni arhiv)

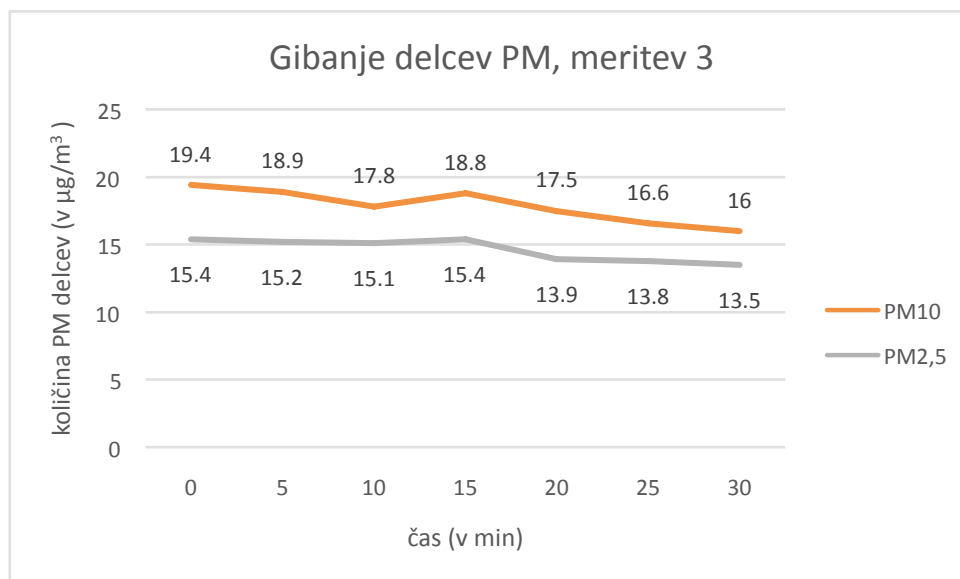
V tem eksperimentu je bila začetna temperatura 21,3 °C, relativna vlažnost pa 37 %. Nivo vlažnosti se v tem eksperimentu ni občutno dvignil, saj ga je MIKrovent poskušal ohraniti na enakomerni ravni. Enako velja za temperaturo, ki se je tudi rahlo dvignila. Vredno je omeniti, da je MIKrovent na prvi stopnji, na kateri ima le 20 m<sup>3</sup>/h pretoka. Iz tega podatka lahko sklepamo, da je v 30 minutah izmenjal le 10 m<sup>3</sup> zraka, kar je enakovredno približno eni petini zraka v komori.



*Graf 10: Graf gibanja CO<sub>2</sub>, 3. meritev*

*(Osebni arhiv)*

Eksperiment smo pričeli s 552 ppm CO<sub>2</sub>, a je vsebnost CO<sub>2</sub> v 30 minutah narasla na 737 ppm. Tako velika sprememba ni bila pričakovana. Po grafu sodeč je zelo majhna razlika med popolnoma zaprtim prostorom in delovanjem MV60 na prvi stopnji, a pri tako nizkem pretoku je takšen rezultat pričakovan.



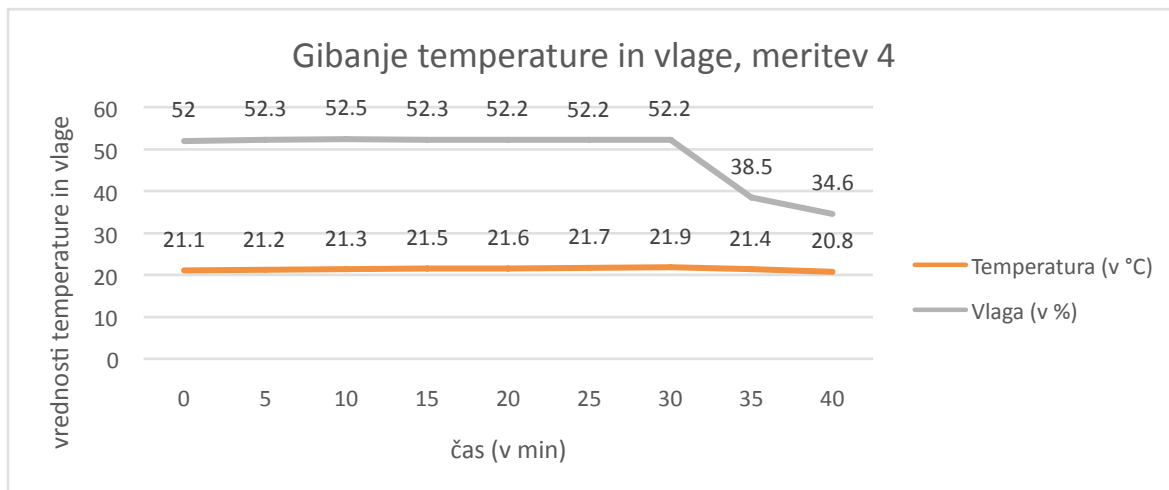
*Graf 11: Graf gibanja delcev PM, 3. meritev*

*(Osebni arhiv)*

Pri prvi meritvi z vključenim MV60 takoj opazimo izboljšanje stanja pri obeh vrstah delcev PM. Delci PM<sub>10</sub> padejo z 19,4 µg/m<sup>3</sup> na 16 µg/m<sup>3</sup>, medtem ko delci PM<sub>2,5</sub> padejo s 15,4 µg/m<sup>3</sup> na 13,5 µg/m<sup>3</sup>. Tukaj se že začne kazati prednost prezračevalne naprave pred zračenjem z oknom.

Pri MIKroventu se hrup na prvi stopnji skoraj ni spremenil, in sicer s 55 dB pri zaprtem oknu in izključenim MV60 na 55,2 dB. Tovrstna sprememba je zanemarljiva, saj spremembe v obsegu 0,2 dB brez merilne naprave ne zaznamo.

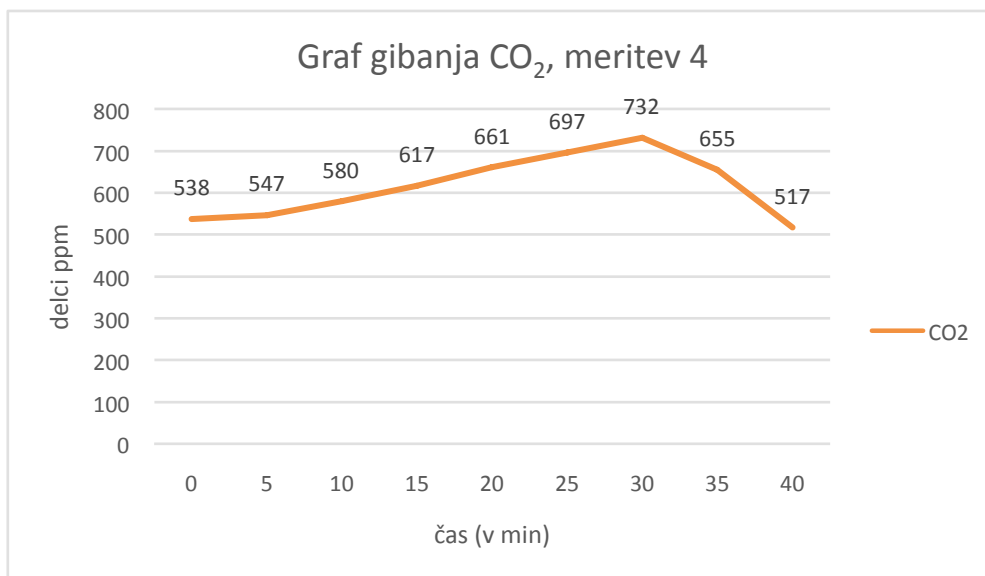
### 3.7.4 Četrti eksperiment



Graf 12: Graf gibanja temperature in vlage, 4. meritev

(Osebni arhiv)

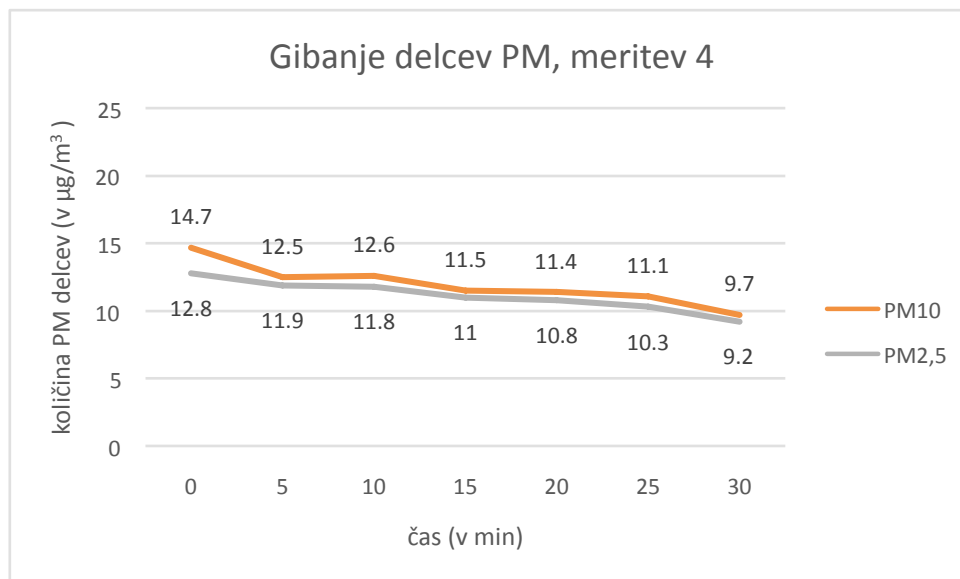
V četrtem eksperimentu, kjer je bil MV60 na tretji stopnji, smo začeli z 52 % relativno vlažnostjo in 21,1 °C. Skozi eksperiment je relativna vlažnost ostala skoraj na istem nivoju, kar je zadovoljivo, saj je to namen naprave. Temperatura se je tudi tu le nekoliko spremenila, enako kot pri prejšnjih eksperimentih.



Graf 13: Graf gibanja CO<sub>2</sub>, 4 meritev

(Osebni arhiv)

Tudi tukaj se je vsebnost CO<sub>2</sub> v zraku nepričakovano veliko spremenila. Ker pa ima na tretji stopnji MV60 pretok 40 m<sup>3</sup>/h, kar je 20 m<sup>3</sup> zraka v 30 minutah, je takšen rezultat nezadovoljiv. Sklepamo, da je za te rezultate meritev odgovoren drug dejavnik, kot so npr. premajhne razlike v temperaturah dotokov zraka, zaradi česar se slednja mešata dovolj močno, da lahko zrak, napojen s CO<sub>2</sub>, uide iz tople komore v hladno, in ga MV60 ponovno vpiha nazaj v toplo komoro. Vemo pa, da je MV60 opravljal svoje delo, kar je razvidno iz spodnjega grafa za delce PM.



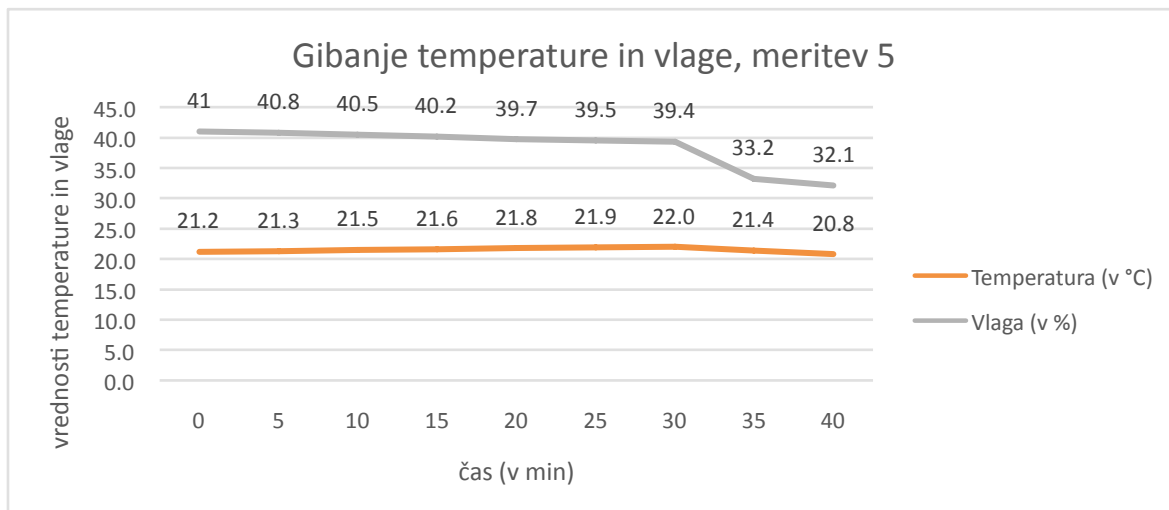
*Graf 14: Graf gibanja delcev PM, 4. meritev*

*(Osebni arhiv)*

Delci PM<sub>10</sub> so se na začetku nahajali pri vrednosti 14,7 µg/m<sup>3</sup>, po 30 minutah pa pri 9,7 µg/m<sup>3</sup>. Delci PM<sub>2,5</sub> so bili na začetku pri vrednosti 12,8 µg/m<sup>3</sup>, na koncu pa pri 9,2 µg/m<sup>3</sup>. Z grafa je razvidno, da MIKrovent očisti zrak delcev PM, ki so zdravju bolj nevarni kakor CO<sub>2</sub>.

V četrtem eksperimentu se ponovi zgodba iz prejšnje meritve, saj se z MV60 na tretji stopnji »proizvede« 55,6 dB hrupa, kar je zopet skoraj neopazno.

### 3.7.5 Peti eksperiment



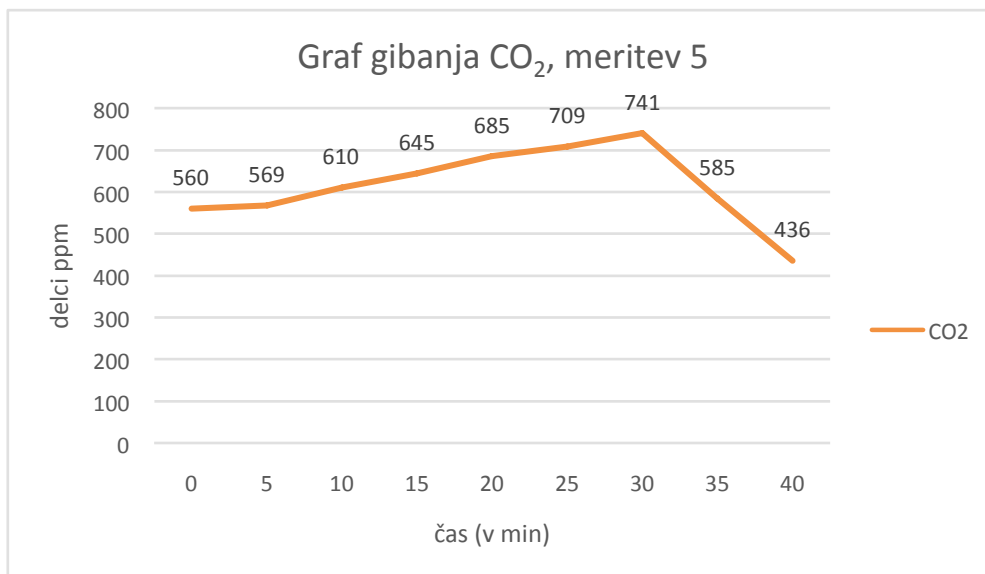
Graf 15: Graf gibanja temperature in vlage, 5. meritev

(Osebni arhiv)

V zadnjem, petem eksperimentu smo pričeli pri temperaturi 21,2 °C in relativni vlažnosti 41 %. Tokrat je MV60 deloval na peti stopnji, torej s 60 m<sup>3</sup>/h oziroma je izmenjal 30 m<sup>3</sup> zraka v 30 minutah. Temperatura je tako kot pri ostalih meritvah ostala na približno enakem nivoju, medtem ko je vlaga zaradi velikega pretoka enakomerno padala.

Ta sprememba ne bi bila tako občutna, če bi uporabljali entalpijski prenosnik toplote<sup>4</sup>, ki ima rahlo nižji nivo vračanja toplote, po drugi strani pa je sposoben vračanja vlage nazaj v prostor. MV60, montiran v testni komori, takšnega prenosnika ni imel, zato je zrak bolj izsuševal.

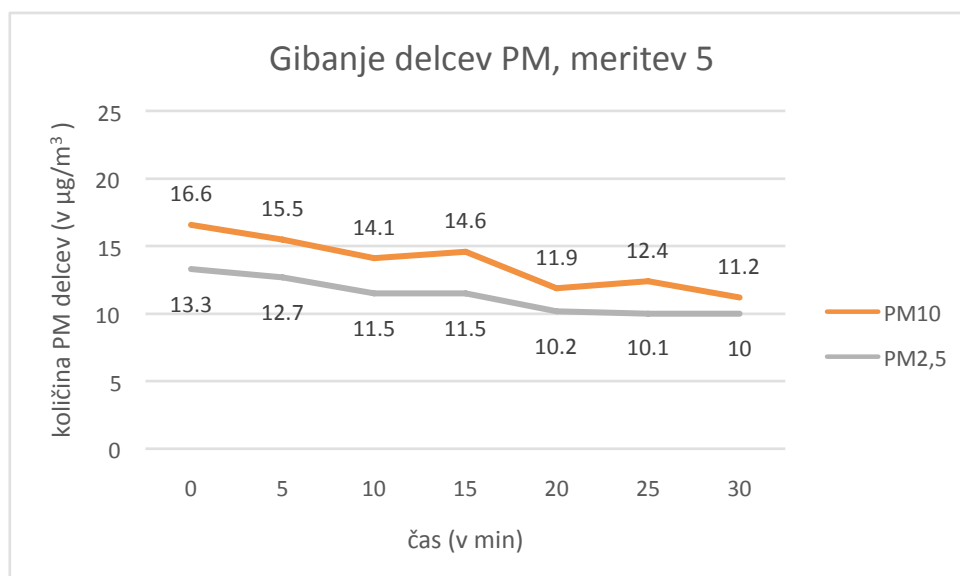
<sup>4</sup> Entalpijski rekuperator - enak navadnemu rekuperatorju, edina razlika je v debelini sten in v posebni membrani, ki zadržuje vlago. Zaradi membrane in debelejših sten se toplotni povratki zmanjšajo.



Graf 16: Graf gibanja CO<sub>2</sub>, 5. meritev

(Osebni arhiv)

Pri meritvah ppm CO<sub>2</sub> pri zadnjem eksperimentu je količina CO<sub>2</sub> v zraku zrasla s 560 ppm na 741 ppm. Menimo, da je razlog za takšen rezultat enak tistemu v prejšnji meritvi.



Graf 17: Graf gibanja delcev PM, 5. meritev

(Osebni arhiv)



Pri zadnjem poskusu, kjer je imel MV60 največji pretok, bi pričakovali najboljše rezultate. Zaradi grafa in višjih začetnih vrednosti delcev PM mogoče ni ravno najlažje razbrati tega, da je MV60 v peti stopnji filtriral delce  $PM_{10}$  s  $16,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na  $11,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kar je predstavljalo razliko v obsegu  $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; pri delcih  $PM_{2,5}$  pa s  $13,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , z razliko  $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Delce  $PM_{10}$  je v tem poskusu prefiltriral najboljše v primerjavi z ostalimi poskusi,  $PM_{2,5}$  pa za  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  manj kot MV60 na tretji stopnji. Z grafa je možno razbrati tudi nekakšno mejo, ki se nahaja okrog  $9\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sklepamo, da je to meja sposobnosti naprave oziroma filtra.

Pri zadnji meritvi je bil hrup nekoliko občutnejši, saj je skupaj z zunanjim virom zvoka proizvajal  $57 \text{ dB}$ . Ta zvok je manj nevaren in nadležen, saj neprestano deluje v ozadju in se njegova jakost ne spreminja, zato ga možgani avtomatsko filtrirajo.

### **3.7.6 Ugotovitve vseh eksperimentov**

#### **3.7.6.1 Vlaga**

Ravni vlage med eksperimenti so se, pričakovano, rahlo spreminjale, čeprav nismo vselej začeli eksperimenta z enako relativno vlažnostjo, saj bi ponovna kalibracija na enako vlažnost lahko trajala dlje kot celoten eksperiment. Začetne vlažnosti v komori so bile zadovoljive, saj so bile vse med  $35\text{--}55\%$  relativne vlažnosti. Eksperimenti so ustrezali pričakovanjem, saj sprememba relativne vlažnosti nikoli ni preseгла 2 enot. Ker so bili eksperimenti izvedeni v približno izenačeni zunanji in notranji temperaturi, se razlike v spremembi temperature pri eksperimentih z odprtim oknom in MV60 ne pojavijo. V primeru, da bi bila razlika med zunanostjo in notranostjo velika, kot npr. v primeru hladnih zim ali vročih poletij, bi prezračevanje z MV60 zaradi rekuperacije veliko bolje ohranilo prvotno notranjo temperaturo, kot pa prezračevanje z odpiranjem oken, ki bi lastnosti notranjega zraka v 30 minutah izenačilo z lastnostmi zunanjega zraka. Tudi pri vlažnosti v prostoru bi se pri ekstremnih pogojih pri zračenju z oknom pojavile razlike, saj bi se zrak izmenjal z zunanjim bolj vročim in vlažnim ali pa hladnejšim in bolj suhim zrakom, medtem ko MV60 konstantno vzdržuje relativno vlažnost med  $40\%$  in  $60\%$ .

#### **3.7.6.2 $\text{CO}_2$**

Najpresenetljivejši rezultati so bili pri meritvah  $\text{CO}_2$ , saj smo pričakovali, da bo MV60 zagotovo dosegel boljše rezultate kot pa zračenje z oknom. Prišli smo do zaključka, da je bil pretok zraka skozi okno večji, zato se je izmenjalo več zraka kot pri MV60. MV60 ima

konstanten pretok pri peti stopnji, ki znaša  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ . To pomeni, da je MV60 v 30 minutah izmenjal  $30 \text{ m}^3$  zraka, medtem ko je okno imelo spreminjajoč se pretok, ki je bil odvisen od veliko dejavnikov, kot so tlačni padci v proizvodnji, atmosferski tlak, vreme itd. Sklepamo lahko, da je pretok skozi odprto okno višji od pretoka skozi MV60, torej višji od  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ . Namreč, višji kot je pretok zraka, večji del notranjega zraka z veliko ppm  $\text{CO}_2$  se lahko izmenja z zunanjim zrakom z malo ppm  $\text{CO}_2$ . Hkrati se je zrak zaradi podobnih temperatur v zunanosti in notranosti slabo mešal, zato je možno, da se zrak sploh ni premaknil iz hladne komore. Tako se je  $\text{CO}_2$  samo nabiral okrog zunanjega dela MV60, ki ga je nato posesal in potisnil nazaj v sobo. Mešanje zraka je še bolj oteževala rekuperacija, saj je zaradi nje ostajala razlika v temperaturi zraka v hladni komori in zraka, izpihanega iz tople komore, manjša, ker je zrak v prenosniku toplote oddal svojo toploto vpihanemu zraku iz hladne komore. Pri odprtem oknu do rekuperacije ni prišlo, zato se je toplejši zrak iz sobe mešal z zrakom izven komore, kar je omogočalo hladnejšemu zraku vstop v toplo komoro. Rezultat teh meritev nam je tudi pokazal, da se vsega ne da predvideti in razložiti na preprost način, zato se nam tukaj pojavi priložnost za nadaljnje raziskovanje  $\text{CO}_2$  in njegovega obnašanja v določenih pogojih, ter načina gibanja in širjenja po prostoru.

### 3.7.6.3 Hrup

Rezultati eksperimenta so ustrezali pričakovanjem, saj so pri poskusih z MV60 enakomerno naraščali. Pri poskusu z odprtim oknom je bilo prisotnega največ hrupa, kar je razumljivo, saj ima zvok najlažjo pot v prostor. MV60 se na peti stopnji dokaj približa glasnosti odprtega okna, ampak je zvok zaznati le skozi šumenje, ki kmalu postane neopazno, saj se človeško uho navadi in filtrira zvok.

### 3.7.6.4 $\text{PM}_{2,5}$ , $\text{PM}_{10}$

Rezultati pri meritvah delcev  $\text{PM}_{10}$  in  $\text{PM}_{2,5}$  so bili zanimivi, saj smo ugotovili, da je MV60 v veliki prednosti pred zračenjem z odprtim oknom. Zračenje z oknom skorajda ni vplivalo na količino  $\text{PM}_{10}$  in  $\text{PM}_{2,5}$  v zraku, medtem ko je MV60 že v prvi stopnji imel boljše rezultate, kljub veliki razliki v pretoku. Če primerjamo rezultate meritev, ko je bil MV60 vključen, lahko sklepamo, da se delci PM začnejo stabilizirati približno pri  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . To je tudi meja zmožnosti čiščenja oziroma filtriranja zraka z napravo MV60. Ta raven delcev PM v zraku je izredno dobra, saj je meja, pri kateri kakovost zraka preide iz zelo dobre v dobro pri  $16,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na 24-urni ravni, na urni ravni pa kar  $26,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Slika

9). Pri meritvi z zaprtim oknom z izklopljenim MV60 in pri meritvi z odprtim oknom se pojavljajo velika nihanja delcev PM skozi čas. Vzrokov za takšna nihanja je lahko mnogo, eden izmed dejavnikov je verjetno preprih skozi odprto okno, ki bi lahko dvignil prašne delce s tal ter jih poslal v ponovno kroženje po zraku. Možno je tudi, da se je vsebnost delcev PM spreminjala zaradi premikanja oseb v komori, kar bi lahko vzdignilo prašne delce s tal. Začetnih vrednosti eksperimentov nismo mogli nadzorovati zaradi neenakomerne porazdeljenosti delcev PM v zraku.

### 3.8 VREDNOTENJE HIPOTEZ

1. hipoteza: Prezračevanje z MIKroventom očisti več ogljikovega dioksida iz zraka kot prezračevanje z oknom.

Količina ogljikovega dioksida v zraku je pri zračenju z oknom počasneje naraščala kot pri prezračevanju z MIKroventom. Sklepamo, da je razlog za to nezadostna ventilacija hladilne komore, kar smo tudi podrobneje opisali v rezultatih eksperimentov. Hipotezo moramo iz tega razloga **ovreči**.

2. hipoteza: MIKrovent povzroča manj hrupa kot zračenje z odprtim oknom.

Hrup, povzročen z MIKroventom, je bil tišji kot tisti, ki je prišel skozi odprto okno. Tudi na najvišji stopnji delovanja je MIKrovent tišji, hkrati pa se zvoka hitreje navadimo in ga filtriramo. Na prvi stopnji je MIKrovent praktično neslišen. To hipotezo **potrjujemo**.

3. hipoteza: Delci PM pri prezračevanju z odprtim oknom ostanejo na enaki ravni vsebnosti v zraku.

Raven delcev PM je med eksperimentom nihala v valovih, zato lahko sklepamo, da bi se takšno valovanje še nadaljevalo, če bi eksperiment trajal dlje. Če vzamemo povprečje teh nihanj, se raven ne spremeni ravno veliko, zato lahko to hipotezo **potrdimo**.

4. hipoteza: Višja kot je stopnja prezračevanja z MIKroventom, bolj očisti notranji zrak delcev PM.

Količina delcev PM v zraku pri vseh treh meritvah z MIKroventom enakomerno pada, a se ustavi blizu  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kar štejemo kot mejno zmožnost MIKroventa. MIKrovent je imel

na 5. stopnji delovanja zaradi pihanja v tla in drugačne začetne vrednosti manjšo končno vrednost delcev PM kot MIKrovent na 3. stopnji. To hipotezo smo se odločili delno **potrditi**.

## 4 ZAKLJUČEK

*»Skrbite za svoje telo, saj to je edini prostor kjer morate živeti« – Jim Rohn*

Stavbe, zgrajene na osnovi energetske učinkovitosti, so zadnja leta deležne veliko pozornosti. Velik del populacije se začanja zavedati, da so stare in neučinkovite stavbe lahko mnogokrat okolju škodljive, prav tako pa so tudi dražje za vzdrževanje. Vednost, da bo okolje, v katerem živimo takšno, kakršnega bomo sami kreirali, pripravlja ljudi, da izvajajo energetske ukrepe na svojih domovih.

Ker energetske učinkovite zgradbe zahtevajo pripravo novih konceptov z različnih področij, je v zadnjih letih moč opaziti, da se različne branže med seboj vse bolj povezujejo. Tako morajo arhitekti pri pripravi svojih idej upoštevati nove koncepte s področja gradbeništva, enako kot morajo strojniki in gradbeniki upoštevati načela energetike, ki nas bodo pripeljala v bolj zeleno prihodnost. Dejstvo je, da se vse več ljudi odloča za gradnjo energetske učinkovitih stavb. To idejo podpirata tudi država in EU s tem, ko skozi sprejemanje različnih zakonov, ukrepov in priporočil svetujeta ter soustvarjata pot zelene prihodnosti. Prebivalcem in podjetjem so na voljo različne oblike nepovratnih sredstev, ki pomagajo pri finančno obteženih projektih, kakršen je energetska sanacija oziroma novogradnja energetske učinkovite stavbe.

Da bi zmanjšali preveliko porabo energentov, se svetuje uporaba sodobnih tehnologij in ukrepov, ki zahtevajo manj energije za doseganje enakih ciljev in imajo pomembno vlogo pri energetske prihodnosti prebivalstva. Poleg uporabe OVE in vpeljevanja večjih, strateških ukrepov, lahko k zelenemu gospodarstvu prispeva tudi posameznik. Če se osredotočimo samo na stavbe, lahko že v času načrtovanja slednjo načrtujemo tako, da bo energetske učinkovita. To lahko storimo na več načinov – od pravilne zasnove zgradbe, dobro izolativnih sten, vgradnje energetske učinkovitega stavbnega pohištva, pa vse tja do vgradnje učinkovitih sistemov ogrevanja, hlajenja in prezračevanja. Vse pogosteje ljudje štejejo za energetske učinkovito stavbo tisto, ki zagotavlja 100 % tesnjenje, izolativnost in z vidika ogrevanja visoko učinkovitost. Ob tem nemalokrat zanemarimo dejstvo, da skozi vpeljevanje tovrstnih energetske ukrepov na nek način prostor zapremo in onemogočimo dotok svežega zraka. Izgovarjati se, da prostor večkrat dnevno z odpiranjem oken prezračimo in na ta način poskrbimo za svež zrak, je v času energetske osveščenosti

pravzaprav napačno, saj na ta način ne samo da negativno vplivamo na zdravje (v prostor spuščamo »umazan« zrak), temveč izgubljammo občutno količino toplote iz prostora. To po drugi strani pomeni, da je potrebno prostor dogrevati oziroma dohlajevati, da bi dosegli pogoje, ki so bili v prostoru pred odprtjem okna, torej zopet negativno vplivamo na okolje.

Razvoj v večjem delu pomena te besede pomeni povezovanje različnih znanj in strok in ga iz tega razloga lahko tretiramo kot multidisciplinaren proces. Na trgu se v vse večjem številu pojavljajo nove oblike prezračevanja in prezračevalnih naprav. Idealna prezračevalna naprava je tista, ki skozi strojne in energetske vidike dosega takšne pretoke zraka, ki so potrebni za bivanje posameznika v prostoru. Ta zrak mora biti zdravju prijazen in segret oziroma ohlajen do te mere, da povzroči čim manjše toplotne izgube. Glede na definicijo zdravega prezračevanja, ki je hkrati energetsko učinkovito, med takšne naprave spadajo dvocevne lokalne prezračevalne naprave z rekuperacijo, kakršna je MIKrovent®.

Glede na raziskavo, ki smo jo opravili, lahko zaključimo, da je prezračevanje z MIKroventom® tišje od prezračevanja z odpiranjem oken, četudi smo na začetku pričakovali drugače. Na ta način prezračevalne naprave poskrbijo ne samo za dovod svežega zraka, temveč tudi onemogočajo vstop hrupa v prostore. Pomembno je izpostaviti tudi to, da lahko s pomočjo prezračevalne naprave reguliramo hitrost čiščenja notranjega zraka z vidika ogljikovega dioksida. Višji pretok zraka po napravi namreč pomeni tudi hitrejše in učinkovitejše čiščenje zraka, ki v prostor vstopa. Na ta način posameznik zagotovi svež zrak v prostoru, ne glede na čas.

Glede na to, da je bilo sprva pričakovano, da bodo določeni rezultati poskusov na koncu drugačni, bi bilo priporočljivo izvesti ponovne meritve v bolj kontroliranih pogojih ali pa celo v drugačni vrsti komore. Vsekakor pa je moč zaključiti, da je (ne glede na rezultate) prezračevanje s prezračevalno napravo učinkovitejše – tako z monetarnega kot tudi z ekološkega in zdravstvenega vidika. Tako se vpeljava prezračevalnega sistema, pri čemer se priporoča lokalno prezračevanje, ponuja kot odlična rešitev za novogradnje in sanacije. S tem niso mišljene zgolj novogradnje in sanacije v energetsko učinkovitem smislu, temveč v stavbah nasploh.

## 5 SEZNAM UPORABLJENIH VIROV

- [1] 71 ways to make your building more energy efficient (online). (citirano 10. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <https://www.bautexsystems.com/company/news-events/energy-efficient-buildings>
- [2] Carbon dioxide (online). (citirano 09. 02. 2019). Dostopno na naslovu: [https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_dioxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide)
- [3] Dew point (online). (citirano 09. 02. 2019). Dostopno na naslovu: [https://en.wikipedia.org/wiki/Dew\\_point](https://en.wikipedia.org/wiki/Dew_point)
- [4] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (online). (citirano 18. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&qid=1551646161601&from=SL>
- [5] Direktiva 2012/27/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. oktobra 2012 o energetske učinkovitosti, spremembi direktiv 2009/125/ES in 2010/30/EU ter razveljavitvi direktiv 2004/8/ES in 2006/32/ES (online). (citirano 20. 11. 2019). Dostopno na naslovu: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&qid=1551646499295&from=SL>
- [6] Energetska učinkovitost pri obnovi ovoja stavbe (online). (citirano 19. 02. 2019). Dostopno na naslovu: [http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv\\_aure/il\\_2-05.pdf](http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/il_2-05.pdf)
- [7] Energijsko učinkovita okna in zasteklitve, Toplotna zaščita stavb; Agencija za učinkovito rabo energije (online). (citirano 19. 02. 2019). Dostopno na naslovu: [http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv\\_aure/il\\_2-10.pdf](http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/il_2-10.pdf)
- [8] Humidity (online). (citirano 09. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <https://en.wikipedia.org/wiki/Humidity>
- [9] Indoor Air Quality and Relative Humidity (online). (citirano 09. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <https://www.thermastor.com/relative-humidity-and-your-home/>
- [10] Noise pollution (online). (citirano 09. 02. 2019). 2019. Dostopno na naslovu: [https://en.wikipedia.org/wiki/Noise\\_pollution](https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_pollution)

- [11] OECD.stat; Exposure to PM2.5 in countries and regions (online). (citirano 05. 01. 2019). Dostopno na naslovu: <https://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=72722>
- [12] OECD.stat, Mortality and welfare cost from exposure to air pollution (online). (citirano 05. 01. 2019). Dostopno na naslovu: [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EXP\\_MORSC](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EXP_MORSC)
- [13] PM10 particles in air (online). (citirano 10. 02. 2019). 2016. Dostopno na naslovu: <https://www.epa.vic.gov.au/your-environment/air/air-pollution/pm10-particles-in-air>
- [14] PM2.5 particles in air (online). (citirano 10. 02. 2019). 2016. Dostopno na naslovu: <https://www.epa.vic.gov.au/your-environment/air/air-pollution/pm10-particles-in-air>
- [15] Pravilno zračenje in prezračevanje; Sistemi za ogrevanje zgradb Agencija za učinkovito rabo energije RS (online). (citirano 12. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <http://cms.siel.si/documents/170/docs/pravilno-zracenje-in-prezracevanje58256c4681a75.pdf>
- [16] Učinkovita raba energije (online). (citirano 12. 01. 2019). Dostopno na naslovu: [http://www.mzi.gov.si/delovna\\_podrocja/energetika/ucinkovita\\_raba\\_energije/](http://www.mzi.gov.si/delovna_podrocja/energetika/ucinkovita_raba_energije/)
- [17] Učinkovita raba energije pri novogradnjah, Toplotna zaščita zgradb; Agencija za učinkovito rabo energije RS (online). (citirano 12. 01. 2019). Dostopno na naslovu: [http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv\\_aure/il\\_2-04.pdf](http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/il_2-04.pdf)
- [18] What types of energy-efficient buildings are there? (online). (citirano 10. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <https://companies.bnpparibasfortis.be/en/article?n=what-types-of-energy-efficientbuildings-are-there->



## 6 VIRI SLIK, GRAFOV IN TABEL

[19] Decibel-levels (online). (citirano 28. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <https://owlcation.com/stem/decibel-levels>

[20] Digitalni laserski merilnik prašnih delcev PM2.5 in PM10 (online). (citirano 28. 02. 2019). Dostopno na naslovu: [https://www.eaelektronika.com/505,sl\\_8-dnevna-izposoja-digitalni-laserski-merilnik-prasnih-delcev-pm25-in-pm10.html](https://www.eaelektronika.com/505,sl_8-dnevna-izposoja-digitalni-laserski-merilnik-prasnih-delcev-pm25-in-pm10.html)

[21] Dvoslojna ali troslojna zasteklitev? (online). (citirano 28. 02. 2019). Dostopno na naslovu: [https://www.mojmojster.net/clanek/601/dvoslojna\\_ali\\_troslojna\\_zasteklitev](https://www.mojmojster.net/clanek/601/dvoslojna_ali_troslojna_zasteklitev)

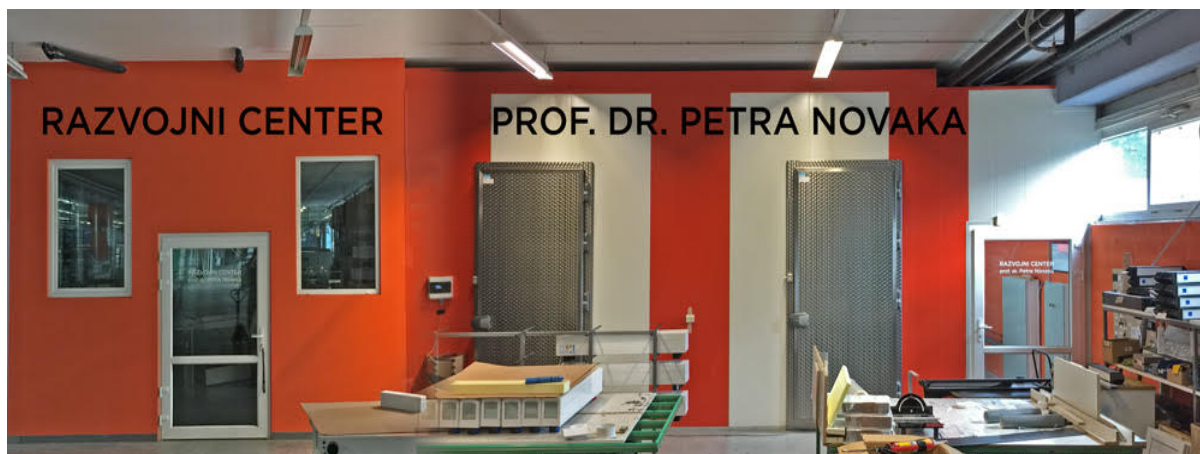
[22] Humidex (online). (citirano 28. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <https://en.wikipedia.org/wiki/Humidex>

[23] JBL - Charge 3 Wireless Bluetooth Speaker – Black (online). (citirano 28. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <https://www.bestbuy.com/site/jbl-charge-3-wireless-bluetooth-speaker-black/5097501.p?skuId=5097501>

[24] Produktno-tehnični katalog (online). (citirano 09. 03. 2019). Dostopno na naslovu: <http://mikrovent.io/wp-content/uploads/2019/03/Produktno-tehnicnini-katalog-MIKrovent-SLO.pdf>

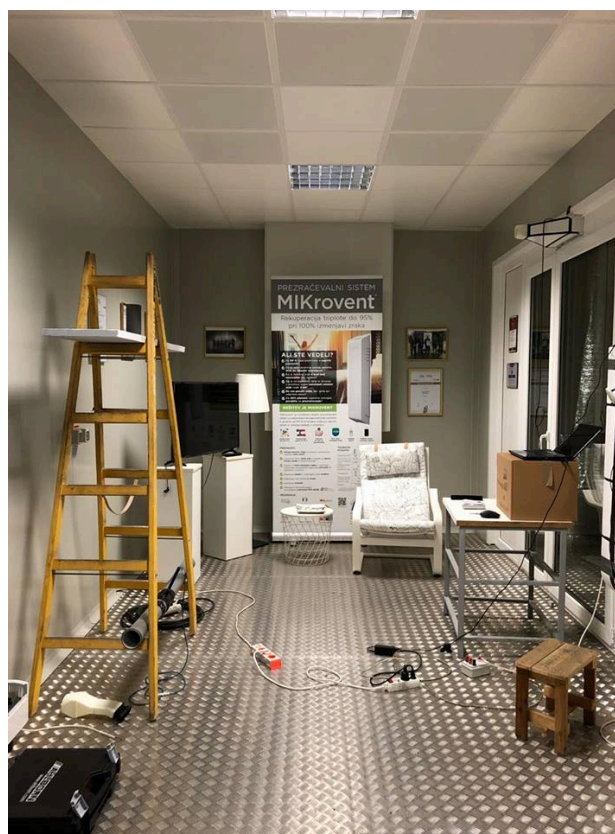
[25] Trotec BZ30 CO2 Air Quality Data Logger (online). (citirano 28. 02. 2019). Dostopno na naslovu: <https://www.amazon.co.uk/TROTEC-BZ30-CO2-Air-Quality-Data-Logger-x/dp/B005UD4A30>

## PRILOGE



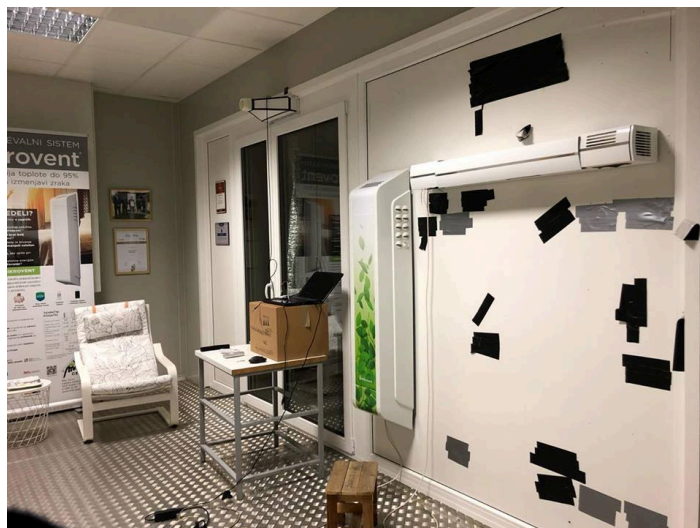
*Slika priloge 1: Razvojni center prof. Dr. Petra Novaka*

*(Osebni arhiv)*



*Slika priloge 2: Topla komora*

*(Osebni arhiv)*



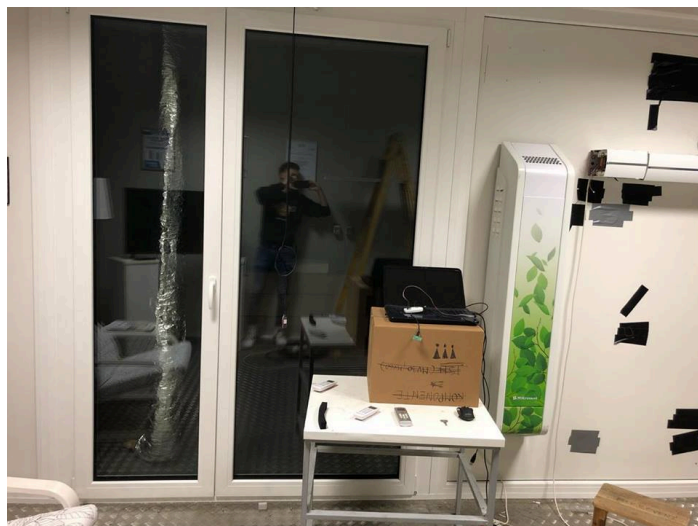
*Slika priloge 3: Postavitev MIKroventa*

*(Osebni arhiv)*



*Slika priloge 4: MIKrovent*

*(Osebni arhiv)*



*Slika priloge 5: Okenski sklop in MIKrovent*

*(Osebni arhiv)*



*Slika priloge 6: Hladna komora*

*(Osebni arhiv)*



*Slika priloge 7: Krmilnik komore*

*(Osebni arhiv)*

